

Monografia

" CONCRETO REFRACTÁRIO – CONSTITUINTES, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES "

Autor: Lucas Ramos Cardoso

Orientador: Prof. ALDO GIUNTINI DE MAGALHÃES

Dezembro/2012

LUCAS RAMOS CARDOSO

**" CONCRETO REFRACTÁRIO – CONSTITUINTES, PROPRIEDADES E
APLICAÇÕES "**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Tecnologia e produtividade das construções

Orientador: Prof. ALDO GIUNTINI DE MAGALHÃES

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2012

A Deus, minha família, aos amigos e professores
pelo apoio, carinho e aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar meus caminhos, a minha família, principalmente meus avós , tios e a minha namorada por me incentivarem nos estudos.

Agradeço ao meu orientador prof. Aldo Giuntini de Magalhães pela brilhante orientação.

Agradeço a toda equipe da UFMG do departamento de Materiais de Construção e colegas de sala pelo apoio , atenção e um bom convívio.

Agradeço aos meus amigos Henrique, Paulo Antônio, Bruno Melo, Bruno Graciano, Caio, Dudu, Oly, Emílio, Paulo Henrique, Paulinho, Felipe Siqueira, Geraldo Neto, Diego Pontes , Brunão e toda minha família pela força em um momento difícil da minha vida que ocorreu durante a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE NOTAÇÕES.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 <i>Introdução aos materiais refratários</i>	15
2.2 <i>Concretos refratários</i>	24
2.2.1 <i>Propriedades do concreto refratário</i>	26
2.2.2 <i>Classificação</i>	28
2.2.3 <i>Composição</i>	29
2.2.3.1 <i>Agentes ligantes do concreto</i>	29
2.2.3.2 <i>Água</i>	34
2.2.3.3 <i>Aditivos</i>	35
2.2.3.4 <i>Adição de fibras</i>	38
2.2.3.5 <i>Agregados</i>	40
2.2.4 <i>Produção</i>	43
2.2.5 <i>Secagem do concreto</i>	45
2.2.6 <i>Cura</i>	48
2.2.7 <i>Porosidade e permeabilidade</i>	50
2.2.8 <i>Patologias</i>	52
2.2.9 <i>Durabilidade</i>	55

3.1 ESTUDO DE CASO 1	56
3.2 ESTUDO DE CASO 2.....	57
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
5. REFERENCIA BIBIOGRAFICA.....	62
6. ANEXO	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo Brasileiro de Refratários 1998-2008.....	17
Figura 2: Projeção do Consumo Brasileiro de Refratários 2008-2030	17
Figura 3: Chaminé em Tijolo Refratário.....	19
Figura 4: Aspecto das Amostras de concreto Refratário contendo MgO e diferentes teores de microssílica após 7 dias a 50°C em ambiente húmido.....	22
Figura 5: Forno de Concreto Refratário	24
Figura 6: Diagrama ternário do sistema	30
Figura 7: Conexões permeáveis entre as regiões do concreto com diferentes permeabilidades estabelecidas pelas fibras após o tratamento térmico a 900 °C.....	38
Figura 8: Canais permeáveis na estrutura de concretos refratários que contribuem para o processo de secagem (interfaces matriz-agregado e porosidade da matriz	50
Figura 9: Trincas em concreto refratário	53
Figura 10: Desgaste em concreto refratário devido a erosão	53
Figura 11: Seção tubular retangular preenchida com concreto	57
Figura 12: Seção tubular circular preenchida com concreto	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cimentos hidráulicos	31
Tabela 2: Propriedades mecânicas de concretos refratários comuns e reforçados com fibras	39

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

A = área

E = módulo de elasticidade

ρ = densidade do material

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM = American Society for Testing and Materials

ACI = American Concrete Institute

CAC = Cimento Aluminato de Cálcio

CRAD = Concreto Refratário de Alto Desempenho

HA = Alumina Hidratável

NBR = Norma Brasileira

PAS = Poliacrilato de Sódio

SC = Silica Coloidal

l/dm^3 = Litros por decímetro cúbico

kg = kilograma

RESUMO

A utilização dos materiais refratários vem ocorrendo desde a antiguidade. Esses materiais são de grande importância devido as suas características, especialmente devido a sua resistência à altas temperaturas. A sua utilização se dá em diversos segmentos, sendo a indústria de modo geral uma grande consumidora deste produto. O concreto refratário é um desses materiais que é utilizado em larga escala e tem se mostrado cada vez mais útil nos processos industriais. Além do que, devido à sua maior resistência à compressão e altas temperaturas e por ter longa vida útil, tem entrado nas discussões sobre sustentabilidade e gerado uma série de pesquisas sobre suas propriedades, composição, produção e aplicações.

ABSTRACT

The use of refractory materials is happening since old age. These materials are of great importance due to its characteristics, specially due to its resistance to high temperatures. Its use occurs in various segments, being the industry in general a great consumer of this product. Refractory concrete is one of these materials that are used in wide scale and has proved itself more and more useful in industrial processes. Besides, due to its greater resistance to compression and high temperatures and long service life, it has been on the discussions about sustainability and has generated a series of research about its properties, components, production and applications.

1. INTRODUÇÃO

Refratários são materiais inorgânicos e não metálicos. A necessidade do homem de ter uma estrutura com características físicas e mecânicas resistentes à altas temperaturas e a sua variação brusca fez com que fossem desenvolvidos materiais refratários. Eles também devem ser capazes de suportar cargas em condição de serviço e resistirem à ação de abrasivos e químicos. Os refratários são produtos utilizados em uma grande variedade de indústrias. O material, utilizado na produção de fornos e churrasqueiras industriais e domésticos, é constituído de uma mistura com propriedades refratárias e com uma boa resistência mecânica à altas temperaturas . Eles são necessários para minimizar a perda de calor nas câmaras de reação e também para permitirem conversões dependentes de energia térmica de reativos químicos em produtos, já que compartimentos metálicos não são adequados para esta função.

É muito importante conhecer as propriedades desses materiais, seus constituintes, desempenho, as possíveis patologias que podem surgir ao longo de seu uso, quais desses materiais são aplicados na construção civil e quando podem ser aplicados. Atualmente os profissionais de engenharia pouco sabem a respeito desses materiais, por isto se explica a grande quantidade de manifestações patológicas quando se aplica este tipo de material. A necessidade de melhores processos, materiais mais eficientes e aumento da produtividade tem gerado investimentos que visam aumentar o nível de qualidade dos produtos refratários.

Sendo eles materiais cerâmicos, resistem a temperaturas elevadas sem fundir-se ou decompor-se, são materiais não-reativos e inertes quando expostos a ambientes severos, são bons isolantes térmicos e apresentam diversas propriedades/estruturas de acordo com a sua composição.

A indústria siderúrgica é a maior consumidora de materiais refratários, utilizando-os em fornos para a produção de aço e para a fabricação de outros materiais.

Entre as diversas classes de refratários, os concretos vêm ganhando destaque nos últimos anos, principalmente por apresentarem facilidade de aplicação e reparo. A descoberta de novos materiais aplicados no concreto refratário e o estudo das suas técnicas de produção tem originado produtos com maior resistência à compressão quando são submetidos à altas temperaturas.

Os principais ligantes/aglomerantes do concreto refratário são cimentos de aluminato de cálcio (CAC) e alumina hidratável, além de sua composição por agregados refratários, aditivos e água. Sua produção e secagem deve ser feita de forma cautelosa para se evitar danos ao produto final, riscos de explosão e aumentar a vida útil.

Os concretos refratários são materiais industriais conhecidos por suas propriedades de isolamento térmico, além de apresentarem resistência térmica e mecânica, resistência ao choque térmico e rápida aplicação. Essas

propriedades oferecem a oportunidade de criar objetos que não se conformam a algumas das limitações do concreto tradicional.

O objetivo deste trabalho é estudar a composição do concreto refratário, suas propriedades, sua produção, as aplicações, o aumento no seu desempenho e da sua vida útil e como o conhecimento desses fatores atuam na minimização das patologias. Também é importante que se possa identificar os agentes causadores de patologias nesses materiais. Um dos maiores fatores patológicos é a produção deste concreto poroso e permeável, permitindo assim a penetração de agentes agressivos diluídos no interior do concreto. Também foram observados que algumas adições no concreto refratário como resíduos, sílica coloidal, alumina hidratável e microssílica melhoram as suas propriedades e o seu desempenho, diminuem o impacto ambiental e o custo, já que as adições representam novas destinações para estes produtos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. 1 Introdução aos materiais refratários

O encontro entre os materiais refratários e os processos térmicos de manufatura se deu com a descoberta do fogo. As primeiras ferramentas primitivas foram confeccionadas através do amolecimento de metais sobre as rochas. A fabricação de cerâmica data do período neolítico, com a fabricação de cestas de vime com barro, que evoluiu para a utilização apenas do barro e que, a medida em que o homem conheceu melhor as propriedades do fogo, ele descobriu que a queima de determinados materiais, como por exemplo a argila, permitiam a obtenção de formas estáveis e de elevada resistência mecânica. Após o século XVIII surgiram tipos especiais de fornos e com isso a possibilidade de produzir cerâmicas de dimensões exatas, moldagem à seco, porcelanas de alta resistência e outros. Esse é o registro do nascimento dos ancestrais refratários.

Os materiais refratários como conhecemos hoje nasceram com a metalurgia e tem acompanhado a evolução do ramo siderúrgico.

Existem registros de utilização das argamassas e do concreto em construções que são anteriores a era Cristã. Nas primeiras formulações descritas em trabalhos científicos, foram utilizados agregados de sílica, aluminas e hidróxidos de alumínio de baixa pureza, argilas refratárias e cimentos de baixa refratariedade.

Segundo Lobato (2009), os materiais refratários tem por objetivo manter, armazenar e ceder calor, conter flúidos, resistir a pressões térmicas, mecânicas e químicas, suportar cargas sólidas e líquidas, estáticas e dinâmicas. Sua aplicação é encontrada em fornos domésticos e industriais, em caldeiras, churrasqueiras, laboratórios, indústrias siderúrgicas e petroquímicas, peças estruturais entre outros usos, submetidos à alta temperatura e as suas variações bruscas.

Devido ao preço do aço no mercado, a indústria siderúrgica vem mostrando uma alta produção, tornando-se a maior consumidora de materiais refratários. Em relação ao aço, os materiais refratários terão um papel importante no seu processo de fabricação oferecendo segurança operacional, resistência à corrosão química, preservação da sua limpeza, além de ser utilizado no processo de seu refino. A cada tonelada de aço são produzidos cerca de 600 kg de resíduos, sendo alguns desses refratários.

O consumo de refratários anual no Brasil passou de 410 mil toneladas em 1998 para 492 mil toneladas em 2008, representando um crescimento médio anual de 1,8%. (Figura 1).

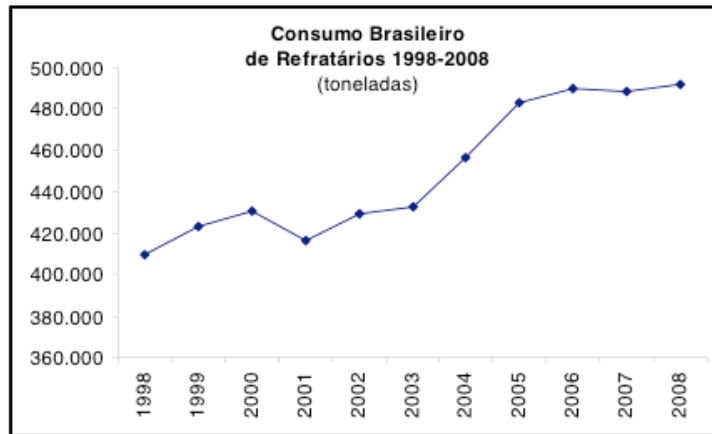


Fig.1 - Consumo Brasileiro de Refratários 1998-2008
 Fonte:LOBATO, 2009.

Esta projeção mostra que o consumo brasileiro de refratários sairá de 490 mil toneladas em 2008 para 1 milhão de toneladas em 2030, representando um crescimento médio anual de 3,3%. (Figura 2).

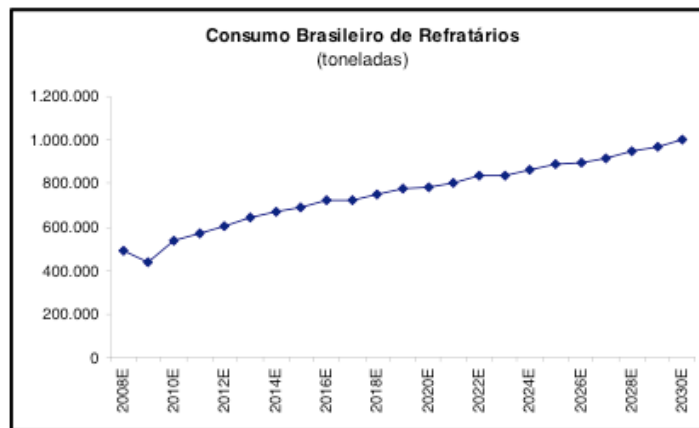


Fig. 2 - Projeção do Consumo Brasileiro de Refratários 2008-2030
 Fonte: LOBATO, 2009.

Os refratários são utilizados para revestir equipamentos como reatores e fornos, devido a sua boa estabilidade física e química às temperaturas

elevadas. Geralmente, esses materiais são utilizados em temperaturas acima de 500 °C.

Os refratários são classificados de acordo com seu estado físico, como moldados ou monolíticos, e de acordo com a sua massa específica em densos ou isolantes. As categorias de refratários são: sílicos, sílico-aluminosos, aluminosos, básicos e especiais. As propriedades dos refratários, no que tange o seu comportamento e a sua relação com a temperatura de uso, são determinadas pela sua estrutura e pela sua composição.

O grupo de materiais cerâmicos é capaz, em sua maioria, de resistir à altas temperaturas, além de sua capacidade de isolamento térmico. Quando este material não deforma ou funde a uma temperatura de 1500°C, é utilizado o termo refratado. Esse grupo de materiais, geralmente não metálicos, tem como característica a refratariedade.

A cerâmica refratária é um material utilizado em larga escala. Para Callister, (2000) o desempenho de uma cerâmica refratária depende em grande parte da sua composição.

Os tijolos refratários são peças feitas de argila especial, branca, que tem alto poder de tolerância ao calor. A forma mais comum de comercialização dos materiais refratários são os tijolos. Entre suas propriedades estão a capacidade

de resistir à temperaturas elevadas sem fundir ou decompor, e a de permanecer não-reativo e inerte quando são expostos a ambientes severos, além de serem importantes isolantes térmicos. Os tijolos refratários são fabricados utilizando argilas duras, semi-duras, plásticas e caulim, com composição principal de Al_2O_3 (Alumina).

Um exemplo de aplicação de tijolos refratário é em chaminés.(Figura 3).



Fig. 3 - Chaminé de Tijolos Refratário

Fonte: GOOGLE IMAGES, 2012.

O vidro refratário é um tipo de vidro especial também conhecido como vidro borossilicato, sendo resistente à choques térmicos, suportando tanto altas quanto baixas temperaturas.

Segundo Raab (2008) “plásticos refratários são refratários moldáveis, produzidos pela mistura de agregados, argilas e ligantes, fornecidos geralmente prontos para uso para aplicação por acomodação ou socagem e que possuem como finalidade principal a execução de reparos ou construções monolíticas. “

Segundo da Silva (2011) “Refratários industriais são combinações complexas de óxidos cristalinos de alto ponto de fusão com carbetos, carbono e grafite. Contudo, a proporção de óxidos básicos e ácidos de sua composição define seu tipo de aplicação. Quando são submetidos ao contato com escórias básicas, o refratário deve ser básico. Este princípio de basicidade é um guia que reflete o quanto o refratário reagirá com o meio. “

As argamassas refratárias resistem à altas temperaturas e são empregadas como tal. São feitas de agregados especiais como a vermiculita e a argila refratária. A argamassa refratária serve para assentamento de tijolos e peças especiais. É constituída por Al_2O_3 entre 40 e 90%, na forma úmida ou seca. As argamassas especiais podem conter também mulita ou carbetos de silício.

Algumas argamassas refratárias aluminosas secas chegam a uma temperatura máxima de serviço de 1600°C . São utilizadas como ligantes para os tijolos de isolamento em um ambiente no qual um teor de ferro elevado pode ser prejudicial, como por exemplo, fornos de cerâmica vidrada. São úteis também

para os clientes em climas quentes tendo melhor desempenho que os cimentos úmidos comuns.

Os concretos tradicionais tem sua vida útil reduzida quando aplicados em altas temperaturas e geralmente necessitam de manutenção quando expostos a essas condições de trabalho. O estudo dos materiais refratários e em especial do concreto refratário é importante pois são materiais que tem potencial de contribuir para a sustentabilidade através de suas propriedades térmicas e durabilidade, o que faz com que não necessitem serem refeitos, ao contrário dos concretos tradicionais quando expostos as mesmas condições.

Grande parte da comercialização dos refratários no mundo corresponde ao concreto refratário. Segundo Innocentini *et al.* (2001), os concretos refratários possuem uma variedade de formas e tamanhos, e tem suas propriedades físicas difíceis de medir in-loco. Sua mistura é composta pelas seguintes etapas: mistura à seco, mistura à úmido, ponto de virada e homogeneização final.

Devido ao seu amplo uso no mundo, vários estudos tem despontado para lidar com a melhoria do desempenho do concreto refratário. Estes estudos visam, primariamente, o melhor desempenho e também o aumento da sua vida útil.

Além disso, a otimização do processo de feitura do concreto é levada em consideração, esperando um concreto que seja capaz de gerar menos patologias, cujos reparos são dispendiosos e somam-se aos custos dos processos de produção. A forma diferente de fabricação, levando em conta a qualidade dos materiais empregados, a pureza dos materiais e as tecnologias utilizadas são o que proporcionam a diferenciação entre os tipos de concreto.

Através da mistura de cimento aluminoso, aditivos especiais e agregados refratários específicos é obtido um concreto refratário capaz de suportar esforços mecânicos, ocorrendo mínimas retrações e dilatações quando é submetido a variações bruscas de temperaturas.

A descoberta de novos materiais na adição do concreto como aluminas calcinadas, microssilica e outros, tem melhorado as suas características aumentando a resistência à temperaturas de até 1400°C, um ganho em relação ao concreto tradicional.

A (Figura 4) mostra o melhor desempenho do concreto que contém microssilica.

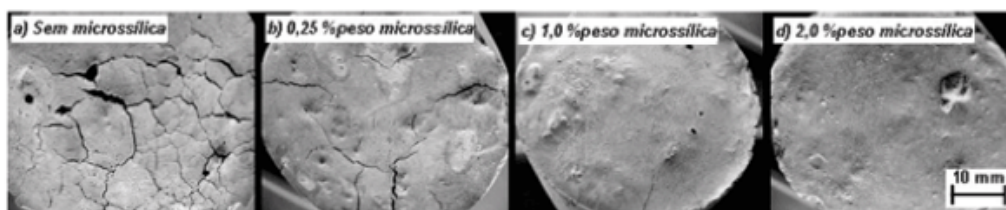


Fig. 4 - Aspecto das Amostras de concreto Refratário contendo MgO e diferentes teores de microssilica após 7 dias a 50°C em ambiente húmido

Fonte: SALOMAO e PANDOLFELLI, 2008.

O aluminato hidratável e a sílica coloidal são importantes alternativas na substituição do cimento de aluminato de cálcio para dar liga em concretos refratários aluminosos isentos de CaO. Devido a sílica coloidal o concreto fica mais permeável, diminuindo os riscos de explosão durante a secagem. A alumina hidratável diminui a sua porosidade.

A grande consumidora de resíduos refratários é a siderúrgica, a cada tonelada de aço são produzidos cerca de 600 kg de resíduos, sendo alguns desses refratários.

2.2 Concretos refratários

Os concretos refratários tem sido amplamente utilizados, e seu uso tem ganhado destaque nos últimos anos, especialmente devido facilidade de sua aplicação e a não necessidade de conformação e queima prévias, além de fácil reparo. Esse material tem uma vida útil maior e reduz o tempo parado de equipamentos por ele revestidos em etapa de manutenção além de apresentar algumas superioridades em relação aos pré-moldados. São utilizados especialmente nas usinas siderúrgicas e petroquímicas, resistindo à altas temperaturas.

Segue exemplo de aplicação do concreto refratário em um forno refratário (Figura 5).



Fig. 5 - Forno de Concreto Refratário

Fonte: GOOGLE IMAGES, 2012 .

Segundo Freitas (1993) *apud* Raad (2008) : “Concretos refratários são misturas de agregados e aglomerantes (cimentícios ou não) compostos de duas fases: o

agregado, fase discreta e particulada; a matriz, fase finamente granulada e contínua que envolve os agregados. “

A composição do concreto refratário interfere diretamente na sua estrutura e em suas propriedades. O conhecimento das propriedades do concreto refratário levam a produção de um concreto de melhor qualidade e com processos aprimorados.

2.2.1 Propriedades do concreto refratário

As informações sobre as propriedades do concreto refratário são variadas, especialmente porque estão relacionadas a diversos fatores como a composição química do cimento, os agregados, a cura e a secagem do material. A resistência à compressão é uma das características afetadas pela composição do concreto, por exemplo, os concretos que apresentam grande quantidade de ligantes normalmente apresentam elevada resistência mecânica após a secagem.

Uma razão que torna as propriedades difíceis de serem avaliadas é o fato que a análise dessas características se dá no concreto frio e não com ele em temperatura de funcionamento. Algumas características são necessárias a performace do concreto, como a alta resistência mecânica e a alta estabilidade térmica. Pelo fato de sofrer variações bruscas de temperatura ao longo de sua vida útil, deve possuir também refratariedade, maleabilidade, baixa condutividade térmica nos concretos isolantes e baixa permeabilidade.

Grande parte do calor específico do concreto é determinado por seus agregados, tendendo este calor a aumentar com a temperatura.

A condutibilidade térmica varia com os constituintes do concreto, especialmente do cimento hidráulico e da presença de ligações cerâmicas. Em geral a condução aumenta com o aumento da temperatura. Apenas os concretos isolantes irão apresentar uma condutibilidade baixa.

Quanto a expansão térmica, os agregados porosos apresentam uma expansão menor do que os agregados densos. Também relacionado a temperatura está o desempenho mecânico, sendo vantajosa a apresentação visco-plástica do concreto quando submetido a altas temperaturas. A elasticidade varia com a temperatura, sendo que o aumento leva à um decréscimo de 5 – 25% no módulo, que é normalmente para o cimento de aluminato de cálcio de 20 a 39 GPa.

Segundo Raad (2008) a resistência ao ataque de escórias deve ser avaliada pela análise da densidade e das resistências estrutural, térmica e mecânica, porém indiretamente. Essas propriedades são determinadas pela resistência a abrasão, a impacto, permeabilidade a gases, massa específica, densidade aparente e porosidade.

2.2.2 Classificação

É importante que seja levada em consideração os requisitos de uso e aplicação dos diversos serviços, quanto a temperatura de uso, ambiente, ciclagem térmica, tempo de moldagem, etc.

Os concretos são classificados, de acordo, com a norma ASTM C-401 91 (1995), como convencional, baixo teor de cimento, ultra baixo teor de cimento e sem cimento. Outra classificação se dá pela forma de aplicação, podendo os concretos serem: vertidos, vibrados, projetados ou socados. O que irá determinar a utilização de materia prima, as curvas granulométricas, os aditivos e as aplicações são as necessidades. (PAGLIOSA NETO,(1997) *apud* RAAD 2008).

2.2.3 Composição

2.2.3.1 Agentes ligantes do concreto

A sua matriz é composta por um material ligante, água, aditivos e parte fina do agregado. A fluidez do concreto em estado fresco é dada pela união do material ligante com a parte fina do agregado.

Segundo Milanez *et. al* (2010), “o uso de concretos refratários alumina-magnésia ligados por cimento aluminoso (CAC) apresenta vantagens decorrentes da presença de espinélio e de CA6 ($\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$), ambas formadas *in-situ* e acompanhadas de expansão. Estas fases possuem alta resistência a escórias básicas e ao choque térmico, propriedades estas imprescindíveis para aplicação em painéis siderúrgicas. Estudos anteriores mostraram que o teor de CAC utilizado em concretos alumina-magnésia influencia a expansão do material, principalmente devido à formação de CA6.”

Segundo Freitas (1993) o cimento hidráulico refratário reage com a água em temperatura ambiente, podendo ser exposto a altas temperaturas mantendo suas propriedades mecânicas em níveis satisfatório, sem trincar ou estilhaçar.

Freitas (1993) afirma que os cimentos hidráulicos, refratários ou não se dividem em quatro grupos no diagrama ternário Al_2O_3 , SiO_2 e CaO devido as suas composições químicas definidas por este diagrama, sendo: portland, baixa pureza, pureza intermediária, alta pureza

Na figura abaixo (Figura 6) mostra o diagrama ternário

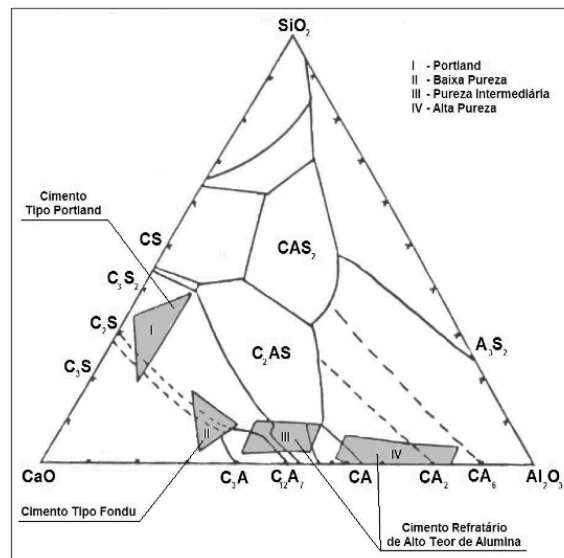


Figura 6: Diagrama ternário do sistema CaO – Al₂O₃ – SiO₂

Fonte: FREITAS, 1993.

Grupo um : É utilizado em grande escala na construção civil, sendo limitada em refratários, pois pode gerar problemas em temperaturas acima de 500°C, pois o CH se desidrata e forma-se uma fase de CaO altamente reativa. E quando em estado ambiente, em contato com a umidade do ar é formado novamente o CH, expandindo o seu volume interno resultando na segregação do concreto durante aquecimento . (FREITAS, 1993).

Grupo dois : Cimentos denominados “Fondu”, com boas propriedades refratárias e uma pega rápida, durante os ciclos de mudanças de temperaturas se comporta diferente do cimento Portland, não passando pelos processos comuns, trabalhando a 1270°C . Quando são utilizados agregados de maior refratariedade podem resistir a temperaturas superiores a 1400°C. (FREITAS, 1993).

Grupos três e quatro : São os mais indicados para uso em concretos refratários, devido a sua pureza, resistindo a maiores temperaturas que os demais grupos. São denominados cimentos aluminosos de cálcio (CAC), ou cimentos aluminosos e ou cimentos de alta alumina. Possuem boa resistência mecânica, pega rápida e resistência a altas temperaturas. (FREITAS, 1993).

A (tabela 1) mostra a composição principal , a refratariedade e os teores de impurezas nos quatro tipos de cimentos hidráulicos.

Tab. 1 - Cimentos hidráulicos

Fonte: FREITAS, 1993.

Tipo de cimento	Faixa de composição de óxido (%)				Principais fases mineralógicas	Refratariedade (°C)
	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃		
I – Portland (não refratário)	5-12	53-63	17-25	2-4	C ₃ S / β-C ₂ S	480 a 560
II – Baixa Pureza (refrat.)	39-50	35-42	4,5-9,0	7-16	CA / CA ₂ / C ₁₂ A ₇	1300 a 1500
III – Pureza Intermediária (refrat.)	55-66	26-36	3,5-6,0	1-3	CA / CA ₂ / C ₁₂ A ₇	1430 a 1550
IV – Alta Pureza (refrat.)	70-90	9-28	< 0,3	< 0,4	CA / CA ₂ / C ₁₂ A ₇ / α-Al ₂ O ₃	1680 a 1900

Ismael *et. al* (2007) afirmam que o agente ligante mais utilizado em concretos refratários é o cimento de Aluminato de Cálcio (CAC), pois aumenta suas propriedades mecânicas. Sendo um dos compostos desse cimento o Cálcio, seu uso é limitado em sistemas contendo microssilica e magnésio , devido a fase de baixo ponto de fusão . Neste caso, diferentes agentes ligantes estão sendo desenvolvidos como sílica coloidal (SC) e a alumina hidratável (HA) para darem a liga em concretos refratário aluminoso.

A Sílica coloidal é uma dispersão estável de partículas nanométricas de sílica em meio líquido que, quando aplicada em concreto refratário, com o uso

adequado de agentes gelificantes e o uso de dispersantes desta sílica , diminui o tempo da mistura do concreto refratário comparado com os tradicionais agentes ligantes CAC. A consolidação do cimento aluminoso é melhor que o mecanismo de consolidação da sílica coloidal, já que o primeiro não forma fases hidratadas e resulta em uma estrutura altamente porosa e permeável, gerando uma facilidade na secagem, reduzindo riscos de explosão e diminuindo o tempo total do processamento, mas podendo prejudicar sua deformação em altas temperaturas e reduzir sua resistência mecânica.

Sua resistência mecânica é desenvolvida pela formação de uma rede tridimensional entre as partículas. Esta mistura possibilita a avaliação de seu comportamento quanto a porosidade aparente, quanto a permeabilidade, quanto ao perfil de secagem e quanto sua resistência mecânica. Aluminas hidratáveis são aluminas de transição geralmente originadas por meio de calcinação rápida da gipsita.

O alumina hidratável e a sílica coloidal são boas alternativas na substituição do aluminato de cálcio em cimentos, como agentes ligantes para concretos refratários aluminosos, pois é razoável supor que a combinação de ambos poderiam reduzir os aspectos negativos e aumentar os positivos, quando são aplicados corretamente. Também pode ser aplicado somente um ou outro. (ISMAEL *et al.* 2007).

Ismael *et al* (2007) afirma que a alumina hidratável é utilizada na substituição do CAC, formando em larga escala, a mulita. Para atingir resistências mecânicas satisfatórias não necessita de uma umidade adicional pois possui uma propriedade que garante que, em contato com a água, é facilmente re-hidratada. Além disso, atinge rapidamente as suas propriedades mecânicas em temperatura média ambiente de 20°C.

A reação do alumina hidratável com a sílica ativa ajuda na propriedade de sinterabilidade, gerando uma menor fluência a quente e sua desvantagem é ligada a porosidade. Precisa-se de um controle rigoroso durante a etapa secagem quando utilizado como agentes ligantes, pois sua porosidade diminui aumentando os riscos de explosão. Outras desvantagens são o aumento da quantidade de água e dos dispersantes utilizados na fabricação do concreto refratário, além de um tempo maior na mistura em relação ao CAC e perda da resistência mecânica em temperaturas intermediárias de aquecimento (entre 300°C e 1000°C devido a decomposição das fases hidratadas).

2.2.3.2 Água

É o principal agente para a hidratação do concreto refratário na ligação hidráulica do aglomerante, sendo muito importante a sua influência nas propriedades do concreto no estado fresco ou endurecido. Age diretamente na fluidez da pasta e na continuidade dos constituintes na matriz e demais componentes do concreto refratário. (FREITAS, 1993).

Os estudos de Bazant e Kaplan (1996) demonstram que a hidratação do cimento de aluminato de cálcio pode estar completa em até 24 horas após a mistura, alcançando sua resistência máxima a 80%.

O uso em excesso da água é um dos principais fatores causadores de patologias pois reduz suas propriedades mecânicas. Seu uso reduzido também é prejudicial e pode ocasionar trincas e, sendo um solvente, é capaz de penetrar em substâncias diluídas no concreto. Possui um alto ponto de ebulição a 100°C, tendo maior capacidade de permanecer dentro dos materiais em estados líquidos. (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Quando penetra no concreto através dos poros e congela, ela se expande. Sua densidade (ρ) diminui de 1 para 0,97 l/dm³ formando tensões internas no concreto gerando rupturas. A mudança inversa de sólido para líquido faz com que se rompam as ligações H-O-H. É necessário o uso de aditivos na água para otimizar sua capacidade de hidratação já que sua alta tensão superficial prejudica sua ação como agente plastificante. (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.2.3.3 Aditivos

Os aditivos são materiais acrescentados à mistura do concreto (além de agregados, água, fibras e cimento) para modificar ou otimizar suas propriedades. Muitas vezes os elementos primários do concreto apresentam limitações em suas propriedades. O conhecimento das propriedades do concreto é importante para a seleção do aditivo e sua dosagem.

Sobral (1977) *apud* Raad (2008), classifica os aditivos em: a) dispersantes hidráulicos, responsáveis pelo controle do teor de água e influência nas propriedades de fluidez; b) retardadores e aceleradores de pega, com funções de otimização da reação de hidratação; c) incorporadores de ar; d) densificadores, com funções relacionadas com o empacotamento dos grãos.

Existem aditivos para várias funções, entre elas retardar ou acelerar o tempo de pega, antecipar o alcance de grandes resistências nas primeiras idades, retardar a evolução do calor proveniente das reações de hidratação, aumentar a durabilidade para condições específicas de uso, aumentar a plasticidade do concreto em estado fresco sem aumentar o teor de água da mistura, a reduzir a exsudação e a segregação.

Os aditivos aceleradores de pega e/ou coagulantes reduzem a fluidez do concreto projetado sobre a superfície. Essa técnica, quando aplicada, dispensa o uso de moldes. A sua aplicação se dá na forma de jato de “spray” e a este processo se dá o nome de projeção a úmido. Essa projeção resulta em uma

elevada taxa de instalação e eficiente compactação do material. (MARQUES *et. al*, 2004).

Alguns aditivos podem promover ganhos de desempenho da matriz. Isso pode ser obtido com os aditivos orgânicos contendo poliacrilato de sódio. Ainda Segundo Marques *et. al* (2004), tanto o poliacrilato de sódio (PAS) quanto a combinação poliacrilato e alginato de sódio (PAS + Alg) aumentaram a resistência mecânica da matriz à verde e também após calcinação. Esses aditivos também promoveram a menor fluência da matriz em altas temperaturas (creep), resultando em níveis inferiores à matriz pura, com início de deformação em temperaturas mais elevadas. São, portanto, aditivos que devem ser considerados para utilização em concretos refratários aplicados por projeção a úmido.

Os corpos moldados na ausência de aditivos apresentaram muitos defeitos, resultando numa estrutura muito mais porosa quando comparada à estrutura de corpos obtidos a partir de concretos bem dispersos. Os aditivos normalmente empregados na composição de concretos refratários não atuam somente na dispersão das partículas da matriz e do ligante, mas o efeito da sua atuação pode influenciar no tipo de hidrato formado.

Há relação entre o tipo de aditivo utilizado no processamento de concretos refratários com seu comportamento de secagem e resistência à tração.

Por apresentarem diferentes comportamentos de secagem, os concretos tem necessidades de aditivos de secagem distintos. Tornar o processo de secagem mais seguro e econômico tornou-se prioridade e desta forma o estudo dos

aditivos para serem utilizados neste processo. No próximo item, destacam-se ,
as fibras poliméricas e metálicas como adições .

2.2.3.4 Adição de Fibras

Salomão e Pandolfelli (2003), afirmam que a adição de fibras poliméricas em concretos refratários aumenta a permeabilidade do concreto refratário, diminui o risco de explosão durante a secagem, aumenta a velocidade de secagem e o aquecimento inicial devido uma característica térmica das fibras de polipropileno adicionadas e a escolha dessas fibras deve ser feita de forma criteriosa. A utilização de menos água durante a mistura para hidratação do cimento deve ser feita com muito cuidado para minimizar os riscos de explosão. A verificação do vapor da água na hidratação do concreto refratário de dentro para fora através dos canais gerados pela fibra de polipropileno na mistura, evita que a pressão atinja os limites de resistência mecânica .

Pode-se observar na (Figura 7) que com a adição das fibras o concreto torna-se mais permeável.

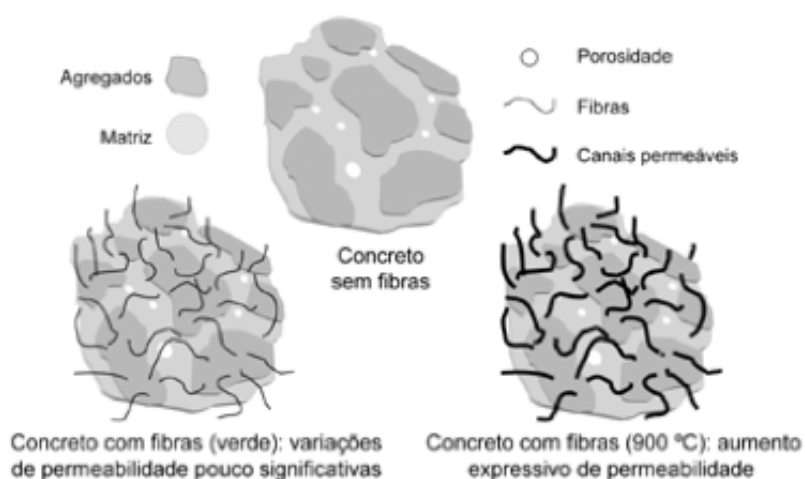


Fig. 7 - Conexões permeáveis entre as regiões do concreto com diferentes permeabilidades estabelecidas pelas fibras após o tratamento térmico

Fonte: SALOMAO, PANDOLFELLI,2003.

Segundo Peret e Pandolfelli (2005) apud Raad (2008), apesar de também serem alternativa à resistência ao choque térmico, as fibras metálicas não superam o desempenho das fibras poliméricas. Mesmo assim, as fibras metálicas apresentam potencial de reforço para a secagem e conseguem manter altos valores de módulo de elasticidade (E) e resistência mecânica nas temperaturas de 150-200 °C.

A (Tabela 2) abaixo mostra que o concreto refratário reforçados com fibras possui resistência superiores aos concretos refratários comuns

Tab.2 - Propriedades mecânicas de concretos refratários comuns e reforçados com fibras

Fonte: BAZANT e KAPLAN, 1996.

Propriedades Mecânicas		CRC ⁽¹⁾	CRF ⁽²⁾
Módulo de Ruptura– MPa	temperatura ambiente	6,9	12,4
	1093°C	1,4	6,9
Resistência à Compressão – MPa	temperatura ambiente	34,5	55,2
	1093°C	20,7	34,5

⁽¹⁾ Concreto refratário comum

⁽²⁾ Concreto refratário com 2% em volume de fibras de aço

O uso dos refratários na indústria metalúrgica estão tendendo ao uso de matéria prima sintética de alta pureza e com grande interesse na utilização de fibras metálicas em sua composição.

2.2.3.5 Agregados

Devido a sua utilização em diversas indústrias, a escolha do agregado se dá a partir do tipo de material que entrará em contato com o concreto refratário.

A escolha do agregado influencia na durabilidade do concreto. A escolha também se dá de acordo com a capacidade de isolamento térmico de cada agregado, de forma a utilizar o correto concreto em cada indústria. O agregado mais fino, ou com variadas distribuições granulométricas produz um concreto menos poroso e menos permeável, melhorando suas características mecânicas e aumentando os riscos de explosão durante a secagem, conforme citado anteriormente.

Os agregados são utilizados para processar o concreto, sendo inertes a reações químicas com a água (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Uma grande variedade de agregados, densos e de baixo peso, podem ser utilizados nos concretos refratários. Essa variedade de produtos de concreto garantem as diferentes propriedades disponíveis. Os processos de instalação, cura, secagem e outras práticas também afetam marcadamente as propriedades dos concretos.

São vários os agregados que podem ser utilizados na produção de concretos refratários. Alguns agregados possuem características refratárias, como a bauxita, a magnetita calcinadas e a chamota, constituída de sílica e alumínio. A

escolha do agregado baseia-se em suas propriedades, como coeficiente de expansão térmica, condutividade e fusão.

Pascoal e Pandolfelli (2000) *apud* Raad (2008), citam a alumina eletrofundida e a bauxita refratária como agregados em concretos refratários, principalmente a bauxita refratária, devido ao baixo custo e suas propriedades refratárias.

O uso de agregados altera a constituição do concreto, que passa a apresentar características cerâmicas, por exemplo, resistência à altas temperaturas. Primariamente são utilizados mineirais argilosos.

Segundo Bazant e Kaplan (1996), alguns fatores a serem considerados na escolha dos agregados utilizados em um concreto refratário são: mudança na estrutura física e na composição química devido a exposição a altas temperaturas; alteração no volume devido a expansão e a retração; capacidade de formar ligações cerâmicas com aglomerantes em temperaturas superiores a 1000°C. As dimensões variam com o tipo de agregado, sendo que o valor máximo atinge 3,81 cm. As dimensões dos agregados influenciam na quantidade de água utilizada no processamento, no peso, na trabalhabilidade e na porosidade do concreto refratário (SANTOS, 2008).

Segundo Leite (2001) *apud* Raad (2008), vários fatores podem influenciar a qualidade dos agregados tais como: o tipo de britador utilizado, o material utilizado, a extração de impurezas e sua aplicação diferenciada em relação a

outros tipos de agregados. Existem também agregados recicláveis, provenientes da britagem de tijolos refratários, que possuem características variadas na sua produção.

2.2.4 Produção

Segundo Raad (2008), alguns aspectos devem ser considerados na instalação e na moldagem do concreto tais como: quantidade de água, processo de homogeneização, tempo de pega e método de conformação.

Os concretos refratários são amplamente comercializados, sendo que a venda inclui todos os elementos necessários a mistura, bastando acrescentar água.

As etapas de produção do concreto refratário segundo Santos (2007) *apud* Raad (2008), são dosagem e mistura, moldagem e aplicação, cura, secagem e sinterização. Esses processos podem ser realizados com diversos materiais e o método de realização irá influenciar as características do produto. As etapas de cura e secagem tem grande influência nas características do produto final. A mistura também é de grande importância, sendo que o ideal são concretos que sejam rapidamente misturados ou que exijam misturadores de menor potência.

Vários também são os métodos de concretagem com uso do concreto refratário, sendo que as técnicas de lançamento e vibração começaram a ser utilizadas nos refratários em 1920.

Segundo Raad (2008), deve ser feito um controle com rigor do teor de umidade utilizado nas misturas, para que a água esteja presente na dose correta, nem a mais ou a menos, sem acarretar prejuízos no concreto. Depois do período de cura, a água se divide em água ligada e água livre. A água ligada entra em ebulição lentamente no período de aquecimento e é expelida pelos poros. A

água livre é rapidamente evaporada em temperaturas entre 100-150°C, causando um aumento volumétrico que pode gerar danos a estrutura do concreto. De acordo com o teor de água e a espessura da camada instalada devem ser controladas as taxas de aquecimento em velocidades definidas por estas variáveis. Os próprios fabricantes fornecem as taxas de queima, de acordo com as especificidades de cada produto. Depois da queima e de estarem livres de água na mistura, os refratários podem ser utilizados nas operações.

Os concretos refratários de baixo teor de cimento também são bastante utilizados. Para que sejam classificados desta forma, este concreto apresenta adição de partículas ultrafinas reativas, sílica volatizada e aditivos químicos que tem suas propriedades melhoradas pelo uso de baixos teores de cimento. Os pós finos de SiO_2 e Al_2O_3 são utilizados na produção destes concretos, além dos dispersantes e dos cimentos de CAC em aproximadamente 4 a 8% com maior grau de pureza, e mais 3 a 7% de água para moldagem. A boa distribuição granulométrica leva a otimização do fator água cimento. (FREITAS, 1993).

Devido a redução da água que ocorre no tempo de pega, há necessidade de aumentar o teor de água na mistura quando em temperaturas acima de 32°C. Além disso há a redução na área superficial dos hidratos formados com diminuição da resistência mecânica do concreto. (FREITAS, 1993 *apud* RAAD 2008).

2.2.5 Secagem do concreto

Segundo Salomão *et al.* (2008) por volta de 1964, vários trabalhos identificaram questões importantes referentes ao processo de secagem dos concretos. Anteriormente este processo se dava com o uso excessivo de água, o que gerava um concreto de qualidade inferior à alguns dos dias de hoje e também a um concreto propenso a falhas e trincas. Provavelmente devido a baixa qualidade deste concreto é que sua produção e consumo permaneceram estáveis ao longo dos anos, até o momento que foram inseridas novas técnicas de secagem e atuais tecnologias de agentes dispersantes e modelos de empacotamento de partículas.

Ainda Segundo Salomão *et. al.* (2008), no que diz respeito à sua evolução, os concretos refratários tornaram-se materiais cada vez mais densos e menos permeáveis. Essa condição mostrou-se fundamental para seu bom desempenho termo-mecânico e para a resistência à penetração de escórias, vapores corrosivos e metal líquido.

Existem diferentes técnicas de secagem que podem ser aplicadas aos concretos refratários, tais como: secagem em estufa, sublimação (liofilização), microondas, adição de solvente e secagem supercrítica.

Segundo Arnosti Jr *et. al* (1999), a secagem em estufa garante a retirada total de umidade, mas por sua vez modifica a estrutura porosa e envolve

capilaridade, que é um mecanismo prejudicial ao processo devido às forças internas geradas . As técnicas de sublimação e secagem supercrítica não apresentam o problema da capilaridade devido à passagem direta da água do estado sólido para o gasoso e à ausência de fases, respectivamente. Em ambos os casos, a interface líquido/vapor que gera a capilaridade é evitada. Estas técnicas seriam de excelente aplicação se não fossem alguns fatores limitantes da sua utilização, como a necessidade de condições de congelamento rápido e alto vácuo, no caso da sublimação, e condições de temperatura e pressão elevadas, no caso de secagem supercrítica, que tornam os processos onerosos e perigosos.

Para o caso da secagem supercrítica a solução existente seria a substituição da água por componentes com ponto crítico em condições próximas as do ambiente.

Segundo Inocentinni *et. al* (2001), “a presença da camada de baixa permeabilidade durante a secagem pode também causar o aumento da pressão do vapor, danificando a estrutura interna do refratário. A técnica de adição de solvente apresenta bons resultados quando comparada a secagem em estufa e à sublimação, pois é a melhor para preservar a estrutura porosa. É necessário, porém, um longo período de tempo para que o solvente seja absorvido pelo material e gradativamente incorporado. Finalmente, a secagem utilizando microondas é vista como sendo a mais eficiente quando comparada

ao aquecimento direto (estufa), proporcionando um aquecimento e consequentemente uma secagem mais uniforme. Este fato, observado através da simulação do processo de aquecimento, provoca menores picos de pressão interna, sendo portanto menos prejudicial a qualidade do material. “

No mercado são encontrados desde concretos refratários com grande quantidade de cimento até aqueles sem cimento, o que afeta diretamente na secagem, uma vez que a quantidade de cimento influencia a quantidade de água na mistura. O momento da secagem é de vital importância no processo de produção do concreto, pois a ocorrência de uma secagem mal feita pode levar a consequências desastrosas como explosões, muitas vezes ocasionando acidentes de trabalho e com certeza perdas econômicas.

2.2.6 Cura

O período de cura também é um período propenso a explosões, portanto é preciso atenção ao processo especialmente durante as primeiras 24 horas de seu início de pega. De acordo com o ACI (1979), o concreto refratário deve ser resfriado e submetido ao processo de cura em temperaturas inferiores a 99°C.

De acordo com o ACI (1971), a cura é definida como o processo de manutenção da hidratação satisfatória a uma temperatura favorável do concreto durante a hidratação dos materiais cimentícios, de forma que as desejadas propriedades se desenvolvam.

Este processo se dá por duas etapas, a manutenção do ambiente de hidratação com a aplicação de água e a prevenção da perda de água com o uso de materiais selantes.

O processo de cura é essencial para que ele possa desenvolver as suas propriedades. Assim como a secagem, uma cura mal feita pode levar a uma série de patologias como retração por secagem. O processo de cura é influenciado por diversos fatores como a qualidade da água, os métodos de mistura, temperatura e umidade. O processo de cura é uma reação exotérmica, causada pela evaporação da água.

A cura é o processo de hidratação do cimento. O melhor aproveitamento se dá se a temperatura ambiente do local onde ela é realizada se encontrar entre 21°C e 32°C.

A decomposição do hidrato forma quantidade em excesso de gel aluminoso em temperaturas abaixo de 21°C. Isto ocorre porque nestas temperaturas a cura não é suficiente e a matriz tem porosidade reduzida. Essa formação aumenta a tendência à estilhaçamentos explosivos nas primeiras temperaturas de aquecimento (FREITAS, 1993 apud RAAD, 2008). A correlação é direta, sendo a taxa de hidratação do cimento menor quanto menor for a temperatura. (BRITO, 1991 apud RAAD, 2008).

A permeabilidade do concreto refratário ocorre em canais porosos, conforme descrito no tópico seguinte.

2.2.7 Porosidade e permeabilidade

A porosidade é influenciada diretamente pelo conteúdo da mistura, pelo teor de água e também pelo processo de moldagem do concreto.

Surgindo canais permeáveis no interior do concreto. (Figura 8).

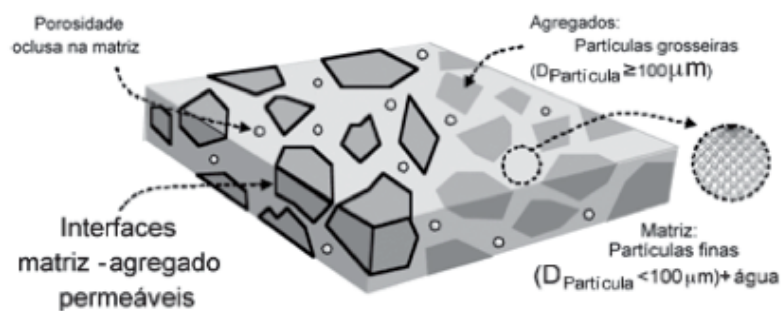


Figura 8: Canais permeáveis na estrutura de concretos refratários que contribuem para o processo de secagem

Fontes: SALOMAO, BITTENCOURT, PANDOLFELLI, 2008.

INNOCENTINI et al. (2001) concluem em seus estudos que a distribuição granulométrica e o teor de água adicionado na mistura são os principais fatores determinantes da permeabilidade de concretos, e consecutivamente, de sua porosidade. O método de lançamento também tem influência sobre as características finais do concreto refratário, tanto no estado fresco quanto endurecido.

Segundo *Ramal Jr et al. (2004)*, a evolução tecnológica de suas propriedades têm resultado em materiais cada vez mais densos, e conseqüentemente menos permeáveis. Esse fato foi acompanhado por um aumento na dificuldade de

secagem do concreto, onde a aplicação de taxas de aquecimento inadequada pode levar a pressurização do vapor d'água dentro da estrutura e ocasionar a explosão do refratário; ou ainda elevar consideravelmente os gastos com energia e tempo de parada para manutenção de equipamentos. Desta forma, a adição de agentes de secagem, como o pó de alumínio e as fibras poliméricas, surgiu para otimizar essa etapa do processo de produção do refratário.

2.2.8 Patologias

Vários danos operacionais podem ocorrer devido a deterioração do concreto refratário, ocasionando prejuízos financeiros e paradas nas unidades de produção. Diversos fatores podem influenciar neste processo.

Segundo Raad (2008), as patologias e os defeitos no desempenho do concreto refratário se dão primariamente devido a sua permeabilidade e porosidade.

As formas de degradação podem ser através de processos físicos, mecânicos e químicos. O *spalling* térmico é a degradação do refratário através do choque térmico, quando o crescimento das tensões dos vapores presentes nos poros são superiores a resistência do concreto. Podem ocorrer também as rupturas estruturais, resultantes de forças externas e internas, ocasionando rupturas mecânicas como por exemplo, as fissuras. Há também a abrasão e erosão, estes processos podem ser responsáveis pelas trincas. A presença das trincas indica redução na resistência mecânica do concreto. Também há a degradação química, por produtos prejudiciais ao concreto.

A ausência da cura ou uma cura mau feita pode ocorrer fissuras/trincas no concreto refratário devido a retração do mesmo.

Como consequência deste processo de degradação surgem as patologias, que são problemas a serem evitados através de melhores processos de produção (Figura 9 e 10).

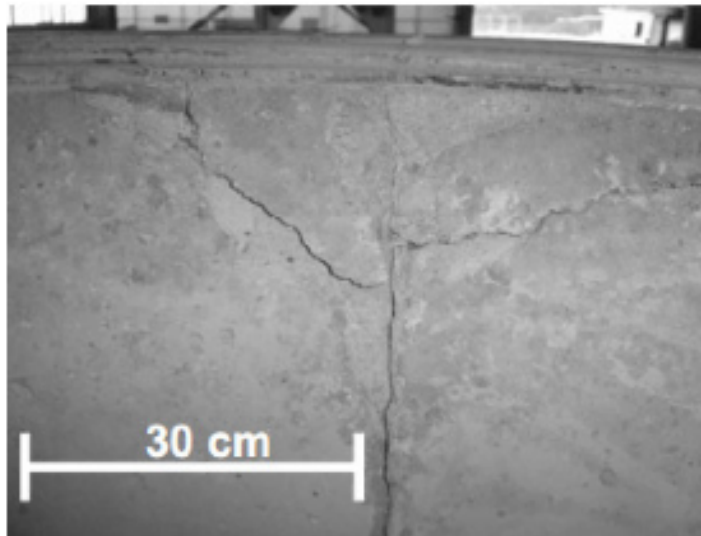


Figura 9: Trincas em concreto refratário

Fonte: MIYAJI *et al.*, 2007.



Figura 10: Desgaste em concreto refratário devido a erosão

Fonte: MIYAJI, *et al.* 2007.

Desta forma, investir na alteração destas características pode representar um concreto mais durável, reduzindo o fluxo de água em seu interior. Patologias como as microfissuras são responsáveis pela entrada de materiais nocivos a estrutura do concreto.

De acordo com o ensaio de permeabilidade realizado pelo mesmo autor, evidenciou-se influência do teor de água na geração de poros no concreto e a inserção de finos para que seja feita uma boa dosagem granulométrica, reduzindo assim a permeabilidade e porosidade.

O concreto com alto teor de água apresenta resistência à abrasão menor. Já o concreto de alta densidade, geralmente apresentam boa resistência à abrasão. A fabricação de cimento com alto teor de alumina e os concretos refratários com altas temperaturas de amolecimento contribuem para o aumento da resistência a erosão (VALENZUELA *et. al.* 2008).

As técnicas de secagem, especialmente os processos lentos de secagem, têm o objetivo de evitar a tendência do material a explosão.

Com o conhecimento das patologias, composição, propriedades do concreto, pode-se, processar um concreto refratário mais durável e conseqüentemente mais sustentável.

2.2.9 Durabilidade

A penetração de líquidos corrosivos e gases no interior do concreto refratário através de seus póros, está associado com a sua durabilidade (INOCENTINNI *et al.* 2001).

Na verdade, a durabilidade do concreto refratário está relacionada a todo seu processo de produção, desde a seleção dos agregados até os processos de cura e secagem, também relacionados com a sua resistência ao calor e as processos diferenciados descritos de degradação, além das resistências a compressão.

Portanto, há pesquisas acontecendo em relação ao aumento da durabilidade do concreto, especialmente utilizando resíduos e aditivos especiais, que promovam melhoria nas suas propriedades.

Os concretos mais duráveis evitam as perdas que ocorrem com estruturas industriais paralizadas que necessitam de manutenção frequente. A necessidade de troca frequente do concreto tradicional produz uma quantidade de resíduos que pode ser evitada através do uso do concreto refratário que resiste mais à altas temperaturas e é portanto mais durável.

3. – ESTUDO DE CASO 1

3.1 Resíduos devido a utilização de MgO-C aplicados em Concreto Refratário

Segundo da Silva (2011) “ a utilização de refratários MgO-C é amplamente difundida e uma grande quantidade de resíduos é produzida devido a seu uso. Este resíduo é feito de material nobre, porém contaminado com escórias ou impurezas do processo. Para diminuir o impacto ambiental e reduzir o custo de processo, uma alternativa é reutilização como massa refratária. Estudando as características de um resíduo refratário composto principalmente por tijolos MgO-C retirados de um forno a arco elétrico.”

O material foi inserido em um concreto refratário e sua avaliação foi realizada com ensaios termogravimétricos, resistência à compressão, avaliação de plasticidade, variação de porosidade e aspectos de seu processamento.

Resultados mostraram que há potencial de reaproveitamento e foram apontadas as principais características do reuso, como aumento da porosidade, diminuição da resistência a compressão a frio e diminuição da plasticidade do concreto.

3.2 ESTUDO DE CASO 2

Costa (2005), compara o desempenho de pilares mistos compostos por tubos circulares ou retangulares, confeccionados com concreto convencional ou com o concreto refratário de alto desempenho (CRAD). A comparação se dá em relação à resistência mecânica, em situação de incêndio e em temperatura ambiente.

Nas (Figuras 11 e 12) pode-se observar as diferentes seções dos pilares circulares e retangulares.

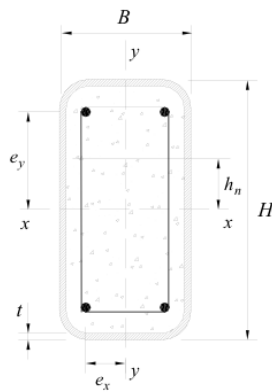


Fig. 11 - Seção tubular retangular preenchida com concreto
Fonte: COSTA, 2005.

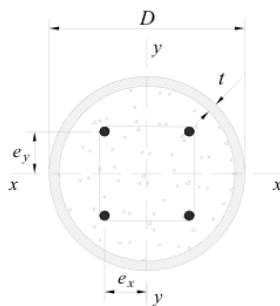


Fig. 12 - Seção tubular circular preenchida com concreto
Fonte: COSTA, 2005.

Em temperatura ambiente, o uso do concreto refratário de alto desempenho promove um ganho de resistência mecânica quando comparado ao concreto convencional. Em situações de incêndio, o uso do concreto refratário de alto desempenho também obteve resultado mais satisfatório.

O tubo de aço, mesmo sendo mais resistente, tem pior desempenho em situação de alta temperatura e sua resistência também é influenciada pela espessura do tubo.

Os diâmetros e espessuras maiores obtêm melhores resultados quanto à compressão em situação de incêndio de até 30 minutos e em situação com temperatura ambiente.

Em 90 e 120 minutos se obteve resultados inversos, pois no desempenho do pilar à altas temperaturas, o núcleo de concreto refratário não tem melhor resistência do que o envoltório de aço com pequenas espessuras. Portanto a maior resistência mecânica se deu no pilar que tinha a maior área (A) de concreto e de maior seção circular.

Ao substituir o concreto convencional pelo refratário foi possível demonstrar os ganhos no desempenho. Porém essas propriedades são específicas e variam entre os concretos de alto desempenho.

4. – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os materiais refratários foram descobertos e são utilizados desde a antiguidade. A principal característica responsável pelo uso desses materiais em larga escala é a sua resistência à altas temperaturas. A sua principal aplicação é na indústria, aonde o consumo se dá em processos que necessitam de um material que seja resistente ao calor e às variações bruscas de temperatura, como os fornos. O consumo de refratários pela indústria brasileira é alto e tem tendência crescente. Os materiais refratários são utilizados em diversas formas: cerâmica, tijolos, vidros, plásticos, argamassas e o concreto refratário. Os tijolos e o concreto refratário são os mais consumidos pela indústria.

Percebemos um movimento de estudo sobre os materiais refratários e especialmente sobre o concreto refratário. Isto ocorre porque há necessidade crescente de conhecimento das propriedades desses materiais e de sua aplicação. O uso de resíduos refratários, que são sobras de materiais que possuem característica refratária podem ser reutilizados, contribuindo assim para redução do impacto ambiental acarretado pelo descarte e também contribuindo para redução de custos com a utilização de materiais que seriam jogados no lixo.

As propriedades do concreto refratário são variadas e dependem de vários fatores importantes como sua composição, tipos de agregados e processos de cura e secagem. O estudo de cada um desses fatores levam a produção de

concretos com especificidades que podem ser aplicadas à diferentes tipos de indústria. Além de proporcionar concretos cada vez mais duráveis e de características específicas, os estudos visam a identificação e redução da ocorrência de patologias.

O conhecimento das propriedades dos materiais e escolha dos agregados, do aglomerante, dos aditivos nos permite a produção de um concreto refratário mais durável, aumentando a sua vida útil. O concreto refratário torna-se então mais durável, evitando o desperdício de materiais durante a sua manutenção / recuperação, evitando gastos com a mão de obra e evitando os prejuízos financeiros oriundos da paralisação da produção durante a etapa de reparo.

Quanto ao estudo de caso 1, Há potencial de reaproveitamento do resíduo e suas principais características no reuso são, aumento da porosidade, diminuição da resistência a compressão a frio e diminuição da plasticidade do concreto. Sendo sustentável esta reciclagem.

Quanto ao estudo de caso 2, concluímos que o pilar misto com espessura/diâmetro do tubo maior e que contém concreto refratário apresenta maior resistência mecânica em situação de temperatura ambiente quando comparado ao pilar misto preenchido com concreto tradicional. Isto ocorre porque o concreto refratário possui maior resistência mecânica. Além disto, a espessura/diâmetro do tubo neste caso é diretamente proporcional à resistência mecânica. Após 60 minutos de incêndio, a espessura do tubo em

relação a sua resistência mecânica é inversamente proporcional. O núcleo composto pelo concreto refratário é o que resistirá aos esforços mecânicos, portanto, quanto maior a seção do pilar mais resistente ele será. Se o núcleo for composto por materiais refratários, ele possuirá melhor resistência à altas temperaturas.

5. – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCERAM. Sítio da Associação Brasileira de Cerâmica.
<http://www.abceram.org.br>

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. <http://www.abnt.org.br>

ACI. American Concrete Institute. <http://www.concrete.org>

ASTM. American Society for Testing and Materials. <http://www.astm.org>

ARNOSTI, Jr. S., , INNOCENTINI, M. D. M., PANDOLFELLI, V. C. Variáveis críticas no processo de secagem de concretos refratários. **Cêramica**. São Paulo, v. 45, n. 292-293., Mar./Jun. 1999.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Philadelphia. **Norma ASTM C-401 91: Standard Classification of Alumina and Alumina-silicate Castable Refractories**. Philadelphia. 1995.

BAZANT; KAPLAN, M. F. **Concrete at high temperatures**. London: Editora Longman, 1996.424 p.

CALLISTER, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5a ed., Editora LCT – 2000.

COSTA, R. E. N. **Projeto de pilares mistos preenchidos com concreto refratário de alto desempenho a temperatura ambiente e em situação de incêndio.** UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte / MG. 2005.

DOMICIANO, V. G.; SALOMÃO, R.; ISAAC, C. S.; PANDOLFELLI, V. C. **Condições de Mistura e a Permeabilidade de Concretos Refratários Contendo Fibras Poliméricas.** UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos / SP. 2003.

FERREIRA, J.M.F.; OLHERO, S.M. Al-rich sludge treatments towards recycling. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 22, 2002, p. 2243-49.

FREITAS, Cláudia Maria de Melo. **Caracterização e Desenvolvimento de Microestrutura de Matrizes de Concretos Refratários de Baixo Teor de Cimento.** Dissertação de Mestrado Apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 1993.

INNOCENTINI, M. D. M.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C. **Permeabilidade de Concretos Refratários Multifuncionais.** UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos / SP. 2001.

ISMAEL, M. R.; SALOMÃO, R.; POLITO, L. A.; PANDOLFELLI, V. C. **Agentes Ligantes para concretos refratários:silica colidal e alumina hidratável.** UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos / SP. 2007

SANTOS, K. P. B. **Mecanismo de degradação em concreto refratário – Estudo de Caso** . Feira de Santana: Universidade estadual de Feira de Santana, 2008.

LABRINCHA, J. A.; PEREIRA. D. A.; BOÍÁ, C. Materiais à base de alumina obtidos por sinterização de lamelas de anodização e lacagem de alumínio, **Patente.** PN no 102 573, Aveiro. Mar., 2001.

LOBATO, E. **Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia.** J.Mendo Consultoria. 2009

MARQUES, Y. A., VASQUES FILHO,D., PILEGGI,R. G., PANDOLFELLI,V. C. Influência dos aditivos de consolidação sobre as propriedades termomecânicas da matriz de concretos de projeção. **Cêramica.** São Paulo, v. 50, n. 315., 2004.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 2 v. 248 p.

MILANEZ, D. H. Cimento aluminoso e seus efeitos em concretos refratários magnesianos espinelizados in situ. **Cêramica**. São Paulo, v. 56, n. 337., 2010.

MIYAJI, D. Y.; VALENZUELA, M. A. L.; BONADIA, P.; PANDOLFELLI, V. C. **Permeabilidade a quente de refratários para revestimento de cubas eletrolíticas**. UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos / SP. 2007

RAAD, H. J. **Influência das condições de mistura e moldagem na permeabilidade de concretos refratários aluminosos**. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte / MG. 2008

RAMAL JR., F. T., SALOMAO, R., PANDOLFELLI, V. C. Comportamento de secagem e explosão de concretos refratários com diferentes teores de água. **Cêramica**. São Paulo, v. 50, n. 315., Jul./Set. 2004.

RIBEIRO, M. J., VENTURA, J. M., LABRINCHA, J. A., **A atomonização como um processo de obtenção de pós para a indústria cerâmica**. ESTG – Instituto politécnico de Viana do Castelo. Viana do Castelo / PORTUGAL. 2001

RIBEIRO, M.J.; TULYAGANOV, D.U.; et al. Recycling of Al-rich industrial sludge in refractory ceramic pressed bodies. **Ceramics International**, v.28, 2002, p. 319–326.

SALOMAO, V. C., PANDOLFELLI, V. C. Concretos refratários contendo fibras poliméricas: correlação entre a permeabilidade e o comportamento de secagem. **Cêramica**. São Paulo, v. 49, n. 311., Jul./Set. 2003.

SALOMAO, R. ; BITTENCOURT, L. R. M. ; PANDOLFELLI, V. C. . Aditivos de secagem para concretos refratários: pó de alumínio e fibras poliméricas. **Cerâmica** (São Paulo. Impresso), v. 54, p. 259-267, 2008.

SANTOS, K. P. B. **Mecanismo de degradação em concreto refratário – Estudo de Caso** . Feira de Santana: Universidade estadual de Feira de Santana, 2008.

SILVA, R. D. **Avaliação do potencial de reutilização de resíduos refratários em massas refratárias**. Rio Grande do Sul: Universidade federal do Rio Grande do Sul, 2011.

SILVEIRA, P. C. M. **Reciclagem de resíduos do tratamento do alumínio (anodização)**. UNIASSELVI – Centro Universitário Leonardo da Vinci. Vale do Itajaí / SC. 2010.

USBM - UNITED STATES BUREAU OF MINES. **Dictionary of Mining, Mineral, and Related Terms**. Second Edition. 1996.

VALENZUELA, F. A. O., BRANDT, C., LOPES, D. A. A., BONADIA, P., GALLO, J. B., PANDOLFELLI, V. C. **Caracterização de concretos refratários projetáveis para o revestimento de calcinadores de alumina.** UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos / SP. 2008.

VASQUES FILHO, D., MARQUES, Y. A., PILEGGI, R. G., PANDOLFELLI, V. C. Impacto do uso de fibras poliméricas no desempenho de concretos refratários aplicados por projeção. **Cêramica.** São Paulo, v. 50, n. 313., MAR. 2004.

6. – ANEXO : Glossário de Termos Técnicos Utilizado

Abrasão: Se refere ao desgaste por atrito seco sob tráfego de veículos em pavimentos e pisos industriais.

Adição: É definido como um material além da água, agregados, cimentos hidráulicos e fibras, empregado como um constituinte do concreto para melhoria de suas propriedades (maior que 5% do seu volume).

Aditivos: É definido como um material além da água, agregados, cimentos hidráulicos e fibras, empregado como um constituinte do concreto para melhoria de suas propriedades (menos que 5% do seu volume).

Aglomerantes: Os cimentos hidráulicos são definidos como aglomerantes que não só se endurecem através das reações com a água, como também formam um produto resistente a água. Os aglomerantes derivados de calcinação gipsita ou de carbonato como a roca calcária são não hidráulicos porque seus produtos de hidratação não resistem a água.

Agregado: São relativamente baratos e não entram em reações químicas complexas com a água; portanto, têm sido usualmente tratados com um material de enchimento inerte no concreto.

Alumina: Óxido de alumínio; composto químico formado por oxigênio e alumínio (Al_2O_3).

Alumina Eletrofundida branca: (óxido de alumínio eletrofundido branco) .O processo de fabricação assemelha-se ao da fabricação de óxido de alumínio eletrofundido a partir do bauxito, diferindo, somente, quanto as matérias-primas da carga e ao fato de não haver redução quando da eletrofusão. Neste caso emprega-se como matéria-prima apenas a alumina. Em alguns casos é adicionado à alumina, pequenos teores de óxido de cromo. Aplicações: Indústria de abrasivos e de refratários e em algumas massas de porcelana em substituição ao quartzo.

Alumina Eletrofundida marrom: (óxido de alumínio fundido marrom). A matéria-prima principal é o bauxito calcinado, que em mistura com coque de petróleo ilmenita e cavaco de ferro, sofre um processo de fusão em fornos elétricos especiais, formando após o resfriamento, blocos do produto desejado. Durante o processo de eletrofusão, os óxidos metálicos contidos na carga, com exceção do óxido de alumínio, são reduzidos a metais elementares pelo carbono; com o ferro adicionado na carga, tais metais formam ligas que por serem mais densas que a alumina fundida vão se depositando no fundo do forno. A principal liga formada é o ferro-silício.

Alumina hidratável: Aluminas de transição de origem normalmente dada pela calcinação rápida da gibsita [v. g.], possuindo a composição $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ (ISMAEL1 et al., 2007).

Alumina Magnésia: Concretos refratários alumina-magnésia são comumente ligados por cimentos de aluminato de cálcio. Estes materiais apresentam, em temperaturas elevadas, uma reação de caráter expansivo decorrente da espinelização in-situ ($MgAl_2O_4$). (PANDOLFELLI, 2010).

Argila: s.f. Substância formada principalmente de sílica, alumina e água, fácil de modelar, com a qual se fazem potes e outros utensílios domésticos e que é também empregada na fabricação de tijolos e telhas. Barro.

Bauxita: Mistura impura de óxidos e hidróxidos hidratados, terrosos, de alumínio, que comumente contém compostos semelhantes de ferro e ocasionalmente manganês. É a principal matéria-prima para o fabrico de alumínio.

Calcio: É um metal alcalino terroso pertencendo a família 2A da tabela periódica sendo branco prateado , foi isolado em 1808 pela primeira vez mediante eletrolize (Ca)

Cal viva: A cal viva, CaO , é um material utilizado no preparo de argamassas para construção civil, em pinturas de baixo custo para muros (caiação), bem como em jardinagem.

Carbeto: Também chamados carbonetos, são sais binários contendo carbono e características inorgânicas. Quando expostos à pressão e temperatura, os carbetos reagem com a água e originam os óxidos metálicos ou hidróxidos. Os óxidos metálicos dão origem aos Carbetos Covalentes e os hidróxidos aos Carbetos Iônicos. (Brasilescola, 28/10/2012).

Carbono: Elemento não metálico, em geral tetravalente, largamente distribuído na natureza, que forma compostos orgânicos em combinação com hidrogênio, oxigênio etc. Ocorre na natureza em estado puro, sob a forma de diamante e grafita, e como constituinte de hulha, petróleo, asfalto, calcário e outros carbonatos, sendo também obtido artificialmente em vários graus de pureza como, por exemplo, carvão vegetal e coque. Símbolo C, número atômico 6, massa atômica 12,011.

Cerâmica Vidrada: Atualmente é conhecido como azulejo, sendo uma substância vítrea podendo ser utilizada em porcelanas e é um material poroso.

Cura: É a denominação dada aos procedimentos a que se recorre para promover a hidratação do cimento para controlar a temperatura do concreto, impedindo a evaporação da água e o surgimento de trincas.

Dispersões: Incorporação das partículas de uma substância no corpo de outra, que compreende soluções, suspensões e soluções coloidais.

Dioxido de Silica : Também é conhecido como sílica, sendo o composto químico dióxido de silício (óxido de silício) SiO_2 , sendo um dos componentes do cimento Portland e podendo ser encontrada em diversas formas.

Elasticidade: Propriedade dos corpos sólidos de retomarem sua primitiva forma, ao deixar de atuar sobre eles uma força deformante.

Escória: Resíduos da fusão de metais ou da redução de minérios, mais leves do que estes, e que portanto sobrenadam. Matéria estranha, misturada com uma substância, e que resta como resíduo sólido, após a queima ou tratamento industrial desta.

Espinélio: Aluminato de magnésio, sendo constituído por óxido de alumínio e magnésio. O MgAl_2O_4 é utilizado em produtos refratário.

Fibras de polipropileno: As fibras de polipropileno, são usadas em concretos e argamassas, com o objetivo de inibir o surgimento e a propagação de fissuras causadas pelos efeitos da retração plástica ou hidráulica do concreto ou argamassa.

Fibras Metálicas: As fibras de aço podem ser obtidas a partir de diferentes processos de produção, sendo utilizado para reforços em concreto, inibe e dificulta a propagação das fissuras, devido ao seu alto módulo de deformação, resultando em uma grande capacidade de redistribuição de esforços e controle de fissuração do concreto, mesmo em dosagens baixas.

Fibras Poliméricas: São utilizadas como fins de reforços de materiais de construção desde 1965 podendo se destacar no grupo as fibras de polipropileno, polietileno, polyester e polamida (nylon).

Fluência: Fenômeno gerado pela aplicação de tensão constante ao longo do tempo, que induz escoamento de fluido e aumento gradual da deformação de um material devido a tal tensão.

Grafita: Variedade de carbono preto, lustroso, mole, que ocorre em forma de cristais hexagonais ou em forma maciça, foliada ou granular. É usada para fazer bastõezinhos de lápis, crisóis, ânodos eletrolíticos e como lubrificante e moderador em reatores de energia atômica; plumbagina.

High-duty: Material refratário usado em grandes quantidades e para uma larga escala de aplicações. Por causa de sua maior resistência ao choque térmico, estes materiais podem freqüentemente ser usados com mais economia do que os refratários “*medium-duty*” para revestimento de fornos operados em

temperaturas moderadas por longos períodos, mas que estão sujeitos a paradas programadas (USBM, 1996).

In-loco: O seu significado no latim é “no local”.

In-situ: Termo utilizado para caracterizar a expressão “na posição original e natural”. É aplicado para rochas, solos, compostos minerais e fósseis, para indicar que uma determinada reação ocorre no mesmo local onde os reagentes foram originalmente formados ou depositados (USBM, 1996).

Ligantes: Agentes ligantes de pega hidráulica são amplamente empregados nos concretos refratários como aglomerantes. Entre eles, se destaca os cimentos de aluminato de cálcio e as aluminas hidratáveis. (PANDOLFELLI, 2010) .

Lodo de Anodização: O processo de anodização do alumínio gera uma grande quantidade de resíduo na forma de lodo que; apesar de ser classificado como resíduo inerte; precisa ser depositado em aterros controlados. O lodo gerado apresenta interesse para o processo de reciclagem; pois contém elevado percentual de alumina em sua formulação após o processo de calcinação; o que evidencia seu uso para o desenvolvimento de materiais cerâmicos de maior valor agregado; evitando a contaminação do meio ambiente. (SARTOR, 2006).

Low-duty: Material refratário cujo cone pirométrico equivalente não é inferior a 19 e o módulo de ruptura mínimo é de 4,1 MPa (USBM, 1996).

Magnésio: Elemento metálico de lustre branco-prateado, maleável, dúctil, bivalente, que ocorre abundantemente na natureza, mas sempre em combinação em minerais (como magnesita, dolomita, carnalita, espinel), no mar e em águas minerais, em animais e plantas (como ossos e sementes e em forma de clorofila nas partes verdes das plantas); é obtido principalmente por hidrólise de sais fundidos contendo cloreto de magnésio e por redução termal de magnésia; é usado puro em processos metalúrgicos e químicos e também (sob a forma de pó, flocos ou fitas) em fotografia e em pirotécnica, por causa da intensa luz branca que produz. Símbolo Mg, número atômico 12, massa atômica 24,32.

Magnetita: É composto por óxido de ferro, constituinte comum de rochas magmáticas, podendo formar camadas devido a processos de diferenciação magmática. Presente também em rochas metamórficas, de metamorfismo de contato ou regional. Ocorre em meteoritos e também em areias de praia. Comumente formada pela alteração de minerais que contém óxido de ferro. Importante fonte de ferro. Fe_3O_4

Maleabilidade: Qualidade de maleável. Flexibilidade. Plasticidade de um metal em virtude da qual ele pode ser reduzido a lâminas.

Materiais cerâmicos: materiais inorgânicos, não metálicos, formados basicamente por elementos metálicos e não metálicos, com ligações químicas feitas entre si fundamentalmente por ligações iônicas [v. g.] e/ou covalentes.

Materiais cimentícios: O material cimentício é um tipo de material que, quando misturado a água, confere propriedades adesivas e plasticidade para a formação de uma massa rígida.

Matérias refratárias: tem por objetivo manter, armazenar e ceder calor, conter flúidos, resistir a pressões térmicas, mecânicas e químicas, suportar cargas sólidas e líquidas, estáticas e dinâmicas. Sua aplicação é encontrada em fornos domésticos e industriais, em caldeiras, churrasqueira, laboratórios, indústrias siderúrgicas e petroquímicas, peças estruturais entre outros usos, submetidos a alta temperatura e as variações bruscas de temperatura. (LOBATO,2009)

Medium-duty: Material refratário apropriado para as aplicações em condições de severidade moderada (entre *low-duty* e *high-duty*).

Microssilica: A Microssilica é uma adição mineral de alta reatividade que melhora as propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido. Suas partículas são esféricas de dimensões micrométricas, preenchendo os vazios do concreto garantindo menor permeabilidade e excelente resistência.

Mulita: A mulita por ter excelente estabilidade em altas temperaturas é bem utilizada em materiais refratários e em componentes eletro-eletrônicos. A mulita é uma fase cristalina estável no sistema aluminossilicato desde a temperatura ambiente até aproximadamente 1880°C sob pressão de ar atmosférico.(LIRA, 2006).

Oxido de Calcio: O óxido de cálcio (CaO), normalmente conhecido como cal virgem ou cal queimado, é um composto químico largamente utilizado. É branco, cáustico e alcalino sólido cristalino à temperatura ambiente.

Permeabilidade: É definida como a propriedade que governa a taxa de fluxo de um fluido para o interior de um sólido poroso.

Pó de alumínio: O Pó de Alumínio é produzido a partir da atomização do alumínio em estado líquido. Aspirado para uma câmara onde se introduz um jato de ar pressurizado, o alumínio líquido desintegra-se em pequenas partículas de formato semi-esférico que depois é peneirado.

Poliacrilato de Sódio: É conhecido como gel super absorvente ou floc gel. Consegue absorver até 800 vezes seu peso em água.

Porosidade: Qualidade de que tem poros ou interstícios; permeável.

Pré-moldados: Peça modular, moldada na fábrica ou na própria obra, que se junta a uma outra como parte de uma quebra-cabeça a ser montado o

lugar de construção.

Pozolana: Material silicoso ou silicoso-aluminoso natural ou artificial que contém sílica em uma forma reativa e, que apesar de possuir pequeno ou nenhum valor cimentício pode, quando finamente dividido e em temperaturas determinadas, reagir em presença de água com hidróxido de cálcio formando material com propriedade aglomerante (COIMBRA *et al.*, 2002).

Propriedades: Qualidades e características naturais dos corpos.

Reologia: Termo utilizado para descrever as deformações em sólidos e a fluidez de líquidos, através dos sistemas denominados Newtonianos [*v. g.*] e os não-Newtonianos [*v. g.*].

Resíduos: O que resta das substâncias submetidas a ação de vários agentes físicos ou químicos (ex: resíduos industriais, resíduos nucleares, resíduos sólidos urbanos).

Sílica: Compostos de dióxido de silício (SiO_2) nas suas várias formas, incluindo as sílicas cristalinas, as sílicas vítreas e as sílicas amorfas.

Sílica coloidal: Dispersão estável de partículas de sílica com dimensões nanométricas em meio líquido (ISMAEL₁ *et al.*, 2007).

Silica volatizada: Sílica ativa, fumo de sílica condensada, sílica volatizada, microsilica ou simplesmente fumo de sílica são alguns nomes que esta adição mineral recebe, sendo sílica ativa o mais comum no meio técnico e é um subproduto da indústria siderúrgica de produção de ligas de silício.

Sinterização: Tratamento térmico que visa agrupar pequenas partículas formando partículas grandes ou massas, muitas vezes (no caso de minérios) pela fusão de alguns constituintes (USBM, 1996).

Sulfato de Bário: $BaSO_4$, conhecido como bário, é um sal insolúvel que, misturado á agua é utilizado como meio de contraste radiológico radiopaco. É inerte, ou seja, não é absorvido pelo organismo, sendo eliminado in natura .

Superduty: Material refratário apropriado para as aplicações em condições de severidade extrema (superiores às do *high-duty*).

Vibrador: Também denominados vibradores de agulha, são comunmente usados para adensar concretos em vigas, pilares, paredes, lajes e elementos da fundação.