

Os Princípios da Precaução e da Segurança Química diante de novos riscos : uso de resíduos industriais na fabricação de cimento

Arsênio Oswaldo Sevá Filho (UNICAMP, SP) seva@fem.unicamp.br
Auxiliadora Maria Moura Santi (Fundação João Pinheiro, MG) santi@fjp.gov.br

Resumo

O trabalho apresenta resultados da investigação realizada sobre os principais aspectos tecnológicos, territoriais e ambientais da co-incineração de resíduos industriais perigosos nos fornos rotativos de clínquer de fábricas de cimento. A análise considerou esta atividade como um sistema complexo contendo riscos e incertezas, pois ocorrem e podem ocorrer prejuízos para os trabalhadores, para a população e para o meio ambiente além daqueles associados à fabricação do cimento com o emprego de insumos tradicionais. Com base nos cadastros e séries estatísticas obtidas sobre o transporte e as licenças ambientais para uso de resíduos em três fábricas de cimento de grande porte instaladas na região norte da área metropolitana de Belo Horizonte, foram qualificadas a fonte geradora dos resíduos, indicadas as rotas rodoviárias usuais, e alguns percursos de possível contaminação até os usos finais do cimento. Está ocorrendo um processo notável de disseminação dos riscos de contaminação química associados aos resíduos industriais perigosos, em escala inter-regional, convergindo para as regiões cimenteiras. Conclui-se, diante disto, que a sistemática de licenciamento e de controle ambiental por parte da administração pública ainda não adota e até desconsidera o Princípio da Precaução e os critérios da Segurança Química. Palavras chave: Resíduos industriais perigosos – Co-incineração – Riscos ambientais – Segurança química – Fabricação de cimento

1. Introdução

Esta comunicação selecionou alguns tópicos de interesse e de bastante atualidade para informar aos Engenheiros de Produção, estudantes e professores que se reúnem há 23 anos nos ENEGEPs. Baseamo-nos em uma pesquisa com duração de quase oito anos sobre o setor cimenteiro no país e especialmente em Minas Gerais, e que resultou em uma dissertação de Mestrado (SANTI, 1997) e uma tese de Doutorado (SANTI, 2003) na área de Planejamento de Sistemas Energéticos. Nas comunicações feitas em outros congressos profissionais e acadêmicos foram destacados os aspectos energéticos e ambientais associados à queima de resíduos junto com os combustíveis convencionais nos fornos rotativos de fabricação de clínquer de cimento, e os aspectos relacionados às rotas e aos riscos do transporte de materiais perigosos, conforme o que pudemos avaliar nas fábricas e na cadeia produtiva deste setor, e também nos processos de licenciamento junto aos órgãos ambientais estaduais (SANTI & SEVÁ F^o., 1998; SANTI & PÉREZ, 1999; SANTI & SEVÁ F^o., 1999; SEVÁ F^o., SANTI & VALENTE, 2001).

Um ponto a enfatizar, inicialmente, é a necessidade de uma análise multi-profissional deste tipo de questão; na fase de pesquisa tivemos intercâmbio com técnicos e engenheiros nas indústrias e nos órgãos de governo, e também com biólogos, médicos e outros técnicos da área de saúde, geógrafos, funcionários públicos, gerentes e diretores da administração pública. Além disto, a dissertação e a tese foram examinadas e avaliadas por bancas com professores de Engenharia Mecânica, especialistas em Engenharia Térmica, em Poluição Industrial e em Energia e Meio Ambiente, de Engenharia Química e de Química aplicada à Indústria e ao Meio Ambiente, e da área de Saúde Pública, especializado em Riscos Tecnológicos, Prevenção e Segurança Química.

Ao mesmo tempo, é necessário manter a fidelidade aos princípios fundamentais da Engenharia em geral, e em especial da Engenharia Mecânica e da área de Energia, pois todo o raciocínio sobre o que está de fato, acontecendo, quando e onde, quanto e como, ao longo das cadeias produtivas, tem que passar pelas leis de Conservação de Massa e de Energia. Quando as empresas são vistas desta forma, as escalas de análise passam pelos postos e equipes de trabalho, pelos conversores de matéria e de energia, pelas atividades de logística e de manutenção pertinentes ao sistema produtivo, pelas suas relações com o local onde funciona e com a vizinhança. Devemos enxergar todo o jogo de fluxos de materiais que circulam entre muitos tipos de indústrias e qualificar e acompanhar aqueles materiais residuais que acabam indo para destinações finais diversas, dentre elas a *co-incineração* e o *co-processamento* nas cimenteiras.

Se este conjunto de temas e métodos aqui tratados fossem abordados pelos ângulos da Engenharia de Produção, certamente seriam analisados como Processo produtivo do tipo processamento contínuo e por bateladas, um campo de Gerenciamento de fluxos e de estoques, ou como Cadeias produtivas industriais e seus Ciclos de vida. E também são assuntos e preocupações pertinentes aos campos da Engenharia de Segurança, das Condições de Trabalho e das Análises de acidentes e falhas e da Complexidade sócio-técnica dos sistemas atuais.

2. Resíduos industriais perigosos: fontes de novos riscos e de contaminação

As questões que se colocam na avaliação do processo de produção de cimento com emprego de resíduos – para gerar energia (*co-incineração*) ou substituir matérias-primas (*co-processamento*) no processo de clínquerização estão relacionadas aos riscos e à contaminação por substâncias tóxicas presentes na massa dos resíduos (classificados como perigosos ou não), nas emissões atmosféricas das plantas cimenteiras e no próprio cimento. Para discuti-las é necessário seguir as pistas dos movimentos das substâncias perigosas e a mobilidade dos riscos em toda a cadeia de produção e uso do cimento, como se propõe na **Figura 1**. O sistema está representado por cinco blocos: **(I)** a *geração do resíduo*; **(II)** o *transporte do resíduo* da fonte geradora até a porta da fábrica de cimento ou para a unidade de pré-tratamento e mistura; **(III)** a *preparação da mistura de resíduos (blends)*; **(IV)** a *fabricação* e o *despacho do cimento*; e **(V)** a *utilização cimento*.

Na etapa de *geração do resíduo (I)*, o material, após segregado, é estocado ou embalado para ser despachado para as fábricas de cimento, ou enviados às unidades de incineração, ou para a disposição em aterro. O *transporte do resíduo (II)* exige a preparação da carga, os cuidados com o transporte em si e o descarregamento do material na fábrica de cimento, onde, em geral, fica estocado temporariamente, para, em seguida, ser direcionado aos sistemas alimentadores de resíduos dos fornos de clínquer. Em todas as etapas consideradas – da geração do resíduo até a entrada do material no forno –, há riscos de acidentes com vazamento ou derramamento de materiais perigosos; há riscos de emissão de substâncias voláteis, quando presentes na massa do resíduo, ou de poeiras geradas nas eventuais operações de pré-tratamento (britagem, mistura). Se o resíduo é inflamável, há risco de incêndio e explosão, com formação de nuvens de poluentes atmosféricos perigosos (SANTI & SEVÁ Fº, 1999). Os cenários das conseqüências prováveis serão contaminação do solo e das águas, poluição do ar, danos à fauna e à flora, intoxicação de trabalhadores e de populações vizinhas das plantas industriais e dos locais de acidentes envolvendo o transporte (rodoviário ou ferroviário) do resíduo, perda de equipamentos e materiais.

Nas fases (I) e (II) há interferência de trabalhadores na realização das atividades, do que conclui-se que as pessoas diretamente envolvidas estão na indústria geradora do resíduo, são motoristas ou seus ajudantes, ou estão nas plantas cimenteiras. As distâncias que os separam

podem somar milhares de quilômetros, mas todos estão sujeitos aos riscos de contaminação pela exposição às substâncias perigosas do resíduo, seus vapores e particulados, e às substâncias formadas nos eventuais cenários de acidentes, e, portanto, ao desenvolvimento de doenças ocupacionais. Se no trajeto ocorrer algum acidente, o risco de contaminação por exposição aos resíduos ou aos poluentes gerados em reações não controladas se estende aos policiais rodoviários, aos bombeiros, aos policiais militares, aos agentes da defesa civil e dos órgãos ambientais, e aos técnicos das empresas que prestam serviços de socorro que estão no local do acidente, aos cabineiros de pedágios e à população que, por ventura, esteja assentada próxima à rodovia. A contaminação ambiental também é possível.

A **preparação da mistura de resíduos (III)**, que tem por objetivo a obtenção de *blends* com composição química e poder calorífico mais homogêneos e possibilita o emprego de mais tipos de resíduos como combustíveis nos fornos de clínquer, agrega novos riscos à cadeia de produção e uso de cimento: a manipulação, moagem, peneiramento, mistura e o transporte de grandes quantidades de resíduos perigosos e de *blends*; a emissão de material particulado – constituído do substrato e do resíduo em processamento – e de substâncias voláteis para o ambiente de trabalho e para a atmosfera; a geração de efluentes líquidos – constituídos das águas de lavagem de pisos e das águas contaminadas com resíduos; e as embalagens de resíduos descartadas. Somam-se aos riscos de exposição aos materiais perigosos, os riscos de acidentes devido ao derramamento de material, incêndios e explosões.

Os empregados das fábricas de cimento – quando o resíduo é destinado diretamente ao forno de clínquer – e das unidades de pré-tratamento e mistura que trabalham nas áreas de recebimento, preparação, estocagem e transferência de resíduos estão sujeitos à *exposição crônica* aos vapores orgânicos, poeiras inaláveis, fluoretos, compostos de metais pesados, mercúrio na forma de particulado (DANTAS, 2000), e à outras tantas substâncias químicas perigosas que podem ser exaladas ou emitidas durante a manipulação dos materiais, uma vez que os sistemas operacionais são abertos; e aos *riscos de acidentes* com vazamento e derramamento e aos incêndios nos tanques de resíduos líquidos ou com sólidos inflamáveis, que podem causar lesões corporais graves, além de danos ao meio ambiente, às instalações e à população (DANTAS, 2000). Das substâncias orgânicas poluentes possíveis de serem geradas no processo de fabricação de cimento, acetaldeído, benzeno, formaldeído, hexaclorobenzeno, naftaleno, dioxinas e furanos e os metais pesados arsênio, cádmio, chumbo e níquel são reconhecidos pela Organização Mundial de Saúde como carcinogênicos. Muitos dos poluentes são teratogênicos e suspeitos de provocarem danos aos sistemas cardiovascular, respiratório, endócrino, gastrointestinal, renal, reprodutor, imunológico e neurológico dos seres humanos (SCORECARD, 2003).

Na etapa de **fabricação do cimento (IV)**, destaca-se o movimento dos componentes perigosos dos resíduos no sistema de produção de clínquer, caracterizado pelas extensas e complexas reações químicas que ocorrem dentro do forno rotativo, onde substâncias tóxicas também são introduzidas pelas matérias-primas que, além do carbonato de cálcio e dos óxidos de silício, alumínio e ferro, contêm ainda pequenas concentrações de uma série de outros minerais secundários como haletos, sulfetos, álcalis e metais pesados. Os compostos formados no processo de fabricação de clínquer podem ser emitidos para a atmosfera juntamente com o material particulado e com os gases de combustão ou serem incorporados ao próprio clínquer. Na primeira situação, provocam alterações no ambiente próximo à fábrica e impactos negativos na saúde da população, devido à sua toxicidade e aos seus efeitos cumulativos e insidiosos, levando as pessoas expostas ao adoecimento (SPRUNG, 1985; SANTI & SEVÁ Fº, 1999).

Os elementos traços interferem de modo significativo na operação do forno e no processo de clinquerização devido aos *ciclos químicos* que formam na rota de fabricação entre o sistema

de pré-aquecimento e a zona de clínquerização. Os ciclos químicos resultam em zonas de concentração e enriquecimento de metais pesados e outros compostos (SPRUNG, 1985; NEUMANN, DUERR. & KREFT, 1990; SCHÄFER & HOPENIG, 2001; MARINGOLO, 2001), que são constantemente arrastados pelos gases que deixam o forno rotativo e podem ser emitidos para a atmosfera, ou serem incorporados ao clínquer, passando para o cimento (SPRUNG, 1985; SPRUNG & RECHENBERG, 1994; MARINGOLO, 2001), fazendo com que trabalhadores e populações fiquem sujeitos aos riscos da exposição crônica às substâncias de elevada toxicidade emitidas pela unidade industrial.

Maringolo (2001) avaliou as possíveis alterações no clínquer produzido com a co-incineração de uma mistura de resíduos – equivalente a 30% de substituição energética – em comparação com o clínquer produzido somente com utilização de óleo combustível. O resultado está compilado no **Quadro 1**. O pesquisador afirma que o clínquer fabricado com a co-incineração de resíduos é “*caracteristicamente enriquecido em elementos traços*”, e que o “*enriquecimento em determinado elemento está diretamente relacionado à composição do blend, que varia de acordo com as correntes de resíduos utilizadas na mistura*”.

Produto/ Poluente	Resultados da pesquisa
clínquer	Aumento da concentração de metais pesados de baixa volatilidade no clínquer: zinco 7,4 vezes; cobre 13,8 vezes; níquel 2,8 vezes; cobalto 6,1 vezes; vanádio 1,4 vezes
pó de clínquer (chaminé da planta de clínquer)	Aumento da concentração de metais pesados voláteis e semi-voláteis no pó de clínquer coletado no precipitador eletrostático: cádmio 4,1 vezes; chumbo 9,6 vezes

Quadro 1 – Alteração da concentração de metais pesados no clínquer e no pó de clínquer em processo com co-incineração de *blends* de resíduos industriais

Estudos realizados pela *US Environmental Protection Agency* (PORTO et al.,1998; USEPA, 1998) mostraram que dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos podem ser emitidos para a atmosfera a partir de plantas de fabricação de cimento. No início da década de 90, o órgão ambiental americano detectou a presença de dioxinas e furanos no material particulado e nos gases de exaustão de fornos de clínquer e indicou que as fábricas de cimento que processam resíduos perigosos são fontes significativas dessas substâncias (PORTO et al.,1998). O relatório da USEPA, publicado em 1998, informa que dioxinas e furanos são formados nos equipamentos de controle de emissão de material particulado, que operam com fluxos gasosos provenientes do forno de clínquer em fase de resfriamento, mas ainda em temperaturas superiores a 150°C, que favorecem a reação, e concluiu que “*os níveis de emissão desses compostos são cerca de 80 vezes maiores, quando o clínquer é produzido com emprego de resíduos: 0,29 ngTEQ contra 24,34 ngTEQ*” – a TEQ corresponde à toxicidade equivalente em relação aos compostos 2,3,7,8 polidiclorodibenzo-p-dioxinas e polidiclorodibenzofuranos.

A população que vive nas áreas vizinhas às unidades industriais – e também nas áreas nem tão vizinhas, mas que estão na direção dos ventos – é receptora dos diversos compostos químicos poluentes gerados nas fábricas. Está sujeita aos riscos de adoecimento, que podem ser agravados com a co-incineração de resíduos perigosos pelas cimenteiras, e aos riscos acidentais, decorrentes de derramamentos e explosões envolvendo os resíduos. Os poluentes emitidos pela chaminé das plantas de clínquer formam uma pluma, cuja dispersão na atmosfera depende das condições meteorológicas – velocidade e direção do vento, precipitação e inversão térmica –, das características do poluente e da fonte emissora – velocidade, temperatura e vazão dos gases, altura da chaminé. Durante esse processo, que caracteriza a poluição do ar, substâncias químicas, gases e material particulado em suspensão poderão ser inalados ou entrar em contato com os olhos ou a pele das pessoas, causando danos à sua saúde. Os impactos negativos são potencializados pelo efeito da sinergia que pode

ocorrer entre as diversas substâncias presentes no ambiente (RUIZ & VAN DER GOES, 1997).

O cimento Portland é obtido a partir da moagem do clínquer juntamente com as adições – escória de alto forno, pozolanas, calcário etc. Em seguida, o produto é ensilado, aguardando o despacho a granel, ou ensacado, para ser distribuído ao comércio varejista. Durante essas operações ocorre emissão de material particulado, promovendo a exposição dos empregados ao pó de cimento, cujos efeitos toxicológicos e alterações graves que causam à saúde são bem conhecidos: enfermidades do aparelho respiratório, da pele e mais os transtornos à visão – conjuntivite, queimadura nas córneas –, além de gastrite, dermatites e bronquites crônicas associadas a enfisema (PLUNKETT, 1974; BAPTISTA, 1995).

A **utilização do cimento (V)** na construção civil – pela população em geral, construtoras e órgãos públicos – e na fabricação de pré-moldados é a etapa final do sistema analisado. Na construção civil, em grandes obras ou nas reformas domiciliares, laboram os pedreiros, mestres de obras, os ajudantes, enfim, os trabalhadores da construção civil. Por ficarem em contato com o cimento por longos períodos, normalmente em condições de trabalho precarizadas, estão expostos aos riscos de contaminação com o produto que incorporou materiais tóxicos, e sujeitos, por isso, aos mesmos agravos à saúde que acometem os trabalhadores das áreas de moagem e ensacamento de cimento, devido à inalação de poeiras e ao contato dérmico com cimento durante a preparação da massa de concreto e na sua aplicação. As estatísticas sócio-econômicas mostram que o maior consumo de cimento se dá no mercado varejista, por meio do pequeno consumidor. São milhões de pessoas, potencializando os riscos de contaminação pelo uso do cimento que incorporou materiais tóxicos.

O delineamento do raio de ação dos riscos e da intensidade de suas conseqüências é objeto dos *Estudos de Avaliação e de Análise de Riscos*, mas as limitações e as incertezas dos métodos, associados às restrições para sua aplicação no espaço ocupado pelo sistema constituído pela produção de cimento com emprego de resíduos, dada a sua complexidade, determinada pela diversidade das fontes geradoras de resíduos e suas localizações e distâncias das cimenteiras; pelas centenas de tipos de resíduos que estão sendo destinados aos fornos de clínquer com suas propriedades físico-químicas diferenciadas; pelas inúmeras possibilidades de rotas para o transporte dos resíduos; pelos aspectos tecnológicos da fabricação do clínquer e do cimento; e pelas milhares de formas e locais de utilização do cimento torna essa tarefa impossível. Não há, portanto, como garantir sobre a segurança da atividade de co-incineração de resíduos em fornos de clínquer para a população, para os trabalhadores e para o meio ambiente.

3. Da cadeia produtiva do petróleo ao plano de queima e *blends* de resíduos

A indústria brasileira de cimento, que experimentou uma enorme dependência do óleo combustível e converteu-se, após os choques do petróleo da década de 70, para o carvão mineral e, em parte, para o carvão vegetal, especialmente nos anos 90, acrescentou os *resíduos industriais perigosos* ao seu variado elenco de combustíveis destinados aos fornos de clínquer.

Apesar da grande variedade de resíduos processados, observa-se que são originados, predominantemente, de um número restrito de empreendimentos de grande porte ligados à produção e refino de petróleo, à indústria química, ao setor automobilístico e ao setor metal mecânico: refinarias de petróleo, distribuidoras de combustíveis derivados de petróleo, indústrias de materiais plásticos e borrachas, montadoras e indústrias de autopeças, siderúrgicas, fábricas de alumínio, fundições, indústria de rerrefino de óleos lubrificantes, retíficas.

Os resultados da pesquisa realizada por Santi (2003) sobre elenco de resíduos que estão sendo destinados aos fornos de clínquer e as respectivas unidades fabris geradoras mostra que é possível estabelecer quatro rotas principais de resíduos e frações viscosas derivadas da produção e do refino de petróleo, os quais irão passar por várias etapas de transformação, de utilização e de geração de novos resíduos até chegarem às cimenteiras: **(a) rota do OC: a família dos óleos combustíveis**. Foi o principal combustível das fábricas de cimento até os anos 70; sendo, ainda hoje, o mais empregado em várias delas; **(b) rota do CoPe – coque de petróleo**. Está sendo cada vez mais utilizado nos fornos de clínquer de cimenteiras **(c) rota de um grupo de HC – hidrocarbonetos de uso petroquímico**, empregados na fabricação de artefatos de borracha (família dos C4, C6, butadieno, estireno, polímeros de tintas), cujos *refugos, resíduos e sucatas pós-uso* também vêm sendo co-incinerados nos fornos de clínquer; **(d) rota de um grupo de fluidos industriais** – solventes, aguarrás, óleos lubrificantes, ceras e graxas; utilizadas em todas as indústrias, máquinas, montadoras de motores, compressores, bombas, turbinas, máquinas operatrizes, e também nas frotas e nas oficinas de manutenção mecânica, cujos *resíduos contaminados, borras oleosas e de tratamento* também podem ser destinados aos fornos de clínquer.

Descrição pormenorizada de vinte e dois tipos de resíduos que se formam nessas quatro rotas e que vão compor o *plano de queima* das cimenteiras investigadas é apresentada por Santi (2003).

4. Tipos, origem e características dos resíduos destinados à co-incineração em três fábricas de cimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte

A Região Metropolitana de Belo Horizonte, com população de mais de 4,3 milhões de habitantes, predominantemente urbana, é constituída por 34 municípios e abriga o maior conjunto industrial do Estado de Minas Gerais. Na sua vertente norte, nos municípios de Vespasiano, Pedro Leopoldo, Matozinhos e São José da Lapa está instalado o maior pólo produtor de cimento e cal do País, baseado nas extensas reservas de calcário encontradas na região. Destacam-se as fábricas de cimento Camargo Corrêa, Holcim, Soeicom e Brasil Béton (Cimento Lafarge) e as fábricas de cal Mineração Lapa Vermelha, ICAL, Calmit e Cia de Cimento Portland Itau (ITAUCAL).

De acordo com a pesquisa realizada por Santi (2003), o espectro de resíduos que estão sendo co-incinerados nos fornos de clínquer nessas fábricas de cimento é amplo: para o período 1999-2002, foram identificados 199 resíduos industriais diferentes cujo processamento nos fornos de clínquer foi autorizado pelo órgão ambiental estadual. Destes, 79,4% são classificados como resíduos perigosos, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 1987); 19,1% como resíduos não inertes e apenas 1,5% como resíduos inertes.

A massa de resíduos para co-incineração foi estimada a partir da taxa de geração e dos passivos declarados para cada resíduo, para um período de 4 anos – prazo de validade da licença ambiental. Totalizam 968 mil toneladas, sendo 637 mil referentes à geração e 331 mil aos estoques, como detalhado na **Tabela 1**.

Fábrica de cimento (destinação)	Tipos de Resíduos	Geração (t/ 4 anos)	Passivo declarado acumulado (t)	Total (t)	(%)
Holcim	75	299 136	151 561	450 697	46,6
Soeicom	106	268 656	110 628	379 284	39,2
Camargo Corrêa	18	69 408	69 265	138 673	14,2
Total	199	637 200	331 454	968 654	100,0

Tabela 1 – Quantidades envolvidas na co-incineração de resíduos em três fábricas de cimento da RMBH

A maioria dos resíduos cumpre o papel de combustível complementar (co-incineração), apresentando poder calorífico que varia de 11700 kJ/kg (valor mínimo, de acordo com a

regulamentação ambiental) a 50100 kJ/kg (2800 kcal/kg a 12000 kcal/kg). As taxas de alimentação mais empregadas estão na faixa de 0,5 t/h a 1 t/h, mas observa-se tendência de crescimento dessas taxas nos processos referentes aos pedidos de licença ambiental mais recentes, onde os valores propostos chegam a 5 t/h, e os níveis de substituição energética ultrapassam os 40%, como apresentado no **Quadro 2**.

Certifica-se que é comum a alimentação simultânea de resíduos diferentes nos fornos rotativos de clínquer, de acordo com um *plano de queima*, que leva em conta a compatibilidade química dos materiais e a taxa de alimentação dos resíduos que comporão a mistura. Assim sendo, a diversidade de materiais alimentados nos fornos aumenta extraordinariamente com os arranjos (misturas) de resíduos que podem montados e com os *blends*. Outra constatação é que a maioria dos resíduos estão, de alguma forma, vinculados à cadeia de produção de petróleo e uso de derivados petrolíferos.

Como qualquer outro insumo utilizado numa planta industrial, os resíduos destinados à co-incineração nos fornos de clínquer são transportados da unidade fabril onde foram gerados até as fábricas de cimento, na quase totalidade, pelo modal rodoviário. Este fato amplia de forma extraordinária os limites do sistema em análise, pois as fábricas da Região Metropolitana de Belo Horizonte estão recebendo resíduos gerados em localidades muito distantes, como, por exemplo, de bases de combustíveis derivados e petróleo das Regiões Norte e Nordeste. Os resíduos são transportados em caminhões tipo carga seca, caminhões caçamba ou caminhões tanque; a granel, ou embalados em big-bags ou tambores metálicos de 200 litros, de acordo com o estado físico do material.

Parâmetro	Descrição
Taxa de alimentação	0,5 t/h a 5 t/h
Poder calorífico	11700 kJ/kg a 50100 kJ/kg (2800 kcal/kg a 12000 kcal/kg)
Substituição energética	0,8% a 49%
Substituição de matéria-prima	0,1% a 90%
Transporte	estimado em 26 caminhões por dia; capacidade do caminhão: 25 t
Tipos de carga	a granel, em big-bags, em tambores
Principais resíduos, origem e taxas de geração	<ul style="list-style-type: none"> * refino de petróleo: borra de landfarm (500 t/mês), borra de tanque (300 t/mês) * fabricação de alumínio: resíduos das cubas (160 t/mês), carvão de criolita (350 t/mês), alumina fluoretada (170 t/mês), alumina fora de especificação (500 t/mês), cake de neutralização dos lavadores de gases (140 t/mês) * rerrefino de óleos lubrificantes usados: borra ácida (210 t/mês); indústria * siderúrgica: lodo de ETE (1500 t/mês), óleo usado (150 t/mês), lamas oleosas (250 t/mês), óleo usado (150 t/mês) * fundições: areia verde para moldagem (360 t/mês), areia shell para moldagem (300 t/mês), escória (400 t/mês) * indústria química: tar (1300 t/mês), resíduo de MBT (200 t/mês)

Fonte: SANTI (2003)

Quadro 2 – Aspectos tecnológicos da co-incineração de resíduos em três fábricas de cimento da RMBH

A análise das rotas estabelecidas para o transporte de resíduos perigosos mostrou que o *Anel Rodoviário de Belo Horizonte* – que liga as rodovias federais BR 040, BR 381 e BR 262 – é passagem obrigatória da maior parte dos veículos de carga que trafegam na região (SEVÁ Fº, SANTI & VALENTE, 2001). Se a massa de resíduos destinadas à fábricas de cimento da RMBH – 968 mil toneladas – for transportada em caminhões com capacidade para 25 toneladas por carregamento, estima-se que o transporte de resíduos demandará o trabalho de cerca de 26 caminhões por dia, ou seja, cerca de um caminhão a cada hora, totalizando cerca de 38 mil viagens.

Assim, para o cidadão que trafega diariamente na região do Anel Rodoviário e nas rodovias que atendem os municípios do setor norte da RMBH, conviver com as cargas de resíduos perigosos e os riscos de acidentes tornou-se algo rotineiro. Entretanto, com certeza, o cidadão desconhece o perigo a que está exposto, pois os caminhões de resíduos não são bem sinalizados – com placas de riscos e números da ONU, de uso obrigatório, por lei – como os caminhões que transportam produtos perigosos, para os quais, inclusive, é voltada toda a ação fiscalizatória do poder público.

Mesmo com o reconhecimento dos riscos e dos possíveis danos ao homem e ao meio ambiente que possam vir a ser causados pelos acidentes envolvendo o transporte rodoviário de produtos (e resíduos) perigosos, e com a determinação legal para o controle da atividade em todo território federal, em Minas Gerais, as ações direcionadas à prevenção e ao planejamento para atendimento às emergências nesses casos são incipientes e isoladas.

5. Reflexões sobre o controle da atividade de co-incineração de resíduos perigosos pelo poder público, o Princípio da Precaução e a Segurança Química

Como qualquer atividade industrial de grande porte, também para a produção de cimento com emprego de resíduos industriais perigosos, os riscos tecnológicos estão sempre associados à escala das operações, e são probabilísticos, e esta probabilidade varia ao longo dos dias, das estações climáticas e no longo prazo. Significa dizer que a escala de operações, quando focalizada na questão da co-incineração, é dada pelas toneladas de resíduos perigosos que estão sendo alimentadas nos fornos de clínquer, o que exige a manipulação, o transporte, a preparação e o processamento dessas tantas toneladas de resíduos, e também do grau de periculosidade desses materiais, e dela decorre a extensão e a ampliação dos riscos a que estarão expostos trabalhadores, população e o próprio meio ambiente.

O reconhecimento e a aceitação dos limites e das incertezas do conhecimento científico sobre os problemas ambientais e os riscos associados à capacidade de inovação e utilização, em larga escala, de produtos e processos, maior do que a capacidade de se avaliar adequadamente seus riscos, têm implicado em mudanças nas políticas ambientais, científicas e tecnológicas dos países desenvolvidos em direção à *prevenção*, que é tornada prática por meio do *Princípio da Precaução* (WYNNE, 1992).

De acordo com este autor, o *Princípio da Precaução* tem como característica requerer que as decisões sobre os processos industriais e as substâncias químicas perigosas – e os resíduos nada mais são do que uma mistura complexa delas – ocorram quando uma inovação tecnológica ainda se encontra sendo testada e não na ponta final do processo, quando a tecnologia já está implantada e empregada em larga escala. Entretanto, não é o que ocorre com relação ao emprego de resíduos na fabricação de clínquer de cimento, uma vez que as quantidades crescem e os tipos de resíduos destinados aos fornos se diversificam rapidamente, sem que tenham sido realizados estudos e pesquisas para avaliar a eficácia desta tecnologia no que se refere ao potencial e ao grau de disseminação dos riscos para a saúde humana e para o meio ambiente. A co-incineração de resíduos trata-se, assim, de um processo complexo e inédito no Brasil, com carga importante de incertezas e de riscos, apresentando-se, na forma como está se desenvolvendo, como um experimento social em larga escala, o que, segundo Wynne (1992) não é mais possível permitir que ocorra.

Outra perspectiva em que a questão da co-incineração de resíduos pode ser analisada é a da *Segurança Química*, definida como “o conjunto de estratégias para a prevenção e o controle dos efeitos adversos para o homem e para o meio ambiente causados pelas substâncias químicas, no amplo espectro de situações de exposição possíveis (crônica ou acidental), desde a presença natural dessas substâncias no ambiente, até sua extração ou síntese, produção industrial, transporte, uso e disposição final” (OMS, 1997), para a qual foram

estabelecidas diretrizes e metas, das quais destacam-se (FUNDACENTRO/FISQ, 2000) a prevenção à poluição; o desenvolvimento e implantação de tecnologias de processos e produtos mais limpos; a difusão de informações sobre os riscos da fabricação de substâncias químicas, descarte no meio ambiente e meios para se evitar e reduzir tais riscos; a ampliação da participação da coletividade nas decisões sobre segurança química; e a implantação de sistemas de prevenção e atendimento em casos de acidentes.

A cadeia de produção e uso do cimento fabricado com o processamento de resíduos insere-se na área da *Segurança Química* devido à natureza complexa dos riscos que estão associados, em grande extensão, à exposição às mais variadas substâncias químicas que constituem as matérias-primas e os combustíveis empregados no processo de fabricação de clínquer, aos aditivos do cimento e ao próprio cimento; às emissões emanadas das fábricas; aos resíduos e aos *blends* de resíduos – além dos efluentes atmosféricos, líquidos e resíduos sólidos gerados nas unidades de pré-tratamento e mistura –; nos derramamentos acidentais nas plantas ou no transporte de resíduos; tudo somado à vulnerabilidade das regiões onde estão inseridas as cimenteiras.

Constata-se que os procedimentos reguladores da atividade de co-incineração pelos órgãos ambientais ainda é incipiente diante da complexidade do sistema. Particularmente, no caso do Estado de Minas Gerais, onde sequer foram realizados testes em branco ou testes experimentais para avaliação da eficiência do processo de tratamento térmico dos resíduos nos fornos de clínquer, e onde o monitoramento da emissão de substâncias tóxicas nas chaminés das fábricas de cimento – devido à frequência e aos parâmetros (selecionados) analisados – não garante o controle da atividade (SANTI, 2003), tais avanços ainda estão longe de serem considerados pelos analistas ambientais mineiros, o que contribui para a disseminação dos riscos; não há nenhum controle sobre eles e muito menos estão sendo tomadas medidas para sua efetiva minimização. Dessa forma, as autoridades públicas, ao concederem licenças para a co-incineração de resíduos, em vista do estágio atual do conhecimento científico e tecnológico e da inadequação das próprias exigências dos regulamentos e normas vigentes estão desconsiderando as premissas do *Princípio da Prevenção*. Observa-se uma postura atrasada dos entes públicos em relação aos riscos e sua disseminação em larga escala, demonstrando que nem todas as ações estão em consonância com os critérios da *Segurança Química*.

Destaca-se que, no âmbito territorial, as conseqüências do crescimento do emprego de resíduos na produção de clínquer são três e bem distintas: 1) aumenta o risco de contaminação nos locais e regiões onde estão as cimenteiras e na cadeia dos usos do cimento; 2) aumenta o risco em todo o trajeto, desde o despacho do resíduo pela indústria geradora, até a alimentação do material nos fornos de clínquer; 3) diminui o risco nas regiões onde estão instaladas as indústrias geradoras de resíduos, devido à diminuição do acúmulo de resíduos no solo (aterro), ou das quantidades estocadas. Ou seja, está ocorrendo um processo notável de disseminação dos riscos de contaminação química associados aos resíduos industriais perigosos, em uma escala inter-regional, convergindo para as regiões cimenteiras: são quase um milhão de toneladas de resíduos perigosos destinadas somente à Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Ao quadro já complexo agregam-se a exclusão social e as desigualdades que fazem com que a poluição ambiental afete, de forma mais grave, as *populações mais pobres* e marginalizadas, que são aquelas que, normalmente, habitam as áreas de risco de poluição e de acidentes; e os *trabalhadores*, provavelmente menos qualificados e, em geral terceirizados, que, recebendo menores salários e menos treinados, estão mais expostos ao risco intrínseco e novo relacionado à presença de resíduos perigosos nas plantas cimenteiras e à falta de costume dos próprios trabalhadores no manuseio desses materiais.

Conclui-se que a produção de cimento com emprego de resíduos expande o alcance dos riscos, os quais permeiam os caminhos dos resíduos, do cimento e da poluição liberada para o meio ambiente pelas unidades industriais, formando inúmeros cenários de exposição crônica ou acidental aos componentes perigosos que se movimentam de um ponto a outro da cadeia de produção e uso do cimento, com grande potencial de agravo à saúde dos trabalhadores e da população, e de comprometimento da qualidade ambiental, o que, indiretamente também afeta os seres humanos, a flora e a fauna, pela contaminação dos recursos ar, água e solo, com possíveis reflexos na cadeia alimentar, inclusive.

Diante de tais novos riscos, é urgente – e ao mesmo tempo, difícil combatê-los ou diminuir suas ameaças e prejuízos – adotar medidas que minimizem este problema grave. Para isto, como contribuição, apresenta-se algumas proposições direcionadas à efetivação de práticas de Segurança Química a serem desenvolvidas por órgãos públicos, empresas, universidades, centros de pesquisa e administradores públicos, de acordo com a esfera de competência de cada um, visando o conhecimento rigoroso de todas as etapas da cadeia de produção e uso do cimento e seus riscos: (a) determinar os balanços de massa para a planta de clínquer, em operação convencional e com processamento de resíduos, identificando os fluxos predominantes dos poluentes tóxicos; (b) restringir os tipos de resíduos que estão sendo processados, para permitir o controle ambiental efetivo da atividade; (c) analisar o potencial de risco à saúde humana e para o meio ambiente considerando as emissões de metais pesados e outros poluentes tóxicos nas plantas de fabricação de cimento com co-incineração de resíduos e sua incorporação na massa do produto final; (d) aprofundar a discussão sobre a eficácia dos modelos de monitoramento, limitados aos métodos analíticos quantitativos; (e) informar à sociedade sobre os riscos associados ao processo de fabricação de cimento com emprego de resíduos; (f) desenvolver meios e procedimentos para a participação e o controle efetivos por parte da sociedade – trabalhadores, vizinhos e administrações públicas locais – nos processos decisórios envolvendo políticas e controle de riscos ambientais relacionados à produção de cimento com emprego de resíduos; (g) preparar comunidades para emergências locais, para atuação conjunta com os agentes da Defesa Civil, Meio Ambiente, Saúde, Corpo de Bombeiros, Polícia Militar; (h) criar instrumentos econômicos para cobrança de impostos sobre a geração, o transporte e o processamento de resíduos industriais perigosos de modo a permitir atenuar a predominância do ganho individual das fábricas de cimento em detrimento da sociedade nas regiões onde esses resíduos estão sendo estocados, transportados ou co-incinerados.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. Norma NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. set. 1987. (em revisão)
- BAPTISTA, C.N. Medicina do Trabalho na indústria de cimento. In: Ciclo de Conferências. Indústria de cimento: fabricação, co-processamento e meio ambiente. Rio de Janeiro: ABCP/FEEMA. 1995. [anais]. p:203-212.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho [FUNDACENTRO] & Fórum Intergovernamental de Segurança Química [FISQ]. Declaração da Bahia. Salvador. out.2000. 6p.
- DANTAS, K.M.C. Implantação de um sistema de gestão ambiental em uma empresa de co-processamento de resíduos em fornos de cimento – Estudo de caso na Tecnosol Comércio e Serviços Ltda. Tese [Mestrado]. Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, RJ. 2000.
- MARINGOLO, V. Clínquer co-processado: produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento. Tese [Doutorado]. Mineralogia Aplicada. Departamento de Mineralogia e Geotectônica. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2001.
- NEUMANN, E; DUERR, M. & KREFT, W. The substitution of fossil fuels in cement kilns. *World Cement*. p:80-88. mar.1990.

- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Programa Internacional de Seguridad de Substancias Químicas [IPCS]. Seguridad Química. Principios básicos de toxicología aplicada. [Trad. Diego González Machín, Ana Franca Abbinante, Marisel García]. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima:OPS/CEPIS/PUB. 1997. 282 p.
- PLUNKETT, E.R. Manual de Toxicologia Industrial. Enciclopedia de La Quimica Industrial. Madri: Ediciones Urno. Tomo 2. 1974.
- PORTO, M.F.S.; MATTOS, U.; PIVETTA, F. et al. Indústrias cimenteiras de Cantagalo que realizam co-processamento de residuos industriais. Relatório de Inspeção. Fundação Oswaldo Cruz. Centro de Estudos de Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana. Rio de Janeiro. 1998. 74p.
- RUIZ, M.C.G. & VAN DER GOES, T.F. Conceptos basicos de toxicoloía ambiental. In: Introduccón a la Toxicología Ambiental. [Coord. Lilian A. Albert]. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Mundial de la Salud. Mexico. 1997. 471p.
- SANTI, A.M.M. O emprego de resíduos como combustíveis complementares na produção de cimento na perspectiva da energia, da sociedade e do meio ambiente. Estudo de caso: Minas Gerais no período 1980-1997. Tese [Mestrado]. Planejamento de Sistemas Energéticos. Universidade Estadual de Campinas, SP: [s.n.]. 1997.
- SANTI, A.M.M. Co-incineração e co-processamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer: Investigação no maior pólo produtor de cimento do País, Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, sobre os riscos ambientais, e propostas para a Segurança Química. Tese [Doutorado]. Planejamento de Sistemas Energéticos. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, SP: [s.n.]. 2003.
- SANTI, A.M.M. & PEREZ, S.A.N. Regulamentação e controle ambiental da utilização de resíduos para a geração de energia térmica em fornos de produção de clínquer. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES. 1999. [anais]. p:2035-2044.
- SANTI, A.M.M. & SEVÁ Fº, A.O. Análise do emprego de resíduos como combustíveis complementares em indústrias de cimento no Sudeste do Brasil: anos 1980-1990. III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. São Paulo: USP/SBPE. 1998. [anais].
- SANTI, A.M.M. & SEVÁ Fº, A.O. Resíduos renováveis e perigosos como combustíveis industriais. Estudo sobre a difícil sutentação ambiental da fabricação de cimento no Brasil, anos 1990. In: VIII Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro: COPPE/PPE. 1999. v.1. [anais]. p:212-224.
- SEVÁ Fº, A.O.; SANTI, A.M.M.; & VALENTE, R.S. Estudo da disseminação e dos riscos e da contaminação: diagnóstico parcial do transporte rodoviário de resíduos no Estado de Minas Gerais e análise da cadeia de geração e destinação. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa. ABES. set. 2001. [anais em CD rom]. 14 p.
- SCORECARD. About the chemicals. www.scorecard.org . 2003.
- SCHÄFER, S. & HOPENIG, V. Operational factors affecting the mercury emissions from rotary kilns in the cement industry. *Zement-Kalk-Gips*. (11):591-601. 2001.
- SPRUNG, S. Technological problems in pyroprocessing cement clinker: cause and solution. Dusseldorf: Beton-Verlag. 1985. 129 p.
- SPRUNG, S. & RECHENBERG, W. Levels of heavy metals in clinker and cement. *Zement-Kalk-Gips*. (7):E180-E188. 1994.
- US. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [USEPA]. The inventory of sources of dioxin in the United States. EPA/600/P-98/002-Aa. Washington DC: Office of Research and Development. Apr. 1998.sp.
- WYNNE, B. Uncertainty and environmental learning – Reconveing science and policy in the preventive paradigm. *Global Environmental Change*. (2): 111-127. Jun. 1992.

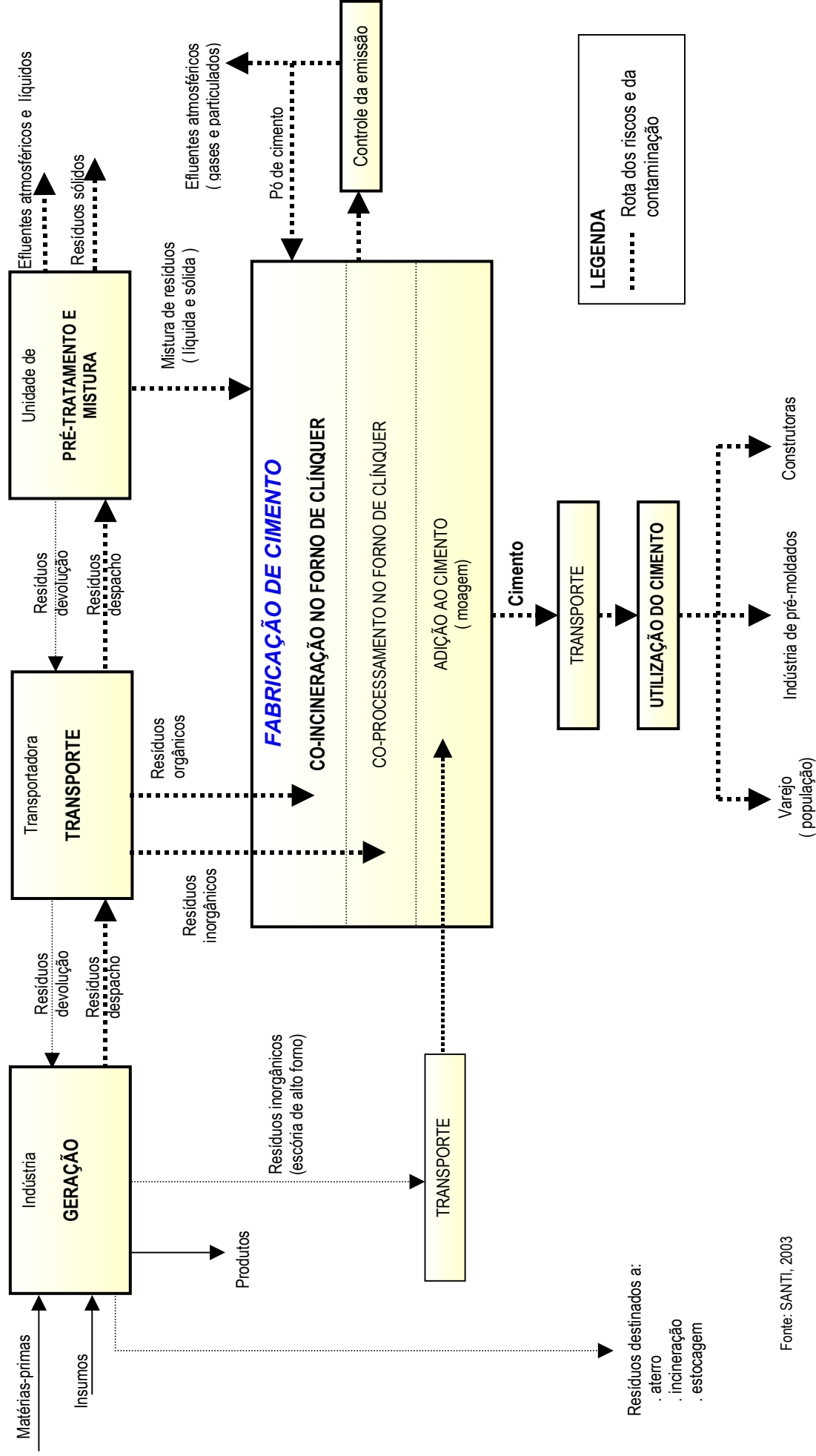


Figura 1 – Rotas dos riscos e da contaminação na cadeia inter-industrial de reaproveitamento de resíduos na fabricação de cimento – macro-fluxos