CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PRELIMINAR DOS EFLUENTES DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS DE FORTALEZA-CE

RILTON BRUNO LIMA DA SILVA¹, GEMMELLE OLIVEIRA SANTOS¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

<riltonbruno19@yahoo.com.br>, <gemmelle@ifce.edu.br>

DOI: 10.21439/conexoes.v13i3.1285

Resumo. O objetivo da pesquisa foi caracterizar, do ponto de vista físico-químico, os efluentes provenientes da lavagem dos gases da incineração de resíduos sólidos perigosos realizada em um equipamento de grande porte em funcionamento em Fortaleza-CE. Foi realizada descrição do equipamento, e do processo de geração e tratamento de efluentes. As análises de laboratório ocorreram entre os meses de abril e setembro de 2016 (6 coletas na entrada e 6 coletas na saída da estação de tratamento de efluentes). Dentre os 10 parâmetros analisados, 5 apresentaram redução em suas concentrações após o tratamento em todas as campanhas (sólidos suspensos totais, turbidez, cor verdadeira, demanda química de oxigênio e alcalinidade total). Foi possível observar que os valores máximos de remoção alcançaram 90% para os sólidos suspensos totais, 81% para a cor verdadeira, 92% para turbidez, 56% para DQO e 68% para alcalinidade total. Essa é a primeira pesquisa sobre a qualidade dos efluentes da incineração de resíduos perigosos em Fortaleza, e seus dados primários poderão servir de base para outras pesquisas. Em linhas gerais, os efluentes estudados têm forte carga físico-química, mas seu uso cíclico (lavagem de gases - ETE - lavagem de gases) mantém sob controle seus riscos de poluição ou contaminação ambiental.

Palavras-chaves: resíduos sólidos perigosos, incineração, efluentes

PRELIMINARY PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE EFFLUENTS OF THE INCINERATION OF DANGEROUS WASTE FROM FORTALEZA-CE

Abstract. This study was aimed to physically and chemically characterize the effluents from the scrubbing of gases resulting from the incineration of hazardous solid waste carried out using a large incinerator in Fortaleza, Ceará, Brazil. The equipment under study and its effluent generation and treatment processes were described. Lab tests were conducted between April and September 2016 (6 samplings were carried out, taking samples at the entrance and at the exit of the effluent treatment plant). Among the 10 tested parameters, 5 showed a reduction in their concentrations after treatment in all campaigns (total suspended solids, turbidity, true color, chemical oxygen demand and total alkalinity). We found that the maximum removal rates reached 90% for total suspended solids, 81% for true color, 92% for turbidity, 56% for COD and 68% for total alkalinity. This is the first survey on the quality of hazardous waste incineration effluents in Fortaleza so the primary data obtained may serve as a basis for further research. In general, the studied effluents have a strong physicochemical load but their cyclical use (gas scrubbing - Sewage Treatment Plant - gas scrubbing) keeps the pollution or environmental contamination risks under control. Most of the tested parameters proved the efficiency of the effluent treatment process.

Keywords: hazardous solid waste, incineration, effluents.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

A problemática ambiental, social e econômica inerente aos resíduos sólidos ultrapassa a atual velocidade da evolução industrial e tecnológica, com claros sinais de insustentabilidade.

Todos os resíduos, de alguma forma, requerem destinação final ambientalmente adequada, ou seja, seu envio para a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético, ou para outras destinações admitidas pelos órgãos competentes.

Um estudo realizado por Leung, Cai e Wong (2006), que teve como objetivo identificar as fontes e quantificar os níveis de poluição gerados a partir de atividades de lixo eletrônico em Guiyu, província de Guangdong, China, identificou que a queima a céu aberto de cabos e fios eletrônicos contaminou bastante a atmosfera local, onde foram encontrados níveis extremamente elevados de dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos policlorados, resultando em 12.419 ng equivalentes tóxicos (TEQ) / kg de resíduos e 15.610 ng TEQ / kg para dois testes separados, respectivamente, que eram cerca de três ordens de magnitude maior do que aqueles para a queima a céu aberto do lixo doméstico.

Nesse contexto, o número de plantas destinadas ao tratamento dos resíduos, que consiste na aplicação de método, técnica ou processo que modifique suas características, seus riscos de contaminação e danos ocupacionais ou ambientais (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2004) deve crescer no Brasil.

De acordo com Lima (1991), a incineração é um processo de redução do volume, peso e características perniciosas dos resíduos, tendo como consequência a eliminação do material orgânico e micro-organismos patogênicos possivelmente presentes, por meio de uma combustão controlada.

A incineração, como uma técnica de tratamento térmico, gera como subprodutos diversos gases tóxicos ao meio e à saúde humana. Conforme relatado por Chirico (1996), o maior inconveniente da incineração dos resíduos é a produção de fumaça com alta concentração de poeira e poluidores de todos os tipos como ácidos, óxidos de nitrogênio e metais pesados, que são eliminados pelos sistemas de depuração.

Nas grandes capitais, o tratamento dos resíduos sólidos perigosos via incineração é conhecido e aplicado. Na cidade de Fortaleza, Viana (2013), realizou uma pesquisa, cujo objetivo principal foi estimar a quantidade de resíduos de serviços de saúde incinerada por nove

hospitais públicos da capital. A autora constatou que a unidade que mais enviou RSS ao incinerador, entre os anos de 2011 e 2012, foi o Instituto Dr. José Frota com 558.529,50 kg (63% em relação ao total enviado por todos os hospitais estudados em 2011) e 560.173 kg (66% do total) em 2012. A unidade que menos enviou RSS ao incinerador nos dois anos analisados foi o Hospital Gonzaga Mota da Barra do Ceará, 10.489 kg (1,2% do total) em 2011 e 15.726 kg (1,8% do total) em 2012.

Com vistas a mitigar o risco existente no processo de incineração, as plantas incineradoras devem ser dotadas de mecanismos tecnologicamente avançados de tratamento dos gases produzidos. Dessa forma, Gripp (1998) esclarece que, na incineração de resíduos sólidos, chamamos de sistema de controle de poluição do ar o conjunto de equipamentos, tecnologia, operação e monitoramento de uma unidade de incineração de resíduos sólidos, que visa à minimização das emissões atmosféricas aos níveis especificados pelas normas pertinentes e aceitáveis do ponto de vista ambiental.

Conforme Chirico (1996), o tratamento da fumaça gerada pelo processo de incineração consiste em separar fisicamente os materiais sólidos (poeiras, cinzas volantes, sais) e quimicamente os poluidores gasosos (HCl, SO₂, HF, NO_x e alguns metais pesados), sendo usadas essencialmente três tecnologias, explicitadas resumidamente pelo autor:

- Processo a seco

O elemento neutralizante no estado seco, sob forma de cal (Ca(OH)₂) ou de calcário, é pulverizado em contracorrente em um reator, e provoca a transferência de material da fase gasosa para a superfície das partículas sólidas. Os poluidores (HCl, SO₂ e HF), que desse modo são absorvidos na superfície, se transformam em outros materiais (sais de cálcio), enquanto no seu interno as partículas não são modificadas.

- Processo por via semisseca

Processo derivado do sistema a seco, consente a neutralização dos poluidores ácidos contidos na fumaça e assegura o resfriamento da mesma (através da injeção de água), contribuindo assim para a condensação dos metais pesados em fase gasosa. Consiste em pulverizar cal em solução (leite de cal) com um vaporizador.

- Processo por via úmida

O processo por via úmida consiste em reduzir os poluidores na fumaça mediante uma lavagem intensiva com água. É um sistema que assegura o máximo rendimento de depuração da fumaça, já que pode funcionar mesmo sem o emprego de um reagente químico.

O tratamento via lavagem ácida e básica dos gases, por sua vez, transfere do ar para a água os elementos e

as substâncias tóxicas, portanto, o efluente líquido gerado nesse processo é que passa a requerer monitoramento e tratamento adequados, objetivando, inclusive, ao reuso interno.

As pesquisas sobre incineradores têm se concentrado nas emissões de dioxinas e metais pesados, e têm apontado que tais instalações, tanto as mais modernas quanto as mais antigas, podem contribuir para contaminação local do solo e da vegetação (GREENPEACE ESPANHA, 2001).

No que concerne à formação de subprodutos da incineração, Júnior e Gabai (2001), alertam que, embora a incineração seja considerada o meio mais eficiente para destruir resíduos perigosos, bem como os projetos desses sistemas são otimizados para atingir altíssimos níveis de conclusão das reações de combustão, eles nunca atingem o ideal, que deveria ser a obtenção, entre os produtos primários, de CO₂, vapor d'água e cinza inerte.

Diante disso, a Tabela 1 apresenta as emissões permitidas, em 2012, para a chaminé de uma planta de incineração de resíduos sólidos na Itália, Alemanha e União Europeia.

Tabela 1: Limites de emissões no ano 2012

Médias diárias (mg/Nm ³)			
Substância	Itália	Alemanha	UE
Poeiras	10	10	10
HCL	10	10	10
HF	10	10	10
SO ₂	1	1	1
Hg	0,1	0,0	0,1
CD	0,1	-	0,1
[] Metais pesados	0,5	0,5	0,5
Dioxina	0,1	0,0	0,1

Fonte: Chirico (1996, p. 43) (Adaptado)

Menezes, Gerlach e Menezes (2000) ressaltam que os gases de um incinerador carregam grandes quantidades de substâncias em concentrações muito acima dos limites das emissões legalmente permitidas, e necessitam de tratamento físico-químico que remova e neutralize tais poluentes.

1.2 Justificativa

Em Fortaleza-CE, a incineração é a alternativa de tratamento mais utilizada pelos geradores de resíduos perigosos devidamente licenciados, em especial pelos estabelecimentos que prestam serviços voltados à saúde (humana e animal), além das indústrias.

O equipamento que existe no município, conforme Viana (2013), tem eficiência de 98% e é capaz de tratar diariamente 15 toneladas de resíduos sólidos. Seus gases, conforme a autora, sofrem lavagem ácida e alcalina sob pressão, e o efluente gerado nessa higienização do ar é enviado para uma Estação de Tratamento de Efluentes, onde ocorre tratamento químico e reaproveitamento da água.

Com exceção da pesquisa realizada por Viana (2013), que também objetivou caracterizar o processo de incineração e o equipamento em Fortaleza, não há informações sistematizadas e publicadas sobre as características físicas e químicas da água de lavagem dos gases do referido incinerador, o que motivou a realização dessa pesquisa.

Os resultados obtidos podem, de alguma forma, reduzir a lacuna que existe na literatura sobre (I) a qualidade das águas após lavagem dos gases de incineradores, (II) o grau de eficiência das estações de tratamento desses efluentes. Indiretamente, a pesquisa ajuda a (I) entender melhor os processos de poluição ou mitigação ambiental dos incineradores e (II) compreender a existência (ou não) dos riscos dos incineradores instalados em áreas urbanas.

1.3 Objetivo

Caracterizar, do ponto de vista físico-químico, os efluentes provenientes da lavagem dos gases da incineração de resíduos sólidos perigosos, realizada em um equipamento de grande porte em funcionamento em Fortaleza-CE.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Etapas da pesquisa

O estudo foi desenvolvido em cinco etapas, a saber:

Etapa 1: Escolha da empresa e realização de coletas na ETE

Primeiramente, entrou-se em contato com a empresa responsável pela administração do incinerador para que fossem autorizadas as visitas mensais e o estudo do processo. Em seguida, foram realizadas 06 coletas junto aos pontos de entrada e saída da estação de tratamento de efluentes do empreendimento, com registros fotográficos e entrevistas com o responsável pela operação da planta incineradora; fazendo-se uso também de um Diário de Campo. As entrevistas realizadas buscaram: entender os processos ocorridos no interior do equipamento; o manejo dos resíduos perigosos pela empresa; os usos múltiplos feitos com a água no processo e o tratamento dado aos efluentes produzidos.

Etapas 2: Revisão de literatura;

Nesta etapa foram realizadas buscas e leituras de arquivos virtuais e impressos sobre o tema principal da pesquisa: características físico-químicas de efluentes da incineração. Essa fase teve como principal objetivo fomentar a compreensão sobre o assunto, e o material consultado (artigos, monografias, dissertações, teses, leis, decretos, normas, manuais etc) subsidiou a formação primária de conhecimentos sobre o tema estudado.

Etapas 3: Tratamento dos dados e informações;

Esta etapa englobou o tratamento dos dados e informações obtidas sobre os efluentes produzidos durante o processo de incineração dos resíduos, por meio de análises laboratoriais, construção de gráficos e planilhas dos resultados obtidos, foi possível montar um perfil dos efluentes e do tratamento dado a estes.

Etapas 4: Discussão dos dados e informações;

Nesta etapa, aliados à revisão bibliográfica, foram discutidos os resultados encontrados.

2.2 Descrição da área estudada

O incinerador de Fortaleza foi inaugurado em 2001 e, inicialmente foi terceirizado para a empresa Contenur do Brasil, contudo desde o ano de 2002 a empresa Marquise é a responsável pela operação do equipamento, sob supervisão de um engenheiro da Prefeitura. O equipamento fica localizado na Rua Estrada do Itaperi, nº 745, Bairro Jangurussu.

O incinerador recebe resíduos provenientes de estabelecimentos de saúde humana e animal públicos e particulares, desde que o serviço seja contratado, bem como resíduos industriais provenientes de Fortaleza e da Região Metropolitana.

De acordo com Viana (2013), quando os resíduos já segregados e acondicionados pelos respectivos geradores chegam ao incinerador, através de veículos apropriados, sofrem pesagem em balança rodoviária, são descarregados no fosso, e em seguida incinerados.

A planta incineradora (Figura 1) é do tipo leito móvel, possui duas câmaras (900 e 1000°C), e tem eficiência de 98%. Em linhas gerais, os resíduos hospitalares e industriais são submetidos à queima na câmara primária e os gases resultantes desse processo são tratados na câmara secundária. Embora o equipamento possua uma capacidade térmica entre 850 e 1200°C, com vistas a uma eficiência ótima, é mantida constantemente a temperatura de 1000°C nas duas câmaras.

A geração de efluentes no incinerador é resultado dos usos múltiplos da água no equipamento (lavagem ácida e alcalina dos gases tóxicos, torre de resfriamento e alimentação de uma caldeira). Informações obtidas

Figura 1: Vista atual do incinerador

Fonte: Autor (2017)

no local apontam que a demanda diária de água no incinerador se aproxima dos 50 m³, sendo essa água proveniente de um poço existente no local. Os efluentes são encaminhados para um tanque de equalização e depois conduzidos até a estação de tratamento de efluentes, onde ocorre tratamento químico e reaproveitamento da água tratada. Tal estação possui um volume total de 276,98m³, sendo dois decantadores primários: 9,18m³ e 7,4 m³; quatro decantadores secundários: 9,15m³; 9,25 m³; 28,2 m³ e 28,3m³; e demais áreas utilizadas como tanques de armazenamento para recirculação do efluente tratado. As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, a representação esquemática e a visão atual da estação de tratamento de efluentes do incinerador de Fortaleza.

A etapa inicial do tratamento dos efluentes é o gradeamento, para retenção do material grosseiro. Em seguida, é adicionado o coagulante Policloreto de Alumínio, e para aumento do volume e densidade dos flocos é adicionado um floculador não iônico, que atua em uma faixa de pH de 5 a 8. O efluente tratado é recirculado para a lavagem ácida e alcalina dos gases tóxicos sob pressão, configurando-se assim como um sistema fechado.

O lodo gerado pelo processo de tratamento é removido e levado ao leito de secagem, onde permanece por 15 dias. Posteriormente, esse lodo é conduzido para uma etapa denominada “blendagem”, na qual é misturado a resíduos líquidos industriais, em seguida, levado à incineração.

2.3 Análises laboratoriais

Entre os meses abril e setembro de 2016, foram realizadas 6 coletas de amostras na entrada e na saída da

Figura 2: Dimensionamento geral da estação de tratamento de efluentes

Fonte: Empresa Marquise

Figura 3: Vista atual da ETE do incinerador

Fonte: Autor (2017)

estação de tratamento de efluentes do incinerador. O cronograma de amostragem cumpriu as seguintes datas: 15/04, 10/05, 21/06, 26/07, 22/08 e 20/09.

A caracterização dos efluentes foi realizada no Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Águas Residuárias, que pertence ao Departamento da Área de Química e Meio Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Fortaleza. A Tabela 2 elenca os parâmetros e métodos aplicados.

As análises de todos os parâmetros foram realizadas em duplicata e seguiram as metodologias do Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995).

Para as determinações da demanda química de oxigênio (DQO) e cor verdadeira, todas as amostras do ponto de entrada da Estação de Tratamento de Efluentes passaram pelo processo de filtração por membrana de

vibra de vidro com porosidade de 0,47mm. Membranas de mesma natureza foram utilizadas para análises gravimétricas dos sólidos suspensos totais.

Para as determinações de cloreto e dureza total, todas as amostras dos pontos de entrada e saída foram diluídas dez vezes, sendo o valor da concentração final das análises multiplicado pelo respectivo fator de diluição.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização dos efluentes do incinerador estão reunidos no Quadro 1. Por meio da análise deste é possível inferir que, dentre os 10 parâmetros analisados, 5 apresentaram redução em suas concentrações após o tratamento em todas as campanhas (sólidos suspensos totais, turbidez, cor verdadeira, demanda química de oxigênio e alcalinidade total). Foi possível

Tabela 2: Parâmetros e métodos escolhidos na caracterização físico-química

Parâmetros	Métodos
pH	Potenciométrico
condutividade elétrica, cor verdadeira, turbidez	Leitura direta
sólidos suspensos totais	Gravimetria
acidez, alcalinidade total, cloreto, dureza total	Titulometria
demanda química de oxigênio	Espectrofotometria

Fonte: Autor (2017)

observar que os valores máximos de remoção alcançaram 90% para os sólidos suspensos totais (5ª coleta), 81% para a cor verdadeira (4ª coleta), 92% para turbidez (2ª e 3ª coletas), 56% para DQO (4ª coleta) e 68% para alcalinidade total (6ª coleta). Além desses parâmetros, a dureza total também apresentou redução em suas concentrações em 5 das 6 campanhas (o valor máximo de remoção foi 53% na 6ª coleta).

Não obstante, 2 parâmetros (cloreto e a condutividade elétrica) apresentaram aumento em suas concentrações após o tratamento nas cinco primeiras campanhas. Os aumentos representaram até 54% para o cloreto e até 48% para a condutividade elétrica, ambos na 6ª coleta.

Em linhas gerais, os efluentes apresentaram potencial hidrogeniônico neutro (67% dos resultados) ou básico (25% dos resultados), sendo o caráter ácido observado apenas no ponto de saída da 6ª coleta (pH = 6). A predominância da neutralidade nos efluentes é importante para se evitar a corrosão ou incrustação no interior do equipamento, podendo ser entendida também como resultado de um equilíbrio entre o número de lavagens ácidas e alcalinas dos gases praticadas, bem como da concentração adequada dos produtos utilizados.

Uma análise mais minuciosa permite perceber que a acidez do efluente aumentou durante o processo de tratamento, como se observa nos resultados da 1ª coleta (entrou com 9 mg/L e saiu com 18 mg/L), 4ª coleta (de 5 mg/L para 14 mg/L) e 6ª coleta (de 14 mg/L para 27 mg/L). Esse aumento pode ser justificado pelo uso do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) empregado no tratamento dos efluentes.

Conforme Libânio (2008), em solução aquosa, os íons metálicos de alumínio, positivamente carregados, formam fortes ligações com os átomos de oxigênio, podendo coordenar até seis moléculas de água ao redor, liberando os átomos de hidrogênio (aumentando a concentração do íon H^+) e reduzindo o pH.

A despeito do processo de coagulação, SILVA e OLIVEIRA (2001) relataram que a desinfecção com o cloro (cloração) também contribuiu para a diminuição

dos valores de pH e, consequente, aumento da acidez.

É visível a estreita relação entre o potencial hidrogeniônico e a acidez do efluente estudado. Os pontos de entrada das 2ª, 3ª e 5ª coletas não constaram acidez, fato este concomitante com valores de pH igual a 9, como pode ser observado nos respectivos resultados das referidas coletas.

A alcalinidade total diminuiu de concentração entre a entrada e a saída do sistema em todas as coletas realizadas, mantendo forte relação com o comportamento do pH e, considerando o caráter predominantemente alcalino dos efluentes, inferiu-se que a alcalinidade total teve como agentes causadores os íons bicarbonatos (para os valores de pH iguais a 7) e carbonatos e bicarbonatos (para os valores de pH iguais a 9).

Libânio (2008) esclarece que águas com pH entre 4,4 e 8,3 a alcalinidade será devido apenas a bicarbonatos, pH entre 8,3 e 9,4 a carbonatos e bicarbonatos, e para pH maior que 9,4 a hidróxidos e carbonatos.

Os teores de alcalinidade variaram entre um mínimo de 35 mg/L (saída da ETE) e máximo de 205 mg/L (entrada da ETE). Parte desse teor encontrado deriva da constituição natural da água subterrânea (média de 67 mg/L); outra parte tem sua origem no processo de lavagem dos gases tóxicos, os quais possuem elevadas concentrações de gás carbônico, oriundos da combustão dos resíduos.

Bernardo e Dantas (2005) afirmam que a alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água em neutralizar ácidos. Esta capacidade é devido à presença de bases fortes, bases fracas e de sais de ácidos fracos. Os compostos responsáveis pela alcalinidade total são sais que contêm carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-) e, secundariamente, íons silicatos, boratos, fosfatos e amônia.

A dureza corresponde à concentração de cátions multivalentes em solução. Os cátions mais frequentemente associados a ela são os divalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} . Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, como os carbonatos (CO_3^{2-}) e os sulfatos (SO_4^{2-}), por exemplo, formando precipitados

(SPERLING, 1996).

A presença elevada dos íons que compõem a dureza (Ca^{2+} e Mg^{2+}) pode ter (I) relação com o despejo, na ETE, do rejeito líquido do processo de osmose reversa utilizado na melhoria da qualidade da água que alimenta a caldeira e (II) relação com o arraste desses íons durante o processo de lavagem e resfriamento das cinzas, que tem composição química atrelada ao tipo de resíduo incinerado (no caso, industrial e hospitalar).

Embora de forma pouco significativa, os valores relativos à dureza total também diminuíram de concentração, entre a entrada e a saída do sistema, em todas as campanhas realizadas. Foi possível perceber essa baixa oscilação de valores, bem como a manutenção de altas concentrações de cálcio e magnésio do efluente, tanto na entrada como na saída da estação de tratamento.

A concentração do cloreto, entre entrada e saída da ETE, teve leve aumento nas cinco primeiras campanhas, havendo uma diminuição significativa na sexta coleta. Provavelmente, a captura dos gases ácidos (sobretudo ácido clorídrico) pela água de lavagem, bem como a cloração pós-tratamento dos efluentes contribuem para o aumento da concentração desse íon nas amostras, que variou de 578,0 mg/L a 2438,0 mg/L.

SILVA e OLIVEIRA (2001) salientam que o íon cloreto (Cl^-) é um dos principais íons inorgânicos presentes nas águas em geral e principalmente nas águas residuárias, sendo os processos industriais grandes contribuintes para elevação da concentração de cloretos nas águas. Os autores ainda alertam que um alto teor de cloreto é prejudicial a tubulações e estruturas metálicas.

No que se refere à condutividade elétrica, SILVA e OLIVEIRA (2001) definem que a condutância específica ou condutividade de uma amostra é a medida de sua capacidade em conduzir corrente elétrica, sendo dependente do número e do tipo de espécies iônicas nela dispersa. Dessa forma, a concentração total, a mobilidade, a valência das espécies e a temperatura da solução têm grande importância na determinação da condutividade de uma amostra líquida.

Do ponto de vista analítico, observou-se que os valores de condutividade elétrica variaram entre 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 10.120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esse parâmetro, em todas as amostras de entrada e saída da ETE, manteve relação diretamente proporcional com a concentração do cloreto. De modo que, também na sexta coleta, sua concentração sofreu uma diminuição acentuada, ocorrendo sutis aumentos nas cinco primeiras campanhas.

Como a condutividade elétrica varia em função do teor de sais inorgânicos dissolvidos no efluente, é importante ressaltar também a influência do cálcio e mag-

nésio (dureza total) e carbonatos e bicarbonatos (alcalinidade total) sobre esse parâmetro. Tanto a dureza quanto a alcalinidade, tiveram quedas mais acentuadas na sexta campanha, fato este que contribuiu para o decréscimo encontrado na condutância do efluente.

Conforme Sperling (1996), o teste da DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica. O valor obtido é, portanto, uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente. Na visão do autor, uma das principais limitações do teste da DQO é a de que certos constituintes inorgânicos podem ser oxidados e interferir no resultado.

Entre entrada e saída da estação de tratamento, a DQO sofreu redução em suas concentrações em todas as campanhas, sendo os maiores percentuais de redução ocorridos na primeira (45%) e na quarta coleta (56%). Tal fato é um indicativo da eficiência do tratamento dado aos efluentes. Os valores de DQO oscilaram entre 370 mg/L (mínimo) e 3004 mg/L (máximo).

No que concerne à cor verdadeira, Libânio (2008) esclarece que a cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas (coloides), finamente dispersas, de origem predominantemente orgânica e dimensão inferior a 1 μm . Os compostos de ferro e manganês, bem como diversos tipos de resíduos industriais também podem conferir cor à água.

A redução da cor verdadeira se fez presente em todas as coletas realizadas, ao se comparar as amostras de entrada e saída da ETE. Os valores desse parâmetro variaram entre 2 mg/L e 208 mg/L. As maiores remoções ocorreram na segunda (79%) e na quarta coleta (81%). Dessa forma, entendem-se como satisfatórios os processos de coagulação e floculação, realizados no decorrer do tratamento dado ao efluente.

Segundo a American Public Health Association (1995) *apud* Libânio (2008), a turbidez é a expressão da propriedade óptica que faz a luz ser dispersa ou absorvida em vez de ser transmitida em linha reta através da amostra. Portanto, amostras de água com mesma magnitude de turbidez podem apresentar partículas suspensas com características diferentes – em termos de tamanho, composição e forma –, de modo que os tipos de partículas não de interferir na transmissão da luz.

SILVA e OLIVEIRA (2001) elucidam que a turbidez está relacionada à presença de materiais em suspensão tais como argila, silte, material orgânico e inorgânico finamente dividido, bem como compostos orgânicos coloridos e solúveis. Dessa forma, os autores definem que sólidos totais ou resíduo total, refere-se à matéria que permanece como resíduo após evaporação e secagem a uma temperatura de 103 e 105 °C.

Quadro 1: Resultados das campanhas realizadas

Parâmetro	Unidade	1 ^a Coleta		2 ^a Coleta		3 ^a Coleta		4 ^a Coleta		5 ^a Coleta		6 ^a Coleta	
		Ponto de Coleta											
		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
pH	Adm.	7	7	9	7	9	7	7	7	9	7	7	6
Acidez	mg/L	9	18	NC	9	NC	9	5	14	NC	18	14	27
Alcalin. Total	mg/L	154	146	152	66	92	48	54	46	205	165	108	35
Dureza Total	mg/L	1.340	1.250	1.950	1.890	3.050	2.950	2.340	2.320	2.280	2.320	2.780	1.300
Cloreto	mg/L	947	954	1.740	1.754	2.417	2.438	578	585	1.163	1.223	2.708	1.240
DQO	mg/L	380	210	997	692	2.410	1.399	370	163	3.004	2.773	1.441	997
SST	mg/L	65	32	238	161	3.080	2.130	110	50	100	10	65	30
CE	µS/cm	4.000	4.120	7.630	7.780	8.998	9.000	4.630	4.660	8.800	9.000	10.120	5.300
Cor verdadeira	µH	24	22	42	9	208	173	27	5	109	45	10	2
Turbidez	µT	33	15	74	6	97	8	45	17	85	18	77	9
LEGENDA: NC - Não consta; Adm. – Adimensional													

Fonte: Autor (2017)

Percebe-se que no efluente oriundo do processo de incineração dos resíduos perigosos, a turbidez e os sólidos suspensos estão intimamente ligados, e suas origens advêm sobretudo das cinzas geradas pela combustão dos resíduos, uma vez que estas são resfriadas e lavadas por este efluente.

Em todas as campanhas realizadas, turbidez e SST apresentaram diminuição significativa de suas concentrações, comparando-se as amostras de entrada e saída da estação de tratamento. O valor máximo de remoção para os sólidos suspensos totais ocorreu na quina coleta (90%); enquanto para turbidez, a remoção máxima foi de 92%, nas segunda e terceira coletas.

Com base nos resultados obtidos, dos cinco parâmetros com redução em todas as campanhas, infere-se que a turbidez e os sólidos suspensos totais tiveram os maiores percentuais de remoção. Configurando-se como os melhores indicadores do processo de remoção promovido pela ETE.

Como não existe um instrumento legal em âmbito federal, estadual ou municipal que regule, padronize e/ou estabeleça diretrizes especificamente para efluentes líquidos gerados pelo processo incineração de resíduos sólidos perigosos, alguns resultados obtidos nessa pesquisa foram comparados aos padrões estabelecidos pela Portaria 154/2002 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará – SEMACE (Quadro 2).

Como se observa, os resultados do pH ficaram dentro da faixa estabelecida pela Portaria 154 da SEMACE ao longo de todo o monitoramento. Da mesma forma, os Sólidos Suspensos Totais (exceto na 2ª e 3ª coletas). A Demanda Química de Oxigênio enquadrou-se ao padrão máximo da Portaria da SEMACE (200 mg/L) apenas uma vez (4ª coleta).

Na literatura existem poucos trabalhos sobre a qualidade dos efluentes produzidos em incineradores de resíduos sólidos perigosos, o que limita as comparações.

Torquato et al. (2004) que caracterizaram a água de lavagem de cinzas e de gases de caldeiras em uma indústria de cana de açúcar, e constataram que os efluentes não podem ser descartados sem prévio tratamento. Os autores observaram que a DQO referente à água de lavagem das cinzas e à água de lavagem dos gases variaram, respectivamente, entre 110 - 476mg/L e 285 - 980mg/L. No que tange à acidez medida pelos autores (água de lavagem das cinzas: 33 mg/L, água de lavagem de gases: 48 mg/L) esteve quase 3,6 – 5,3 vezes superior aos resultados do incinerador de Fortaleza (média: 9 mg/L). A possível causa para uma menor concentração de ácidos voláteis no efluente originário da incineração é a de que nesse processo os gases ácidos são cap-

turados por meio de uma lavagem com hidróxido de sódio, reduzindo assim a acidez. Tal procedimento não era realizado pela indústria sucro-alcooleira, durante o período estudado pelos autores. Com relação aos Sólidos Suspensos Totais, os valores mínimos obtidos pelos autores (água de lavagem das cinzas: 450 mg/L, água de lavagem de gases: 866 mg/L) estiveram muito acima dos resultados mínimos do incinerador de Fortaleza (10 mg/L, 5ª coleta, Quadro 2).

Silva et al. (2012) que analisaram do ponto de vista físico-químico e toxicológico o efluente gerado por lavadores de gases instalados em chaminés de olarias do Sul Catarinense. Os resultados médios das 04 coletas realizadas pelos autores relativos ao pH, SST e DQO permitem algumas comparações com os resultados aqui obtidos. Os autores verificaram efluentes mais ácidos (pH 5,7), com maior concentração de SST (757 mg/L) e DQO (2.247,5 mg/L) em comparação aos resultados médios do Quadro 1. As olarias queimam madeira e carvão mineral que geram maior quantidade de particulados, além de dióxido (de enxofre e carbono), por isso seus fornos produzem mais poluentes que as câmaras do incinerador de Fortaleza, que queima resíduos hospitalares e industriais. Outra explicação reside na temperatura dos fornos, pois a queima no incinerador supera 1000°C enquanto na olaria alcança 700°C, resultando em uma combustão incompleta.

Brito (2010), por sua vez, caracterizou do ponto de vista qualitativo e quantitativo alguns efluentes industriais (setores: alimento, automobilístico, construção civil, curtume, gráfica, metalomecânico e têxtil). Os resultados obtidos pelo autor são comparados com os encontrados nos efluentes da incineração em Fortaleza, como se observa no Quadro 3.

Como se observa, o pH dos efluentes tratados da incineração é mais ácido que os medidos nas indústrias dos setores Metalomecânico, Gráfico, Curtume e Alimentar. Sobre a DQO, os efluentes do incinerador, aqui analisados, são mais poluentes que todas as demais indústrias citadas no Quadro 3, exceto as de alimentos e automobilística. Quanto aos SST, os efluentes do incinerador são mais concentrados que todas as demais indústrias.

4 CONCLUSÕES

Essa é a primeira pesquisa sobre a qualidade dos efluentes da incineração de resíduos perigosos em Fortaleza, e seus dados primários poderão servir de base para outras pesquisas.

Em linhas gerais, os efluentes estudados têm forte carga físico-química, uma vez observadas as elevadas

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PRELIMINAR DOS EFLUENTES DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS DE FORTALEZA-CE

Quadro 2: Comparação entre parâmetros analisados e legislação estadual

Parâmetro	Unidade	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	PORTARIA SEMACE
		Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	
		Ponto de coleta: saída						
pH	Adm.	7	7	7	7	7	6	5-9
SST	mg/L	32	161	2.130	50	10	30	100
DQO	mg/L	210	692	1.399	163	2.773	997	200

LEGENDA: Adm. – Adimensional; SST - Sólidos suspensos totais;
DQO - demanda química de oxigênio

Fonte: Autor (2017)

Quadro 3: Efluentes industriais diversos versus efluentes da incineração

Indústria	pH ⁽¹⁾	DQO ^{(2)(A)}	SST ^{(2)(A)}
Alimentar	6,8	1473,4	360
Automobilística	5,3	1352,7	63
Construção civil	5,5	110,3	154,5
Curtumes	7,9	736,7	15
Gráfica	7,2	416,7	152
Metalomecânico	8,6	115,6	18,5
Têxtil	5,1	120,6	29,5
Incineração	6,6	1.039	402

LEGENDA: (1) Adimensional; (2) mg/L; (A) Médias dos resultados de saída da ETE

Fonte: Brito (2010) (Adaptado)

concentrações sobretudo nos parâmetros cloreto, dureza total, condutividade elétrica e demanda química de oxigênio. Contudo, seu uso cíclico (lavagem de gases - ETE - lavagem de gases) mantém sob controle seus riscos de poluição ou contaminação ambiental.

A maior parte dos parâmetros analisados comprovou que há eficiência no processo de tratamento dos efluentes.

A pesquisa permitiu também entender melhor sobre o funcionamento do incinerador e seus processos de controle ambiental, principalmente porque o equipamento está instalado em uma área urbana com elevada densidade populacional no seu entorno.

Fica como sugestão para trabalhos futuros: ampliar a amostragem e caracterização dos referidos efluentes, comparar os resultados entre estações (seca e chuvosa) e avaliar as possibilidades de reuso.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução rdc, n. 306/2004: Dispõe sobre o regulamento técnico para gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. **Diário Oficial da**

República Federativa do Brasil, 10. dez., Seção 1 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington: APHA, 1995.

BERNARDO, L. D.; DANTAS, A. D. B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Rima, São Carlos, São Paulo, v. 1, p. 14, 2005.

BRASIL, REPÚBLICA FEDERATIVA DO. **Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA n 430/2011. Congresso Nacional D.O.U.** 16/05/2011.

BRITO, A. F. F. **Caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes industriais existentes no sistema de drenagem das estações de tratamento de águas residuais de Campo e Ermesinde**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente - ramo de Gestão) — Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia, Portugal, 2010.

BRITO, A. P. d.; SILVA, C. L. d. Estudo da viabilidade econômica da implantação de incineradores de "RSU" na Região de Bauru. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 8, n. 12, p. 15–26, 2012.

CEARÁ. **Superintendência Estadual do Meio Ambiente. SEMACE. Portaria n 154/2002. DOE - 01.10.2002**. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/2010/12/efluentes-liquidos/>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

CHIRICO, V. D. Incineração de resíduos urbanos. Schweizerische Rückversicherungs-GesellschaftTM, Zürich, 1996.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991. Disponível em:

<https://professores.faccat.br/.../como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos>. Acesso em: 01/03/2017.

GREENPEACE ESPANHA. **Incineração e Saúde Humana - Estudo do Conhecimento Sobre os Impactos da Incineração na Saúde Humana**. Reino Unido, 2001. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/PageFiles/4944/sumario_exec_health.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2016.

GRIPP, W. G. **Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos: considerações sobre a proposta para São Paulo**. 225 p. Dissertação. (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

JÚNIOR, N. A.; GABAÍ, I. Incineração e dioxinas: análise do aporte teórico disponível. In: **Encontro Nacional de Engenharia da Produção-ENEGEP, XXI**, Salvador. Anais...Salvador, 2001.

LEUNG, A.; CAI, Z. W.; WONG, M. H. Environmental contamination from electronic waste recycling at guiyu, southeast china. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, Springer, v. 8, n. 1, p. 21–33, 2006.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2. ed. Campinas, São Paulo: Átomo, 2008. v. 1. 31-118 p.

LIMA, L. M. Q. Tratamento de lixo. 2ª edição. Hemus Editora, São Paulo, 1991.

MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A. Estágio atual da incineração no brasil. ablp – associação brasileira de limpeza pública. **VII Seminário Nacional de resíduos sólidos e limpeza pública**, Parque Barigui – Curitiba, 3 a 7 de Abril de 2000.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**: A pesquisa e suas classificações. In: SILVA, E.L.; MENEZES, E.M. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

SILVA, J. D.; TOMAZI, K. O.; SANT'ANA, A. C.; PILETTI, R.; ANGIOLETO, E.; PICH, C. T. Análise físico-química e toxicológica de efluente gerado por lavadores de gases em olaria do sul catarinense. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 3, n. 1, p. 634–644, 2012.

SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. d. Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias. **Campina Grande: Gráfica Marccone**, v. 1, p. 33–221, 2001.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte, Minas gerais: Segrac, 1996. v. 1. 26-29 p.

TORQUATO, J. H. et al. **Caracterização da Água de Lavagem de Cinzas e Gases de Caldeiras na Indústria de Cana de Açúcar**. In: VII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004, São Luiz: **Anais...** São Luiz: CTEC, 2004. 1-10 p. Disponível em: <www.ctec.ufal.br/professor/vap/AguaCinzaGasesCaldeiraIndustria.pdf>. Acesso em: 21 out. 2017.

VIANA, J. A. **Estimativa da quantidade de resíduos de serviços de saúde (RSS) incinerada por nove Hospitais Públicos de Fortaleza - CE**. Monografia (Graduação em Gestão Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2013.