


 Ministério da Educação
 Universidade Federal do Paraná
 Setor de Tecnologia
 Departamento de Construção Civil

**MATERIAIS I - Química Aplicada
 (TC-030)**
**Estrutura Atômica da Matéria,
 Ligações Químicas e
 Propriedades Físico-Químicas da Água**

Professores
 José de Almendra Freitas Jr. - freitasjose@terra.com.br
 Laila Valduga Artigas - artigas@ufpr.br

Versão 2019


 Química e Propriedades físico-químicas da água
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

DEFINIÇÕES

Química:
Ciência que estuda as substâncias, suas propriedades, suas composições e suas transformações.

Matéria:
É tudo que tem massa e ocupa espaço.

Constituída por partículas muito pequenas chamadas moléculas, cuja ordem de grandeza é de 1 Å (10^{-10} cm).

1 cm^3 de água (H_2O) contém 33×10^{21} moléculas


 Química e Propriedades físico-químicas da água
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Substâncias e misturas

Substâncias:
Compostas apenas de um tipo de moléculas ou átomos.

Substância simples constituída por um único tipo de constituinte.
Exemplos:
Metal ferro - Fe
Gás oxigênio - O_2 .

Substância composta constituída por mais de um tipo de constituinte.
Exemplos:
Água pura - H_2O
Sal comum - NaCl


 Química e Propriedades físico-químicas da água
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Substâncias e misturas

Misturas:
Duas ou mais substâncias misturadas.
Algumas podem ser identificadas visualmente.

Exemplo: **Granito** - grãos de quartzo branco, mica preta e feldspato rosa e outros minérios.

Outras misturas requerem outros métodos de verificação.
Exemplos:
Leite - a olho nu só se vê um líquido branco.
Com microscópio observa-se partículas brancas e constata que é uma mistura.

Água salgada - Não se vê de forma alguma o sal (íons) dissolvido.
É necessário evaporar a água para observar o sal.


 Química e Propriedades físico-químicas da água
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estados da matéria:

A matéria pode existir em três estados:

- **Sólido:**
Mantém volume e forma.
- **Líquido:**
Mantém volume, adquire a forma do recipiente.
- **Gás:**
Não mantém volume nem forma, varia com o recipiente.


 Química e Propriedades físico-químicas da água
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estados da matéria:

Gases e líquidos têm a capacidade de fluir, são chamados de fluidos.

Sólidos - moléculas muito próximas, mantêm posição por atração e coesão.

Um líquido pode ser obtido a partir de um sólido, pela diminuição das forças de atração ou de coesão.

Um gás é obtido pela supressão das forças atração ou de coesão.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estados da matéria:

Disposição das moléculas nos Sólidos

Estado cristalino:
Disposição das moléculas em formas geométricas e regulares.
As propriedades físicas de um corpo cristalino são anisotrópicas, variam segundo a direção.

Estado amorfo:
Disposição irregular das moléculas.
As propriedades físicas de um corpo amorfo são iguais em todas as direções.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Misturas homogêneas e heterogêneas:

Mistura homogênea - apresenta apenas uma fase = SOLUÇÃO
Exemplos: água salgada, gasolina, ar, etc.

Apresenta-se em qualquer dos três estados, sólida, líquida ou gasosa.

Os componentes de uma solução podem ser separados por processos físicos, sem o uso de reações químicas.



➤ **MISTURA HOMOGÊNEA** ou **SOLUÇÃO**
➤ 1 fase

➤ **MISTURAS HETEROGÊNEAS**
➤ 2 ou mais fases

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Misturas homogêneas e heterogêneas:

Distinção entre solução e substância pura, pela medida da temperatura nas mudanças de estado.

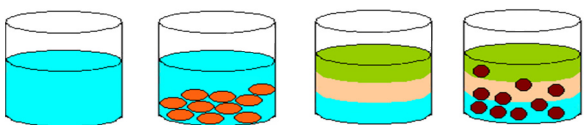
Substância pura = água = **ferve a temperatura constante.**

Pto. de ebulição de solução varia c/ concentração dos componentes:
Exemplo: água salgada, quanto maior for a % de sal dissolvido, maior será o ponto de ebulição.

Mistura de líquidos apresenta diferentes temperaturas de ebulição, uma p/ cada líquido. Pode-se separá-los pela destilação.
Exemplo: Petróleo.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Soluções e misturas:



➤ **SOLUÇÃO**
➤ 1 fase
Pode ser uma substância ou uma mistura homogênea

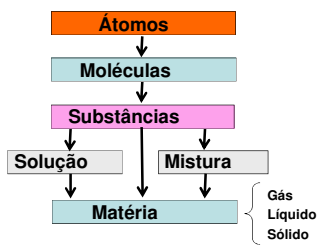
➤ **MISTURA**
➤ 2 fases

➤ **MISTURA**
➤ 3 fases

➤ **MISTURA**
➤ 4 fases

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Dos átomos a matéria:



Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

As transformações da matéria:

Podem ser físicas ou químicas.

Transformações físicas não alteram a identidade das substâncias.

Exemplos:

- Chumbo fundido (derretido) continua sendo chumbo.
- Água gelada, gelo, continua sendo água, agora no estado sólido.
- Um pedaço de alumínio pode ser retorcido e continua sendo alumínio.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

As transformações da matéria:

Transformações químicas:

Mais significativas do que as transformações físicas.
Substâncias são destruídas e novas são formadas.

Exemplo de transformação ou reação química:

Ferro ao exposto à água:

Ferro reage com o oxigênio e a água aparecendo a ferrugem.
A ferrugem é uma substância nova = o óxido de ferro. Reagentes = substâncias iniciais. (ferro, oxigênio e água)
Produtos = novas substâncias formadas. (óxido de ferro)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Leis das transformações químicas:

Primeira lei de Lavoisier, em 1774

Lei da conservação da massa:

A soma das massas dos produtos é igual a soma das massas dos reagentes.

Não há destruição, nem criação de matéria, apenas transformação.

Exemplo:
Queima de papel - decompõe em gases e cinzas.
Massa do papel = massa das cinzas + massas dos gases



Antoine Laurent Lavoisier França
1743-1794

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Leis das transformações químicas:

Segunda lei:

Lei das proporções definidas:

Mais importante propriedade de um composto, sua composição fixa em massa.

Exemplo:

Cloreto de sódio- 39,44% da massa total é sódio e 60,66% é cloro.
Água- 11,19% de hidrogênio e 88,91% de oxigênio.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Energia:

Termo bastante usado e de difícil definição.

Energia é a habilidade ou capacidade de produzir trabalho (transformação).

Formas: mecânica, elétrica, calor, nuclear, química e radiante.

Trabalho mecânico é realizado quando um objeto é movimentado contra uma força de oposição.

Exemplo:

Ao levantarmos um objeto, realizamos trabalho sobre o objeto, porque o deslocamos contra a força de oposição da gravidade.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Energia mecânica:

É a energia de um corpo devido a seu movimento ou posição.

Energia cinética: (E_k) - É a energia de movimento.
Depende da massa do corpo (m) e de sua velocidade (v).
 $E_k = \frac{1}{2} mv^2$

Energia potencial: (E_p)
Depende da posição do corpo, e não do seu movimento.
Corpo ganha E_p quando é levantado contra a força da gravidade.
A E_p depende da distância (d) movida pelo corpo e da força de oposição (F) ao seu movimento.
 $E_p = F \cdot d$
Energia pode ser transformada de uma forma para outra forma, não pode ser destruída e nem criada.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Calor e temperatura:

Calor - energia transferida de um corpo mais quente p/ um mais frio.

Temperatura - medida da energia cinética média das partículas de um corpo.

Quando o calor é transferido p/ um corpo: a energia cinética média de suas partículas aumenta. (temperatura aumenta = movimentos mais rápidos das partículas)

Algumas vezes a transferência de calor para um corpo não aumenta a sua temperatura, causa mudança de estado da matéria do corpo.

Exemplo:
Adição de calor ao gelo a 0°C , não causa aumento de temperatura.
O gelo forma água líquida a 0°C .
A energia na água líquida é maior do que a do gelo, a 0°C .

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Átomo:

Menor elemento das moléculas.

Partículas submicroscópicas de que toda a matéria é composta.

92 elementos naturais + elementos artificiais (criados pela física nuclear)

Dois grandes grupos: metais e metalóides.

O átomo é formado por:

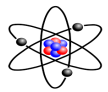
Núcleo - positivo.

Elétrons - satélites negativos.

Distribuídos camadas K, L, M, N, O, P, Q - em volta do núcleo, definindo níveis decrescentes de energia.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Átomo:



O núcleo contém prótons.

Todos os núcleos mais pesados que o hidrogênio possuem nêutrons.

Prótons e nêutrons constituem a maior parte da massa do átomo.

Prótons e nêutrons são partículas de mesma massa.

Próton possui carga positiva e o nêutron é eletricamente neutro.

O número de cargas elétricas positivas no núcleo tem seu correspondente número de cargas elétricas negativas, (elétrons).

Elétron é mais leve, tem cerca de $1/1.836$ da massa do próton.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

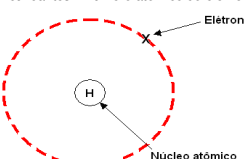
Os átomos:

O hidrogênio (H) é o mais simples dos elementos.

Núcleo de 1 próton e 1 elétron.

Segundo elemento é o hélio (He), 2 prótons e 2 elétrons.

O número de cargas positivas no núcleo de um átomo é sempre igual ao número de elétrons circundantes = número atômico do elemento.



Elétron

Núcleo atômico

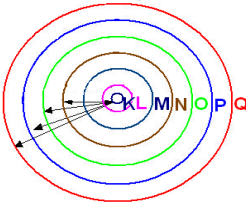
Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Átomo:

1913- Niels Bohr - (Prêmio Nobel de Física de 1922)

Núcleo rodeado por elétrons em órbitas, semelhante aos planetas em redor do Sol.

Série de Lyman




Theodore Lyman
EUA, 1874 - 1954



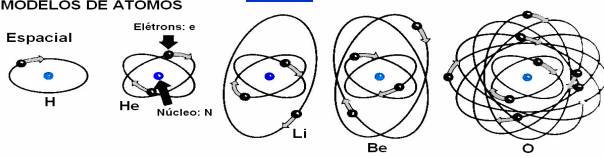
Niels Henrik David Bohr Dinamarca
1885 - 1962

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Átomo:

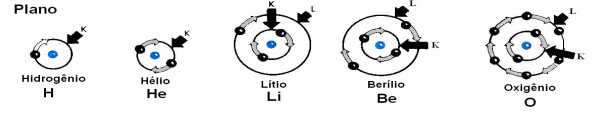
MODELOS DE ÁTOMOS

Espacial



H He Li Be O

Plano



Hidrogênio H Hélio He Lítio Li Berílio Be Oxigênio O

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Átomo:

O núcleo é composto por: prótons positivos e nêutrons.

Estas últimas equilibram as forças de repulsão dos prótons.

Constantes do núcleo:

Número de prótons Z

Determina o número atômico, 1 (hidrogênio) a 92 (urânio),
Indica igualmente a carga e o número de elétrons.

Número de massa A

Indica a soma de partículas prótons + nêutrons = massa atômica.

Cada elemento é tem um número atômico específico.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

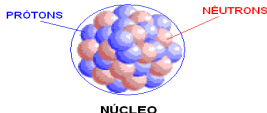
Átomo:

Simbolizadas da seguinte maneira:

Número de prótons Z

Número de massa A

Núcleo de urânio composto de 238 partículas
92 prótons e $(238 - 92) = 146$ nêutrons.



Exemplo: $\begin{matrix} 92 \\ \text{U} \\ 238 \end{matrix}$

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Grupo →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Período 1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
7	87 Fr	88 Ra		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Lantanídeos
La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

Actinídeos
Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr

Séries químicas da tabela periódica

Metais alcalinos² Metais alcalino-terrosos² Lantanídeos^{1,2} Actinídeos^{1,2} Metais de transição²
Metais Representativos Metalóides Não-Metais Halogênios³ Gases nobres³

¹Actinídeos e lantanídeos são conhecidos coletivamente como "Metais-terrosos raros".
²Metais alcalinos, metais alcalino-terrosos, metais de transição, actinídeos e lantanídeos são conhecidos coletivamente como "Metais".
³Halogênios e gases nobres também são não-metais.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

As moléculas:

Na maioria das substâncias, os átomos são agrupados em agregados de dois átomos ou mais.

Tal agregado de átomos é chamado de molécula.

Em uma molécula, os átomos componentes permanecem unidos por forças chamadas ligações químicas.

Molécula = composto de partículas de dois ou mais átomos quimicamente ligados um ao outro.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

As ligações atômicas:

Átomos com a camada periférica completa são muito estáveis: gases raros ou inertes.

Estabilidade permanente - átomo com 8 elétrons na última camada (2 no caso do hélio).

Este tipo de elementos químicos raramente se liga a outros tipos de átomos.

A maioria dos elementos químicos não é estável quando está sozinho, tendendo a formar compostos.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

As ligações atômicas:

A maioria das substâncias é composta por diversos elementos químicos diferentes, formando compostos estáveis.

As propriedades químicas dos átomos são função da última camada de elétrons.

O tipo de ligação química entre os elementos é determinado pelos elétrons do nível de valência, que definem a afinidade química dos elementos.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

As ligações atômicas:

Metais são elementos eletropositivos.

- Liberam facilmente os elétrons da camada periférica.

Metalóides são eletronegativos.

- Têm tendência a completar a sua última camada periférica.

O número de elétrons cedido pelos metais é igual ao número absorvido pelos metalóides, define o número de ligações ou valências.

Mono, bi, trí, valentes = 1, 2, 3, ... valências.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

As ligações entre átomos (atômicas):

As ligações entre os átomos, podem ocorrer por:

Abandono de elétrons, de um átomo em benefício de outro. (metal para metalóide).

Utilização em comum de elétrons periféricos para completar a última camada (metalóide para metalóide); ligação por **covalência**, estável e freqüente nos materiais plásticos.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

A coesão (ou ligação) entre as moléculas:

As moléculas atraem entre si pelas **forças de coesão polares**.

Devido à distribuição desigual das cargas positivas e negativas na molécula.

As forças de coesão determinam as propriedades físicas e químicas dos materiais.

São influenciadas pela temperatura, pressão, campos elétricos ou magnéticos, esforços mecânicos, etc.

O estado físico que os materiais se apresentam, é consequência das forças de atração entre os átomos e as moléculas que os constituem.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

As ligações atômicas:

Ligações primárias (fortes):

- Ligação iônica
- Ligação covalente
- Ligação metálica

Ligações secundárias – forças de van der Waals:

- Moléculas polares
- Dipolos induzidos
- Pontes de hidrogênio

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ligação iônica:

É a mais simples.

Forças Coulombianas (**recebendo e doando elétrons**).

A atração dá-se em todas as direções.

Atração entre íons de carga elétrica contrária (íons positivos- cátions e íons negativos-ânions).

Composto iônico - substância composta cujos componentes apresentam cargas elétricas.

Materiais em geral com baixa condutibilidade elétrica e térmica assim como baixa ductilidade.

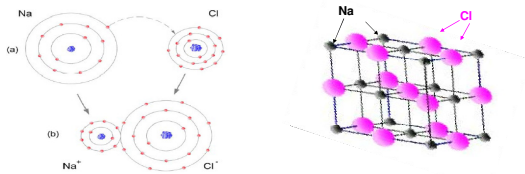
Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ligação iônica:

Exemplo:

Na⁺ e o Cl⁻ formam o NaCl, cloreto de sódio (sal de cozinha), sólido cristalino.

Um íon Na⁺ é envolvido por vários íons Cl⁻ e assim inversamente.



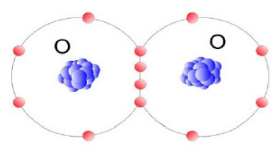
Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ligação covalente:

Ocorre por uma aproximação muito intensa entre dois elementos químicos.

Alguns elétrons da última camada de valência de um dos átomos circundam o núcleo do outro átomo e *vice-versa*.

Os elementos não perdem nem ganham elétrons, mas sim os compartilham.

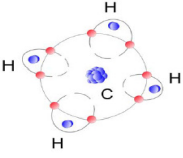


Molécula de oxigênio O₂

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ligação covalente:
Composto covalente:

Substância composta cujos componentes não apresentam carga elétrica e interagem entre si direcionalmente.



Molécula de metano CH_4

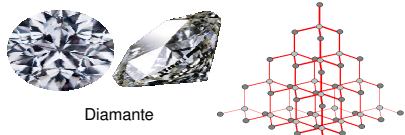
A força de ligação covalente é evidenciada no diamante, o material mais duro que se conhece, constituído inteiramente por carbono.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ligação covalente:
Diamante:

O carbono tem 4 elétrons na camada de valência, compartilhando-os com 4 átomos de carbono adjacentes, formando um reticulado tridimensional todo ligado por pares covalentes.

Desta forma, cada átomo de carbono está ligado covalentemente a outros quatro átomos de carbono, originando uma estrutura rígida a três dimensões.



Diamante

Somente átomos de carbono
Estrutura 3D

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ligação covalente:

O grafite como o diamante são constituídos por estruturas cristalinas de átomos de carbono, apenas diferindo no formato de estrutura que se apresentam. No grafite os átomos de carbono ligam-se a outros três, formando camadas (daí a potencialidade deste material para deslizar).



Grafite

Somente átomos de carbono
Estruturas 2D

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ligação metálica:

Átomos com poucos elétrons de valência podem perdê-los com facilidade.

Os demais são firmemente ligados ao núcleo.

Com a perda dos elétrons da última camada de valência, os átomos metálicos remanescentes tornam-se íons positivos.

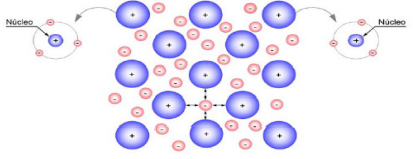
Com a saída dos elétrons da última camada, há um desbalanceamento elétrico, tendo o núcleo uma maior quantidade de cargas positivas do que a eletrosfera de negativas.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ligação metálica:

Íons positivos e elétrons "livres" (que fazem o papel de íons negativos) formam forças elétricas coulombianas de atração.

A ligação metálica pode ser considerada como uma **atração entre íons positivos e elétrons livres**.



Exemplo : cobre

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ligação metálica:

Os elétrons livres dão aos metais sua elevada condutibilidade elétrica e térmica.

"Nuvem" de elétrons absorve a energia luminosa, torna os metais opacos.

Metal: É uma substância simples, cujos constituintes são os próprios componentes e interagem entre si não-direcionalmente.

Composto metálico: Substância cujos componentes não apresentam carga elétrica e interagem entre si não-direcionalmente.

Materiais em geral com alta ductilidade.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Johannes Diederik van der Waals,
Holanda 1837-1923

Forças de van der Waals:

Ligação secundária fraca (entre moléculas), mas que também contribui para a atração interatômica.

Moléculas assimétricas originam dipolos elétricos.

O centro de carga positiva não coincide com o centro de carga negativa, originando o dipolo.

São forças de atração que não envolvem cargas individuais ou transferência de elétrons.

Existem entre todos os íons e átomos de um sólido, mas podem estar obscurecidas pelas ligações fortes presentes.

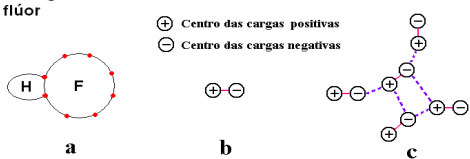


Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Forças de van der Waals:

H - hidrogênio
F - flúor

⊕ Centro das cargas positivas
⊖ Centro das cargas negativas



(a) nas moléculas assimétricas ocorre um desbalanceamento elétrico denominado polarização.

(b) Este desbalanceamento produz um dipolo elétrico com uma extremidade positiva e outra negativa.

(c) Os dipolos resultantes originam forças de atração secundárias entre as moléculas. A extremidade positiva de um dipolo é atraída pela negativa de outro.

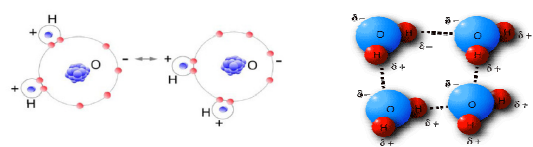
Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Forças de van der Waals:

Pontes de hidrogênio:

Caso particular de atração por moléculas polares, em que a carga positiva do núcleo do átomo de hidrogênio de uma molécula é atraída pelos elétrons de valência de átomos de moléculas adjacentes.

Exemplo: água (molécula polar)



Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

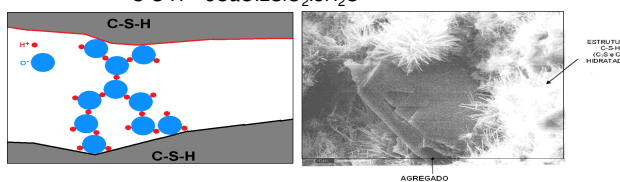
Forças de van der Waals:

Pontes de hidrogênio

Pasta de cimento hidratado – Estruturas C-S-H

Estruturas C-S-H formam lamelas muito próximas 5 a 25Å (1 Å= 10⁻¹⁰m) unidas através de pontes de hidrogênio (H₂O).

$C-S-H = 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$



Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Microestrutura da matéria - Arranjos atômicos:

Os arranjos das estruturas moleculares, que formam a microestrutura da matéria são diferentes a cada fase ou estado.

Sólidos = as moléculas estão muito próximas, mantêm-se no lugar pelas forças de atração e coesão.

Pode-se obter um **líquido** a partir de um sólido, pela diminuição das forças de atração ou de coesão.

Um **gás** é obtido pela supressão da quase totalidade das forças de atração ou de coesão.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Microestrutura da matéria - Arranjos atômicos:

Nos sólidos a disposição geométrica regular das moléculas no conjunto da massa caracteriza o estado cristalino.

Disposição irregular das moléculas caracteriza o estado amorfo.

Um corpo cristalizado é anisotrópico, isto é, as suas propriedades variam segundo a direção em que são medidas.

Os metais possuem estrutura cristalina.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estrutura cristalina:

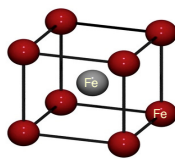
Moléculas com regularidade estrutural.
Ligações determinam a orientação no espaço e o número de vizinhos para cada átomo.

Materiais importantes para a construção civil tem arranjos cristalinos.
As superfícies planas dos cristais de pedras preciosas são manifestações dos arranjos cristalinos.

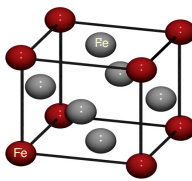
Exemplos:
Sal de cozinha forma cubos devido a estrutura cristalina do NaCl.
MgO e Ferro (aço) tem estrutura cristalina cúbica.
Ca(OH)₂ forma prismas hexagonais.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estrutura cristalina:



Cristais de ferro na forma cristalina CCC

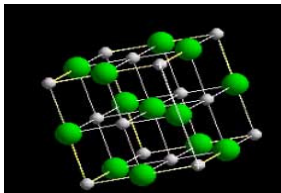


Cristais de ferro na forma cristalina CFC

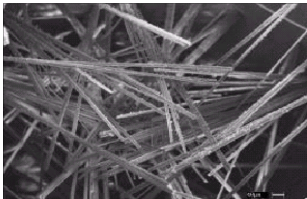
Velocidade de resfriamento, porcentagens de carbono e outros fatores afetam a microestrutura do aço e sua ductilidade.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estrutura cristalina:



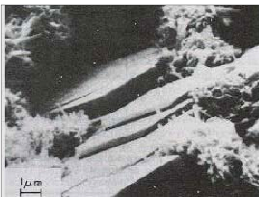
Sal de cozinha, esferas verdes são os átomos de cloro (Cl⁻) e as esferas cinzas os átomos de sódio (Na⁺)



Cristais de produtos de cimento Portland hidratado

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estrutura cristalina:

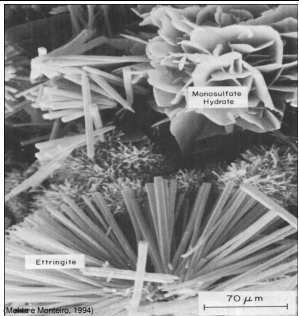



Micrografias de MEV mostrando as estruturas hexagonais dos cristais de Ca(OH)₂ (ou estruturas C-H)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estrutura cristalina:

Micrografia eletrônica (MEV) de cimento Portland hidratado mostrando os cristais de etringita e monossulfato hidratado.



Monossulfato Hidratado

Etringite

(Makino e Morioka, 1994)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estrutura cristalina:

Todos os cristais têm reticulado cristalino, que obedece a uma das 14 formas geométricas possíveis (reticulados de Bravais).

Cada grupo espacial tem uma capacidade maior ou menor de adaptar-se às solicitações externas a que seja submetido.

A visualização e a identificação do reticulado cristalino é possível através de microscopia eletrônica.



MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estrutura cristalina:

Triclinico $\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$

Hexagonal $\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$

Romboédrico $\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$

Monoclinico $\alpha \neq 90^\circ, \beta, \gamma \neq 90^\circ$

Tetragonal $\alpha \neq 90^\circ, \beta, \gamma \neq 90^\circ$

Ortorrômbico $a \neq b \neq c$

Cúbico $a = b = c$

Cal hidratada

CCF

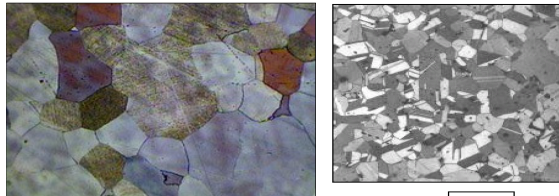
CFC

aço

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estrutura cristalina:

Os metais são compostos por aglomerados de cristais, formando uma estrutura granular perfeitamente visível.



0 0,25 mm

Metalografias mostrando os grãos de cristais de um aço manganês (esquerda) e liga zinco-níquel (direita).

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Estrutura cristalina:

Cristais de zinco oxidado são visíveis na superfície de um poste de aço galvanizado. Variações nas tonalidades de cinza são decorrentes das diferentes orientações dos cristais.



Freitas Jr., J.

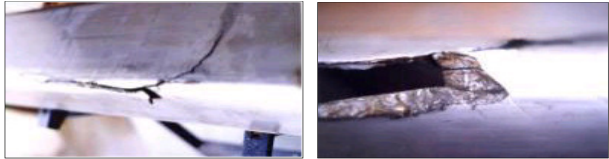
Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

MICROESTRUTURA DOS METAIS

Análise Macrográfica

Aparência da fratura

Detalhe a baixo aumento



Ruptura no raio de dobramento com ramificação transversal.

A superfície da fratura é rugosa e não se observa deformação plástica.

Análise metalográfica:
Ruptura de viga metálica por fratura nas superfícies dos cristais.

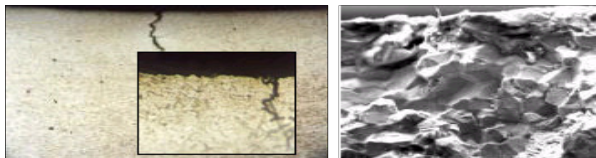
Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

MICROESTRUTURA DOS METAIS

Análise Micrográfica

Seção metalográfica

Detalhe a alto aumento



Trinca com origem no raio interno de curvatura. Na imagem menor se observa microtrinca (0,05 mm) paralela à fratura iniciada em um *pitting*.

A superfície da fratura e das trincas é intergranular frágil.

Análise metalográfica:
Fissura iniciada em *pitting* de corrosão.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Sólidos amorfos - estrutura amorfa (ou vítrea):

Não apresentam ordem estrutural em um estado normal.

Alguns materiais mudam de estrutura cristalina para amorfa e vice-versa, de acordo com a temperatura.

Usa-se este fenômeno no CD regrável.

O arranjo cristalino é a forma de organização da matéria de mínima energia.

Estado cristalino é o mais estável p/ qual todo processo de transformação tende.

Substâncias comuns são sólidos amorfos: vidro, poliestireno e ... algodão-doce.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Sólidos amorfos - estrutura amorfa (ou vítrea):

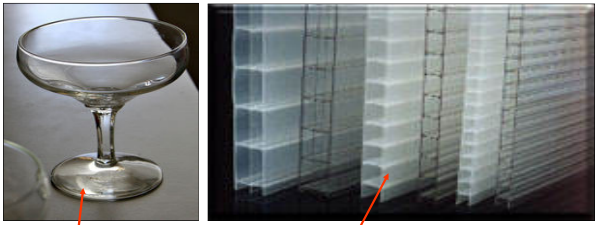
Nos materiais amorfos, na solidificação, reduz-se a capacidade de mobilidade das moléculas, antes que elas se arranjam em posições mais cristalinas.

A não ser que o material tenha alta resistência à fusão (como cerâmicos) ou baixa energia de cristalização (como os polímeros), a preparação de um sólido amorfo deve ser extremamente rápida.

Materiais amorfos podem existir em estados "borrachosos" e estados "vítreos".

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Sólidos amorfos - estrutura amorfa (ou vítrea):



Vidro comum Policarbonato

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Sólidos amorfos - estrutura amorfa (ou vítrea):



Basalto

Silica ativa ou microsilica (aditivo p/ obter Concreto de Alto Desempenho - CAD)

Fotografia por Microscopia Eletrônica de Transmissão, mostrando partículas individuais de silica de fumo. (Fidjestol e Lewis, 1998)

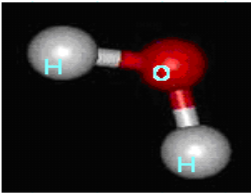
Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Água – Conceitos gerais:

É o estado líquido do composto hidrogênio e oxigênio: H_2O .

1804, Gay-Lussac e A. Von Humboldt:



Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Calor específico: c

Grandeza física que define a variação térmica de uma substância ao receber determinada quantidade de calor.

O c da água é muito alto, fazendo com que a água atue de forma importante no equilíbrio da temperatura dos sistemas, impedindo mudanças bruscas de temperatura.

A unidade do c no SI é J/kg.K (Joule por quilograma Kelvin). Uma outra unidade mais usual para c é cal/g. °C

Calor específico = c

Capacidade térmica de um corpo = C

Massa do corpo = m

$$c = \frac{C}{m}$$

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Calor específico: c

É possível determinar o c de uma substância a partir da quantidade de calor cedida a um corpo dessa substância, da variação térmica que ele sofre, e da massa desse corpo.

O c da água é o número de calorias necessárias para elevar a temperatura de 1 grama de água de 14,5°C para (15,5°C) é o valor mais alto entre os solventes comuns.

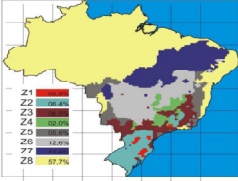
Quanto maior o c de uma substância, menores variações de temperatura ela experimenta.

Água atua como importante fator de termorregulação.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Capacidade térmica - Aplicações na engenharia:

NBR 15.575-2013
Desempenho de edificações - Vedações verticais



Exigências da Norma quanto a capacidade térmica das vedações para garantir o isolamento térmico adequado das edificações

Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ / m².K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

NBR 15.220 – Zonas bioclimáticas

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Capacidade térmica - Aplicações na engenharia:

Capacidade térmica

Para determinar padrões mínimos de desempenho de isolamento térmico de vedações verticais, a NBR 15.575/2013 – Desempenho de edificações, exige limites de Transmitância e Capacidade térmica.

Paraná: Curitiba Z1, interior Z2, Litoral Z3

Transmitância Térmica U W/m².K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α* ≤ 0,6	α* > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

* α é absorvência à radiação solar da superfície externa da parede.

Capacidade térmica (CT) kJ / m².K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

CT = (ei) . Ci . pi

Onde:
e: espessura da camada
c: calor específico do material da camada
p: densidade de massa aparente do material da camada

$U = 1 / RT$ (W/m².K)
 $R = e / \lambda$ (W/m².K)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Capacidade térmica - Aplicações na engenharia:

Capacidade térmica

Ensaio de laboratório (IPT) de diferentes sistemas de vedações



Tijolo maciço: Espessura 10 cm, revestimento em argamassa
• U = 3,13 W/(m².K)
• C_p = 255 kJ/(m².K)



Blocos cerâmicos de 6 furos: Espessura 14 cm, revestimento em argamassa
• U = 2,02 W/(m².K)
• C_p = 192 kJ/(m².K)



Tijolo maciço: Espessura 20 cm, revestimento em argamassa
• U = 2,25 W/(m².K)
• C_p = 445 kJ/(m².K)



Blocos cerâmicos de 8 furos: Espessura 19 cm, revestimento em argamassa
• U = 1,80 W/(m².K)
• C_p = 231 kJ/(m².K)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Capacidade térmica - Aplicações na engenharia:

Capacidade térmica

Ensaio de laboratório (IPT) de diferentes sistemas de vedações



Blocos de concreto: Espessura 19 cm, revestimento em argamassa
• U = 3,00 W/(m².K)
• C_p = 220 kJ/(m².K)



Blocos de concreto: Espessura 9 cm, revestimento em argamassa
• U = 3,66 W/(m².K)
• C_p = 160 kJ/(m².K)



Parede de concreto maciço: Espessura 10 cm,
• U = 4,40 W/(m².K)
• C_p = 240 kJ/(m².K)

IPT

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

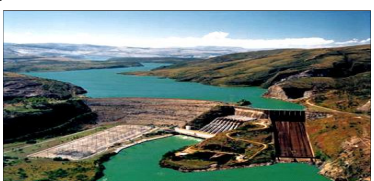
Calor específico - Aplicações na engenharia:

Pós-resfriamento de grandes massas de concreto:

A hidratação do cimento Portland é exotérmica.

Grandes massas de concreto, como barragens geram enormes quantidades de calor.

A concentração e lenta dispersão deste calor é lenta e complexa, levando a formação de gradientes de temperaturas.

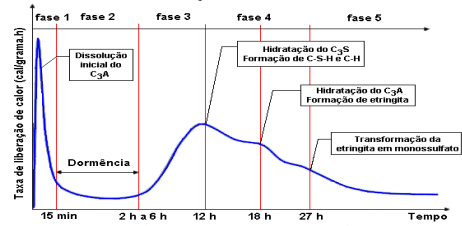


Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Calor específico - Aplicações na engenharia:

Pós-resfriamento de grandes massas de concreto:

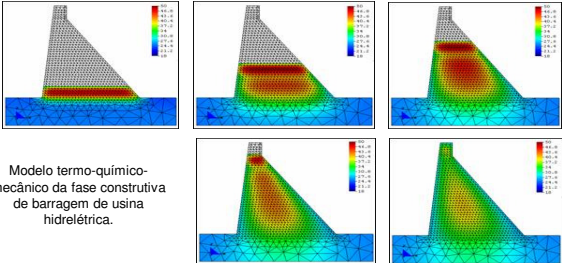
Calor de hidratação do cimento Portland



Período de bombeamento de água resfriada

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Calor específico - Aplicações na engenharia:
Pós-resfriamento de grandes massas de concreto:



Modelo termo-químico-mecânico da fase construtiva de barragem de usina hidrelétrica.

(E. M. R. Faribairn, F. L. B. Ribeiro, R. D. Toledo F.)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Calor específico - Aplicações na engenharia:
Pós-resfriamento de grandes massas de concreto:

Maciços de concreto com gradientes de temperaturas levam ao surgimento de tensões internas, que podem fissurar seriamente a estrutura.

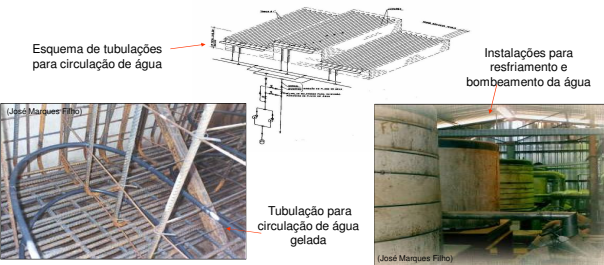
Para reduzir as temperaturas dentro do concreto, é comum a aplicação de processos de **pré e pós-resfriamento**.

Pós-resfriamento - utiliza-se do alto calor específico da água, por meio de tubulações metálicas instaladas preliminarmente dentro das estruturas, bombeia-se água resfriada.

A grande capacidade térmica da água retira o calor de dentro do concreto.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Calor específico - Aplicações na engenharia:
Pós-resfriamento de grandes massas de concreto:



Esquema de tubulações para circulação de água

Instalações para resfriamento e bombeamento da água

Tubulação para circulação de água gelada

(José Marques Filho)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Calor específico - Aplicações na engenharia:
Pré-resfriamento - Para minimizar o aumento de temp. do concreto, usa-se resfriar os materiais dos quais ele é produzido, imediatamente antes da mistura. Refrigera-se a água a temperaturas abaixo de 5°C. Pode-se refrigerar os agregados e o concreto com nitrogênio líquido. As rochas tem menor *c* do que a água. Estas operações também geram um retardo nas reações de hidratação do cimento.



Pré-resfriamento do concreto com nitrogênio líquido

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Pré-resfriamento do concreto com nitrogênio líquido



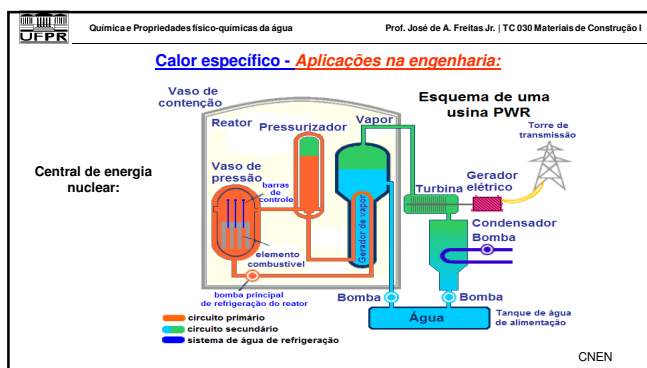
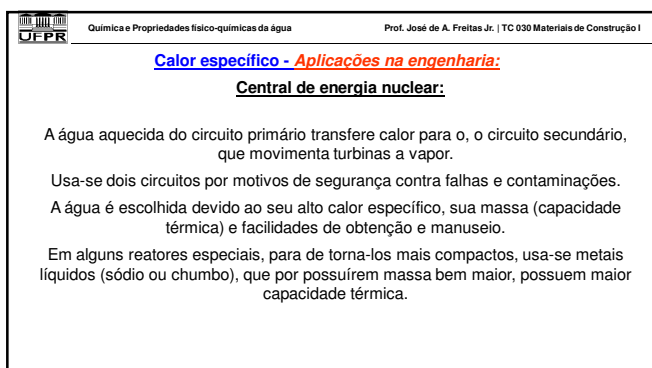
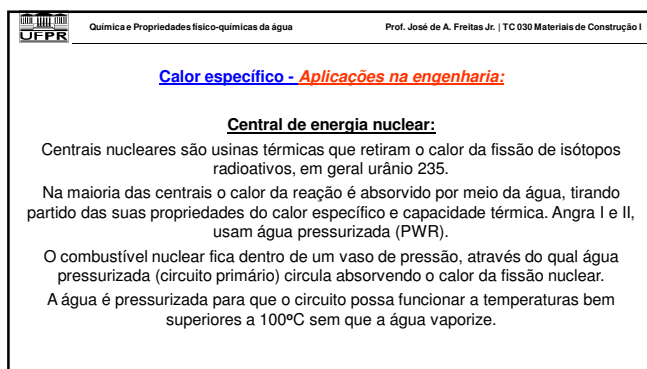
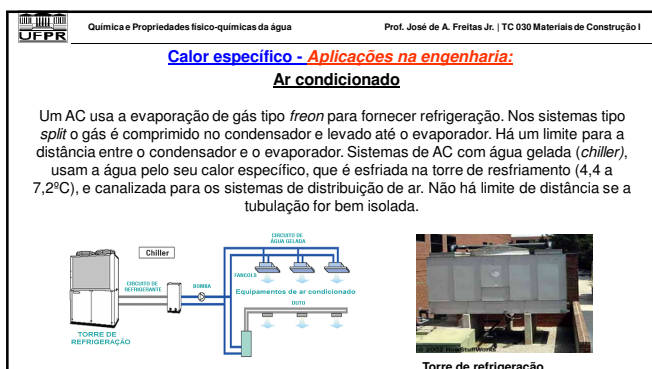
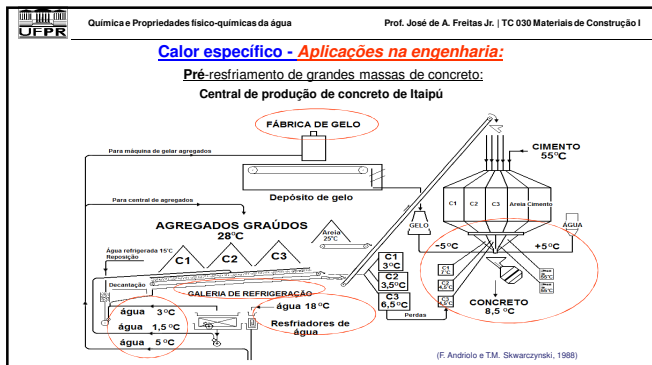
Arquivo: Filmes concreto / Concretagem / Resfriamento com nitrogênio

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Calor específico - Aplicações na engenharia:
Pré e Pós-resfriamento de grandes massas de concreto:

Central de produção de concreto de Tucuruí





Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

pH:

pH = Potencial Hidrogeniônico

ácido neutro alcalino

A escala de pH varia de 1 a 14 e indica a concentração de íons H^+ presentes na água.

O valor do pH indica se a água tem caráter ácido, neutro ou básico (ou alcalino).

pH < 7: caráter ácido pH > 7: caráter básico
pH = 7: caráter neutro

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:

Interação química da água com o vidro e o porcelanato:

Por possuírem alta concentração de sílica os vidros e porcelanatos são muito resistentes a soluções ácidas e levemente básicas (pH < 9).

Uma solução alcalina com pH > 9 ataca a estrutura de sílica fazendo com que sua superfície perca o brilho e adquira uma certa coloração como manchas de óleo e, este fenômeno é conhecido como irisação.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:

Interação química da água com o vidro e o porcelanato:

Vidro irisado Porcelanato atacado

O ataque frequente, ou muito prolongado pode manchar a superfície.

Nos estágios iniciais a limpeza com pano úmido com produtos ácidos pode resolver o problema.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Poder de dissolução:

Solventes são substâncias capazes de dissolver coisas.

Dissolução de água e sal de cozinha, a água é o solvente porque dispersa no seu interior o sal.

A água tem poder de dissolução muito grande.

A água é designada solvente universal - dissolve a maioria das substâncias.

Propriedade importante, pois muitas reações químicas, como a hidratação do cimento Portland, ocorrem em solução.

A água é importante meio de transporte de substâncias dentro e fora dos materiais sólidos.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:

Deterioração do concreto por ataque de sulfatos:

A água solubiliza agentes agressivos ao concreto como ácidos, sulfatos e outros.

Com estes agentes dissolvidos, penetra nos poros do concreto.

Agentes agressivos reagem com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento endurecida, gerando uma reação expansiva.

Reação com sulfato de sódio:

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

gesso

Reação com sulfato de cálcio:

$$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 16H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O + Ca(OH)_2$$

aluminato gesso etringita

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:

Deterioração do concreto por ataque de sulfatos:

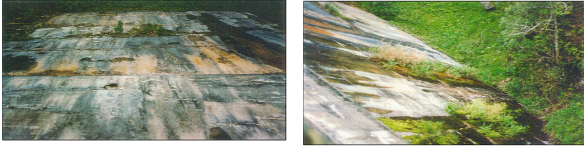
Estrutura de concreto atacada por sulfatos

(Joana S. Coutinho) (Joana S. Coutinho)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:
Deterioração do concreto – dissolução por água pura:

Barragem do Vossoroca:
 Barragem de gravidade com altura 21 m por 152 m de comprimento, encontrando-se com aproximadamente 40 anos de idade na época.



Acúmulo de material percolado nas juntas de concretagem.

Incrustações ao longo das juntas frias, a jusante da barragem 33 m³ de material.

(José Marques Filho - COPEL)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:
Deterioração do concreto – dissolução por água pura:

Barragem do Vossoroca - Patologias apresentadas na barragem :



Detalhe de porosidade e junta de concretagem.

Paramento de montante superficialmente decomposto, com os agregados perfeitamente visíveis em diversas regiões, juntas frias perfeitamente delineadas e indicando permeabilidade pela região.

(José Marques Filho - COPEL)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:
Deterioração do concreto – dissolução por água pura:

Barragem do Vossoroca - Ensaios de verificação :

Extraídos testemunhos verticais, (diâmetro 5 cm) que apresentaram grande decomposição do concreto nas regiões das juntas frias de concretagem, mais na região de jusante.

As amostras esfarelavam nas regiões das juntas.

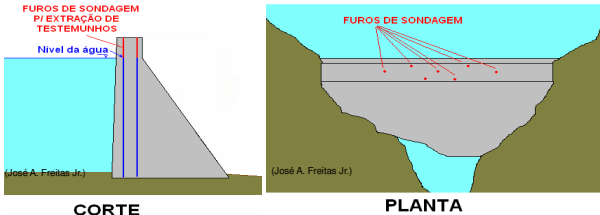
O concreto apresentava até 18 % de perda de massa.

A barragem encontrava-se saturada de água.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:
Deterioração do concreto – dissolução por água pura:

Barragem do Vossoroca - Ensaios de verificação :



FUROS DE SONDAGEM p/ EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS

Nível da água

(José A. Freitas Jr.)

CORTE

PLANTA

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:
Deterioração do concreto – dissolução por água pura:

Barragem do Vossoroca:

Reparos executados :

Esvaziado o reservatório, deixado 5m de água, p/ facilitar a impermeabilização do bordo de montante.

Furos a cada 4m e injetado pasta de cimento com sílica-ativa (minimiza a permeabilidade e retração).

Alguns furos foi mais de 30m³ de calda.

Retorno com perfurações a cada 2m. Regiões mais afetadas com furos a cada metro.

Bordo de montante impermeabilizado após limpeza.

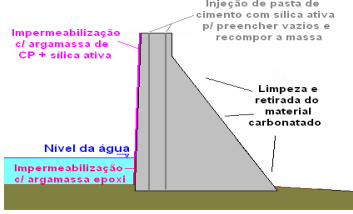
Impermeabilização acima da linha da água c/ argamassa de cimento+sílica-ativa, embaixo d'água c/ argamassa epóxi.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Poder de dissolução - Aplicações na engenharia:
Deterioração do concreto – dissolução por água pura:

Reparos executados :

Barragem do Vossoroca:



Injeção de pasta de cimento com sílica ativa p/ preencher vazios e recompor a massa

Limpeza e retirada do material carbonatado

Nível da água

Impermeabilização c/ argamassa epóxi

(José A. Freitas Jr.)

CORTE

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Meio de transporte:
Transporta substâncias dentro ou fora dos materiais sólidos, levando agentes agressivos para dentro dos materiais sólidos e arrastando os resíduos para fora.

Aplicações na engenharia

Carbonatação da superfície de estruturas de concreto:
Água da chuva penetra dentro do concreto por seus poros.
No interior a água solubiliza o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , que corresponde a 30 % da pasta de cimento hidratada.
Quando a umidade no ar se reduz, o Ca(OH)_2 vem p/ superfície carregado pela água.
Em contato com o ar, o Ca(OH)_2 reage com o gás carbônico CO_2 . Reação de carbonatação - concreto com a superfície esbranquiçada.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia - Meio de transporte

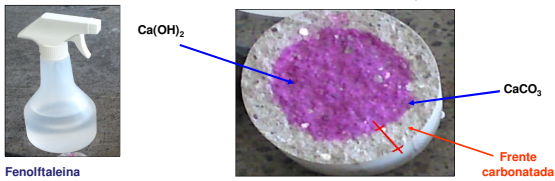
Carbonatação da superfície de estruturas de concreto:
 $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (a água atua como catalisador)
 Ca(OH)_2 = hidróxido de cálcio (cal hidratada)
 CO_2 = dióxido de carbono (gás carbônico)
 CaCO_3 = carbonato de cálcio
A reação de carbonatação reduz o pH do concreto.
 $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{pH} = 13,5$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow 9,5$
Armadura dentro de concreto com $\text{pH} > 11,5$ normalmente não sofre corrosão. Exceção em contaminação por cloreto Cl.
Quando o pH do concreto armado cai p/ baixo de 11,5 pode iniciar o processo de corrosão do aço.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia - Meio de transporte

Carbonatação da superfície de estruturas de concreto:
Determinação da frente carbonatada, através da fenolftaleína, que reage quimicamente com o Ca(OH)_2 , marcando a área com $\text{pH} > 11$ com a cor vermelho-carmim.
A camada na cor branca está carbonatada (CaCO_3).



Fenolftaleína

Ca(OH)_2

CaCO_3

Frente carbonatada

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia - Meio de transporte

Carbonatação da superfície de estruturas de concreto:
Estádio do Morumbi - Corrosão das armaduras



Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia - Meio de transporte

Eflorescências:
Manchas esbranquiçadas que surgem nas superfícies dos revestimentos. Ocorre quando a pressão de vapor do substrato emboço/reboco, hidratado for maior que a do vapor de água na atmosfera.
A secagem do substrato dá-se pela eliminação de água sob forma de vapor, que arrasta materiais alcalinos (da cal ou cimento) solúveis do interior p/ superfície pintada, causando a mancha.
Edifício da FAU - USP



(Granat-BASF)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia - Meio de transporte

Eflorescências:
Pinturas: Tinta aplicada sobre o reboco úmido ou com infiltrações e/ou vazamentos.
Manchas esbranquiçadas que surgem na superfície devido ao carregamento de materiais, dissolvidos do substrato emboço/reboco, e trazidos pela água para a superfície.
Eflorescências através de tinta acrílica.



Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:
Aplicações na engenharia - Meio de transporte

Eflorescências:

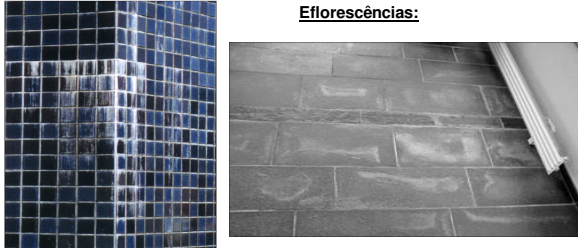


Eflorescências através de tijolos cerâmicos Pelas juntas de alvenarias de blocos de concreto.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:
Aplicações na engenharia - Meio de transporte

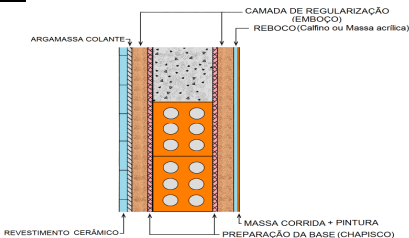
Eflorescências:



Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:
Aplicações na engenharia - Meio de transporte

Eflorescências: Esquemas de sistemas para revestimento de paredes



Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Tensão superficial:

A superfície livre dos líquidos em equilíbrio se comporta como uma membrana tensa (esticada).

Entre as moléculas que constitui a matéria (sólidos e líquidos) existem forças de interação de origem elétrica.

Tensão superficial surge graças à presença destas forças atrativas em são explicadas pelo modelo cinético-molecular.

Forças que adquirem valores consideráveis quando a distância entre as moléculas é cerca de 10^{-6}cm , (líquidos e principalmente nos sólidos).

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Tensão superficial:

Moléculas no interior do líquido:

Cada uma é cercada e atraída por outras moléculas.

Se as forças que atuam nesta molécula forem somadas vetorialmente, obteremos uma força resultante média nula.

Moléculas na superfície do líquido:

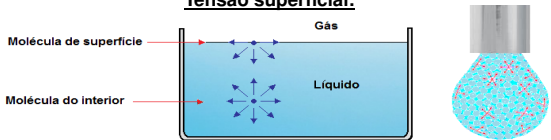
Existe uma força resultante dirigida para o interior do líquido.

As moléculas da superfície são mantidas ligadas ao restante da massa, pelas forças de interação elétrica.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Tensão superficial:



A tensão superficial apresenta algumas características:

- Tem o mesmo valor em todas as direções.
- Não depende da espessura e extensão da membrana.
- Varia c/ temperatura e com a natureza da superfície de contato.
- Diminui conforme aumenta a temperatura.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Tensão superficial:

Água tem grande tensão superficial.

Moléculas com cargas aderem fortemente às moléculas de água, o que permite a estabilidade coloidal das pastas de aglomerantes como a cal, gesso e cimento Portland.

A tensão superficial está relacionada com a diferença de **pressão** entre os dois lados de uma interface pela equação de **Laplace**, em que R_1 e R_2 são os raios de curvatura da interface.

$$\Delta P = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$


Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia - Tensão superficial:

Aditivos p/ concreto que modificam a tensão superficial da água:

Finalidade:

Aumentar a plasticidade por diminuir o atrito, afastando por repulsão elétrica os grãos de cimento.



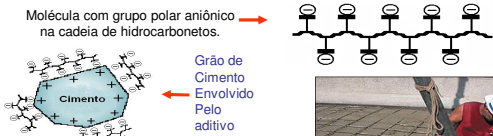
Efeito de aditivos superplastificantes (outra forma de tensoativo)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Aplicações na engenharia - Tensão superficial:

ADITIVOS TENSOATIVOS: SUPERPLASTIFICANTES – SP

Molécula com grupo polar aniônico na cadeia de hidrocarbonetos.



Grão de Cimento Envolvido Pelo aditivo

Antes Depois

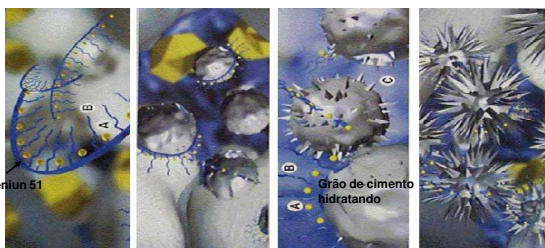
água

Concreto Auto-adensável

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Aplicações na engenharia - Tensão superficial:

ADITIVOS TENSOATIVOS: SUPERPLASTIFICANTES – SP



Glenium 51

Grão de cimento hidratando

Ação superplastificante – Glenium 51 – MBT/BASF

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

SUPERPLASTIFICANTES – SP



Arquivo: Filmes concreto / Aditivos / Superplastificante em pó

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

SUPERPLASTIFICANTES – SP

Concreto com SP

100 g de SP ou 1% do peso do cimento



Concreto sem SP

Concreto com SP

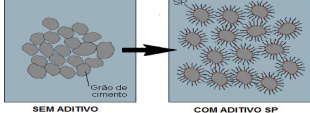
Arquivo: Filmes concreto / Slump: tes aditivo e sem / Slump: Test - Aditivo Plastificante

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Aplicações na engenharia - Tensão superficial:

ADITIVOS TENSOATIVOS: SUPERPLASTIFICANTES – SP

Possibilita a produção de concretos de alta resistência (CAD/CAR)



Grão de cimento

SEM ADITIVO COM ADITIVO SP



ADVA 170 GRACE



Burj Dubai 80 MPa

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Capilaridade:

Líquidos podem fluir, suas partículas se movem independentemente, não tanto como as de um gás.

Forças de coesão agem entre as partículas do líquido.

Entre estas e o material em que estão encostados existe uma de força de adesão.

O efeito das forças de adesão e coesão = capilaridade (consequência da tensão superficial).

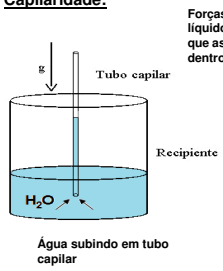
Capilaridade: é a propriedade dos fluidos de subir ou descer em tubos muito finos.

A capilaridade atua no sentido de puxar o líquido para cima. A altura alcançada depende da tensão superficial e do raio do tubo capilar.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Capilaridade:



Forças adesivas líquido/vidro mais fortes que as forças coesivas dentro do líquido

Mercúrio

Água

Forças coesivas mais fortes que as adesivas, as bordas da superfície curvam-se para dentro

Tubo capilar

Recipiente

H₂O

Água subindo em tubo capilar

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia - Capilaridade:

A umidade do solo sobe pela parede por falta de impermeabilização da viga de baldrame.



As eflorescências na parte inferior da parede causam a decomposição da pintura e do emboço.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia - Capilaridade:



(José A. Freitas Jr.)

Patologia de difícil solução corretiva

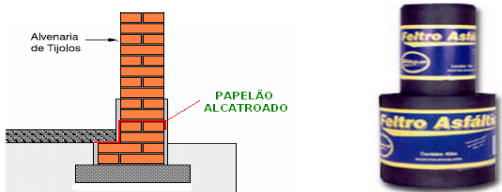
Preventivamente deve-se aplicar uma tira de papelão alcatroado sobre o baldrame.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia - Capilaridade:

Uma tira de papelão alcatroado (feltro asfáltico) sobre o baldrame, antes do erguimento das elevações, veda a interface parede x fundações, impedindo que a umidade suba por capilaridade e o surgimento de patologias.



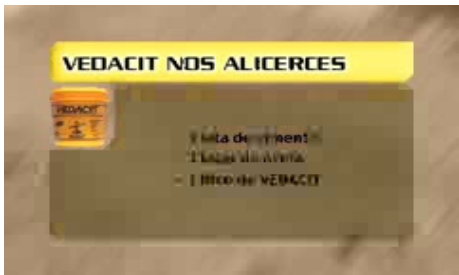
Alvenaria de Tijolos

PAPELÃO ALCATROADO

Feltro Asfáltico

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Impermeabilização de baldrame com argamassa impermeável



Arquivo: Filmes concreto / Impermeabilização / vedacit01

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Impermeabilização de baldrame com emulsão asfáltica



Arquivo: Filmes concreto / Impermeabilização / VEDASIKA IGOL 2 baldrame

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Retração em concreto

Quando um concreto endurece e seca, a água presente nos poros sai para a atmosfera.

Esta saída origina pressões capilares, formando mísulas (tensão superficial) que "puxam" as paredes no sentido que estas se aproximem.

O concreto perde volume ou sofre retração, fenômeno que pode originar fissuras.

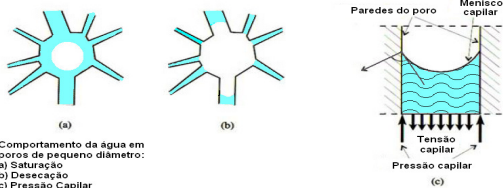
Procedimentos de cura p/ minimizar retração:

Manter o concreto saturado com água, nos primeiros dias, p/ água não sair enquanto não alcança boa resistência mecânica.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Retração em concreto



Comportamento da água em poros de pequeno diâmetro:

a) Saturação
b) Dessecação
c) Pressão Capilar

Paredes do poro Menisco capilar
Tensão capilar
Pressão capilar

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Retração em concreto



Fissuras por retração

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Retração em concreto- Procedimentos de Cura:



Sacos de anelagem encharcados

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Retração em concreto- Procedimentos de Cura:



Aplicação de filme de (0,1mm) polietileno

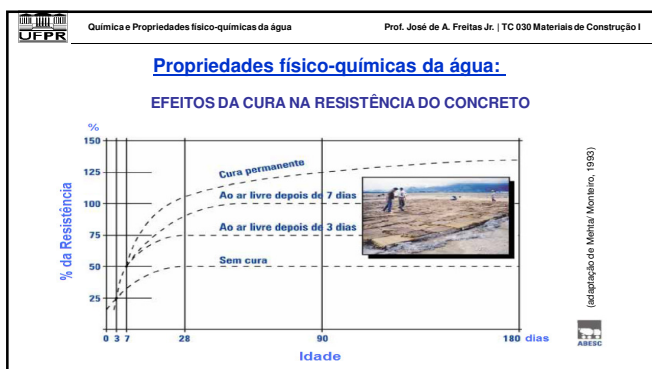
Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Retração em concreto- Procedimentos de Cura:



Aplicação de agente de cura sobre concreto fresco.



Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Piso de concreto com cura por aplicação de filme de polietileno sobre a superfície molhada



Narration & Video by Mike Green
Owner, Green's Contracting Services

Análise: Filmes concreto / Cura / Water Curing

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Piso de concreto com aplicação cura "química"



Análise: Filmes concreto / Cura / Chemical Curing

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Pressão de vapor:

"Umidade do ar" é a medida da quantidade de vapor de água contida numa dada porção de atmosfera.

Pressão de vapor é a pressão exercida por um vapor quando este está em equilíbrio com o líquido que lhe deu origem.
(depende da temperatura)

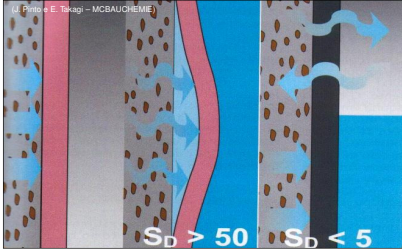
Líquido, evapora até atingir a pressão de vapor para a temperatura, ficando em estado de equilíbrio. Entra em ebulição quando sua pressão de vapor iguala-se à pressão atmosférica.

A pressão de vapor pode atuar de forma importante no âmbito das edificações. Argamassas de cimento e concreto são materiais que contém muita água.

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Pressão de vapor - até 1,5 MPa



Prof. E. Tógo - MCBALCHERIE

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia – Pressão de vapor:

Bolhas em pinturas sobre alvenarias ou concreto:

A pressão de vapor surge dentro de argamassas ou concreto, decorrente da variação da temperatura ou da pressão atmosférica.

Pequenas quantidades de água contidas no interior destes materiais se transformam em vapor.



Bolhas em pinturas

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia – Pressão de vapor:

Bolhas em pinturas sobre alvenarias ou concreto:



Bolhas em pinturas

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

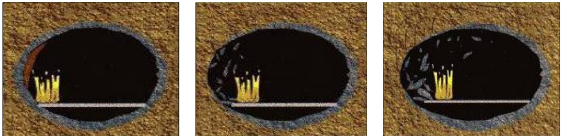
Aplicações na engenharia – Pressão de vapor:

Lascamento de concreto devido ao calor:

Incêndios levam a bruscas elevações da temperatura.

A água nos poros do concreto forma o vapor, que cria tensões internas elevadas dentro das argamassas e do concreto.

A pressão de vapor dentro destes materiais leva ao "spalling" ou lascamento.



Seqüência de incêndio em túnel. (Juçara Tanesi e Andréia Ninco – TECHNE set./2002)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

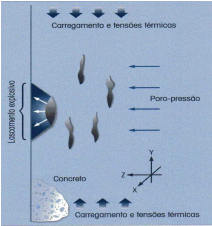
Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia – Pressão de vapor:

Lascamento de concreto devido ao calor:



Eurotúnel após incêndio
(C. N. Costa, A. D. Figueiredo e V. P. Silva, de ULM, 2000)



O fenômeno do "spalling" (Rhoumy, 2002)

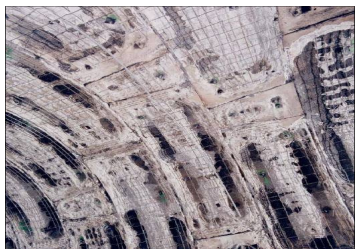
Lascamento

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:

Aplicações na engenharia – Pressão de vapor:

Lascamento de concreto devido ao calor:



Eurotúnel após incêndio

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:
Aplicações na engenharia – Pressão de vapor:
Lascamento de concreto devido ao calor: Viaduto em SP, 1998



(Gravado: BAS)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Propriedades físico-químicas da água:
Aplicações na engenharia – Pressão de vapor:
Lascamento de concreto devido ao calor: Viaduto em SP, 1998



(Gravado: BAS)

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Ação do fogo em grandes estruturas

New York City
9/11/01



Arquivo: Filmes concreto / Durabilidade / Incêndio em estruturas

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

Em quanto a bomba de concreto não vem....



Arquivo: Filmes concreto / Filmes engraçados / cementing_in_africa

Química e Propriedades físico-químicas da água Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

(TC-030) MATERIAIS I – Propriedades físico-químicas da água

Referências bibliográficas:

www.wikipedia.org
www.cienciaquimica.hpg.lq.com.br/quimicainorganica/formulasquimicas.htm
 CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear
 MATERIAIS, A. Remy, M. Gray e R. Gonthier, São Paulo – SP, Ed. Hemus, 1993.
 Apostila AÇOS do Prof. Paulo R. do Lago Helene – USP- SP.
 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, Capítulo 6
 – Estrutura Atômica e Molecular dos Materiais, Oswaldo Cascudo, IBRACON, 2007.