

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
Fundação Estadual do Meio Ambiente
Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento
Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades Industriais
Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades de Infraestrutura



Análise Técnica e Ambiental da Utilização de Resíduos Sólidos Urbanos na Produção de Cimento (coprocessamento)

FEAM – DPED – GEDIF – GEDIN – RT – 002/2010

Belo Horizonte
2010

© FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

ANTÔNIO AUGUSTO JUNHO ANASTASIA - GOVERNADOR

**SISTEMA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SISEMA
SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL – SEMAD**

JOSÉ CARLOS CARVALHO - SECRETÁRIO

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM

JOSÉ CLÁUDIO JUNQUEIRA - PRESIDENTE

DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO - DPED

PAULO EDUARDO FERNANDES DE ALMEIDA - DIRETOR

**GERÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO E APOIO TÉCNICO
ÀS ATIVIDADES DE INFRAESTRUTURA – GEDIF**

TIAGO ABDOM MELO - GERENTE

**GERÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO E APOIO TÉCNICO
ÀS ATIVIDADES INDUSTRIAIS – GEDIN**

LILIANA ADRIANA NAPPI MATEUS - GERENTE

EQUIPE TÉCNICA

HUMBERTO RODRIGUES LÓES – ANALISTA AMBIENTAL

CIBELE MALLY DE SOUZA – ANALISTA AMBIENTAL

FERNANDA RABELO SOUZA - ESTAGIÁRIA

F981a Fundação Estadual do Meio Ambiente.
Análise técnica e ambiental da utilização de resíduos sólidos urbanos na produção de cimento (coprocessamento) / Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo Horizonte: Feam, 2010.
38 p.; il

FEAM – DPED – GEDIF – GEDIN – RT – 2010.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Indústria cimenteira.
3. Coprocessamento. 4. Análise ambiental. I. Título.

CDU: 666.94:628.474

Rod. Prefeito Américo Gianetti, s/nº - 1º andar - Edifício Minas – Cidade Administrativa de Minas Gerais - Bairro Serra Verde - Belo Horizonte/MG - CEP 31.630-900
(31) 3915 1440 - www.meioambiente.mg.gov.br

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CDR – Combustível Derivado de Resíduos
CHP – *Combined Heat and Power*
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental
FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente
GJ – gigajoule
IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal
kcal – quilocaloria
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NBR – Norma Brasileira
PET – Polietileno tereftalato
PVC – Cloreto de polivinila
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
tep – tonelada equivalente de petróleo
US.EPA – *United States Environmental Agency Protection*
UTC – Usina de Triagem e Compostagem

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma simplificado do processo de produção de cimento.	11
Figura 2 - Identificação das zonas do forno rotativo com pré-aquecedor.	13
Figura 3 - Pontos de entrada de resíduos na planta.....	16
Figura 4 - Forno rotativo com ciclone pré-aquecedor e coletor de material particulado dos gases.....	17

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Componentes mais comuns da composição gravimétrica.....	5
Quadro 2 - Opções de gestão de resíduos e suas variações.....	8
Quadro 3 - Tipos de resíduos coprocessados nos fornos de clínquer.....	15
Tabela 1 - Tipos de cimento e suas composições.....	14
Tabela 2 - Utilização de Combustíveis e Matérias-Primas Alternativos (CMPA) em diversos países.....	15
Tabela 3 - Estimativa de geração de RSU <i>per capita</i> , de acordo com a população.	21
Tabela 4 - Fábricas, localização e municípios com potencial para coprocessamento de RSU.	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	2
2.1 Definição e classificação dos RSU.....	2
2.2 Caracterização dos RSU.....	4
2.3 Gerenciamento dos RSU	6
2.4 Tecnologias de tratamento de RSU	8
2.4.1 Recuperação de biogás de aterro.....	9
2.4.2 Biometanização	9
2.4.3 Incineração	10
3 INDÚSTRIA CIMENTEIRA	11
3.1 Processo de fabricação de cimento	11
3.2 Coprocessamento.....	14
3.3 Sistema de controle das emissões atmosféricas.....	16
4 COPROCESSAMENTO DE RSU	19
5 ASPECTOS ECONÔMICOS DO COPROCESSAMENTO DE RSU	21
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
ANEXOS	27
Resolução Conama nº 264, de 26 de agosto de 1999... ..	27
Deliberação Normativa COPAM nº 154, de 25 de agosto de 2010.....	36

1 INTRODUÇÃO

No estado de Minas Gerais, a gestão dos resíduos sólidos urbanos vem sendo amplamente difundida entre os municípios, através de campanhas junto ao executivo municipal, normas e regulamentos que direcionam e incentivam a adoção de tecnologias e processos para uma destinação final ambientalmente adequada. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, recentemente promulgada, é um exemplo, pois disciplina a necessidade do gerenciamento de resíduos e responsabiliza o poder público, o setor empresarial e a coletividade pela efetividade das ações estabelecidas.

Alguns projetos a nível estadual propõem tecnologias para a otimização da gestão de resíduos sólidos urbanos, entre essas pode ser destacada sua valorização através de mecanismos que privilegiem o aproveitamento energético.

Dentre as alternativas, o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer se apresenta como uma tecnologia viável para a destinação final do lixo doméstico, considerando as especificidades do processo de fabricação de cimento, tais como elevadas temperaturas do forno, tempo de residência dos materiais e dos gases, turbulência interior no forno, dentre outros fatores que possibilitam uma destruição segura de grandes volumes de resíduos. O coprocessamento de resíduos se viabiliza também por não alterar a qualidade do produto final – cimento.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2010), a técnica de coprocessamento é empregada há mais de 40 anos na Europa, Estados Unidos e Japão, sendo utilizada no Brasil desde o início da década de 90. A indústria cimenteira no Brasil compõe-se de 46 fábricas, coprocessamento cerca de 1,0 milhão de toneladas de resíduos industriais por ano. Esse processo se apresenta em franca expansão, tendo em vista a substituição de combustíveis convencionais (coque de petróleo, óleos combustíveis e moinha de carvão vegetal) por resíduos com poder calorífico e/ou que caracterizem substituição de matérias-primas utilizadas na fabricação do clínquer, resultando na redução da destinação de resíduos aos aterros e consequente aumento em sua vida útil.

Assim, esse trabalho visa abordar a temática do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos, com destaque para os resíduos domiciliares, propondo avaliar os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos inerentes a essa operação.

2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

2.1 Definição e classificação dos RSU

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define como resíduos sólidos os resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Essa definição é regulamentada pela norma ABNT NBR 10004, que ainda classifica os resíduos sólidos nos seguintes grupos (ABNT, 2004):

- Resíduos perigosos (classe I) – são aqueles que apresentam periculosidade ou constem nos anexos A e B desta norma ou apresentem uma das seguintes características: inflamabilidade; corrosividade; reatividade; toxicidade e; patogenicidade.
- Resíduos não perigosos, não inertes (classe IIA) – são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou de resíduos classe IIB, nos termos dessa norma. Os resíduos classe IIA podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos não perigosos, inertes (classe IIB) – são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo norma ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme norma ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G desta norma.

A origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. Segundo esse critério, os diferentes tipos de resíduos podem ser agrupados em cinco classes (IBAM, 2001):

- Resíduo doméstico ou residencial: são os gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.
-

- Resíduo comercial: são os gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade desenvolvida.
- Resíduo público: são aqueles presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também os descartados irregular ou indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.
- Resíduo domiciliar especial: grupo que compreende os entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus. Os entulhos de obras, também conhecidos como resíduos da construção civil, só se enquadram nesta categoria devido à grande quantidade gerada e pela importância de sua recuperação e reciclagem.
- Resíduo de fontes especiais (industrial, radioativo, de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários, agrícola e de serviços de saúde): são os resíduos que, em função de suas peculiaridades, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte ou disposição final.

Recentemente, foi promulgada a Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Tem-se como definições dessa Lei (BRASIL, 2010):

Art. 3. Para efeitos desta Lei, entende-se:

X – gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI – gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;

XVI – resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases

contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

Observa-se que essa Lei apresenta uma definição de resíduos sólidos muito semelhante à da norma ABNT NBR 10004, com a particularidade do acréscimo de “gases contidos em recipientes” no grupo dos resíduos sólidos. Outra determinação importante dessa Lei é a descrição do termo resíduo sólido urbano, que engloba apenas os resíduos domiciliares e de limpeza urbana.

No estado de Minas Gerais, a política de resíduos sólidos é estabelecida na Lei Estadual nº 18031, promulgada em 12 de janeiro de 2009.

2.2 Caracterização dos RSU

As características dos resíduos podem variar em função dos aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que também diferem as sociedades e as cidades. A análise desse resíduo pode ser realizada segundo suas características físicas, químicas e biológicas (IBAM, 2001).

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2001), a análise das características físicas dos resíduos sólidos pode ser feita considerando as seguintes informações:

- *Geração per capita*: relaciona a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região.
- *Composição gravimétrica*: traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduo analisada. Os componentes mais utilizados na determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos são listados no Quadro 1.

Quadro 1 - Componentes mais comuns da composição gravimétrica.

Matéria orgânica	Metal ferroso	Borracha
Papel	Metal não-ferroso	Couro
Papelão	Alumínio	Pano/trapos
Plástico rígido	Vidro claro	Carcaças de animais
Plástico maleável	Vidro escuro	Cerâmica
PET	Madeira	Agregado fino

Fonte: IBAM (2001).

- **Peso específico aparente:** é o peso do resíduo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m³. Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações. Na ausência de dados precisos, convém utilizar os seguintes valores de peso específico: 230 kg/m³ para resíduo domiciliar, 280 kg/m³ para resíduos de serviços de saúde e 1.300 kg/m³ para entulho de obras.
- **Teor de umidade:** representa a quantidade de água presente no resíduo, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro se altera em função das estações do ano e da incidência de chuvas, podendo-se estimar o teor de umidade variando entre 40 e 60%.
- **Compressividade:** é o grau de compactação ou a redução do volume que uma massa de resíduo pode sofrer quando compactada. Submetido a uma pressão de 4 kg/cm², o volume do resíduo pode ser reduzido de um terço (1/3) a um quarto (1/4) do seu volume original.

Já as características químicas dos resíduos sólidos podem ser obtidas através dos dados referentes a (IBAM, 2001):

- **Poder calorífico:** indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido a queima. O poder calorífico médio do resíduo domiciliar se situa na faixa de 5.000 kcal/kg.
- **Potencial hidrogeniônico (pH):** indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos, situando-se, em geral, na faixa de 5 a 7.
- **Composição química:** consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras.
- **Relação carbono/nitrogênio (C/N):** indica o grau de decomposição da matéria orgânica do resíduo nos processos de tratamento e disposição final, sendo determinada, em geral, na ordem de 35/1 a 20/1.

Vale destacar que existem controvérsias quanto ao poder calorífico inferior dos RSU, pois algumas pesquisas indicam valores de 1300 kcal/kg (BARBOSA, 2005), 1572 kcal/kg (POLLETO, 2007) e 3536,80 kcal/kg (CANÇADO *et al*, 2007), sendo esses dados inferiores aos estimados pelo IBAM. Dessa forma, faz-se necessária uma avaliação prévia dos resíduos a coprocessar para garantir a viabilidade da operação e atendimento à legislação vigente.

Quanto às características biológicas dos resíduos, entende-se como aquelas determinadas pela população microbiana e agentes patogênicos presentes no resíduo. Estas, conjugadas às características químicas, permitem selecionar os métodos de tratamento e disposição final mais adequados. Além disso, conhecendo-se as características biológicas dos resíduos é possível desenvolver inibidores de odor e retardadores ou aceleradores da decomposição da matéria orgânica (IBAM, 2001).

2.3 Gerenciamento dos RSU

A geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil é de aproximadamente 0,6 kg/hab./dia e mais 0,3 kg/hab./dia equivalem aos resíduos de varrição, limpeza de logradouros e entulhos. Algumas cidades, especialmente nas regiões Sul e Sudeste, alcançam índices de geração mais elevados, podendo chegar a 1,3 kg/hab./dia, considerando todos os resíduos manipulados pelos serviços de limpeza urbana (IBAM, 2001). Nos Estados Unidos, a geração de resíduos sólidos urbanos para o ano de 1999 foi superior a 230 milhões de toneladas, que corresponde a aproximadamente 2,09 kg/hab./dia (CHEREMISINOFF, 2003).

Essa variação na geração *per capita* de RSU ocorre, segundo Cheremisinoff (2003), em função de três principais fatores: perfil socioeconômico, grau de urbanização e tamanho da residência. No entanto, o efeito do perfil socioeconômico na geração de RSU é incerto. Na medida em que as sociedades se tornam, em média, mais ricas, há maior consumo de bens, acarretando o aumento da geração de resíduos. As zonas rurais geralmente possuem menores taxas de geração *per capita* comparadas com as zonas urbanas.

Na hierarquia de gestão de resíduos, tem-se a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. O reuso envolve o uso direto do produto ou material em sua forma ou função original. A reutilização de embalagens – garrafas, plásticos, jarros, latas, caixas de papelão e caixas de madeira – é um exemplo (JARAMILLO, 2003).

A reciclagem é um processo pelo qual os resíduos (cacos de vidros, papel, papelão, metal, plásticos etc.) tornam-se matérias-primas de um processo industrial para a fabricação de novos produtos de composição similar. Quando um produto é reciclado, a função e a forma original são alteradas. Há uma tendência mundial para maximizar a reciclagem como uma das soluções para o problema global de eliminação de resíduos (JARAMILLO, 2003).

Existem instaladas no Brasil algumas unidades de compostagem e reciclagem, que utilizam tecnologia simplificada, com segregação manual de recicláveis em correias transportadoras e compostagem em leiras a céu aberto, sendo realizado, após a compostagem, um peneiramento do material gerado. Quanto ao processo de incineração, a maior parte das usinas existentes são, em geral, utilizadas para incineração de resíduos de serviços de saúde e de resíduos coletados em aeronaves e aeroportos (IBAM, 2001), sem, contudo, ocorrer o aproveitamento energético. Além desses, ainda existem unidades destinadas à incineração de resíduos sólidos perigosos, sendo a maior localizada no pólo petroquímico de Camaçari-BA.

Na União Européia, a hierarquia da gestão de resíduos prioriza a prevenção e a reutilização. Depois desses, essa hierarquia dá preferência à reciclagem, seguido da recuperação de energia e disposição final. Para o sucesso econômico, os produtos reciclados necessitam encontrar mercado a um preço que cubra os custos de recuperação. O preço comandado por materiais reciclados é altamente dependente de sua qualidade, sendo necessário que o resíduo esteja limpo e livre de contaminantes de materiais secundários. Na maioria dos casos, reciclados de baixa qualidade tem mercado escasso e, assim, não devem ser contabilizados no custo industrial. Para os resíduos sólidos urbanos, a segregação do material para reciclagem no ponto de geração (ou seja, nas residências), resulta em alto grau de limpeza, sem contaminantes para a reciclagem. No entanto, atualmente cerca de 60% dos resíduos sólidos urbanos da União Européia ainda são depositados diretamente em aterros sem qualquer tipo de pré-tratamento (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Considerando que no Brasil ainda é incipiente o processo de coleta seletiva, a contaminação se torna um fato decorrente, o que prejudica a viabilidade da reciclagem dos RSU. Como alternativa aos resíduos não passíveis de reciclagem, considera-se que os processos de valorização energética sejam eficazes diante dessa problemática.

2.4 Tecnologias de tratamento de RSU

A Comissão Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2001) cita algumas práticas de gestão de resíduos sólidos urbanos com determinadas variações, apresentadas no Quadro 2. Observa-se, nesse caso, as diversas tecnologias de tratamento existentes, que podem ser aplicadas de acordo as especificidades de cada região, ressaltando uma tendência mundial ao aproveitamento energético desses resíduos.

Quadro 2 - Opções de gestão de resíduos e suas variações.

Opções de gestão de resíduos	Variações consideradas no estudo
Aterramento de resíduos não tratados	Recuperação de gás de aterro e uso da energia produzida Recuperação de gás de aterro e queima no <i>flare</i> Sem recuperação de gás de aterro
Incineração e outros tratamentos térmicos com recuperação de energia como a eletricidade ou calor. Recuperação de metais para reciclagem	Incineração <i>mass-burn</i> : - sem recuperação de energia - com recuperação de energia como a eletricidade - com recuperação de energia como calor e potência (CHP) Pirólise/Gaseificação Combustão em leito fluidizado do combustível derivado de resíduo (CDR) Co-processamento do CDR em fornos de cimenteira e plantas de potência
Tratamento mecânico e biológico com recuperação de metais para reciclagem	Com aterramento da fração rejeitada Com incineração da fração rejeitada
Compostagem com composto recuperado para uso na agricultura/horticultura	Sistemas abertos Sistemas fechados Compostagem caseira
Digestão anaeróbica	Com geração de potência Com recuperação de calor e potência (CHP) Para uso na agricultura
Reciclagem	Papel e papelão Vidros Plásticos Ferro e aço Alumínio Tecidos Resíduos de equipamentos eletro-eletrônicos

Fonte: EUROPEAN COMMISSION (2001).

Das tecnologias de tratamento de resíduos abordadas pela Comissão Europeia, podem ser citadas como principais a recuperação de biogás de aterro, a biometanização e a incineração, que estão resumidas a seguir. Essas tecnologias se viabilizam pela destinação

adequada dos resíduos, com possibilidade de aproveitamento energético dos mesmos. No entanto, o presente estudo propõe enfatizar o coprocessamento de RSU como uma alternativa promissora, principalmente pelo fato de não demandar investimentos elevados para sua realização, tendo em vista que o forno de clínquer praticamente dispensa modificações para o coprocessamento. Como vantagens adicionais, o coprocessamento não gera cinzas, como no processo de incineração, e propicia a redução da disposição de resíduos em aterros sanitários, aumentando a vida útil destes.

2.4.1 Recuperação de biogás de aterro

Em aterros sanitários, o gás gerado pela decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos é, em geral, lançado para a atmosfera. O biogás ou gás de aterro é um subproduto da decomposição anaeróbica de resíduos sólidos pela ação de microorganismos, constituído por uma composição típica de 40 a 70% de metano (CH₄), 30 a 60% de gás carbônico (CO₂), 0 a 1% de nitrogênio, 0 a 3% de gás sulfídrico (H₂S) e outros gases (IBAM, 2007a).

Considerando sua composição e seu elevado poder calorífico, o biogás se apresenta como uma potencial fonte energética renovável. Segundo o IBAM (IBAM, 2007b) projetos com aproveitamento do biogás para queima no *flare* ou produção de energia geram receita com a venda de créditos de carbono no mercado internacional, propiciando incentivos para melhorias do projeto e operação dos aterros sanitários e para a implementação de uma gestão municipal adequada dos RSU.

Para possibilitar a recuperação energética, o IBAM informa que os aterros sanitários devem considerar: um sistema de impermeabilização superior, destinado a evitar a fuga do biogás para a atmosfera; poços de drenagem de biogás, para otimizar a coleta e o tratamento dos gases; redes de dutos para encaminhar o biogás dos poços à unidade geradora de energia; bombas a vácuo para compensar as perdas de carga nas tubulações e garantia da vazão regular do biogás e; grupos geradores, constituídos por motores a combustão interna ou caldeiras e turbinas, utilizando o biogás como combustível (IBAM, 2007b).

2.4.2 Biometanização

O processo de digestão anaeróbia em reatores apresenta-se como uma alternativa para a bioestabilização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, com potencial para o aproveitamento energético do metano oriundo da digestão.

Segundo Barcelos (2009), o tratamento anaeróbico consiste no processo biológico em ausência de oxigênio, onde microorganismos convertem metabolicamente o material orgânico complexo, tais como carboidratos, proteínas e lipídios, em metano (CH_4), gás carbônico (CO_2) e amônia (NH_3), traços de outros gases e ácidos orgânicos de baixo peso molecular.

Dentre os principais tipos de reatores anaeróbicos aplicados ao tratamento de resíduos sólidos destacam-se: sistema de estágio único, em que as etapas acidogênicas e metanogênicas da digestão anaeróbica ocorrem em um único reator; sistema de dois estágios, onde no primeiro reator predomina a ação dos microorganismos hidrolíticos e formadores de ácidos e no segundo ocorre a ação de microorganismos acetogênicos e metanogênicos e; sistema em batelada, onde os digestores são preenchidos completamente com resíduos frescos, com ou sem adição de inoculantes, permitindo a passagem por todas as etapas de degradação anaeróbica em modo seco (ABES, 2003).

2.4.3 Incineração

A incineração é o processo de queima dos resíduos sólidos urbanos, em câmaras de combustão com condições controladas de temperatura, pressão e excesso de oxigênio. Segundo o IBAM (IBAM, 2007a), esse processo tem como desvantagens o elevado custo, a exigência de mão-de-obra qualificada e a presença de materiais nos resíduos que geram compostos tóxicos e corrosivos. As vantagens são a redução drástica de massa e volume a ser descartado, a possibilidade de recuperação de energia, a esterilização dos resíduos (no caso da incineração de resíduos de serviços de saúde) e a destoxicação. A geração de energia elétrica pela incineração de resíduos sólidos urbanos viabiliza projetos do MDL pela substituição energética.

O processo de incineração consiste basicamente por dois estágios: na câmara primária o resíduo é queimado a temperatura superior a 800°C , gerando escória e gás de combustão; o gás de combustão segue para a câmara secundária, onde ocorre nova queima à temperaturas em torno de 1200°C com tempo de residência de 2 segundos, para que ocorra a combustão completa. Após a combustão, os gases são encaminhados ao sistema de limpeza, sendo necessária a redução brusca de sua temperatura de forma a prevenir a formação de dioxinas e furanos. As cinzas coletadas nos equipamentos de limpeza e a escória gerada na câmara primária são classificadas como resíduos Classe I.

3 INDÚSTRIA CIMENTEIRA

3.1 Processo de fabricação de cimento

O processo produtivo do cimento constitui-se, basicamente, por dois tipos de tecnologias: processo via seca e processo via úmida. No processo via úmida, as matérias-primas são moídas com água em um moinho de bolas, onde é formada uma pasta que alimentará o forno. Nesse processo, o consumo de energia é elevado comparado ao processo via seca, devido à necessidade de secagem da água contida na pasta. No processo via seca, um pré-aquecedor é utilizado para secar a matéria-prima antes de sua entrada no forno, utilizando para isso os gases quentes provenientes do forno, o que demanda menor consumo energético. Vale destacar que no estado de Minas Gerais, não existem unidades que fabriquem clínquer pelo processo via úmida.

De forma sucinta, o processo de fabricação de cimento consiste na homogeneização das matérias-primas, seguido pela cominuição para obtenção da granulometria desejada e calcinação em um forno rotativo – forno de clínquer. O clínquer é moído finamente em conjunto com o gesso, resultando no produto final, cimento. O fluxograma do processo é apresentado na Figura 1.

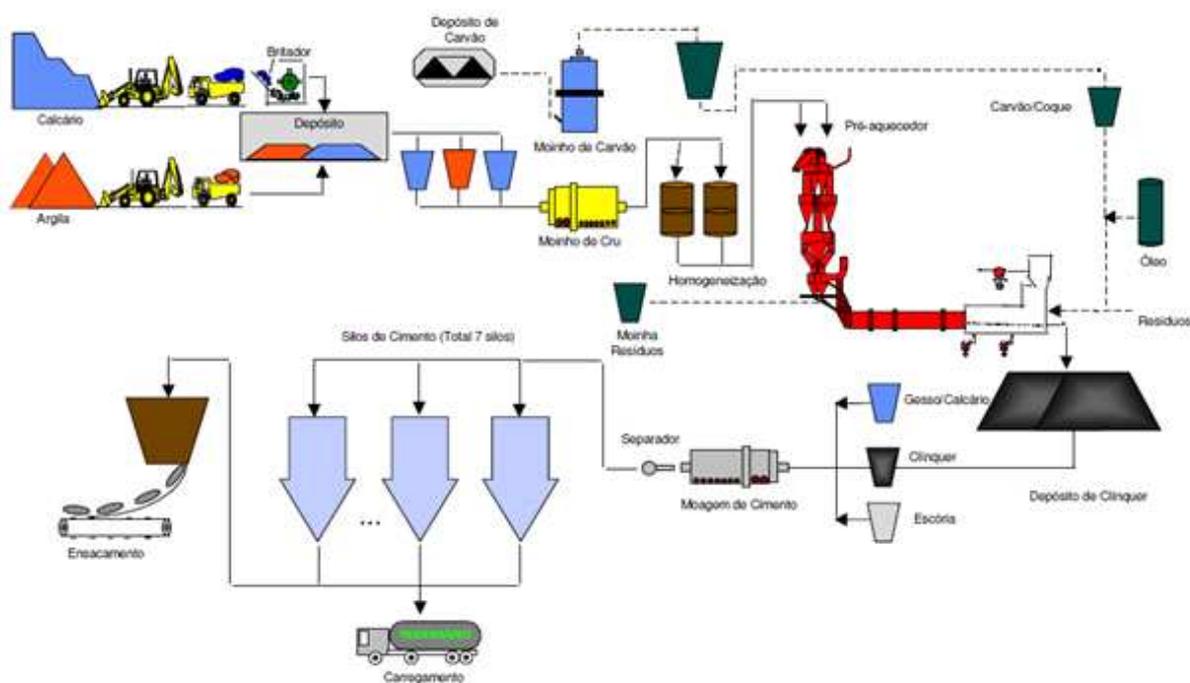


Figura 1 - Fluxograma simplificado do processo de produção de cimento.
Fonte: PUC Rio (2010).

As matérias-primas básicas para a fabricação do clínquer são o calcário e a argila (com elevado teor de sílica). Normalmente, ocorre na mina de calcário uma cobertura de argila que é extraída separadamente do calcário. Após a extração e britagem do calcário, a argila, que é destorroada em um destorroador de facas, é encaminhada para um *hall* para ser homogeneizada com o calcário, constituindo a base de alimentação do moinho de cru. Anteriormente à moagem, o material recebe adições de areia - para correção do teor de sílica, bauxita e minério de ferro. O produto dessa moagem é a farinha crua, que é alimentada no alto da torre do pré-aquecedor no qual acontecem as primeiras trocas térmicas entre os gases quentes do forno em contracorrente à alimentação da farinha.

Segundo a US.EPA (2003), três zonas de temperaturas podem ser distinguidas em um forno de clínquer: Na zona 1 - alimentação da farinha - a faixa de temperatura varia de ambiente a 600°C. Nessa região, a umidade contida na matéria-prima é evaporada. A segunda zona de temperatura é conhecida como zona de calcinação. A calcinação ocorre quando os gases quentes do forno dissociam o carbonato de cálcio, contido no calcário, em óxido de cálcio. Nessa região do forno, o intervalo de temperaturas é entre 600 e 900°C. A zona 3 é conhecida como zona de sinterização; a zona de queima é a parte mais baixa e mais quente do forno. Nela, as temperaturas ultrapassam 1500°C e induzem a reação do óxido de cálcio com silicatos, ferro e alumínio, contidos nas matérias-primas, para formação do clínquer. Os combustíveis usados no forno são, basicamente, coque de petróleo e moinha de carvão vegetal. A Figura 2 mostra o esquema do gradiente de temperatura e tempos de residência nas zonas do forno de clínquer.

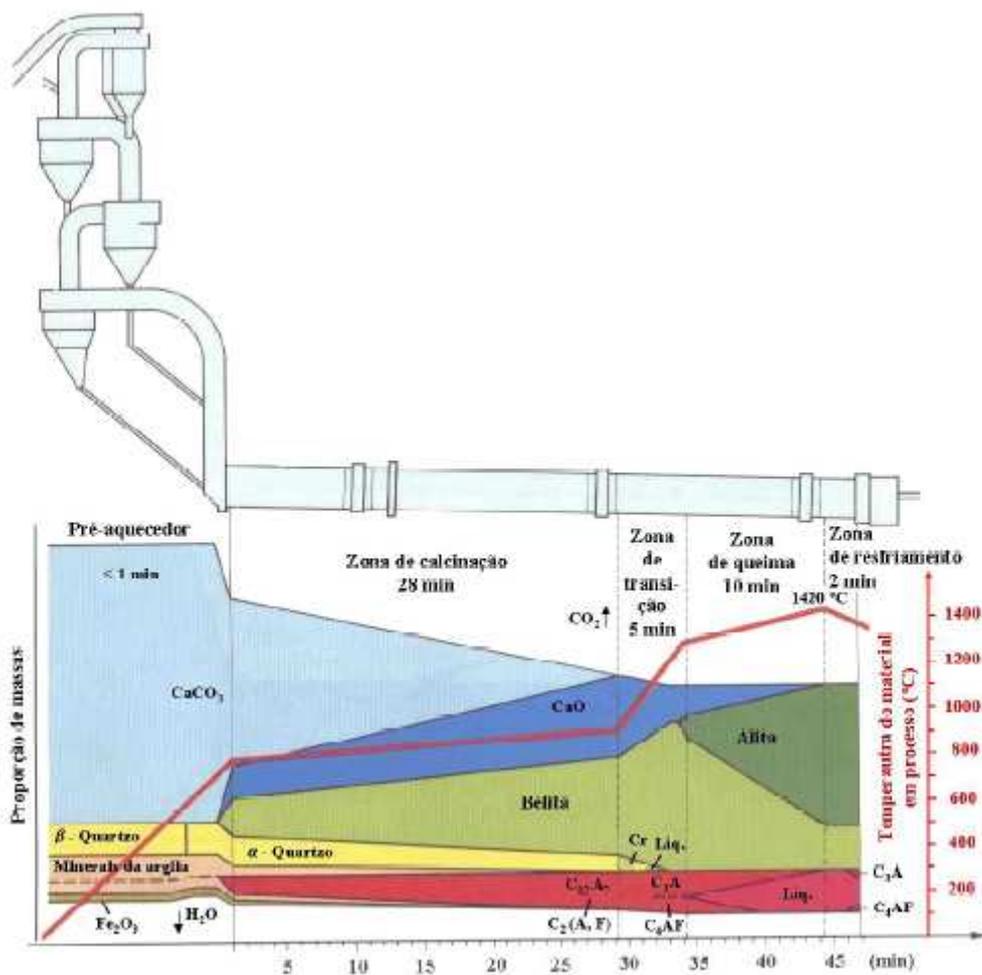


Figura 2 - Identificação das zonas do forno rotativo com pré-aquecedor.
Fonte: DUARTE *apud* PAULA (2009).

Para garantir a reatividade do clínquer após a saída do forno, sua temperatura deve ser reduzida bruscamente em um resfriador de grelhas; além disso, os gases quentes gerados nesse resfriador podem ser aproveitados no maçarico principal ou no pré-calcinador. O pré-calcinador é uma instalação equipada com um maçarico, que tem por objetivo promover o pré-aquecimento da farinha, de forma a permitir a admissão de uma maior quantidade de material a ser calcinado no forno.

O clínquer resfriado é então alimentado juntamente com gesso em um moinho de bolas, resultando, após a moagem, no produto final desejado, que é o cimento. Nessa moagem, são utilizados alguns aditivos, tais como escória de alto-forno, pozolanas naturais e artificiais e calcário, com o objetivo de otimizar a produção. A escória de alto-forno e as pozolanas possuem propriedades hidráulicas semelhantes às do clínquer, porém apresentam menor reatividade. Dessa forma, entende-se que a utilização desses aditivos torna-se viável principalmente sob o aspecto econômico, devido à substituição do clínquer por esses

aditivos, o que possibilita um aumento da produção sem elevação proporcional nos custos de fabricação.

A Tabela 1 apresenta os tipos de cimento e seus respectivos percentuais de adição.

Tabela 1 - Tipos de cimento e suas composições.

Sigla	Classe de resistência aos 28 dias (MPa)	Clínquer + Sulfato de cálcio (%)	Escória (%)	Pozolana (%)	Calcário (%)
CPI	25 / 32 / 40	100	0	0	0
CPI-S	25 / 32 / 40	99-95	1-5	1-5	1-5
CPII-E	25 / 32 / 40	94-56	6-34	-	0-10
CPII-Z	25 / 32 / 40	94-76	-	6-14	0-10
CPII-F	25 / 32 / 40	94-90	-	-	6-10
CPIII	25 / 32 / 40	62-25	35-70	-	0-5
CPIV	25 / 32	85-45	-	15-50	0-5
CPV	ARI - Alta Resistência Inicial	100-95	-	-	0-5

Nota: CPI – Cimento Portland comum; CPI-S – Cimento Portland comum com adição; CPII-E – Cimento Portland composto com escória; CPII-Z – Cimento Portland composto com pozolana; CPII-F – Cimento Portland composto com Filer; CPIII – Cimento Portland de Alto-Forno; CPIV – Cimento Portland Pozolânico; CPV – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

Fonte: ABCP (2010).

O cimento obtido com a moagem é transferido para um silo, de onde é extraído a granel ou direcionado para a ensacadeira, para posterior expedição.

3.2 Coprocessamento

O coprocessamento de resíduos no estado de Minas Gerais iniciou-se em 1990, tendo sido normatizado pela primeira vez em 1998, com a Deliberação Normativa COPAM nº 026. Em nível federal foi publicada, em 1999, a Resolução CONAMA nº 264, referente ao licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos, excetuando-se os resíduos domiciliares brutos, de serviços de saúde, radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins, além de estabelecer limites de emissões para material particulado e poluentes (ANEXO). A Resolução CONAMA nº 316/2002, referente ao tratamento térmico de resíduos, complementa a Resolução CONAMA nº 264/1999, ao estabelecer limites de emissões de dioxinas e furanos no coprocessamento.

Na Europa, a atividade de coprocessamento é regulamentada pela Diretiva 2000/76/CE do Parlamento Europeu, que utiliza o termo co-incineração para descrever “*uma instalação fixa ou móvel que tem como principal finalidade a geração de energia ou a produção de*

materiais e que utiliza resíduos como combustível regular ou adicional ou na qual os resíduos são sujeitos a tratamento térmico com vista à respectiva eliminação”. Os valores-límites de emissão para a co-incineração de resíduos, bem como as disposições especiais para fornos de cimento, estão determinados no anexo II desta Diretiva.

O estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional de cimento, sendo responsável por, aproximadamente, 25% do total nacional. Essa produção é feita em 10 unidades industriais e todas possuem licença ambiental para coprocessar resíduos.

O coprocessamento é realizado ao mesmo tempo em que é produzido o clínquer, sendo que alguns resíduos aportam energia térmica ao processo, enquanto outros configuram a substituição de matéria-prima. O Quadro 3 apresenta alguns tipos de resíduos utilizados no coprocessamento.

Quadro 3 - Tipos de resíduos coprocessados nos fornos de clínquer.

Borrachas	Lodos de ETE
Pneus e emborrachados	Resinas, colas e látex
Resíduos de biomassa	Catalisadores usados
Ceras	Madeiras e terras contaminadas
Substâncias oleosas	Solventes

Fonte: adaptado de PUC Rio (2010).

Cabe destacar que essa atividade é uma prática crescente no mundo, como pode ser observado na Tabela 2. No Brasil, de modo geral, o percentual de substituição de combustíveis e matérias-primas é de, aproximadamente, 15% (SNIC, 2010). Nos países desenvolvidos, a disponibilidade de resíduos industriais é superior à do Brasil, principalmente em função da maior quantidade de indústrias de transformação existentes nesses países.

Tabela 2 - Utilização de Combustíveis e Matérias-Primas Alternativos (CMPA) em diversos países.

País	Substituição Energética CMPA	Ano
França	32%	2003
Alemanha	42%	2004
Noruega	45%	2003
Suíça	47%	2002
EUA	25%	2003

Fonte: GTZ-HOLCIM (2006).

Os pontos de alimentação dos resíduos no forno são, basicamente (FIGURA 3): (1) juntamente com a farinha; (2) na caixa de fumaça (entrada do forno); (3) no maçarico principal; (4) no pré-calcinador.

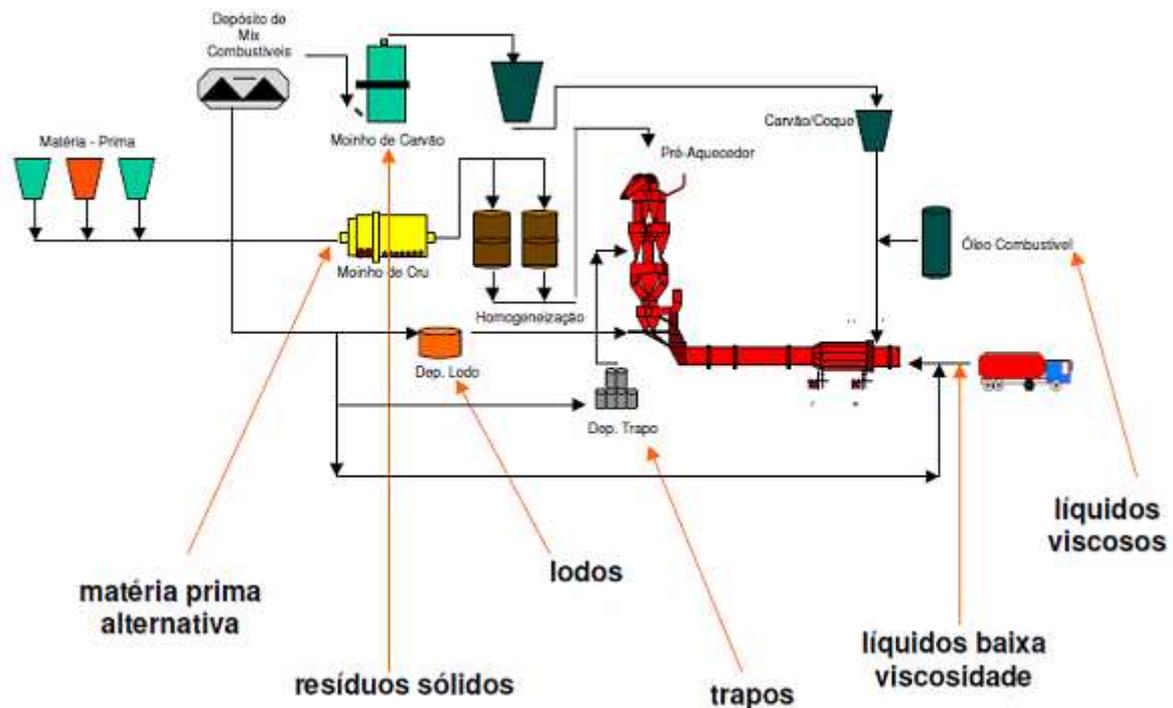


Figura 3 - Pontos de entrada de resíduos na planta.
Fonte: adaptado de PUC Rio (2010).

3.3 Sistema de controle das emissões atmosféricas

Os poluentes gerados no processo de clínquerização e no coprocessamento são, na maioria dos casos, tratados em um precipitador eletrostático ou em um filtro de mangas (FIGURA 4). No entanto, esses equipamentos de controle prestam-se exclusivamente ao controle de material particulado a ser lançado na atmosfera. O coprocessamento, assim como a combustão incompleta dos combustíveis, é uma potencial fonte de geração de diversos outros poluentes, como, por exemplo, óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO_2). As partículas coletadas pelo sistema de controle são reintroduzidas no sistema forno, reduzindo sua emissão e otimizando o processo produtivo.

A redução da temperatura dos gases no equipamento de controle de material particulado é um fator que tem mostrado um impacto significativo na formação e emissão de dioxinas nos fornos de clínquer. Com esse objetivo, diversos fornos de clínquer acrescentaram no circuito

de tratamento dos gases uma torre de condicionamento para redução da temperatura na entrada do sistema de controle, reduzindo, dessa forma, as concentrações de dioxinas e furanos na chaminé. A torre de condicionamento consiste de anéis de jatos d'água instalados em seu interior (US.EPA, 2003).

O controle dos poluentes é feito com a verificação dos elementos presentes nos resíduos, cuja concentração é normatizada de forma que as emissões decorrentes do coprocessamento de resíduos que os contenham situem-se abaixo dos padrões máximos estabelecidos para as emissões atmosféricas (Resolução CONAMA nº 382/2006).

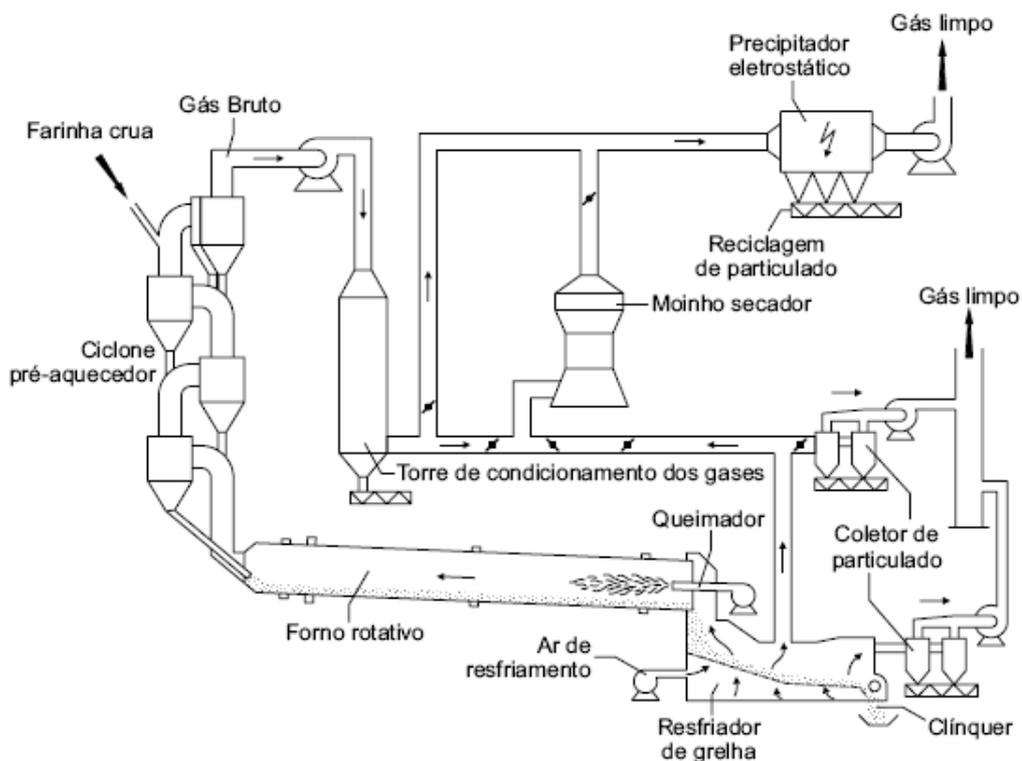


Figura 4 - Forno rotativo com ciclone pré-aquecedor e coletor de material particulado dos gases.
Fonte: KARSTENSEN (2010).

4 COPROCESSAMENTO DE RSU

Em 25 de agosto de 2010, foi publicada a Deliberação Normativa nº 154, que regulamenta o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. Essa deliberação estabelece procedimentos, parâmetros e padrões para a realização do coprocessamento, e introduz a possibilidade de se coprocessar resíduos domiciliares após pré-tratamento ou tratamento e desde que seu poder calorífico inferior seja de, no mínimo, 1500 kcal/kg (ANEXO).

Dessa forma, tendo em vista que o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos de origem domiciliar somente foi regulamentado em 2010, essa prática ainda não é utilizada em Minas Gerais.

No município de Cantagalo, no estado do Rio de Janeiro, o coprocessamento de RSU foi licenciado em 1999 e vem sendo realizado em escala piloto com a utilização do resíduo domiciliar municipal na fábrica de cimento da empresa Lafarge, situada no mesmo município. Nesta unidade, os procedimentos para utilização dos RSU no coprocessamento são o beneficiamento em uma usina de triagem e compostagem, com posterior peneiramento. A fração mais fina do composto é utilizada em lavouras no município como fertilizante e a fração mais grossa é encaminhada à cimenteira para o coprocessamento.

Em diversos países europeus, a fração orgânica do resíduo doméstico é homogeneizada com plásticos isentos de cloro, restos de tecidos, serragem, carcaças de animais e outros resíduos industriais, sendo esse *blend* coprocessado nos fornos de clínquer.

Segundo a US.EPA (GREER *et al apud* US.EPA, 2003), testes de queima têm mostrado, de forma consistente, que a eficiência de destruição e remoção dos constituintes dos resíduos coprocessados, atingem um percentual de 99,99 a 99,9999% para os resíduos orgânicos estáveis. Além desse, outros aspectos positivos podem ser apresentados, sob a ótica ambiental, tais como:

- Diminuição da disposição dos RSU em aterros sanitários, aumentando consequentemente sua vida útil.
 - Aproveitamento do poder calorífico do resíduo para geração de energia térmica.
 - Destruição térmica dos resíduos sem geração de escórias e/ou cinzas.
 - Não há necessidade de investimentos adicionais em um forno de clínquer, já adequado ao coprocessamento de resíduos.
-

- O equipamento de controle das emissões atmosféricas do forno de clínquer é adequado também para controlar as emissões quando estiverem sendo coprocessados os RSU.

Quanto aos aspectos negativos do sistema, considera-se, principalmente, que um pré-tratamento mal feito dos resíduos pode acarretar na alimentação, no processo, de plásticos e outros resíduos que resultem em emissões indesejáveis na atmosfera, como dioxinas e furanos, decorrentes da presença de plásticos que contenham cloro (PVC), e metais pesados.

5 ASPECTOS ECONÔMICOS DO COPROCESSAMENTO DE RSU

Além dos aspectos positivos supracitados, os ganhos econômicos decorrentes do coprocessamento de RSU podem ser quantificados, no entanto, este aspecto não está contemplado no escopo deste trabalho. Os investimentos municipais em destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos tornar-se-ão menores, pois não haverá necessidade de aterros de grande porte. A vida útil dos aterros sanitários existentes será conseqüentemente maior, tendo em vista a destinação de menores volumes de RSU.

A Tabela 3 apresenta a geração *per capita* dos resíduos sólidos urbanos para cidades brasileiras.

Tabela 3 - Estimativa de geração de RSU *per capita*, de acordo com a população.

Tamanho da cidade – população (habitantes)	Geração per capita (kg/hab/dia)
Pequena até 30 mil	0,5
Média de 30 mil a 500 mil	de 0,5 a 0,8
Grande de 500 mil a 5 milhões	De 0,8 a 1,0
Megalópole acima de 5 milhões	acima de 1,0

Fonte: IBAM (2001).

Na Tabela 4, são apresentados os valores de geração diária de RSU para alguns municípios do estado de Minas Gerais, localizados próximos às cimenteiras.

Tabela 4 - Fábricas, localização e municípios com potencial para coprocessamento de RSU.

Fábricas de cimento	Localização das fábricas	Municípios com potencial para coprocessamento de RSU	População (habitantes)*	Geração per capita (kg/hab/dia)**	Geração diária de RSU (t/dia)
Emp. de Cimentos Liz	Vespasiano	Belo Horizonte	2.375.444	1,0	2.375
		Santa Luzia	203.184	0,7	142
Camargo Correa Holcim Lafarge	Pedro Leopoldo Pedro Leopoldo Matozinhos	Confins	5.943	0,5	3
		São José da Lapa	19.801	0,5	10
		Lagoa Santa	52.526	0,6	31
		Pedro Leopoldo	58.696	0,6	35
		Matozinhos	32.973	0,5	16
		Prudente de Moraes	9.576	0,5	5
		Ribeirão das Neves	296.376	0,7	207
Lafarge CSN (fase final de implantação)	Arcos Arcos	Arcos	36.582	0,6	22
		Iguatama	8.031	0,5	4
		Pains	8.015	0,5	4
		Córrego Fundo	5.821	0,5	3
Lafarge	Montes Claros	Montes Claros	361.971	0,8	289
Holcim	Barroso	Barroso	19.623	0,5	10
		Tiradentes	7.002	0,5	3
		São João Del Rei	84.404	0,7	60
CNC (em implantação)	Sete Lagoas	Sete Lagoas	214.071	0,8	168
		Inhaúma	5.781	0,5	3
		Paraopeba	22.571	0,5	11
		Caetanópolis	10.227	0,5	5
Cimento Tupi	Carandaí	Cristiano Ottoni	5.007	0,5	2
		Carandaí	23.341	0,5	12
		Barbacena	126.325	0,7	88
Camargo Correa	Ijací	Ijací	5.863	0,5	3
		Lavras	92.171	0,7	64
		Itaú de Minas	14.950	0,5	7
		Passos	106.313	0,7	74
		São Sebastião do Paraíso	65.034	0,6	39
		TOTAL			

* Dados do IBGE.

** Os valores de geração per capita foram estimados dentro da faixa estabelecida pelo IBAM.

Considerando o poder calorífico inferior dos RSU de 1.500 kcal/kg estabelecido na Deliberação Normativa nº 154/2010 e o volume diário gerado nos municípios próximos às cimenteiras, pode ser estimada uma disponibilidade energética de 23.278 GJ/dia, o que equivale a 212.411 tep/ano.

No entanto, o estudo de viabilidade do aproveitamento dessa disponibilidade energética deve considerar que há um maior interesse das empresas pelo coprocessamento de resíduos industriais com poder calorífico mais elevado, quando comparado ao dos RSU. Além disso, deve-se considerar também a capacidade de coprocessamento dos fornos e a análise do custo de transporte *versus* poder calorífico dos RSU.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme exposto, o forno de clínquer possui características que permitem e viabilizam a utilização dos resíduos industriais e RSU como combustíveis e substituintes de matérias-primas via coprocessamento. As temperaturas e tempos de residência dos materiais e gases no forno asseguram a eficiência do processo, atingindo 99,9999% de destruição, como já citado (GREER *et al apud* US.EPA, 2003).

No estado de Minas Gerais grande parte dos municípios ainda dispõe seus resíduos em lixões (54,04%), enquanto 16,41% destes utilizam aterro sanitário ou UTC licenciadas – o que corresponde a mais de 50% da população do estado (MYR, 2009), de onde se conclui pela necessidade do incremento de soluções para equacionamento adequado da gestão de resíduos.

Vislumbra-se um potencial energético de, aproximadamente, 212.411 tep/ano, resultante do coprocessamento dos resíduos sólidos urbanos em fornos de clínquer no estado de Minas Gerais. No entanto, é recomendado um aprofundamento desta avaliação, objetivando a caracterização, de forma mais segura, da interação entre os municípios geradores de RSU e as indústrias cimenteiras, considerando as especificidades do processo e as necessidades econômicas das partes.

Recomenda-se ainda que as autoridades estaduais e municipais incentivem a implementação de usinas de triagem e compostagem e o desenvolvimento de tecnologias de beneficiamento dos resíduos sólidos urbanos de forma a incrementar o uso dos RSU na fabricação do cimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Coprocessamento: saiba mais sobre essa solução.** Link: Sustentabilidade – Construção sustentável – Coprocessamento. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/sustentabilidade/coprocessamento-saiba-mais-sobre-essa-solucao>>. Acesso em: 06 de dezembro de 2010.

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás.** Sérgio Túlio Cassini (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004.** Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2.ed., mai. 2004.

BARBOSA, G. Tratamento. In: JARDIM, N. S. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado de São Paulo.** IPT/CEMPRE. 1995.

BARCELOS, B. R. **Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbica da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2009.

BRASIL. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 3 ago. 2010, seção I, p. 3.

CANÇADO, C. J.; LESSA, E. R.; PERREIRA, F. V. **Avaliação do poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos com característica domiciliar e comercial da cidade de Belo Horizonte/MG.** In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte, Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2007.

CHEREMISINOFF, N. P. **Handbook of solid waste management and waste minimization technologies.** Butterworth Heinemann, 2003.

EUROPEAN COMMISSION. **Waste management options and climate change: final report.** European Commission, DG Environment, 2001. 224p.

GTZ-HOLCIM. **Guidelines on co-processing waste materials in cement production.** The GTZ-Holcim Public Private Partnership. 2006. 135p.

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM e SEDU/PR, 2001. 200p.

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos: conceito, planejamento e oportunidades.** Rio de Janeiro: IBAM, 2007a. 40p.

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos: redução de emissões na disposição final.** Rio de Janeiro: IBAM, 2007b. 40p.

JARAMILLO, J. **Guidelines for the design, construction and operation of manual sanitary landfills: a solution for the final disposal of municipal solid wastes in small communities.** CEPIS/PAHO, 2003. 300p.

KARSTENSEN, K. H. **Formação e emissão de POPs pela indústria de cimento.** SINTEF – Fundação para Pesquisa Científica e Industrial da Noruega. BUSATO, L. C. e BUSATO, T. M. M. (tradução). São Paulo, 2010. 188p.

MYR. **Regionalização da gestão de resíduos sólidos para o estado de Minas Gerais - Diagnóstico.** Vol. I. FEAM/SEMAD. 2009. 477p.

PAULA, L. G. **Análise termoeconômica do processo de produção do cimento Portland com coprocessamento de misturas de resíduos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2009.

POLLETO, J. A.; SILVA, C. L. **Influência da separação de resíduos sólidos urbanos para fins de reciclagem no processo de incineração com geração de energia.** In: 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica. Cusco, 2007.

PUC - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. **Fabricação do cimento Portland e co-processamento de resíduos industriais nos fornos de produção de cimento.** Apresentação de aula. Disponível em: <www.dema.puc-rio.br/download/Aula%20Cimento%20IEM.pdf> Acesso em: 07 de dezembro de 2010.

SNIC – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO. **Press Kit 2010.** Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2010.pdf>. Acesso em: 09 de dezembro de 2010.

US.EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8- tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and Related Compounds National Academy Sciences (NAS).** Part I, vol. 1, chap. 5. Office of Research and Development. Washington, DC. 2003. 23p.

ANEXOS

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA Resolução Conama nº 264, de 26 de agosto de 1999.

Define procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer para a fabricação de cimento.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, alterado pelo Decreto nº 2.120, de 13 de janeiro de 1997, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando a necessidade de serem definidos procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer, para a fabricação de cimento, resolve:

Capítulo I Das Disposições Gerais

Art. 1º Esta Resolução aplica-se ao licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos, excetuando-se os resíduos: domiciliares brutos, os resíduos de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins.

Art. 2º O co-processamento de resíduos deverá atender aos critérios técnicos fixados nesta Resolução, complementados, sempre que necessário, pelos Órgãos Ambientais competentes, de modo a atender as peculiaridades regionais e locais.

Art. 3º As solicitações de licença para o co-processamento de resíduos em fábricas de cimento já instaladas somente serão analisadas se essas estiverem devidamente licenciadas e ambientalmente regularizadas.

Art. 4º A quantidade de resíduo gerado e/ou estocado, deverá ser suficiente para justificar sua utilização como substituto parcial de matéria prima e/ou de combustível, no sistema forno de produção de clínquer, após a realização e aprovação do Teste de Queima.

Art. 5º O co-processamento de resíduos em fornos de produção de clínquer deverá ser feito de modo a garantir a manutenção da qualidade ambiental, evitar danos e riscos à saúde e atender aos padrões de emissão fixados nesta Resolução.

Art. 6º O produto final (cimento) resultante da utilização de resíduos no co-processamento em fornos de clínquer, não deverá agregar substâncias ou elementos em quantidades tais que possam afetar a saúde humana e o meio ambiente.

Art. 7º Os clínqueres e cimentos importados deverão obedecer ao disposto no caput do art. 5º e no inciso VIII do art. 15, desta Resolução.

Capítulo II Dos Procedimentos

Seção I

Das Critérios Básicos para a Utilização de Resíduos

Art. 8º São considerados, para fins de co-processamento em fornos de produção de clínquer, resíduos passíveis de serem utilizados como substituto de matéria prima e ou de combustível, desde que as condições do processo assegurem o atendimento às exigências técnicas e aos parâmetros fixados na presente Resolução, comprovados a partir dos resultados práticos do plano do Teste de Queima proposto.

§ 1º O resíduo pode ser utilizado como substituto matéria-prima desde que apresente características similares às dos componentes normalmente empregados na produção de clínquer, incluindo neste caso os materiais mineralizadores e/ou fundentes.

§ 2º O resíduo pode ser utilizado como substituto de combustível, para fins de reaproveitamento de energia, desde que o ganho de energia seja comprovado.

Seção II

Do Licenciamento Ambiental

Art. 9º As Licenças Prévia, de Instalação e de Operação para o co-processamento de resíduos em fornos de produção de clínquer serão requeridas previamente aos Órgãos Ambientais competentes, obedecendo os critérios e procedimentos fixados na legislação vigente.

§ 1º Para as fontes novas, poderão ser emitidas Licenças Prévias, de Instalação e Licença de Operação que englobem conjuntamente as atividades de produção de cimento e o co-processamento de resíduos nos fornos de produção de clínquer.

§ 2º Para as fontes existentes, já licenciadas para a produção de cimento, o licenciamento ambiental específico para o co-processamento somente será concedido quando a unidade industrial, onde se localizar o forno de clínquer, tiver executado todas as medidas de controle previstas na sua Licença de Operação.

§ 3º O processo de licenciamento será tecnicamente fundamentado com base nos estudos a seguir relacionados, que serão apresentados pelo interessado:

- I - Estudo de Viabilidade de Queima – EVQ;
- II - Plano de Teste em Branco;
- III - Relatório de Teste Branco;
- IV - Plano de Teste de Queima – PTQ;
- V - Relatório de Teste de Queima; e
- VI - Análise de Risco.

Seção III

Do Estudo de Viabilidade de Queima - EVQ

Art. 10. O EVQ será apresentado ao Órgão Ambiental devendo conter, no mínimo, as seguintes informações:

- I - dados referentes à fábrica de cimento (nome, endereço, situação com relação ao licenciamento ambiental);
- II - objetivo da utilização do(s) resíduo(s); e
- III - dados do(s) resíduo(s):
 - a) descrição sucinta do processo gerador do resíduo e fluxograma simplificado com a indicação do ponto de geração do mesmo;
 - b) caracterização quali-quantitativa dos resíduos contendo:
 - 1. estado físico do(s) resíduo(s);
 - 2. quantidade gerada e estocada;
 - 3. poder calorífico inferior;
 - 4. viscosidade, no caso de líquidos;
 - 5. composição provável do(s) resíduo(s);
 - 6. teor de metais pesados, cloro total, cloretos e enxofre;
 - 7. teor de cinzas e umidade;
 - 8. classificação do(s) resíduo(s), conforme a Norma ABNT – NBR 10.004; e
 - 9. descrição do sistema de armazenamento de resíduo(s);
- IV - descrição do processo/equipamentos, incluindo:
 - a) descrição do processo de produção inerente ao forno e fluxograma do processo produtivo com indicação dos pontos de alimentação (matéria-prima e combustível), bem como perfil de temperaturas;
 - b) características e especificações dos equipamentos utilizados na produção de clínquer;
 - c) lay-out dos equipamentos;
 - d) descrição do sistema proposto de alimentação de resíduos;
 - e) forno selecionado para a queima de resíduos;
 - f) tempo de residência para gases e sólidos, com memória de cálculo;
 - g) características e especificações dos equipamentos que serão modificados ou adicionados em relação aos inicialmente existentes; e
 - h) desenho esquemático incluindo modificações, com indicação dos pontos de amostragem e parâmetros a serem monitorados.
- V – em relação à matéria-prima:
 - a) relação das matérias-primas empregadas na produção do clínquer e suas características físico-químicas;
 - b) descrição dos sistemas de alimentação e homogeneização da matéria-prima;
 - c) taxa de alimentação (t/h); e
 - d) descrição do processo de realimentação/descarte do particulado retido nos equipamentos de controle da poluição atmosférica.
- VI – em relação ao combustível:
 - a) caracterização dos combustíveis (tipo, poder calorífico inferior e teor de enxofre) e consumo (t/h); e

- b) descrição dos sistemas de alimentação de combustíveis, bem como indicação da proporção dos combustíveis nos queimadores primário e secundário.
- VII – em relação aos equipamentos de controle de poluição -ECP:
- a) descrição dos ECPs para efluentes gasosos;
 - b) descrição do sistema de monitoramento das emissões gasosas; e
 - c) descrição dos procedimentos de amostragem e monitoramento, incluindo frequência e listagem de todos os parâmetros monitorados.
- VIII - outras informações que forem consideradas necessárias.

Seção IV

Do Teste em Branco

Art. 11. Após a aprovação do Estudo de Viabilidade de Queima - EVQ, o Órgão Ambiental analisará o Plano de Teste em Branco e aprovará a realização do Teste em Branco visando avaliar o desempenho ambiental da fábrica de cimento sem o co-processamento de resíduos.

Art. 12. Previamente à realização do Teste em Branco, a empresa interessada apresentará para aprovação do Órgão Ambiental, o Plano de Teste em Branco, contemplando os requisitos mínimos para execução do teste, abrangendo os seguintes itens:

- I - período previsto para a realização do Teste em Branco, com o acompanhamento por parte dos técnicos do Órgão Ambiental;
- II - descrição e eficiência dos equipamentos de controle de poluição atmosférica;
- III - descrição do plano de automonitoramento do processo: contemplando dentre outros a localização dos pontos de amostragem, parâmetros amostrados nestes pontos, periodicidade das amostragens;
- IV - metodologias de coleta de amostra e de análise a serem empregadas, com os respectivos limites de detecção. as coletas devem ser feitas em triplicata, sendo o tempo mínimo de coleta para material particulado de duas horas;
- V - capacidade de operação da unidade durante o teste: a planta deve operar na capacidade prevista para o co-processamento, a qual deve ser mantida enquanto durar o Teste em Branco e, posteriormente, os de queima do resíduo, com uma variação aceitável de até dez por cento;
- VI - parâmetros operacionais que serão monitorados no processo: inclui taxas de alimentação (de combustível, de matérias-primas e de material particulado recirculado), equipamentos de controle operacional, com os respectivos limites de detecção (monitores contínuos de pressão e temperatura do sistema forno e temperatura na entrada dos equipamentos de controle de poluição atmosférica, emissões de CO e O₂);
- VII - avaliação das emissões atmosféricas para os seguintes parâmetros: material particulado, SO_x, NO_x, HCl/Cl₂, HF e elementos e substâncias inorgânicas listadas nos arts. 28, 29 e 30 desta Resolução; e
- VIII - análise quali-quantitativa dos elementos e substâncias inorgânicas presentes no pó retido no equipamento de controle de poluição.

Art. 13. Após a realização do Teste em Branco, a empresa apresentará ao Órgão Ambiental o relatório conclusivo do teste, contemplando a verificação dos itens previstos no Plano de Teste em Branco.

Parágrafo único. A aprovação do Teste em Branco significa que a instalação atende às exigências do Órgão Ambiental, estando, apta a apresentar um Plano de Teste de Queima - PTQ. não estando a empresa autorizada a queimar resíduos e nem mesmo a submeter-se a Testes de Queima.

Art. 14. Caso a instalação não atenda às exigências previstas no Teste em Branco, fica proibida a queima de qualquer resíduo.

Seção V

Do Plano do Teste de Queima - PTQ

Art. 15. Devem constar no conteúdo do Plano:

- I - o objetivo do teste;
- II - fluxogramas do processo produtivo, com indicação dos pontos de alimentação, descrição e capacidade dos sistemas de alimentação (matéria-prima, combustível e resíduo), bem como o perfil de temperaturas do sistema;
- III - descrição dos equipamentos do sistema forno:
 - a) nomes dos fabricantes;
 - b) tipos e descrição dos componentes do sistema; e
 - c) capacidade máxima de projeto e capacidade nominal;
- IV - descrição de cada corrente de alimentação:
 - a) matérias-primas:
 - 1. relação das matérias-primas;

2. características físico-químicas;
 3. composições básicas, constando teores de matéria orgânica e cinzas; e
 4. taxas de alimentação
- b) resíduo:
1. origem, quantidade gerada e estocada;
 2. poder calorífico inferior, composição provável, composição elementar e identificação e quantificação das substâncias eventualmente presentes, avaliadas com base no processo gerador do resíduo e que constem das listagens quatro e cinco e seis da NBR-10004 da ABNT;
 3. taxa de alimentação pretendida;
 4. teores de metais;
 5. teores de cloro total/cloreto;
 6. teores de fluoretos, enxofre, cinzas e umidade;
 7. seleção dos “Principais Compostos Orgânicos Perigosos - PCOPs”; e
 8. descrição dos procedimentos de mistura de resíduos anteriores à queima.
- c) combustíveis:
1. tipo;
 2. Poder Calorífico Inferior – PCI;
 3. teores de enxofre, cinzas e umidade; e
 4. consumo (massa/tempo).
- V - condições operacionais propostas para o Teste de Queima, incluindo tempo de residência para gases e sólidos, com memórias de cálculo;
- a) para o caso da alimentação de resíduos em ponto que não seja a extremidade de temperatura mais elevada do forno rotativo, deverá ser demonstrado que haverá condições adequadas e suficientes de tempo de residência, temperatura e concentração de O_2 , no percurso dos gases, a partir do ponto de alimentação do resíduo, para garantir o nível de eficiência de destruição do(s) PCOP(s) definido(s);
 - b) para a alimentação de resíduos em regime de batelada (em latões, bombonas, pacotes, ou sem cominuição prévia de quantidades maiores – como, possivelmente, no caso de pneus), o volume de cada batelada e a frequência de suas alimentações deverão ser estabelecidos de modo a garantir que a rápida volatilização dos compostos introduzidos no sistema não promova reduções das concentrações de O_2 , abaixo das quais seja comprometida a eficiência do processo de destruição térmica destes compostos.
- VI - descrição do sistema de controle de emissões atmosféricas, de seus equipamentos e de suas condições operacionais;
- VII - descrição do destino final dos resíduos gerados no sistema de controle de emissões atmosféricas: no caso de existirem etapas de tratamento deste sistema que gerem efluentes líquidos, descrever seus equipamentos e operações, seus parâmetros e condições operacionais e sua proposta de monitoramento para sistemas de tratamento destes efluentes. O mesmo se aplica para os efluentes líquidos gerados em operações de limpeza de pisos e equipamentos, bem como as águas pluviais contaminadas;
- VIII - descrição do sistema de análise e controle de qualidade do clínquer, sob o ponto de vista ambiental;
- IX - descrição e desenhos esquemáticos de localização de todos os pontos de medição e coleta de amostras para monitoramento da unidade e dos sistemas de controle de emissões e descrição dos sistemas de gerenciamento destes dados;
- X - lista de parâmetros a serem monitorados na operação do sistema forno, em todas as etapas do co-processamento, relacionando equipamentos utilizados no monitoramento;
- XI - lista de parâmetros a serem monitorados em todas as etapas do processo, incluindo, entre outros, metodologias e equipamentos de coleta e análises, seus limites de detecção, frequências de coletas de dados de amostragem e de medições para: combustíveis, matérias-primas, resíduo e correntes de reciclo e de descarte (material particulado, resíduos sólidos gerados, efluentes gasosos e efluentes líquidos);
- XII - descrição do sistema de intertravamento, das condições em que ocorrem a interrupção e a retomada da alimentação dos resíduos;
- XIII - estimativa dos níveis de emissão resultantes da adoção da taxa de alimentação pretendida, com base no balanço de massa, contemplando os dados de entrada (matéria-prima, combustível, resíduo e reciclos.) e de saída (clínquer, gases da exaustão, material particulado retido no ECP e particulado nos gases emitidos para atmosfera.);
- XIV - cronograma do teste de queima;

XV - identificação dos técnicos envolvidos no teste, incluindo responsabilidades e qualificações, sendo que todos os documentos apresentados deverão ser devidamente assinados por profissional habilitado, indicando o número do registro no Conselho de Classe Profissional.

Art. 16. Após a aprovação do PTQ o interessado fixará a data para o Teste de Queima, em comum acordo com o Órgão Ambiental, que acompanhará todas as operações do teste, bem como o controle e inspeção para a liberação dos lotes de resíduos e o transporte destes lotes .

Art. 17. Os resíduos não poderão ter sua composição e suas concentrações de contaminantes alteradas, seja por acréscimo ou substituição de resíduo e / ou contaminante, quando for o caso, novos EVQ e PTQ, relativos à nova condição, deverão ser elaborados.

Art. 18. Poderá ser prevista a realização de um “pré-teste de queima”, que deverá ser aprovado pelo Órgão Ambiental, a fim de que sejam feitos os ajustes necessários referentes às condições de alimentação dos resíduos a serem testados.

Art. 19. Ao término do período solicitado para o pré-teste, o Órgão Ambiental deverá ser comunicado quanto a eventuais alterações no Plano de Teste de Queima.

Seção VI

Do Teste de Queima

Art. 20. No início do Teste de Queima deverá ser testado o sistema de intertravamento para interromper automaticamente a alimentação de resíduos.

Art. 21. Durante o Teste de Queima, a instalação deverá operar nas mesmas condições operacionais verificadas durante o Teste em Branco, conforme o inciso V do art. 12.

Art. 22. Deverão ser amostrados no efluente gasoso, os mesmos poluentes avaliados no Teste em Branco, além dos Principais Compostos Orgânicos Perigosos-PCOPs -.

Art. 23. As coletas deverão ser realizadas em triplicadas. O tempo mínimo de coleta para o material particulado de duas horas, e os limites de emissão para efluentes gasosos, de acordo com os arts. 28, 29 e 30 desta Resolução.

Art. 24. São condições prévias para o Teste de Queima:

I - ter o Plano de Teste de Queima aprovado pelo Órgão Ambiental competente;

II - o Teste de Queima não deverá apresentar risco significativo de qualquer natureza à saúde pública e ao meio ambiente;

III - ter instalados, calibrados e em condição de funcionamento, pelo menos, os seguintes monitores contínuos e seus registradores: CO, O₂, temperatura e pressão do sistema forno, taxa de alimentação do resíduo e parâmetros operacionais dos ECPs;

IV - ter instalado e em condição de funcionamento um sistema de intertravamento para interromper automaticamente a alimentação de resíduos, nos seguintes casos:

a) emissão dos poluentes monitorados continuamente, acima dos limites previstos nesta Resolução;

b) queda da temperatura normal de operação;

c) pressão positiva no forno;

d) falta de energia elétrica ou queda brusca de tensão;

e) queda do teor de O₂ no sistema;

f) mau funcionamento dos monitores e registradores de temperatura, O₂, CO ou THC e interrupção do funcionamento do ECP; ou

g) temperatura da entrada do precipitador eletrostático superior a duzentos graus celsius.

V - ter instalado e em funcionamento um sistema de alimentação do resíduo, em condições de segurança e operacionalidade.

Seção VII

“Dos Critérios para Seleção dos Principais Compostos Orgânicos Perigosos” - PCOPs

Art. 25. A seleção dos PCOPs deverá ser baseada no grau de dificuldade de destruição de constituintes orgânicos do resíduo, sua toxicidade e concentração no resíduo.

Art. 26. A Eficiência de Destruição e Remoção-EDR dos PCOPs, deverá ser de no mínimo, noventa e nove, noventa e nove por cento.

Art. 27. Para confirmação do EDR, a taxa de alimentação do(s) PCOP(s) selecionado(s) deverá ser compatível com os limites de detecção dos métodos de amostragem e análises das emissões atmosféricas.

Seção VIII

Dos Limites de Emissão

Art. 28. O co-processamento de resíduos em fornos de clínquer deverá observar os limites máximos de emissão atmosférica, fixados na Tabela 01, respeitando o seguinte:

I - as emissões máximas dos fornos de clínquer destinados ao co-processamento, tanto no Teste em Branco quanto no Teste de Queima, não deverão ultrapassar os Limites Máximos de Emissão constantes da Tabela 01.

II - O limite de 100 ppmv poderá ser exercido desde que os valores medidos de THC não excedam a 20 ppmv, em termos de média horária e que não seja ultrapassado o limite superior de CO de 500 ppmv, corrigido a sete por cento de O₂ (base seca), em qualquer instante; e

III - O limite de CO para o intertravamento da alimentação de resíduo, será fixado a partir dos Testes de Queima estabelecidos com base nas médias horárias e corrigidas continuamente a sete por cento de O₂ (gás base seca).

Tabela 01 - Limites Máximos de Emissão

Poluente	Limites Máximos de Emissão
HCL	1,8kg/h ou 99% de redução
HF	5 mg/Nm ³ , corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
CO*	100 ppmv, corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
MP	70 mg/Nm ³ farinha seca, corrigido a 11% de O ₂ (base seca)
THC (expresso como propano)	20 ppmv, corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
Mercúrio (Hg)	0,05 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
Chumbo (Pb)	0,35 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
Cádmio (Cd)	0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
Tálio (Tl)	0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
(As+Be+Co+Ni+Se+Te)	1,4 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
(As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn)	7,0 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)

* As concentrações de CO na chaminé não poderão exceder a 100 ppmv em termo de média horária.

Art. 29. Os limites de emissão dos poluentes poderão ser mais restritivos, a critério do Órgão Ambiental local, em função dos seguintes fatores:

I - capacidade de dispersão atmosférica dos poluentes, considerando as variações climáticas e de relevo locais; ou

II - a intensidade de ocupação industrial e os valores de qualidade de ar da região .

Art. 30. Os limites de emissão para os parâmetros SOx e NOx deverão ser fixados pelos Órgãos Ambientais competentes considerando as peculiaridades regionais.

Seção IX

Do Monitoramento Ambiental

Art. 31. Os relatórios de auto-monitoramento serão encaminhados ao Órgão Ambiental competente de acordo com a frequência solicitada.

Art. 32. A taxa de alimentação do resíduo, definida no Teste de Queima, deve ser controlada através de avaliação sistemática do monitoramento das emissões provenientes dos fornos de produção de clínquer que utilizam resíduos, bem como da qualidade ambiental na área de influência do empreendimento.

Art. 33. Deverão ser monitorados de forma contínua os seguintes parâmetros: pressão interna, temperatura dos gases do sistema forno e na entrada do precipitador eletrostático, vazão de alimentação do resíduo, material particulado (através de opacímetro), O₂, CO, NOx e / ou THC quando necessário.

Art. 34. Deverão ser monitoradas, de forma não contínua, os seguintes parâmetros: SO_x, PCOPs, HCl/Cl₂, HF, elementos e substâncias inorgânicas listados nos arts. 28, 29 e 30 desta Resolução.

Art. 35. O monitoramento de quaisquer outros poluentes com potencial de emissão poderá ser exigido, a critério do Órgão Ambiental competente.

Art. 36. O controle das características dos resíduos deverá ser feito através de amostragem não contínua, fundamentado na análise dos seguintes parâmetros: PCOPs, elementos e substâncias inorgânicas, enxofre, flúor, série nitrogenada e cloro.

Art. 37. O monitoramento dos efluentes líquidos deverá obedecer os parâmetros fixados na legislação pertinente.

Art. 38. O monitoramento ambiental da área de entorno deverá ser definido caso a caso, com base na avaliação de riscos à saúde humana, ao meio ambiente e os decorrentes de emissões não acidentais.

Seção X

Das Unidades de Mistura e pré-condicionamento de resíduos

Art. 39. As Unidades de Mistura e Pré-condicionamento de Resíduos são passíveis de licenciamento pelo Órgão Ambiental competente e, para tanto, deverão apresentar as seguintes informações:

I - nome (razão social), endereço e localização da instalação;

II - descrição dos principais produtos ou serviços prestados;

III - planta, em escala, mostrando a localização das áreas de recepção, laboratórios, estocagem, manuseio e/ou disposição de resíduos, bem como os locais destinados a futuras áreas de manuseio, estocagem e disposição;

IV - descrição dos procedimentos de recepção, amostragem e análises, estocagem, manuseio e disposição de resíduos gerados;

V - caracterização e classificação dos resíduos recebidos, quantificação de cada resíduo e uma descrição geral dos procedimentos para cada um;

VI - laudos de análises químicas e físicas de cada resíduo e cópia do plano de análise, os quais deverão estar devidamente assinados por técnico responsável;

VII - descrição dos procedimentos e equipamentos de segurança;

VIII - plano de contingência;

IX - descrição dos procedimentos, estruturas ou equipamentos a serem usados na unidade para prevenir:

a) riscos em operações de descarregamento;

b) vazamentos das áreas de manuseio de resíduos perigosos para áreas adjacentes ou para meio ambiente;

c) riscos de enchentes;

d) efeitos ocasionados pelas falhas nos equipamentos e interrupção de fornecimento de energia elétrica;

e) exposição indevida de pessoas aos resíduos sólidos; e

f) liberação de gases para o ambiente.

X - descrição das medidas para prevenção de ignição acidental ou reações de resíduos inflamáveis, reativos ou incompatíveis;

XI - descrição do transporte interno de resíduos, inclusive com indicação em planta das vias de tráfego interno;

XII - plano de encerramento das atividades e, se aplicável, de pós-encerramento; e

XIII - projetos dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos, se aplicável.

Art. 40. O responsável pela unidade deverá registrar toda anormalidade envolvendo derramamento ou vazamento de resíduos, bem como fornecer, a critério do Órgão Ambiental competente, estudo para avaliação de eventuais danos ocorridos ao meio ambiente.

Art. 41. O recebimento de resíduos deverá ser documentado, através de registros que serão disponibilizados para o Órgão Ambiental competente.

Seção XI

Do Plano de Treinamento de Pessoal

Art. 42. O pessoal envolvido com a operação das unidades de mistura, pré-condicionamento e co-processamento de resíduos deverá receber periodicamente treinamento específico com relação ao processo, manuseio e utilização de resíduos, bem como sobre procedimentos para situações emergenciais e anormais durante o processo.

Seção XII

Dos Procedimento para Controle de Recebimento de Resíduos

Art. 43. Os resíduos a serem recebidos pela unidade de mistura e/ou pela instalação responsável por sua utilização deverão ser previamente analisados para determinação de suas propriedades físico-químicas e registro das seguintes informações:

I - a origem e a caracterização do resíduo;

II - métodos de amostragem e análise utilizados, com respectivos limites de detecção, de acordo com as normas vigentes;

III - os parâmetros analisados em cada resíduo; e

IV - incompatibilidade com outros resíduos.

Art. 44. As análises deverão ser repetidas, sempre que necessário, para assegurar a confiabilidade da caracterização do resíduo.

Seção XIII

Do Armazenamento de Resíduos e da Análise de Risco

Art. 45. Os resíduos deverão ser armazenados de acordo com os dispositivos legais vigentes.

Art. 46. O transporte de resíduos ou de mistura de resíduos para as unidades de co-processamento, deverá ser realizado de acordo com os dispositivos legais vigentes.

Art. 47. O Estudo de Análise de Risco integrará o processo de Licenciamento Ambiental e será realizado pelo empreendedor de acordo com os procedimentos e normas estabelecidas pelo Órgão Ambiental competente, contemplando avaliação dos riscos decorrentes tanto de emissões acidentais como de emissões não acidentais.

Seção XIV

Das Disposições Finais

Art. 48. Para os fins do disposto nesta Resolução, são adotadas as definições do Anexo I.

Art. 49. A presente Resolução deverá ser revisada num prazo máximo de três anos, contados a partir da sua publicação.

Art. 50. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

José Sarney Filho

(D.O.U., 20.03.2000, Seção I, pág. 80)

Anexo I

DEFINIÇÕES

Clínquer: Componente básico do cimento, constituído principalmente de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico.

Combustível primário: Combustível alimentado pelo maçarico/queimador principal do forno na zona de combustão primária, sendo comumente utilizado carvão, óleo ou gás.

Combustível secundário: Combustível alimentado na zona de combustão secundária, podendo ser utilizado, além dos combustíveis primários, outros alternativos, como: casca de arroz e serragem, entre outros.

Co-processamento de resíduos em fornos de produção de clínquer: Técnica de utilização de resíduos sólidos industriais a partir do processamento desses como substituto parcial de matéria-prima e / ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento.

Equipamento de Controle de Poluição-ECP: Equipamentos destinados a controlar as emissões atmosféricas resultantes das operações industriais.

Estudo de Viabilidade de Queima-EQV: estudo teórico que visa avaliar a compatibilidade do resíduo a ser co-processado com as características operacionais do processo e os impactos ambientais decorrentes desta prática.

Farinha: Produto intermediário para a produção de clínquer, composto basicamente de carbonato de cálcio, sílica, alumina e óxido de ferro, obtidos a partir de matérias primas tais como, calcário, argila e outras.

Forno rotativo de produção de clínquer: Cilindro rotativo, inclinado e revestido internamente de material refratário, com chama interna, utilizado para converter basicamente compostos de cálcio, sílica, alumínio e ferro, proporcionalmente misturados, num produto final denominado clínquer.

Monitoramento Ambiental: Avaliação constante das emissões provenientes dos fornos de produção de clínquer que co-processam resíduos, bem como da qualidade ambiental na área de influência do empreendimento.

Plano do Teste de Queima-PTQ: Plano que contempla dados, cálculos e procedimentos relacionados com as operações de co-processamento propostas para o resíduo.

Pré-aquecedor: Região do sistema forno constituída por um conjunto de ciclones, onde a farinha é alimentada, sendo pré-aquecida e parcialmente calcinada pelo fluxo de gases quentes provenientes do forno rotativo, em contra corrente.

Pré-calcinador: Dispositivo secundário de queima onde ocorre uma pré-calcinação da matéria-prima.

Principais compostos orgânicos perigosos-PCOPs: Substâncias orgânicas perigosas de difícil destruição térmica.

Resíduos: Aqueles que se apresentem nos estados sólido, semi-sólido e os líquidos não passíveis de tratamento convencional, resultantes de atividades humanas. Fica também estabelecido que o termo resíduo compreende um único tipo de resíduo ou mistura de vários, para fins de co-processamento.

Sistema forno: Sistema composto por um conjunto de equipamentos envolvendo as etapas de aquecimento, calcinação e produção final de clínquer, constituído basicamente de forno rotativo, pré-aquecedor, pré-calcinador e resfriador.

Teste de Queima: Conjunto de medições realizadas na unidade operando com a alimentação de resíduos, para avaliar a compatibilidade das condições operacionais da instalação de produção de clínquer com o atendimento aos limites de emissões definidos na presente Resolução e com as exigências técnicas fixadas pelo Órgão Ambiental.

Teste em Branco: Conjunto de medições realizadas no forno em funcionamento normal, operando sem a alimentação de resíduos, para avaliação das condições operacionais da Unidade de produção de clínquer e do atendimento às exigências técnicas fixadas pelo Órgão Ambiental.

Unidades de Mistura e pré-condicionamento de resíduos: Unidades onde se realiza o preparo e ou mistura de resíduos diversos, resultando num produto com determinadas características, para serem utilizados no co-processamento.

Zona de combustão primária: Região do forno rotativo onde ocorre a queima do combustível primário, de forma a proporcionar a temperatura do material em clinquerização, na ordem de 1400°C-1500°C.

Zona de combustão secundária: Região do sistema forno onde ocorre a queima do combustível secundário, na faixa de temperatura da ordem de 850°C a 1200°C, objetivando a pré-calцинаção.

Zona de Queima: Local do forno onde ocorrem as reações de clinquerização.

Deliberação Normativa COPAM nº 154, de 25 de agosto de 2010.**Dispõe sobre o Coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**

O Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, tendo em vista o disposto no art. 214, SS 1º, IX, da Constituição do Estado de Minas Gerais, no uso das atribuições que lhe confere o art. 5º, I, da Lei nº 7.772, de 8 de setembro de 1980, e nos termos do art. 4º, incisos I, II, IV e VII da Lei Delegada nº 178, de 29 de janeiro de 2007, e no art. 4º, incisos II, III, IV e VII, art. 8º, inciso V e art. 10, inciso I de seu regulamento, Decreto nº 44.667, de 03 de dezembro de 2007 e;

Considerando a necessidade de normatizar os procedimentos referentes ao licenciamento ambiental de coprocessamento de resíduos sólidos, líquidos ou semi-sólidos, de Classe I e Classe II, de acordo com a norma ABNT NBR 10004, em fornos de clínquer no Estado de Minas Gerais,

DELIBERA:

Art. 1º – Para efeito de aplicação dessa Deliberação Normativa são estabelecidas as seguintes definições:

I – Coprocessamento: a utilização de resíduos para substituição de matérias-primas e/ou aproveitamento energético em fornos de clínquer;

II – Unidades de Mistura e Pré-condicionamento de Resíduos (UMPCR): unidades onde se realiza o preparo e/ou mistura de resíduos oriundos de diversos processos industriais, resultando em produtos com determinadas características, para serem utilizados no coprocessamento em fornos de clínquer.

III – Licença de Operação para coprocessamento de resíduos: é a Licença de Operação concedida para a atividade de coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer, quando os resultados do teste de queima comprovarem a capacidade do forno de destruir resíduos, respeitados os limites de entrada e de emissão definidos na legislação.

IV – Plano do Teste de Queima – PTQ: plano que contempla dados, cálculos e procedimentos relacionados com as operações de coprocessamento propostas para o resíduo.

V – Teste em Branco: conjunto de medições realizadas no forno em funcionamento normal, operando sem a alimentação de resíduos, para avaliação das condições operacionais da unidade de produção de clínquer e do atendimento às exigências técnicas fixadas pelo órgão ambiental.

VI – Teste de Queima: conjunto de medições realizadas na unidade, operando com a alimentação de resíduos para avaliar a compatibilidade das condições operacionais da instalação de produção de clínquer, com o atendimento aos limites de emissões e demais exigências técnicas estabelecidos na presente Deliberação.

VII – Resíduos domiciliares pré-tratados ou tratados: são os resíduos brutos que passaram por sistemas de triagem e/ou tratamento.

VIII – Resíduos equivalentes para coprocessamento: são resíduos cuja análise de massa bruta demonstre que as concentrações de seus elementos são iguais ou inferiores àquelas listadas na Licença de Operação para coprocessamento de resíduos, conforme tabelas 5 (cinco) e 6 (seis).

Art. 2º – A utilização do forno de clínquer para coprocessamento de resíduos dependerá das Licenças Prévia, de Instalação e de Operação concedidas pelo COPAM.

SS 1º As licenças a que se refere este artigo somente serão concedidas quando a unidade industrial onde se localizar o forno de clínquer dispuser de Licença de Operação do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM para a atividade de fabricação de cimento e também tiver cumprido todas as medidas de controle ambiental estabelecidas naquela licença.

SS 2º Para proceder ao coprocessamento a que se refere o caput deste artigo, deverá ser comprovada a capacidade de destruição do(s) resíduo(s) no forno de clínquer através da realização do teste de queima, previamente aprovado pela Superintendência Regional de Meio Ambiente – SUPRAM.

SS 3º A comprovação a que se refere o SS 2º deste artigo ensejará a concessão de licença de operação para coprocessamento de resíduos com concentração de elementos igual ou inferior à verificada no teste, respeitados os limites de entrada e emissão definidos nessa Deliberação Normativa.

Art. 3º – Para a obtenção da Licença de Operação para o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer deverá ser apresentado Plano de Controle Ambiental – PCA contendo, no mínimo:

I – Declaração de Origem e Destino do(s) resíduo(s) antes do início da operação de coprocessamento;

II – Gerador (es) do(s) resíduo(s) e respectiva(s) Licença(s) de Operação;

III – Descrição sucinta do(s) processo(s) gerador(es) do(s) resíduo(s) e fluxograma(s) simplificado com a indicação do ponto de geração do(s) mesmo(s);

IV – Resultados dos ensaios de amostra bruta, incluindo os teores de metais, Poder Calorífico Inferior e, quando se tratar(em) de resíduo(s) substituto(s) de matéria(s)-prima(s), os teores de óxidos que justifiquem tal substituição;

V – Quantidades gerada(s) e estocada(s);

VI – Descrição do sistema de armazenamento de resíduo(s) na UMPCR e/ou na unidade onde será realizada a operação de coprocessamento;

VII – A taxa de alimentação do(s) resíduo(s);

VIII – A(s) Ficha(s) de Emergência do(s) resíduo(s);

IX – Metodologia de coprocessamento utilizada com definição dos pontos de alimentação dos resíduos;

X – Condições normais de operação do forno de clínquer, incluindo temperatura de operação do forno, alimentação de farinha crua (t/h) e performance esperada para os sistemas de controle;

XI – Plano do Teste de Queima;

XII – Estudo de dispersão atmosférica contemplando os principais componentes dos resíduos e comparando-os aos padrões de qualidade do ar previstos, como referência, na Tabela 3 (três) do Anexo I desta Deliberação Normativa;

XIII – Apresentar programa de monitoramento atmosférico e do clínquer;

XIV – O coprocessador deverá apresentar no PCA manual de procedimentos, operação, segurança e emergência;

XV – Apresentar os resultados do Teste em Branco do forno;

Parágrafo único. O caput desse artigo não se aplica aos resíduos equivalentes.

Art. 4º – O interessado acordará junto à SUPRAM, que acompanhará as operações, data para a realização do Teste de Queima.

Art. 5º – A campanha de monitoramento dos efluentes atmosféricos relativa à Licença de Operação, deverá conter, no mínimo, os parâmetros listados nas tabelas 1 (um) e 2 (dois) do Anexo I desta Deliberação Normativa, com periodicidade trimestral.

Parágrafo único. O lançamento dos efluentes atmosféricos referentes ao teste de queima deverá ser monitorado ao longo de todo o teste com amostragem isocinética.

Art. 6º – Os testes de lixiviação do clínquer deverão ser realizados com periodicidade trimestral e arquivados por um período de no mínimo 3 (três) anos.

Art. 7º – Os resultados dos monitoramentos atmosféricos e as análises do clínquer deverão ser encaminhados trimestralmente ao órgão ambiental.

Parágrafo único. A periodicidade, em função dos resultados verificados, poderá ser modificada pelo COPAM, se devidamente justificada.

Art. 8º – Os resíduos a serem coprocessados em forno de clínquer deverão observar os padrões de concentração, inclusive quando se tratar de resíduos provenientes de UMPCR, conforme o disposto na Tabela 4 (quatro), Anexo I desta Deliberação Normativa.

Parágrafo único. Para a comprovação do disposto no caput, no ato de recebimento dos resíduos, a empresa coprocessadora deverá exigir laudo de laboratório credenciado, observando as Deliberações Normativas do COPAM 89/2005, 120/2008 e 140/2009, com Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do Responsável Técnico responsável pela coleta e análise do resíduo, que deverá ser encaminhado trimestralmente a SUPRAM.

Art. 9º – Para atividade de coprocessamento, o forno de clínquer deverá atender às seguintes condições gerais:

I – Deverá estar implantado monitoramento contínuo, com encaminhamento “on-line” para o órgão ambiental das informações registradas. Os parâmetros que deverão ser monitorados continuamente são: MP, NOx, SOx, O2 e THC;

II – Os sistemas de alimentação de resíduos deverão estar equipados com intertravamento elétrico que interrompa imediatamente a alimentação dos mesmos, quando ocorrer:

a) queda da temperatura de operação normal de trabalho;

b) ausência de chama no queimador;

c) queda do teor de O2 no sistema;

d) mau funcionamento dos monitores de O2 e temperatura;

e) inexistência de depressão no forno;

f) falta de energia elétrica ou queda brusca de tensão;

g) alimentação deficiente de farinha;

h) emissões acima do padrão, conforme critérios estabelecidos em legislação específica.

SS 1º Para os empreendimentos que não dispõem de monitoramento contínuo para HCl e HF, será realizada campanha de monitoramento pelo órgão ambiental às expensas do empreendedor.

SS 2º Os parâmetros definidos no item I poderão ser modificados pelo COPAM, em função dos resultados observados em um período de no mínimo de 3 (três) anos, se devidamente justificado.

Art. 10 – Os resíduos a serem coprocessados deverão apresentar Poder Calorífico Inferior – PCI mínimo de 2000 kcal/kg.

SS 1º Somente os elementos Ca, Si, Al, Fe, F, S, K e Na, presentes nos resíduos, caracterizam substituição de matéria prima fundente e/ou mineralizador, no entanto, sua utilização só poderá ser realizada se respeitados os limites de emissão. A sua utilização só poderá ser realizada quando a concentração desses elementos for superior a 45% em peso, além de respeitar os limites de emissão.

SS 2º O enxofre somente poderá ser considerado substituto de matéria prima para aquelas unidades onde a sua ocorrência for comprovada junto com o calcário.

Art. 11 – Não será permitido o coprocessamento de resíduos domiciliares brutos, dos serviços de saúde, radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins, conforme regulado pela Resolução CONAMA 264/99.

Art. 12 – Os resíduos domiciliares pré-tratados ou tratados poderão ser coprocessados, desde que atendam o disposto no artigo 11 e respeitando os limites de emissão.

Parágrafo único. Para estes resíduos será permitido PCI mínimo de 1.500 kcal/kg.

Art. 13 – O transporte rodoviário de resíduos perigosos Classe I, segundo a ABNT NBR 10004/2004, para fins de coprocessamento em fornos de clínquer ou processamento em Unidades de Mistura e Pré-condicionamento de Resíduos, deverá ser realizado por empresa transportadora que possua Autorização Ambiental de Funcionamento ou Licença de Operação, conforme Termo de Referência específico para elaboração de Plano de Controle Ambiental -PCA.

Art. 14 – A mistura de resíduos “blend” a ser encaminhada para o coprocessamento deverá atender aos padrões de entrada no forno e limites de emissão preconizados nessa deliberação.

Art. 15 – O coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer deverá observar os padrões de emissão de efluentes atmosféricos previstos nas Tabelas 1 (um) e 2 (dois) do Anexo I desta Deliberação Normativa.

Art. 16 – Para que a SUPRAM reconheça equivalência de resíduos para inclusão em processos de coprocessamento já licenciados, deverão ser atendidos os limites dos parâmetros constantes nas Tabelas 5 (cinco) e 6 (seis) do Anexo I desta Deliberação Normativa, sempre com concentrações iguais ou inferiores àquelas estabelecidas na Licença de Operação para coprocessamento de resíduos.

SS 1º Quando o critério de equivalência for utilizado como substituto de combustível, não será necessário verificar o primeiro item da tabela 6. No caso da equivalência como substituto de matéria prima, não será necessário verificar o primeiro item da tabela 5.

SS 2º A taxa de alimentação de resíduos equivalentes, isolada ou conjuntamente, poderá ultrapassar a taxa prevista na Licença de Operação existente, desde que informada e que os limites de emissão sejam observados.

SS 3º A equivalência será reconhecida por meio de anuência da SUPRAM, comunicada ao interessado e registrada no processo da Licença de Operação correspondente, sem necessidade de novo Teste de Queima.

SS 4º Não sendo verificada a equivalência, a SUPRAM comunicará a decisão ao interessado.

Art. 17 – A revalidação da Licença de Operação para coprocessamento do resíduo original deverá contemplar todos os resíduos equivalentes agregados.

Art. 18 – Os valores para ressarcimento dos custos de análise dos processos de licenciamento, bem como para inclusão de resíduos equivalentes para coprocessamento de que trata o Art. 16 desta Deliberação Normativa, serão estabelecidos em Resolução SEMAD específica.

Art. 19 – A alimentação de resíduos para coprocessamento no moinho de carvão/coque somente poderá ser efetuada após licenciamento dessa unidade para tal fim e para cada resíduo especificamente.

Art. 20 – Excepcionalmente, operações de coprocessamento poderão ser autorizadas pelo órgão ambiental, independente das restrições desta deliberação, inclusive aquelas referentes ao PCI e substituição de matéria prima, nos seguintes casos:

I – Solicitações das polícias Federal, Civil e Militar, para destruição de armas e entorpecentes;

II – Solicitações da ANVISA para destruição de medicamentos vencidos;

III – Outras solicitações, a critério do COPAM.

Parágrafo único – Os custos relativos às hipóteses previstas neste artigo serão de responsabilidade dos solicitantes.

Art. 21 – Esta Deliberação Normativa entra em vigor 60 (sessenta) dias após a data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.