



## **A EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A QUEIMA DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS EM CIMENTEIRAS**

**Luciene P.C.Monteiro (UFF)**

lucianemonteiro@predialnet.com.br

**Fernando B. Mainier (UFF)**

mainier@nitnet.com.br

### **Resumo**

*As cimenteiras no passado utilizavam óleo combustível, carvão mineral e/ou vegetal para suprir suas necessidades energéticas. A partir da década 80/90, visando à redução de combustíveis fósseis e o incentivo ao uso de combustíveis alternativos, houve uma intensificação no uso de resíduos orgânicos renováveis (bagaço de cana, palha de arroz, uso e na redução de resíduos industriais potencialmente combustíveis, entretanto, esta indústria deve estar atenta quanto à toxicidade e a possível contaminação ambiental e humana, pois, dependendo da origem deste combustível alternativo os riscos ambientais aumentam e também comprometem a qualidade do cimento produzido. O estudo com base em ensaios laboratoriais visa alertar a sociedade dos riscos ambientais e humanos relacionados à presença de contaminantes durante a queima de combustíveis alternativos, em seus fornos de produção de clínquer. A Educação Ambiental aplicada significa aclarar e alertar para a possibilidade de contaminações, sejam de cimentos nacionais ou importados, provenientes das rotas de fabricação, muitas das vezes desconhecidas, onde os combustíveis alternativos podem ser fontes permanentes não declaradas de contaminações ambientais e do próprio cimento produzido.*

### **Abstract**

*In the past the cement plants used burn combustible oil, mineral and/or vegetal coal to supply its energy necessities. In the 80s/90s, aiming at to the reduction of fossils fuels and the incentive to the alternative fuel use, it had an inteensification in the use of agriculture organic residues (sugar cane pulp, rice straw, wood waste), residues with even being able calorific acceptable proceeding from some industrial segments and from used tires. Sustainability of cement plants is based in the use and in the reduction of potentially combustible industrial residues, however, this industry must be intent how much to the toxic dad and the possible ambient contamination and human being, therefore,*

*depending on the origin of this alternative fuel the ambient risks increase and also they compromise the quality of the produced cement. The study on the basis of laboratory assays aims to alert the society of related the ambient and human risks to the presence of contaminants during the alternative fuel burning, in its ovens of production of clinker. The applied Environment Education must alert for the possibility of contaminations of national or imported cements proceeding from alternative fuels that can cause contamination of the environment and the cement.*

*Palavras-chaves: Cimento, contaminações, meio ambiente*

## 1 - INTRODUÇÃO

Atualmente, a produção de cimento com mais de 35 milhões de toneladas atende diretamente a construção civil e a fabricação de artefatos de cimento. Muitas plantas foram ampliadas e modernizadas, além de outras instaladas, tais fatos geraram a concentração de capital nas jazidas de calcário e fábricas de cimento, tornando relevante o peso dos proprietários e sócios estrangeiros dessas unidades. Acrescido a isso, houve a modernização nos processos de fabricação empregados, redução de custos, principalmente, no que concerne ao combustível utilizado e, algum investimento na redução da emissão de particulados (pó), que na visão crítica é a poluição visual observada pela sociedade.

A queima de resíduos industriais como combustíveis alternativos nos fornos de clínquer tem sido tema de discussão em âmbito internacional por estar relacionada às implicações relativas às emissões atmosféricas e à qualidade do cimento produzido.

Várias são as pressões tecnológicas para que se estude o impacto ambiental de contaminantes desses resíduos na produção de cimentos com especificação ambiental adequada. Por isso, foi realizada uma abordagem centrada no produto, cimento portland, através de uma linha de pesquisa, com visão voltada às tecnologias atualmente empregadas, que investiga a incorporação de contaminantes ao cimento. Para tal, foram realizados testes laboratoriais de lixiviação em corpos-de-prova de cimento branco contaminados com sais de metais pesados, de forma a realizar uma avaliação da contaminação ambiental causada pela presença desses elementos no cimento.

## 2 - O CIMENTO PORTLAND

O cimento portland é constituído de um pó fino de tamanho aproximado de 50  $\mu\text{m}$ , resultante de uma mistura formada pelo clínquer e outras substâncias, tais como, o gesso e escórias de silício, que dependendo das características desejadas para o cimento, são adicionadas em certas quantidades. O cimento é um material de propriedades adesivas, cerâmico que, em contacto com a água, produz uma reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim, resistência mecânica (TAYLOR, 1992).

O cimento mais comumente utilizado é composto de 96% de clínquer e 4% de gesso em massa, em sua composição. O clínquer é produzido a partir da transformação térmica em

fornos giratórios a elevadas temperaturas, de um material rochoso contendo, normalmente, 80% de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), 15% de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), 3% de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e, quantidades menores de outros constituintes como o ferro, o enxofre e outros. Os custos de transporte são minimizados à medida que as matérias primas ficam próximas as cimenteiras. A composição química percentual, sob forma de óxidos, de um cimento pode ser apresentada na tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Composição química de um cimento

Composição Química	% (massa)
CaO	58,9 – 66,8
SiO <sub>2</sub>	19,0 – 24,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9 – 7,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8 – 5,0
MgO	0,8 – 6,0
SO <sub>3</sub>	0,9 – 3,0

As instalações utilizadas para produção de clínquer, geralmente, baseiam-se na existência central de um forno rotativo cilíndrico colocado em posição horizontal, porém, com uma ligeira inclinação onde circulam os gases de aquecimento resultantes da queima de um combustível em contra-corrente com a matéria-prima para produção do clínquer, conforme mostra, a seguir, a figura 1.

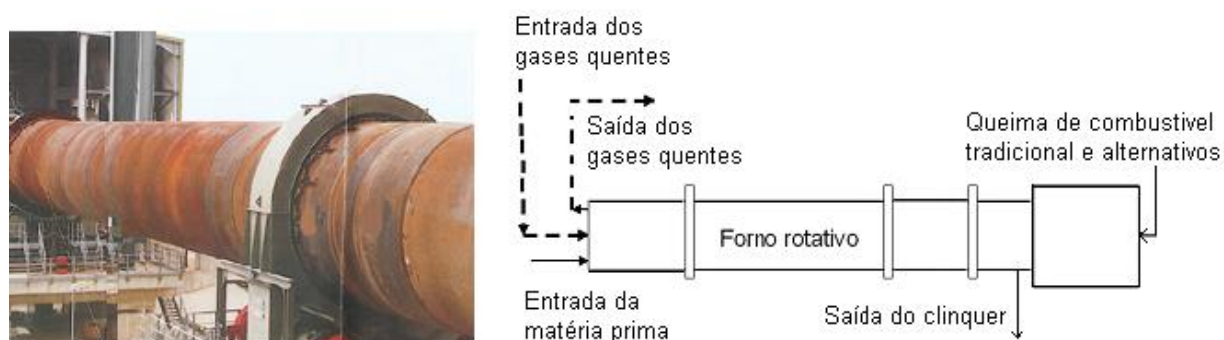


Fig.1 – Esquema de queima de combustíveis no forno de clínquer rotativo

Além disso, o forno de clínquer sofre uma baixa rotação empurrando a matéria-prima que entra na parte mais elevada para a extremidade inferior, já na forma de clínquer. Já o combustível utilizado é fornecido e queimado na parte mais baixa e, em contra-corrente com a matéria-prima até a extremidade oposta. Os fornos de clínquer são revestidos com material

refratário compatível com a massa fluida do clínquer, visando minimizar a perda de calor para o exterior, permitindo, assim, que a temperatura no interior do forno atinja temperaturas de até 2000 °C (TAYLOR, 1992).

A energia necessária à secagem, calcinação e sinterização do clínquer é obtida pela queima de uma variedade de combustíveis, dos quais os mais comumente empregados são o carvão mineral, gás natural e óleo combustível. Entretanto, na política de economia energética são utilizados combustíveis alternativos provenientes de resíduos de diversas indústrias.

### **3 - OS COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS**

As primeiras queimas de resíduos em fornos de produção de clínquer foram realizadas nos anos 70. No Canadá foram realizados testes com resíduos clorados em fornos por via úmida. Na Europa, a França realizou testes em 1978 e, no mesmo ano, a Suécia também incinerou resíduos clorados (KIHARA, 1999).

As atividades de queima de resíduos industriais, em fornos de cimenteiras começaram em 1979. A partir de então, o desenvolvimento da queima de resíduos tem sido acelerada em todo mundo (MOORE, 1995). Segundo estimativas no ano de 1997, foram processados, na União Européia, mais de 400.000 t de pneus e 600.000 t de resíduos líquidos como combustíveis alternativos nos fornos de clínquer das fábricas de cimento. No Japão, essa prática segundo Uchikawa (1992) data dos anos 80 e, no ano de 1990, foram queimados 26 tipos de resíduos industriais como substitutos de combustível, correspondendo a uma economia de 110.000 t de carvão.

Os resíduos industriais de natureza diversificada têm contribuído como fontes de substituição de combustível em fornos rotativos de produção de clínquer das unidades de fabricação de cimento, visando uma recuperação de recursos ao invés de uma simples operação de destruição desses resíduos. Essa atividade pode ser interessante no momento em que não cause impactos ambientais, não afete as condições de segurança e saúde pública das populações vizinhas, não cause prejuízo aos equipamentos da unidade e finalmente não contamine o clínquer/cimento produzido.

As unidades de cimento estão se confrontando com os problemas de sustentabilidade, ao terem que garantir não somente os suprimentos de matérias-primas e insumos energéticos,

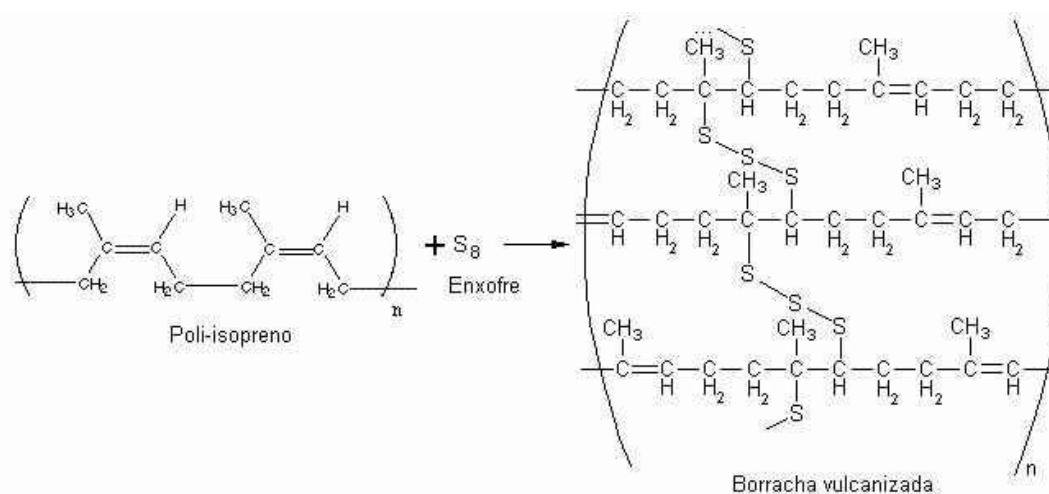
como de cumprir normas e padrões. Na visão crítica, as cimenteiras brasileiras ou estrangeiras, nem sempre contemplam com abrangência os problemas relacionados à tecnologia, aos trabalhadores da indústria do cimento, aos impactos ambientais decorrentes e, provavelmente, não sofrem fiscalização técnica permanente.

Entre as indústrias geradoras de resíduos, a indústria do petróleo aparece como grande produtora dos mesmos, nas formas: sólida, líquida e pastosa, fomentando sobremaneira sua utilização. Geralmente a diversidade é grande, pois, são queimados os óleos de diversas origens, bem como, borras de petróleo provenientes de fundos de tanque, colunas de destilação, fornos de coque, etc. Deve-se alertar para as possíveis contaminações com aditivos usados no processamento, tais como, demulsificantes, inibidores de corrosão, inibidores de incrustação, bactericidas, etc.

As fábricas de tintas contribuem com solventes, diluentes e borras proveniente das formulações fora de especificação.

Outro resíduo, extremamente cogitado para queima em fornos de clínquer, é o pneu inservível, como forma de solucionar os problemas ambientais que esses resíduos causam por si só (ocupação exagerada de espaço físico para sua deposição, não se degeneram fácil e rapidamente, atraem larvas de insetos nocivos à saúde), entretanto, sua queima libera para a atmosfera  $SO_x$  e  $CO_2$ , além de outros componentes químicos provenientes de sua composição. Mesmo assim, é sugerido o seu emprego como uma alternativa para queima nos fornos das cimenteiras, visando suprir seu consumo energético.

Em 1839, Goodyear descobriu por acaso, o tratamento da borracha natural (vulcanização), na qual a mistura de borracha com enxofre que, ao ser derramada no fogo quente, ficava mais elástica e, percebeu que a borracha carbonizada, mesmo depois de congelada, não mudava suas características. O processo de vulcanização ocorre com base na reação, a seguir.



Graças a este experimento, a humanidade tem, através dos anos, desfrutado de um útil e necessário invento, o pneu, que proporciona desempenho, economia e conforto útil, ao funcionamento de veículos terrestres, automotores, utilitários como bicicletas, tratores, máquinas agrícolas, caminhões, etc, pois, acredita-se que a produção mundial de pneus esteja da ordem de um bilhão de unidades (ANIP, 2004).

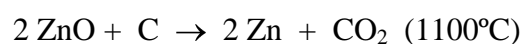
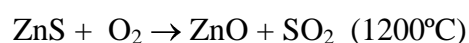
Na ótica de Giucci (2004), desde sua invenção na Europa, no final do século XIX, o automóvel percorreu o mundo, dominou as cidades e se transformou em protagonista da vida cotidiana. O automóvel cruzou fronteiras nacionais, hierarquizou o entorno e modificou o ritmo da vida cotidiana; superando as classes sociais e se tornando um objeto de desejo coletivo. Entretanto, os pneus velhos, inservíveis, espalhados, dentro e fora das lixeiras, constituem um perigo ambiental sob vários aspectos, sendo, no entanto, classificados na lista europeia de resíduos, como um resíduo não perigoso. É importante declarar, que os depósitos de pneus abandonados constituem uma bomba, caso haja a possibilidade de incêndios.

Os países desenvolvidos tentam vender a idéia de lucro ao se incinerar pneus em lugar de combustíveis convencionais, visando uma forma de se “livrar” desse incômodo ambiental junto aos países em desenvolvimento. Essa colocação deve-se ao fato, de que por mais que se incinerem pneus, a massa de pneus inservíveis cresce numa progressão muito acima daquela que se pode queimar nos fornos industriais (GÜNTHER, 2000);

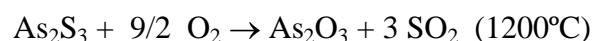
O enxofre é uma matéria prima utilizada em vários segmentos industriais como na fabricação de ácido sulfúrico, fertilizantes, inseticidas, corantes, vulcanização de borrachas, etc. O enxofre pode ser proveniente de várias origens, tais como: depósitos geológicos de

enxofre elementar removidos pelo processo Frasch; recuperação de enxofre de sulfetos metálicos e recuperação pelo processo Claus de enxofre proveniente de sulfeto de hidrogênio procedentes de gás natural ou de refinarias de petróleo (MAINIER & ROCHA, 2003).

Do ponto de vista de contaminações naturais, geralmente, os minérios de arsênio, sob a forma de sulfeto arsenioso ( $As_2S_3$ ), encontram-se associados aos minérios sulfetados ( $FeS_2$ ,  $PbS$ ,  $CuS$  e  $ZnS$ ). O processamento industrial de recuperação de enxofre e metais como o cobre, o zinco e o chumbo constam essencialmente, da oxidação e redução, conforme mostram as reações, a seguir:



Da mesma forma, o sulfeto arsenioso ( $As_2S_3$ ) associado ao minério de zinco pode reagir, formando o arsênio e incorporando-se ao enxofre produzido conforme mostra a reação, a seguir. A contaminação é aleatória, pois, depende do teor de arsênio existente no minério.



Por outro lado, é muito pouco provável a contaminação com arsênio quando o enxofre é obtido partir de depósitos geológicos ou quando é produzido a partir de sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) existente no gás natural.

Atualmente, a produção mundial de enxofre é da ordem de 56 milhões de toneladas anuais provenientes de diversos países e diversas origens. O preço médio é de 65 a 70 dólares por tonelada, embora o preço do enxofre, vai depender da utilização industrial, da pureza, da origem e/ou do processamento industrial. Para lotes de enxofre contaminado, o preço é reduzido em valores de 20 a 40%. Por motivos técnicos ou normas de especificação, o enxofre contaminado com arsênio não pode ser empregado na fabricação de ácido sulfúrico, fertilizante e outros compostos químicos de indústria de base, entretanto, na vulcanização de borracha para pneus não foi encontrado nenhuma restrição.

A queima de pneus em fornos de cimenteiras consiste no simples processo de introduzir e adicionar resíduos à carga que vai alimentar o forno para queima, no entanto, essa prática pode ser desastrosa considerando, que o processo de queima é realizado em contra corrente, ou seja, a carga vai sendo aquecida, progressivamente, antes de chegar à zona de combustão. Dependendo da velocidade de queima, as substâncias voláteis podem ser arrastadas antes de atingirem a temperatura necessária à sua destruição. O monóxido de carbono (CO) e COV (compostos orgânicos voláteis) poderão ocorrer principalmente em casos em que se efetue um fornecimento de combustível não totalmente controlado e/ou em que há uma mistura pouco eficaz com o ar comburente, originando localmente uma deficiência de oxigênio.

Dessa forma, segundo Santi (2004), a queima de pneus, ou de qualquer outro resíduo em fornos de cimento, deve seguir alguns critérios estabelecidos pelos órgãos ambientais responsáveis do local, onde as cimenteiras estão instaladas. Este procedimento aplica-se ao licenciamento de atividades de reaproveitamento de resíduo sólido em fornos rotativos de clínquer.

Visando quantificar a queima de pneus pode adotar uma composição média dos constituintes conforme mostra a tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Composição química média de pneus

Composição química	% (massa)
Carbono	70,0
Hidrogênio	7,0
Óxido de zinco	1,2
Enxofre	1,3
Ferro	15,0
Outros	5,5

Com base na composição química média de um pneu, apresentada na tabela 2, a seguir, a queima total (oxidação total) de uma tonelada de pneus pode significar, teoricamente, uma emissão 2,56 t de CO<sub>2</sub> e 26 kg de SO<sub>2</sub> para atmosfera. Caso o enxofre contido em uma tonelada de pneu tenha, respectivamente, 0,1%, 0,5% e 1% , a emissão para a atmosfera de oxido arsenioso(As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) será de 17g, 85g e 170g. Esses valores são dificilmente identificados

e quantificados na emissão dos gases quentes para atmosfera, entretanto, no momento em que se multiplicam pelo valor da produção anual, a massa de óxido, então, torna-se significativa.

Os ensaios laboratoriais realizados com a queima de amostras de borracha vulcanizada com enxofre de alta pureza e enxofre contaminados com arsênio, em temperatura da ordem de 500°C, confirmam a formação de óxido arsenioso( $As_2O_3$ ) diluído na massa gasosa, juntamente com o dióxido de carbono( $CO_2$ ) e o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ).

## 4 CONCLUSÕES

Com base na literatura referenciada e nos ensaios laboratoriais em andamento são feitas as seguintes considerações e conclusões finais:

- Na visão da Educação Ambiental, o mundo precisa compreender as funções básicas para produzirem alimentos, encontrarem água e, adaptarem-se ao clima. Precisam também, compreender melhor a ciência e a tecnologia, de forma que possam perpetuar as conquistas do mundo moderno. Para isso, deve-se proteger o ambiente de forma inteligente e saudável, tomando-se uma postura firme e indispensável contra qualquer agressão que possa vir a sofrer. Essa, entre outras, é mais uma razão para o desenvolvimento mais completo e criterioso de uma educação ambiental aplicada aos processos industriais;
- a tendência é de se esperar que as cimenteiras venham a se deparar cada vez mais com os problemas decorrentes das alterações ambientais originárias do processo de produção, a partir da opção por renováveis, não renováveis e, de resíduos industriais de outros processos.
- tanto a fiscalização vigente como a população e, também os trabalhadores que trabalham, diretas ou indiretamente, com o cimento (fábricas, comércio e construções), devem estar atentos ao lidar com o cimento portland, oriundo de unidades que queimam resíduos em fornos de clínquer, pois podem estar lidando com um cimento fora dos padrões de qualidade ambiental esperados, face à possibilidade de incorporação dos contaminantes dos resíduos à matriz

cimento ao considerar a incorporação das cinzas dos combustíveis alternativos;

- dado ao cenário presente, pode-se concluir que a estrutura para gestão de resíduos de pneus ainda é muito precária no Brasil e o país não está preparado para lidar nem mesmo com os resíduos dos pneus produzidos pela frota nacional;
- existe um grande inconveniente, em termos ambientais, no que diz respeito à emissão de grandes quantidades de  $SO_x$ , quando são incinerados pneus em fornos de cimenteiras. Além disso, a possibilidade de contaminações com arsênio e outros contaminantes podem caracterizar um problema ambiental. Entretanto, é ingênuo considerar que a grande quantidade de ar que entra nos queimadores pode tornar os contaminantes que saem nos gases quentes desprezíveis. É fundamental quantificar a produção de cimento/gases poluentes em termos de massa, evitando percentuais em volume;
- deve-se acautelar quanto aos riscos acrescidos ao nível das localizações no qual, o processo de tratamento de resíduos em co-incineração ocorre, através da prévia caracterização detalhada das condições ambientais e populacionais de cada local em causa e, das posteriores monitoração ambiental e vigilância epidemiológica. Os procedimentos acima citados constituem os recursos sustentáveis para prevenir, garantir a detecção precoce de complicações e, minimizar ou eliminar eventuais riscos;
- os fornos de cimenteiras não reúnem condições necessárias para regular o processo de incineração de resíduos industriais, nem mecanismos eficazes de controle da contaminação que se produz durante o referido processo;
- torna-se negligente e irresponsável a venda de resíduos industriais com contaminantes não declarados para a sua incineração descontrolada em fornos de cimenteiras.
- no âmbito da Educação Ambiental, a fabricação do cimento, da mesma forma que outros processos de produção de outros produtos, tem sua forma de abordagem quase ingênuo e, nos cursos de graduação nos quais são

apresentadas, não são enfatizados os problemas ambientais acima descritos e, nem propostas soluções alternativas de processo, a fim de minimizar, ou mesmo eliminar, os riscos que envolvem sua produção;

## 5 - REFERÊNCIAS

- GIUCCI, G. A vida cultural do automóvel, Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2004. 368p.
- GÜNTHER, W. M. R., Minimização de resíduos e educação ambiental. VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, ABPL, Associação Brasileira de Limpeza Pública, SP, 2000.
- HEWLETT, P. C. Lea's chemistry cement and concrete, England: Butterwort Heinemann, 2003.
- KIHARA, Y, Impacto da normalização do co-processamento de resíduos em fornos de clínquer, Congresso Brasileiro de Cimento, São Paulo, nov/1999.
- MAINIER, F. B. & ROCHA, A. A., H<sub>2</sub>S: Novas rotas de remoção química e recuperação de enxofre In: Anais 2º Congresso Brasileiro de P& D em Petróleo & Gás, Hotel Glória, UFRJ, Rio de Janeiro, 15/ 18 de junho, 2003, CD-ROM, 6p.
- MOORE, T. E., Co-processamento de insumos alternativos In: Ciclo de Conferências: Indústria de cimento, fabricação, co-processamento e meio ambiente, FEEMA, Rio de Janeiro, 1995. Anais p.127-151.
- SANTI, A. M. M., Co-incineração e co-processamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer; investigação do maior pólo produtor de cimento do país. Região metropolitana de Belo Horizonte, MG. Tese de doutorado, Campinas, 2003.
- TAYLOR, H. F. W., Cement Chemistry, 2ª ed., London, Academic Press, 1992.
- UCHIKAWA, H., 9<sup>th</sup> International congress of cement held in New Deli, nov/1992.