

Cinzas da incineração de lixo: matéria-prima para cerâmicas

Resíduos convertidos em compostos inorgânicos podem ser usados em vários produtos

O serviço de coleta e destinação do lixo urbano, efetuado pelo poder público e custeado por taxas e impostos, ainda é visto apenas como despesa, e não como uma atividade capaz de gerar receitas (ou lucros). A mudança desse modo de pensar permitiria enquadrar a atividade como uma indústria de processos químicos, com diversas aplicações para os produtos do beneficiamento dos lixos coletados, o que atrairia interesses empresariais. Com isso, seriam agregados às receitas ou aos lucros os benefícios sociais decorrentes de qualquer empreendimento industrial.

Em todas as civilizações, o descarte de lixos e resíduos sólidos gerou problemas. Até hoje, a dispersão desses detritos dificulta sua coleta e transporte, além de obstruir vias públicas, trazer riscos à saúde e degradar o ambiente. Uma das principais dificuldades para uma ação concreta no problema da destinação do lixo – além dos aspectos econômicos, políticos e administrativos – é a falta de informações técnicas sobre alternativas de processamento ou beneficiamento compatíveis com as dimensões e características das localidades interessadas na busca de uma solução.

Vários tipos de processamento dos lixos são cabíveis – físico, termoquímico, hidroquímico (por lixiviação natural ou induzida),

eletroquímico ou biotecnológico –, mas é preciso desenvolver formas associadas de beneficiamento e aproveitamento de produtos obtidos a partir dos resíduos produzidos. Esse desafio é um dos objetivos das nossas pesquisas sobre termoprocessamento de lixos e rejeitos e sobre os tratamentos e aplicações posteriores para as cinzas e os efluentes. Tais estudos inserem-se nas diretrizes da Agenda 21, acordo internacional que prevê a busca, pelos países a ele associados, do desenvolvimento sustentável, que minimize impactos ambientais.

Origens e destinos usuais dos lixos

A demanda crescente de alimentos e bens de consumo faz com que o homem transforme cada vez mais matérias-primas em produtos acabados, gerando volumes maiores de resíduos. A quantidade de lixo recolhida, no entanto, não aumenta em proporção direta com o crescimento da população, já que grande parcela desta (em geral a de maior crescimento demográfico) vive em locais onde não há coleta regular. Os resíduos não-coletados são queimados de forma rústica ou lançados em terrenos livres ('lixões'), em corpos d'água ou mesmo em vias públicas.

A destinação de rejeitos é a etapa final de um grande ciclo, no qual os produtos mobilizados pelo

homem para satisfazer suas necessidades são devolvidos ao meio ambiente de onde vieram. Pode constituir também o início de um processo de reciclagem que evita o lançamento indevido no ambiente e permite seu uso continuado no mercado de industrialização e consumo. O estudo e a caracterização de cada tipo de lixo (figura 1) é fundamental para a determinação das melhores condições para coleta, transporte, reaproveitamento ou disposição final.

A acumulação de lixos e seus problemas

A geração constante de lixos e resíduos industriais exige a busca de áreas para disposição final: vazadouros ou aterros sanitários. A ausência de coleta regular e o costume de usar corpos d'água (rios, canais, lagoas) como escoadouros de lixo complicam a solução administrativa do problema. Nem sempre as prefeituras têm a infra-estrutura necessária para oferecer a destinação adequada, o que torna necessário buscar soluções viáveis (técnica e economicamente). No Brasil, foram implantados processos de produção de gás – do lixo e de lodo oriundo de esgotos (este através de biodigestores) – para uso como combustível em veículos e para aquecimento em instalações rurais. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 1989 pelo ▶

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 73% dos rejeitos, nos municípios pesquisados, vai para ‘lixões’, 13% para ‘aterros controlados’, 10% para ‘aterros sanitários’ e apenas 1% recebe algum tratamento (compostagem, reciclagem ou incineração).

O ‘lixão’ – a descarga no solo, a céu aberto, sem medidas de proteção ao ambiente ou à saúde pública – é uma opção primária e inadequada. Facilita a disseminação de doenças através de insetos e ratos, gera mau cheiro e, principalmente, contamina o solo e as águas (superficiais e subterrâneas) através do ‘chorume’. Esse líquido escuro, mau cheiroso e de alto potencial poluidor é produzido

pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo. O lixão favorece ainda o descontrole quanto aos tipos de materiais despejados, que às vezes incluem resíduos de serviços de saúde (hospitais, clínicas) e de indústrias. Atividades indesejáveis, como a criação de porcos e a catação de alguns materiais (por pessoas que muitas vezes residem no local), são freqüentes.

O ‘aterro controlado’ usa recursos e técnicas de engenharia civil para confinar os resíduos sólidos a uma área pré-selecionada e cobri-los diariamente com material ‘inerte’. Em geral, a base da área ocupada não é impermeabilizada e não há tratamento do chorume

(comprometendo os recursos hídricos), nem coleta, purificação e dispersão de gases gerados. No aspecto ambiental, essa opção é vantajosa em relação ao lixão, reduzindo os problemas, mas ainda não é a ideal.

Já o ‘aterro sanitário’, entendido como local de ‘purificação’ do lixo domiciliar, é composto por setores diversos, cada um deles dotado de uma camada inferior impermeabilizada sobre a qual se despejam os rejeitos sólidos, contendo drenos para coleta de chorume, águas de superfície e gases da prolongada digestão anaeróbica. O despejo é feito formando ‘células’ de lixo. Sobre a camada de células do fundo são depositadas outras camadas, até a cota máxima definida no projeto, e em alguns casos os gases são coletados para uso como combustíveis. Esse tipo de aterro também pode poluir o solo e as águas, pois não é possível evitar totalmente a liberação de fluidos para o ambiente nem acelerar a inertização do material, para recuperar as áreas de depósito, mas o impacto ambiental é minimizado.

Essa concepção moderna, surgida em função da escassez de áreas disponíveis e do aumento dos volumes depositados, permite converter um lixão em aterro sanitário. Para isso, escava-se o fundo até uma profundidade compatível com a situação hidrogeológica e a permeabilidade dos solos naturais encontrados, impermeabiliza-se a base e instalam-se drenos, possibilitando a deposição das células de lixo, que podem atingir cotas acima do nível do mar. O confinamento do lixo à menor área e volume possíveis é obtido pela compactação das células com um trator. O lixo que fica na camada superior também é coberto, promovendo-se sua longa (às vezes secular) decomposição por microrganismos.

Lixões e aterros são usados de maneira crescente e descontrolada em vários municípios, alterando

Figura 1. Tipos de lixo de acordo com a sua origem

TIPOS	COMPOSIÇÃO TÍPICA
Doméstico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Potencialmente combustíveis ou pirolisáveis: são os fibrosos orgânicos (papéis, jornais, restos de alimentos, tecidos, madeiras, restos de plantas) ou artefatos plásticos (embalagens, brinquedos e peças diversas). 2. Não combustíveis: são produtos inorgânicos (vidros, latas, estruturas metálicas de aparelhos eletrodomésticos e outros).
Comercial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hotéis e restaurantes: predominam resíduos de cozinha e papéis. 2. Escritórios: caracterizado por grande quantidade de papéis. 3. Supermercados e lojas: rico em embalagens de madeira e papelão.
Industrial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Industrial: uma fração resulta da limpeza de escritórios, pátios e jardins e outra inclui aparas de fabricação, rejeitos, resíduos de processamento e outros (que variam para cada tipo de indústria). 2. Lodos de processamento: resultantes de sedimentação, após tratamento químico, de efluentes líquidos, águas e esgotos.
Público	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lixo: coletado pela varrição de áreas públicas. Inclui pedaços de papel, objetos metálicos, cerâmicos, vítreos, plásticos, madeira, terra, areia, lamas, rochas, fezes de animais, galhos de árvores, restos de vegetais e outros detritos lançados ao chão pelos usuários. 2. Detritos da desobstrução de rios, canais e galerias, deslizamentos de encostas, além de animais mortos e despejos domésticos clandestinos.
Patológicos ou sob suspeita	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lixos hospitalares: curativos, restos de cirurgias e autópsias, seringas, roupas descartáveis, gases, bandagens, restos de gesso e outros. 2. Lixos farmoquímicos: de indústrias farmacêuticas, biotérios e necrotérios. 3. Alimentos contaminados ou de origem duvidosa: de restaurantes, portos e aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários internacionais. 4. Substâncias explosivas, radioativas, tóxicas e corrosivas: geradas em estabelecimentos específicos, como reatores nucleares, centros de pesquisa e outros. 5. Resíduos sólidos do tratamento de esgoto: lodos secos e material gradeado, às vezes dispostos junto com o lixo em aterros sanitários.
Sigilosos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Documentos confidenciais: militares, empresariais, da administração pública. 2. Documentos de valor: papel-moeda, talonários, selos postais.

as características históricas das áreas que ocupam (sejam industriais, agrícolas ou litorâneas). Entre seus efeitos nocivos estão a improdutividade do solo, o aumento dos problemas de saúde da população, a contaminação de corpos d'água e a proliferação de insetos e ratos. Além disso, inviabilizam a fixação de residências e indústrias nas proximidades. Uma coincidência problemática, vista em várias cidades, é a existência de lixões ou aterros perto de aeroportos, atraindo aves (urubus e outras) que podem danificar turbinas de aviões e causar sérios acidentes. Substituir o despejo de lixo a céu aberto por galpões de coleta industrial para posterior incineração talvez possa contribuir para a solução desse enorme problema ambiental.

A transformação termoquímica dos lixos

Diversos processos de conversão química de materiais podem ser aplicados a lixos e resíduos sólidos, entre eles 'incineração', 'pirólise' e métodos biotecnológicos. Na incineração, o lixo é queimado em temperaturas elevadas, gerando sólidos inorgânicos inertes (cinzas) e gases (ou fumos), com ou sem recuperação da energia térmica. A pirólise é a decomposição química do material por lento aquecimento. Os processos biotecnológicos utilizam microrganismos vivos para controlar ou acelerar a decomposição de sólidos ou moléculas maiores em menores. A presente abordagem, no entanto, trata apenas dos processos de incineração e pirólise.

A incineração, na verdade, é um caso limite de pirólise, que gera cinzas e gases mas não forma vapores intermediários que possam ser condensados para uso posterior. Certos processos de pirólise de materiais de origem mineral e vegetal (figura 2) podem ser aplicados a lixos. É importante destacar que acima de 600°C os mate-

riais biológicos são destruídos, podendo ser reduzidos a carbono elementar ou seus óxidos (CO e CO₂) e elementos oxidados.

Processamento de lixo no Brasil

Alguns métodos de processamento de lixos – como a compostagem, a coleta seletiva para reciclagem e a incineração – já são utilizados no Brasil.

A 'compostagem' é praticada há muito tempo na área rural, através da mistura de restos vegetais e esterco animal. A matéria orgânica do composto é decomposta por microrganismos nela contidos. O produto final é aplicado ao solo e pode melhorar suas características, sem riscos ambientais. A compostagem favorece e estimula a adoção da coleta seletiva, mas os materiais orgânicos do lixo domiciliar também podem ser separados em instalações industriais de 'triagem e compostagem'. No contexto brasileiro, a compostagem

é importante porque cerca de 50% do lixo urbano é constituído por materiais orgânicos.

A 'coleta seletiva' (figura 3) é a separação de materiais sólidos com vistas à reciclagem de vários deles: papel, têxteis, plásticos, metais e vidros, em primeira instância, e materiais cerâmicos ou minerais (entulho, terra, areia), se há interesse específico. A reciclagem é o reaproveitamento desses materiais na fabricação de novos bens, substituindo a matéria-prima original, mas não pode ser vista como a principal solução para a questão do lixo. Essa atividade deve fazer parte de um conjunto de medidas, pois nem todos os materiais (por razões técnicas ou econômicas) podem ser reciclados. A separação do lixo aumenta a oferta de materiais recicláveis, mas se não houver demanda o processo é interrompido e os materiais acabam aterrados ou incinerados.

A 'incineração', que alguns consideram uma forma de dispo-

Figura 2. Pirólise ou destinação destrutiva de carvão e similares aplicáveis a lixos (A) e fases de uma pirólise utilizada em indústrias carboquímicas (B)

(A)		
MATERIAIS	PROCESSOS	PRODUTOS
Carvão ou xisto ou madeira	Aquecimento lento, sem ar, de 454°C a 1.300°C Pirólise (ou destilação, ou carbonização, ou coqueificação)	Sólidos: coque (rico em carbono) e/ou cinzas Líquidos: água, alcatrão, óleo cru leve Gasosos: hidrogênio (H ₂), metano (CH ₄), etileno (CH ₂ =CH ₂), monóxido de carbono (CO), gás carbônico (CO ₂), gás sulfídrico (H ₂ S), amônia (NH ₃) e nitrogênio (N ₂)
(B)		
1. Liberação de gases e vapores (etapa típica das queimas de sólidos porosos e folhelhos)		
Até 100°C De 100°C a 200°C	Evaporação de água superficial Evaporação de água nos capilares e dessorção de gases retidos dentro dos poros	
2. Decomposição térmica ativa (desgaseificação de 3/4 da matéria volátil)		
De 350°C a 400°C Em 450°C Além de 500°C	Começa a rápida liberação de CO ₂ , CO e CH ₄ Temperatura de máxima liberação de matéria volátil Queda rápida da liberação de matéria volátil	
3. Desgaseificação secundária (cracking, liberação de gases não-condensáveis)		
Entre 500°C e 600°C Acima de 600°C	Rompem-se as ligações alifáticas entre carbonos Rompem-se as ligações entre carbono e hidrogênio, os compostos heterocíclicos tornam-se compostos aromáticos e diminui a massa molecular média dos produtos, formando-se água, CO, H ₂ , CH ₄ e outros hidrocarbonetos	

Figura 3.
Formas de coleta seletiva mais empregadas

Porta-a-porta — Os objetos recicláveis são colocados na calçada, pelos moradores, em recipientes distintos.

Voluntária — Os objetos são depositados espontaneamente pelos cidadãos em caixões de aço espalhados na cidade, nos chamados Locais de Entrega Voluntária (LEV).

Postos de recebimento e troca — Postos de recebimento de embalagens (por exemplo, no estacionamento de um supermercado) recebem objetos recicláveis como doação para instituições de caridade ou os trocam por alguma compensação estimulante.

Catação individual ou coletiva — Crucial para a oferta de materiais recicláveis e uma fonte de renda alternativa para a mão-de-obra informal, em especial diante da atual crise de desemprego. A Prefeitura do Rio de Janeiro e a empresa de limpeza urbana da cidade (Comlurb) apóiam há anos a organização de cooperativas de catadores.

sição final, usa a decomposição térmica via oxidação para tornar um resíduo menos volumoso e menos tóxico (ou mesmo atóxico), ou ainda eliminá-lo, em alguns casos. Incinerar é queimar um material a temperatura elevada (1.000°C, no mínimo), por um tempo conveniente e predeterminado. No caso do lixo, os materiais orgânicos são reduzidos a seus constituintes minerais, principalmente gás carbônico (CO₂), vapor d'água (H₂O) e sólidos inorgânicos inertes (cinzas). A fumaça gerada no processo pode conter partículas em suspensão, cuja coleta, através de filtros, ciclones ou colunas de lavagem, deve ser imperativa. Assim, incinerar o lixo é uma rota tecnológica que pode reduzir problemas ambientais, além de gerar energia térmica (de amplo uso) e matérias-primas (as cinzas e o material particulado coletado) para outros setores industriais (figura 4).

Uma incineração bem-feita gera cinzas, em geral formadas por metais, óxidos metálicos e sais, ou minerais sintéticos de composição cristaloquímica variada. Existe ainda a preocupação – de administradores municipais, estaduais e federais, empresários e mesmo da população – de que a queima do lixo polua a atmosfera pela emissão de gases (alguns com odor desagradável), pela

formação de sólidos particulados e pela presença de material mal queimado. Em função desse receio, é preciso esclarecer melhor o processo e eliminar algumas dúvidas.

As cinzas podem ser empregadas na fabricação de produtos cerâmicos. Os produtos cerâmicos são materiais não-metálicos (em geral óxidos e sais), obtidos pela combinação química (através de queimas adequadas) de um ou mais elementos metálicos com um ou mais elementos não-metálicos. São cerâmicos naturais os minerais (e minérios) com essa combinação, como argilas, feldspatos, quartzo, magnesita, cromita, grafita, talco e gipsita. Já os cerâmicos

manufaturados são produtos não-metálicos obtidos por reação química a altas temperaturas, como refratários, tijolos, telhas, louça doméstica e sanitária, vidros, cimento Portland, abrasivos sintéticos e outros.

O processo de incineração começa com um pré-tratamento do resíduo bruto coletado, para a separação, por catação manual ou mecânica, de componentes com valor comercial (papel, vidros, plásticos, alumínio, metais e outros). O material restante pode sofrer moagem, secagem, compostagem e enfardamento, para otimizar a queima. O incinerador, de alimentação manual ou mecânica (com esteiras e dosadores adequados), pode ser de câmaras múltiplas (com grelhas móveis) ou rotativo, dependendo de sua capacidade.

Os fumos (ou gases de exaustão) gerados na incineração são resfriados em trocadores de calor (que permitem também reaproveitar a energia térmica) e são neutralizados quimicamente em colunas lavadoras (a água arrasta partículas sólidas presentes nos gases e forma lamas e suspensões, que depois recebem tratamento adequado). O uso de outros lavadores, filtros e precipitadores permite que os gases emitidos na

Figura 4.
Vantagens da incineração de lixos

Redução drástica de peso e volume de material a descartar
O volume do material original pode ser reduzido em 90% e o peso em 80%, e as cinzas geradas são em geral inertes, o que diminui a crescente necessidade de áreas de aterros sanitários.

Redução do impacto ambiental
Minimiza a preocupação com a monitoração do lençol freático, já que os resíduos tóxicos podem ser destruídos, em vez de estocados.

Destoxificação
Destroi bactérias, vírus e compostos orgânicos tóxicos (por exemplo, o óleo ascarel, usado como agente refrigerador em transformadores de energia elétrica), e permite descontaminar solos que contenham resíduos tóxicos, para devolvê-los ao lugar de origem.

Co-geração de energia elétrica
Os gases quentes da incineração podem ser usados na geração de vapor d'água para hospitais, hotéis, restaurantes, indústrias, quartéis e outros estabelecimentos.

incineração de lixos obedecem às exigências da legislação ambiental. Tais métodos são adotados intensivamente em indústrias termoquímicas, como siderúrgicas, refinarias de petróleo, fábricas de cimento e cerâmica e outras, que obedecem há décadas às normas de qualidade ambiental, e podem ser adaptados para incineradores.

Incineração de lixos aeroportuário e urbano

Como as rotas dos vôos internacionais incluem países com normas sanitárias diferentes, os aviões são potenciais disseminadores de doenças, principalmente através das pessoas a bordo e dos dejetos recolhidos. Por isso, esses dejetos recebem tratamento diferente do de outros tipos de lixo, devendo ser incinerados. A Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária (Infraero), que administra os aeroportos no Brasil, cumpre os procedimentos técnicos obrigatórios para a queima dos resíduos de vôos internacionais previstos na Convenção Internacional de Aviação Civil.

O lixo aeroportuário (dos aviões e da administração) é incinerado diariamente – a 1.000°C nominais, pelo tempo mínimo de 60 minutos em incinerador de câmara fixa, ou 30 minutos em incinerador de forno rotativo – e as cinzas são remetidas para o aterro sanitário conveniente. Apesar do perigo potencial do lixo de aeroportos, portos e estabelecimentos de saúde, uma resolução (nº 006, de setembro de 1991) do

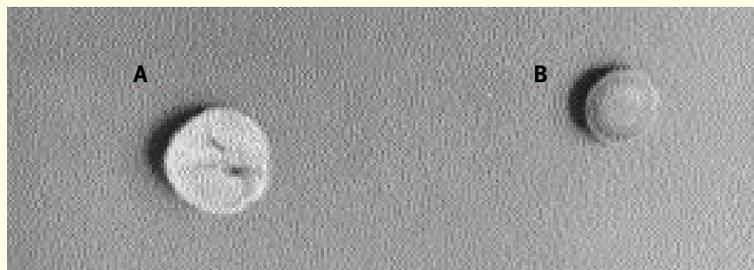


Figura 6. Pastilhas sinterizadas frágil (A) e dura (B) obtidas pela requeima de grãos de cinzas a 1.100°C durante, respectivamente, 30 e 60 minutos

Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) diz que a incineração desses resíduos não é obrigatória, ressaltando apenas “os casos previstos em lei e acordos internacionais”. Talvez fosse melhor, para o país, reconsiderar tal determinação, em favor da incineração desses resíduos e, também, dos lixos urbanos.

Aplicações cerâmicas das cinzas de lixo

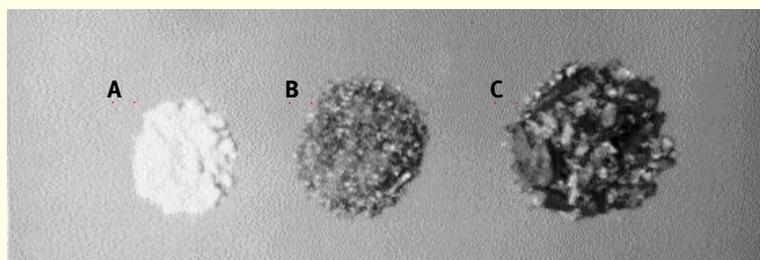
As pesquisas com cinzas de lixo aeroportuário desenvolvidas no Laboratório de Compostos Cerâmicos, do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), permitiram obter matérias-primas de uso potencial na indústria cerâmica. A partir da requeima de amostras beneficiadas de cinzas desse tipo de lixo, coletadas no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, foram produzidos pós e sínteres (materiais aglutinados e porosos) com perspectivas de amplo emprego industrial (figura 5).

Os pós, obtidos após incineração, moagem e peneiração, podem ser utilizados como fíleres (na diluição de pigmentos, por exemplo), aditivos em diversos materiais ou agregados finos e graúdos

para argamassas e microconcretos. As pastilhas cerâmicas frágil e dura (figura 6), obtidas da requeima das cinzas a 1.100°C, podem ser consideradas, respectivamente, semimanufaturados e conformados. O primeiro tipo pode ser usado em elementos de filtração, substitutos de tijolos solo-cimento, argamassas e artefatos diversos. O segundo tipo possibilita a fabricação de telhas, tijolos estruturais, manilhas, pisos, azulejos, agregados artificiais, peças domésticas e outros produtos. As amostras obtidas representam o primeiro estágio de desenvolvimento em laboratório e serão caracterizadas tecnologicamente quanto às propriedades de textura, cristal químicas e físico-mecânicas e quanto à toxidez.

Os resultados alcançados, com o uso dos fornos elétricos e do peneirador do Laboratório de Compostos Cerâmicos, adquiridos com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação Universitária José Bonifácio (FUJB), indicam a possibilidade de aproveitamento tecnológico dos pós e sínteres em várias aplicações cerâmicas (substituindo ou complementando as argilas) e como agregados para construção civil.

Figura 5. Cinzas coletadas no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, produzidas pela incineração do lixo a 900°C (A e B), e grãos moídos e peneirados, requeimados a 1.100°C durante um minuto (C)



Luiz Carlos de Abreu Nascimento,
Nefitaly Batista de Almeida Filho e Abraham Zakon
Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro