

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS E LEGISLAÇÕES NO TRATAMENTO E CONTROLE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ASSOCIADAS AO PROCESSO DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.V-018>

Cristhian Rolando Aguero Dominguez, Márcia Regina Becker

Universidade Federal de Integração Latino-americana. E-mail: cristhian.dominguez@aluno.unila.edu.br

RESUMO

O trabalho realizado apresenta a temática referente a tecnologias destinadas ao processo de controle da atividade de incineração de RSU referente aos gases gerados no processo. Destaca-se os países de maior desenvolvimento, com foco na região europeia, onde a tecnologia de incineração é amplamente adotada, incorporando sistemas e tecnologias avançados para atender aos padrões de qualidade de ar estabelecidos, mediante leis e normativas. Existem várias estratégias desenvolvidas para o controle de poluentes, sendo as de maior destaque o uso de filtros mangas, precipitadores eletrostáticos, e o controle do fluxo de passagem de ar, dentro das condições ideais de operação para a redução a valores mínimos dos gases poluentes gerados no processo. No Brasil, leis ambientais e normativas técnicas foram criadas ao longo do tempo, de maneira a regularizar e acompanhar as tecnologias implementadas no processo de incineração, destinadas a categorizar o processo de acordo com o processo de queima adotado, e posteriormente, com base em critérios específicos, definir o período de monitoramento que deverá ser adotado pelo local e atividade geradora de poluentes, que deverão atender às exigências dos órgãos ambientais competentes.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade do ar, emissões atmosféricas, incineração, leis ambientais.

INTRODUÇÃO

A redução e eliminação de resíduos e materiais gerados a partir dos processos de consumo representa um grande desafio para as gestões municipais, principalmente no Brasil e região Latino-americana. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, promulgada no ano de 2010, tornou-se um parâmetro orientador e guia no processo de seleção de estratégias e soluções voltadas a disposição final de resíduos sólidos. Dentre eles, destaca-se as tecnologias de incineração, amplamente adotada nos países da Europa, principalmente na Holanda e Dinamarca, considerando os tamanhos de áreas reduzidos que possuem. No Brasil, atualmente, o processo de incineração é adotado em maior escala para o tratamento e destinação final dos resíduos da saúde (RSS), os quais passam pela etapa de combustão para a sua degradação. Embora a incineração seja uma tecnologia de tratamento térmico consolidada nos sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos países desenvolvidos, especialmente nos europeus, conforme mencionado, ela ainda desperta dúvidas e discussões sobre seus riscos ambientais e ameaças à saúde pública (VAN DIJK; VAN DOORN; VAN ALFEN, 2015).

Neste sentido, é importante destacar que já existem vários projetos em andamento, visando a possibilidade da implementação do processo de incineração de RSU no Brasil, porém, estes se encontram com conflitos sérios no processo de implantação nas localidades propostas, principalmente pela ausência de conhecimento do desenvolvimento avançado da tecnologia, principalmente no processo de geração de gases, que são previamente tratados por sistemas altamente eficientes e consolidados no mercado.

No Estado de Minas Gerais, por exemplo, a incineração de resíduos, denominados como “lixo”, é proibida pela Lei 21.557/2014 que acrescenta dispositivos à Lei nº 18.031 de 12 de janeiro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, com o objetivo de proibir a utilização de tecnologia de incineração nos casos que especifica. A mobilização do setor contrário à implementação desta tecnologia, está vinculada principalmente aos catadores de resíduos que tem como fonte de renda a partir da coleta e resgate de materiais recicláveis a partir do volume total gerado nos diferentes pontos de consumo, desde os domicílios, comércios e setor industrial. Além disso, cabe destacar um preconceito existente das plantas de incineração, com aquelas operando nas décadas de 80 e 90, onde a maior parte dos equipamentos utilizados, eram grandes fontes de poluição a parte do processo de queima realizado e a emissão de poluentes atmosféricos consequentemente.

Porém, atualmente, o estágio de avanços e melhorias incorporadas aos processos de incineração teve um notável refinamento, principalmente nas etapas do controle das temperaturas de operação do processo, que definem de forma direta o nível de gases e materiais residuais gerados. Além disso, as normativas ambientais e sistemas de controle tem

sido ampliados nos últimos anos, de maneira a reforçar medidas de controle ambiental e preventiva em relação à emissão de gases poluentes ao meio ambiente.

O objetivo deste trabalho é realizar a análise das tecnologias já existentes assim como as normativas e leis ambientais definidas para o tratamento e controle das emissões atmosféricas associadas ao processo de incineração de RSU. É desejado contextualizar brevemente o panorama de gestão de resíduos nos países mais desenvolvidos, principalmente aqueles do continente europeu, destacando que muitos deles tem adotado a incineração como estratégia de tratamento de resíduos. Nestes países, foram adotadas medidas de controle e acompanhamento dos parâmetros de emissão dos gases poluentes mediante leis ambientais que exigem o monitoramento frequente e contínuo de acordo com o porte da atividade. Além disso, cada local que realiza o uso destas tecnologias de processamento de resíduos, tem a obrigação de apresentar os relatórios de monitoramentos atualizados, demonstrando a sua atuação dentro da faixa de operação definida em relações a emissão de poluentes.

Além disso, o trabalho apresenta algumas das principais tecnologias de tratamento de gases na saída dos queimadores, destacando o seu princípio de funcionamento e aplicabilidade de acordo ao caso. Finalmente, são apresentadas as principais leis ambientais sancionadas no Brasil desde o ano 1989 para o controle de processo de incineração, assim como as tecnologias existentes e que já foram adotadas para o tratamento de gases residuais no processo de combustão.

OBJETIVO

Analisar as tecnologias e legislações a serem implementadas para o tratamento e controle de emissões atmosféricas associadas ao processo de incineração de resíduos sólidos urbanos.

METODOLOGIA

A presente pesquisa tem caráter descritivo e exploratório com enfoque na busca de alternativas e métodos eficientes voltados ao controle e redução de emissões atmosféricas resultantes do processo de incineração de resíduos sólidos urbanos, a partir da implementação de tecnologias e estratégias, assim como a incorporação das legislações ambientais como ferramenta para a regulação dos índices de emissões associados ao processo de destinação final de resíduos sólidos mediante a incineração.

Foi realizado um levantamento de dados comparativo da situação atual no Brasil e no mundo sobre o controle dos padrões de emissões atmosféricas do processo de incineração, as tecnologias mais utilizadas, os processos adotados, assim como um compilado das legislações existentes no Brasil, que permitem realizar um controle e ao mesmo tempo as devidas exigências aos locais e empreendimentos que têm associado o processo de incineração e possível geração de poluentes atmosféricos.

RESULTADOS OBTIDOS

O presente estudo foi realizado com a finalidade de apresentar os principais impactos, em termos de emissões atmosféricas, associados ao processo de incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU), realizando um comparativo com os países da Europa que têm adotado amplamente esta tecnologia como estratégia para a redução do volume dos resíduos gerados. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) estabelece uma ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, dentre os quais se destaca o uso de tecnologias visando a redução de volume e recuperação energética dos RSU, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental. O uso dessa tecnologia demanda garantia da implantação do programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental estadual competente, como o caso do Instituto Água e Terra, no Estado do Paraná, que realiza o acompanhamento do monitoramento das fontes de emissão envolvendo queima e incineração de resíduos, orientada pela Resolução SEMA nº 16 de 2014, a qual define os critérios para o controle da qualidade do ar, conforme o tipo de atividade desenvolvida, o porte do empreendimento e o tempo de operação mensal do equipamento (PARANÁ, 2014).

Evolução do uso da tecnologia de incineração de RSU na União Europeia (EU)

Na Figura 1 é possível observar os diversos tipos de tratamentos de resíduos empregados na gestão de resíduos dos países da EU, bem como a contribuição de cada um ao longo dos anos. É destacada a destinação nos aterros, adoção da tecnologia Waste-to-energy pelo processo de incineração, o processo de reciclagem, e a compostagem, respectivamente.

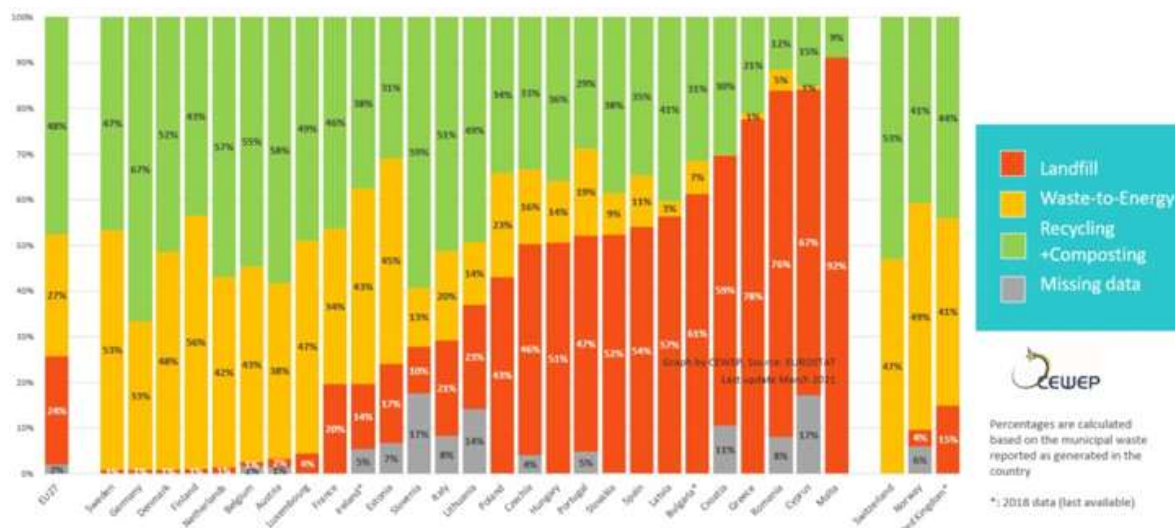


Figura 1 – Tratamento municipal de resíduos adotado em 2019 nos países da Europa. Fonte: CEWEP (2019).

Conforme destacado pelo gráfico, países da Europa como Suécia, Alemanha, Dinamarca, Finlândia, Bélgica, Países Baixos, entre outros, tem incorporado o processo de geração de energia pelo processo de incineração, diversificando em primeiro lugar a destinação final de resíduos sólidos e ao mesmo tempo ampliando as fontes de geração de energia, contribuindo fortemente com a matriz energética regional.

A quota de deposição em aterro na UE diminuiu de 24% em 2017 para 18% em 2020. Em conformidade com a Diretiva 850/2018 do Parlamento e Conselho Europeu, relativa à deposição de resíduos em aterros, os países da UE devem reduzir a quantidade de resíduos urbanos enviados para aterros para pelo menos 10% do total de resíduos urbanos produzidos, até 2035.

Legislação Europeia

O panorama das políticas ambientais na União Europeia evoluiu consideravelmente nos últimos 30 anos (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2013). Essa evolução ocorreu por meio de uma série de planos de ação ambiental e da implementação de legislação que visa reduzir os impactos ambientais e de saúde negativos, criando assim uma economia eficiente em termos de energia e recursos (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

Com o objetivo de harmonizar as diferentes vertentes da regulação de emissões industriais poluentes, sete diretivas, incluindo a de incineração de resíduos, foram unificadas na Diretiva 2010/75/UE– prevenção e controle integrados (FONT et al., 2015). A Diretiva abrange todo o processo de incineração desde a restrição dos limites de poluentes presentes nos gases de combustão até o gerenciamento dos resíduos do processo (escórias e cinzas volantes).

Os estados-membros da União Europeia têm a obrigação de pôr à disposição da Comissão Europeia, os dados referentes aos valores de emissão e dados de monitoramento de todo o processo (UE, 2010). Cada Estado-membro designa uma autoridade competente para cumprimento das obrigações da Diretiva 2010/75/UE.

Outro aspecto fundamental da diretiva da UE é a obrigatoriedade da publicidade de informações sobre o funcionamento e controle da instalação, bem como os níveis de emissões atmosféricas e de efluentes, para instalações com capacidade nominal igual ou superior a 2 toneladas de resíduos por hora (UE, 2010). Sendo assim, a população tem à disposição as informações sobre os níveis de poluição ao qual estão expostas. Acho essas duas regras da Diretiva menos relevante.

Tecnologias para tratamento de gases e poluentes

O tratamento de gases consiste de processos físicos e químicos com uma grande variedade de opções de conformação e equipamentos. A primeira etapa consiste em resfriar os gases na saída do incinerador, para faixa de temperatura entre 1000°C e 1200°C da câmara secundária. No processo de resfriamento dos gases de combustão, vapor de água é gerado, podendo ser utilizado para a geração de energia elétrica mediante o processo de cogeração ou em sistemas de aquecimento ou de refrigeração (HENRIQUES, 2004). Os gases resfriados são neutralizados com a injeção de hidróxido de cálcio, que é eficiente na neutralização e captura de SOx e HCl. Os gases que já foram resfriados e

neutralizados, passam por um sistema de filtros (filtros-manga) que retiram o material particulado (fuligem, sais e hidróxido de cálcio) de dimensão até 0,3 micrômetros. Por último, os gases passam por um leito adsorvente, à base de carvão ativado (leito fixo ou leito fluidizado), de área superficial elevada, a qual possui uma tripla ação:

- Retenção de óxidos nitrosos: evitam-se picos de geração de NOx, eventualmente formados por distúrbios na câmara secundária, inibindo que sejam emitidos abruptamente para a atmosfera;
- Retenção de organoclorados: ação preventiva quanto à emissão de dioxinas por algum problema na câmara secundária;
- Retenção de metais voláteis: o material adsorvente atua como uma “peneira molecular” retendo metais voláteis. Tanto por injeção, como através de um leito fixo, o material adsorvente possui comprovadamente altíssima eficiência na retenção de materiais.

Destacando que existe uma ampla faixa e natureza dos poluentes oriundos da combustão dos RSU, não é possível definir, segundo Daskalopoulos, Badr e Probert (1997), apenas uma tecnologia que controle as emissões para todos os.

A Tabela 1 apresenta, as tecnologias mais comuns utilizadas para cada tipo de poluente.

Tabela 1 – Tecnologias para a redução das emissões provenientes da incineração de RSU.

Poluente	Opções tecnológicas de controle
Ácido clorídrico (HCl)	Centrifugação; precipitação eletrostática; filtração ou lavagem lavador úmido
Ácido fluorídrico (HF)	Lavagem através do lavador úmido
Dióxido de enxofre (SO₂)	Lavagem lavador semi-seco
Óxidos de nitrogênio (NOx)	Redução catalítica ou não catalítica
Mercúrio (Hg), cádmio (Cd), chumbo (Pb)	Igual ao material particulado
Outros metais pesados	Igual ao material particulado
Bifenóis policlorados	Lavagem lavador semi-seco ou seco
Dioxinas e furanos	Igual ao material particulado ou aos bifenóis policlorados

Fonte: Daskalopoulos, Badr e Probert (1997)

Para materiais particulados e metais pesados como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) são recomendados os sistemas de captação conforme detalhados a seguir:

Filtro de manga

É um sistema amplamente aceito para o controle de particulados e traços de metais pesados com diâmetro menor que 0,3 µm, dentre os seus componentes básicos pode-se destacar um meio filtrante, uma armação sustentadora das mangas e um mecanismo de remoção de partículas que ficam acumuladas no pano das mangas.

No interior das mangas encontra-se a gaiola que serve para protege-la contra colapsos e choques. O pó coletado nas mangas é removido com um pulso de ar comprimido, o qual é injetado nas mangas com uma lança (MCINNES, JAMESON E AUSTIN, 1992).

O fluxo de gás contaminado é bruscamente interrompido, rapidamente as mangas são infladas, a camada de pó é quebrada e cai nas tremonhas. Portanto o ar comprimido proporciona a limpeza das mangas filtrantes. Esta fase de limpeza é iniciada por um controlador, e pode ser ajustada para trabalhar em relação à perda de carga ou em determinados intervalos de tempo.

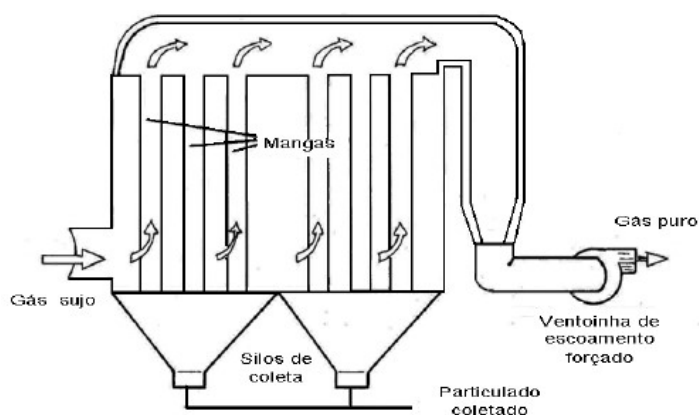


Figura 2 – Tratamento municipal de resíduos adotado em 2019 nos países da Europa. Fonte: Filho, P. (2008).

A partir da figura 3 a seguir, temos que o gás sujo passa através da manga filtrante do lado externo para o lado interno.

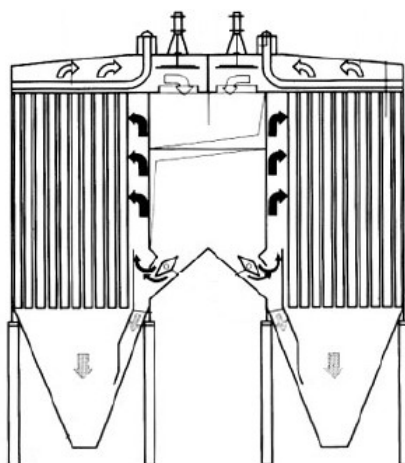


Figura 3 – Fluxo de passagem dos gases. Fonte: Filho, P. (2008).

Precipitador eletrostático

O precipitador eletrostático é um equipamento voltado para a redução das mesmas emissões controladas pelo filtro manga, só que com diâmetro entre $0,5 - 20\mu\text{m}$, que utiliza forças elétricas para movimentar as partículas desde o fluxo de gases até os eletrodos coletores (MCINNES, JAMESON E AUSTIN, 1992), conforme a figura 4 a seguir.

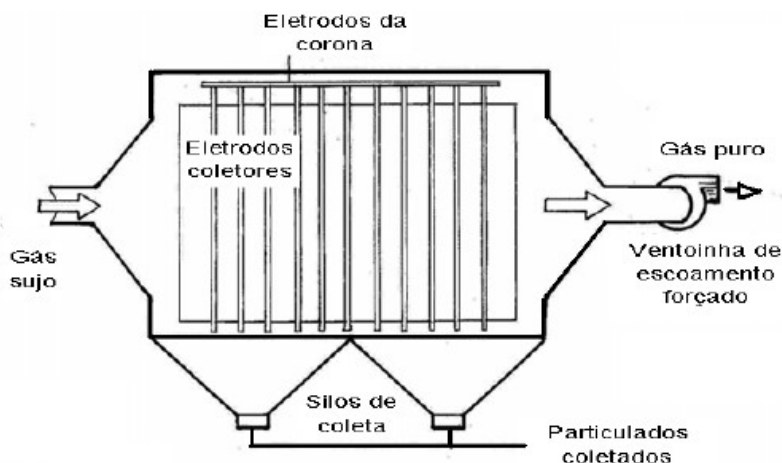


Figura 4 – Precipitador eletrostático. Fonte: Maranhão, S. (2008).

Para o caso dos gases ácidos, como o SO_2 (monóxido de enxofre), HCl (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico) são recomendados os sistemas de captação detalhados a continuação:

Câmaras de Spray

As câmaras de *spray*, em comparação aos outros sistemas, podem remover uma quantidade maior de SO_2 , enquanto usam também menos energia; porém, tais lavadores têm uma eficiência de controle de particulados extremamente baixos e não são eficazes na captura de partículas com um diâmetro menor que $5\mu\text{m}$.

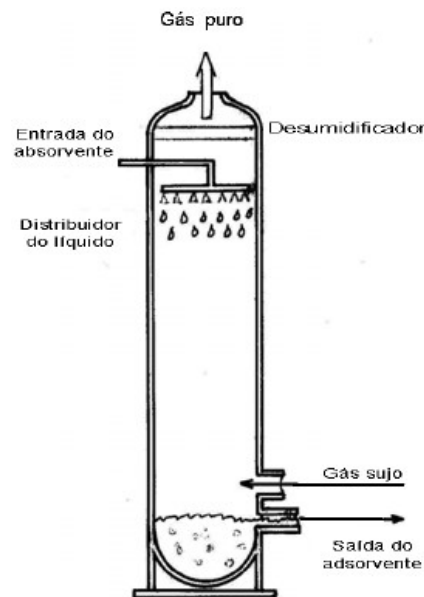


Figura 5 – Câmara de spray. Fonte: Maranhão, S. (2008).

Secadores Spray

As câmaras de *spray*, em comparação aos outros sistemas, podem remover uma quantidade maior de SO_2 , enquanto usam também menos energia; porém, tais O secador *spray*, que é um lavador a seco, nebuliza uma lama de cal sobre os produtos da combustão; as gotículas de reagente absorvem o SO_2 e outros gases ácidos, evaporando, finalmente, em virtude do calor do gás de escape, a água que se faz presente na lama. As partículas sólidas são capturadas, em seguida, num filtro manga ou precipitador eletrostático conectado ao próprio secador spray (MCINNES E ROYEN 1.990; LORA 2.000).

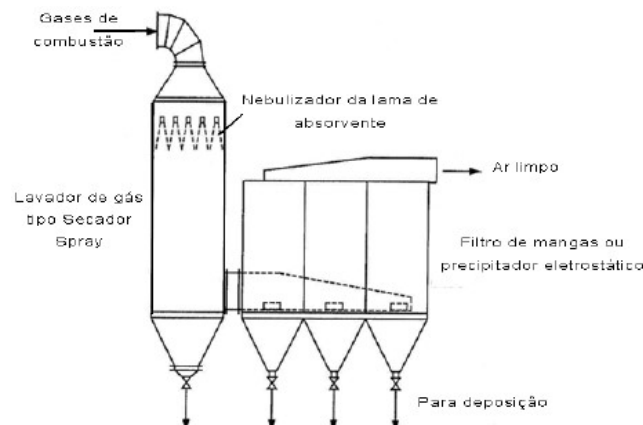


Figura 5 – Secador spray. Fonte: Maranhão, S. (2008).

Legislação ambiental no Brasil

Os limites máximos para a concentração de determinados componentes atmosféricos são estabelecidos pelas normativas ambientais com a finalidade de preservar a qualidade do ar, mantendo as emissões dentro de níveis que não prejudiquem a saúde e o meio ambiente em geral. Existem atualmente algumas leis e regulamentações que orientam e regulam os sistemas de operação e controle, sendo as principais delas:

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 1265: Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos: Padrões de Desempenho, 1989;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 11.175 também aborda a incineração de resíduos sólidos, mas com uma abordagem de padrões de desempenho. Entretanto, como a norma é antiga ela somente se aplica aos resíduos perigosos, estando obsoleta para os RSU. Para estes, tem-se a Resolução CONAMA n° 316 de 2002, que dispõe sobre procedimentos e critérios para funcionamento de sistemas de tratamento térmico, e salienta que para a queima dos RSU possa ocorrer, é necessário que aconteça a reciclagem em no mínimo 30% desses resíduos.
- Resolução SEMA n° 043/2008, de 16 de julho de 2008, a qual dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios para empreendimentos de incineração de resíduos sólidos e dá outras providências;
- Resolução CONAMA n° 382, de 26 de dezembro de 2006, o qual estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas;
- No estado de São Paulo, existe ainda a Resolução SMA-079 que estabelece diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em Usinas de Recuperação de Energia - URE
- Resolução CONAMA n° 436, de 22 de dezembro de 2011, o qual estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedidos de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007, e aborda os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de turbinas a gás para geração de energia elétrica;
- Resolução SEMA n° 016/2014, de 15 de abril de 2014, a qual define os critérios para o Controle da qualidade do ar como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar da população e melhoria da qualidade de vida;

Comparando de forma geral as legislações e regulações ambientais da EU e o Brasil, é possível destacar a necessidade de reforçar os mecanismos de controle implementados pelos locais que representam fontes de geração de emissões de particulados e poluentes atmosféricos, pois atualmente, existem várias normativas orientadoras no Brasil, facilitando desde a etapa de implantação destas tecnologias, até o processo de operação, porém, ainda não existe um mecanismo padronizado para o seguimento dos parâmetros de controle ambiental a nível nacional, sendo este realizado de forma segmentada pelos diferentes órgãos estaduais e as diretrizes estabelecidas por cada uma deles.

CONCLUSÕES

O crescimento acelerado das cidades, principalmente no setor urbano, reflete a necessidade de uma melhoria no processo de gestão e destinação final de resíduos sólidos. A incineração como proposta na redução de massa e volume, representa uma alternativa bastante interessante comparando com os atuais aterros que demandam áreas de grande tamanho e em constante necessidade de ampliação, devido ao aumento gradual na geração de resíduos.

Países desenvolvidos têm demonstrado que há uma viabilidade positiva para a implementação do processo de incineração como rota tecnológica para o aproveitamento de resíduos, inclusive a geração de energia associada ao processo, considerando principalmente as tecnologias utilizadas que permitem a melhoria de obter uma eficácia quanto à capacidade de se adequar às diretrizes de proteção ambiental. O controle de emissões atmosféricas deve ser rigoroso, o qual deve estar orientado e regulado por legislações ambientais rígidas, que exijam aos locais geradores a adoção de tecnologias e equipamentos que permitam reduzir ao mínimo possíveis poluentes atmosféricos, e um acompanhamento contínuo dos sistemas de contenção adotados, mediante a emissão de relatórios de monitoramento das fontes e processos associados à incineração, os quais deverão ser públicos, com acesso garantido à população. É necessária a promoção das atualizações em relação às leis ambientais, como ferramenta de acompanhamento e controle associado aos processos que envolvem a geração de gases poluentes, de acordo com as tecnologias implementadas e o processo realizado, caracterizando de maneira eficiente os requerimentos para manter os padrões de qualidade de ar, em base a critérios técnicos previamente estabelecidos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL, **Lei Federal nº 12.305/2010 de 02 de agosto de 2010**. Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como 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. Brasília, 2010.
2. DASKALOPOULOS, E.; BADR, O.; PROBERT, S. D. **Economic and Environmental Evaluations of Waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal Solid Waste**, Applied Energy, 1997.
3. EUROSTAT - ENVIRONMENTAL DATA CENTRE ON WASTE. **Municipal Waste Statistics 2016**. ISSN 2443-8214. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Municipal_waste_statistics#Municipal_waste_treatment>. Acesso em: 28 jul 2023.
4. EUROPEAN COMMISSION. **Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/0470012668.ch5>>.
5. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Managing municipal solid waste - a review of achievements in 32 European countries EEA Report No 2/2013**. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste>
6. FONT, A. et al. **Using metal ratios to detect emissions from municipal waste incinerators in ambient air pollution data**. Atmospheric Environment, v. 113, p. 177–186, 2015.
7. HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético Dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica**. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
8. LORA, E. E. S., **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**, Brasília, Aneel, 2000.
9. MCINNES, R.; ROYEN, R. V. **Desulfurizing fluegases**. Chemical Engineering, 1990.
10. ROVIRA, J. et al. **Concentrations of trace elements and PCDD / Fs around a municipal solid waste incinerator in Girona (Catalonia, Spain). Human health risks for the population living in the neighborhood**. Science of the Total Environment, v. 630, p. 34–45, 2018.
11. UE – UNIÃO EUROPÉIA, (2010). **Conselho da União Europeia. Diretiva 2010/76/EC – Relativa às emissões industriais**. 24 de novembro de 2010.
12. VAN DIJK, C.; VAN DOORN, W.; VAN ALFEN, B. **Long term plant biomonitoring in the vicinity of waste incinerators in The Netherlands**. *Chemosphere*, v. 122, p. 45-51, 1º mar. 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.11.002> » <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.11.002>