



190 - ESTUDO COMPARATIVO DO IMPACTO AMBIENTAL ENTRE CREMAÇÃO E SEPULTAMENTO

Gabriela Cavion⁽¹⁾

Bacharel em Engenharia Ambiental

Raquel Finkler⁽²⁾

Mestre em Engenharia Ambiental

Janice Botelho Souza Hamm⁽³⁾

Doutora em Engenharia Química

Endereço⁽¹⁾: Rua Os Dezoito do Forte, 2366 - São Pelegrino – Caxias do Sul – Rio Grande do Sul -
CEP: 95020-472- Brasil - Tel: +55 (54) 99614-2729 - e-mail: gabrielacavion@gmail.com

RESUMO

A destinação correta de um corpo após a morte, sepultar ou cremar, vem ganhando espaço quando o assunto é a preocupação com o meio ambiente. Apesar dos cemitérios ocuparem um espaço físico maior e apresentarem diversos impactos ambientais, estes ainda são a opção que têm maior preferência. Uma técnica que vem ganhando destaque é a cremação, a qual tem se mostrado uma tecnologia eficiente, pois não gera resíduos líquidos. Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é apontar os impactos ambientais provenientes de cadáver destinado à cremação e ao sepultamento. Para obtenção de maior conhecimento sobre o assunto, especialmente sobre liberação de gases durante o sepultamento de cadáveres, foi realizado um estudo prático sobre os gases provenientes da decomposição da carne suína, pois a mesma apresenta semelhanças anatômicas e fisiológicas com a carne humana. A fim de avaliar a diferença qualitativa e quantitativa das emissões geradas nas destinações, cremação e sepultamento, analisou-se dados adquiridos de um crematório de humanos. Os resultados desta pesquisa mostraram que no âmbito deste estudo, o sepultamento gera um impacto ambiental maior em relação à cremação.

PALAVRAS-CHAVE: Cremação, sepultamento, impactos ambientais.

INTRODUÇÃO

O crescente aumento do ciclo populacional aliado a busca por processos mais sustentáveis ao meio ambiente, motiva estudos sobre a melhor forma de disposição de cadáveres humanos. Uma vez que, ainda é questionável qual a melhor maneira de destinação, por apresentarem diversos danos ambientais, como a contaminação do solo, ar e da água (KEMERICH et al., 2014).

Dessa forma, técnicas vêm sendo estudadas com intuito de obter maiores informações sobre qual destinação de corpos é a mais correta ambientalmente. Atualmente, a técnica mais tradicional é a deposição em cemitérios. Porém, a cremação vem se apresentando como uma alternativa bastante viável, tanto em termos ambientais como econômicos. Entretanto, esta forma de deposição, ainda encontra resistência da sociedade, devido à algumas questões religiosas, étnicas e culturais (ECOBR, 2009).

Dentre os poluentes emitidos em ambas destinações, destaca-se o dióxido de carbono (CO₂). Durante o processo de decomposição de um corpo sepultado, este gás está presente, uma vez que, o sangue é invadido por ele quando as células param de se oxigenar (FRANÇA, 2017). Já durante o processo de cremação, este gás está presente devido ao processo de combustão do corpo.

Em vista do exposto, este estudo tem como principal objetivo, obter dados e informações reais sobre a poluição ambiental proveniente de cadáveres cremados e sepultados. Assim, com o intuito de verificar os tipos de gases oriundos da decomposição de cadáveres destinados ao sepultamento, foi realizado um estudo prático com a carne suína, visto que, a mesma apresenta semelhanças anatômicas e fisiológicas com a carne humana.

Neste contexto, foi realizado um estudo comparativo entre os gases emitidos em crematórios de humanos e os gases provenientes do sepultamento do suíno. Através da análise destes dados, foi possível avaliar a diferença qualitativa e quantitativa das emissões geradas em ambas destinações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Estudo das emissões geradas em crematório de humanos

Para este estudo, foram adquiridos dados de monitoramento das emissões atmosféricas de um forno crematório de humanos. Os dados de emissões, foram obtidos através do analisador de gases automático, com medições realizadas na exaustão do forno crematório. Foram coletadas informações a respeito das concentrações dos seguintes gases: oxigênio, dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxido nítrico, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre.

Estudo das emissões geradas pelo cadáver suíno

A área destinada a este estudo fica localizada no Município de Caxias do Sul/RS, na sede da Empresa All Gas Monitoramento e Estudos de Emissões Atmosféricas Ltda. O motivo da escolha desta área foi o fácil acesso ao equipamento utilizado na prática, uma vez que, o mesmo encontra-se na sede da empresa citada.

Materiais:

- Caixaão - construído com chapa de compensado multilaminado (material à prova d'água), com espessura de 20 mm. A parte inferior do caixaão foi revestida de fibra de lã de vidro, formando uma espécie de bacia de contenção. Este compartimento tem a função de conter o necrochorume oriundo da decomposição do cadáver, para posteriormente, quantificar sua geração. Para dispor o suíno, foram colocadas no interior do caixaão, madeiras de 2 cm de espessura, intercaladas com espaçamento de 2 cm. Dessa forma, a carcaça do suíno não ficou totalmente em contato com a madeira, facilitando a passagem do necrochorume para a bacia de contenção. A Figura 1, apresenta um croqui do caixaão.

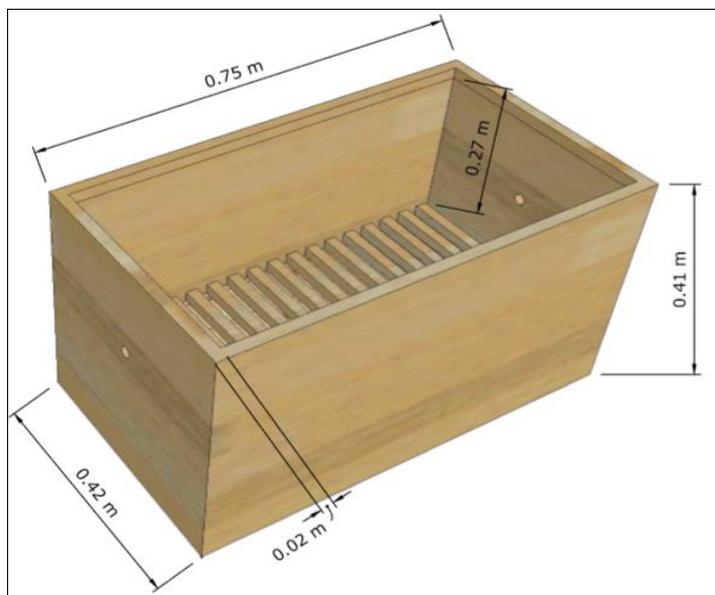


Figura 1: Croqui do caixaão utilizado para dispor o suíno.

- Mangueiras de silicone - utilizou-se duas mangueiras de silicone de 1,5 metros de comprimento e 10 mm de diâmetro. Cada uma das mangueiras foi acoplada em uma extremidade do caixaão, ou seja, a mangueira 1 está localizada próximo à cabeça da carcaça do suíno enquanto que a mangueira 2 está localizada próximo à parte traseira.



- Válvulas de dosagem - foram utilizadas duas válvulas, onde cada uma foi acoplada na extremidade superior de cada mangueira. Essa válvula teve como finalidade permitir e/ou bloquear a dispersão do gás proveniente da decomposição do cadáver para a atmosfera.
- Tubo de aço - utilizado para proteger as mangueiras de quaisquer danos que possam ocorrer durante o experimento.
- Suíno em estudo - a carcaça do suíno foi adquirida em uma fazenda de criação de suínos. O animal foi adquirido já sem vida devido às causas naturais. Sendo assim, o mesmo não foi abatido para o propósito do experimento.
- Balança - a balança utilizada no experimento é da marca Toledo e modelo PRIX 4 FLEX.
- Flores e retalho de pano - foram colocadas juntamente com o suíno, com o intuito de simular o mais próximo de um enterro
- Analisador de gases - o analisador de gases utilizado para o experimento é da marca Conforme modelo Tempest 100. A Tabela 1 apresenta as especificações dos gases que o instrumento pode aferir.

Tabela 1: Especificações dos parâmetros medidos pelo analisador de gases.

Parâmetros medidos	Range	Resolução
Oxigênio (O ₂)	0- 25 %	0,1 %
Dióxido de carbono (CO ₂) (calculado)	0 -99,9 %	0,1%
Monóxido de carbono (CO)	0 - 5.000 ppm	1 ppm
Dióxido de enxofre (SO ₂)	0 - 2.000 ppm	1 ppm
Óxido nítrico (NO)	0 - 1.000 ppm	1 ppm
Dióxido de nitrogênio (NO ₂) - calculado	0 – 200 ppm	1 ppm

Metodologia:

O experimento teve por finalidade simular a decomposição de um cadáver humano, utilizando a carcaça de um suíno como um padrão de referência, uma vez que, a mesma apresenta a composição mais próxima do ser humano. Primeiramente, pesou-se o caixão e a carcaça do suíno, separadamente, e em seguida, as flores juntamente com o retalho de pano. Os valores das massas dos materiais estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2: Massa dos materiais utilizados no experimento

Material	Massa (kg)
Caixão	16,82
Suíno	18,43
Flores e Retalhos de Pano	0,33
Massa total	35,58

Por conseguinte, colocou-se o suíno dentro do caixão e após, acondicionou-se o retalho de pano em seu entorno, a fim de representar as roupas do cadáver humano. Além disso, também se adicionou flores junto à carcaça, visto que, a maioria dos cadáveres são sepultados com a presença de flores. Salienta-se, que não se sabe qual a influência das roupas e das flores em relação à decomposição do corpo, entretanto, este procedimento foi realizado para que a simulação se tornasse a mais real possível. Posteriormente, o caixão contendo a carcaça suína foi enterrado. Para tal, escavou-se um buraco na terra de aproximadamente 0,80 metros de profundidade. Após esta etapa, o caixão foi disposto dentro da cova. As mangueiras de silicone acopladas a ele ficaram expostas na superfície para realização das medições dos gases. Ademais, ainda foram acopladas válvulas de dosagem na extremidade de cada uma das referidas mangueiras. Para proteger as mangueiras, foi colocado um tubo de aço em seu entorno, e vetada a extremidade superior com auxílio de um recipiente plástico, impossibilitando assim, a entrada de água da chuva.

As coletas das amostras dos gases efluentes foram realizadas através do analisador de gases automático. Os gases monitorados foram os seguintes: oxigênio (O₂), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO),

óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido nítrico (NO) e dióxido de enxofre (SO₂). A amostragem dos gases foi realizada de forma aleatória, conforme a disponibilidade do instrumento de medição.

Para a realização das medições, primeiramente, o analisador foi ligado com sua sonda fora das mangueiras acopladas ao caixão. Esse procedimento se faz necessário devido a ser o processo no qual o analisador realiza a sua auto calibração e por isso, sua sonda deve estar protegida do ar contaminado. Após este procedimento, inseria-se a sonda nas mangueiras de silicone e aguardava-se a estabilização da concentração dos gases, por aproximadamente 9 minutos. Posteriormente, foram efetuadas as coletas. Salienta-se que todas as medições foram realizadas em triplicata, com intervalos de 1 minuto. Em seguida, realizava-se este mesmo procedimento na outra mangueira de silicone.

O monitoramento das emissões geradas pela carcaça do suíno compreende o período de 06 de maio de 2018 até 26 de setembro de 2018. A carcaça foi desenterrada no dia 17 de novembro de 2018. Os dados de meteorologia (temperatura, umidade, pressão atmosférica, velocidade do vento, radiação e chuva) utilizados para este estudo, foram adquiridos no site do INMET- Instituto Nacional de Meteorologia, aplicando-se dados da estação meteorológica automática da Cidade de Bento Gonçalves (RS).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo das emissões geradas em crematório de humanos

Os dados de emissão obtidos durante a cremação de humanos são referentes a amostragem de um único dia, onde para cada coleta, foi cremado um corpo. Os referidos dados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Concentrações de gases efluentes detectadas durante a cremação de corpos de humanos.

Corpo	Massa (kg) Corpo + Urna	Concentração*				
		O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)
1	115	14,2	4,4	37	49	N.D
2	105	14,3	4,3	17	108	N.D
3	72	14,5	4,2	2	70	N.D
Média	97	14,3	4,3	19	76	N.D
Desvio padrão	25	0,1	0,1	18	29	-
Limite de detecção	-	0,1	0,1	1,0	2,0	1,0

* N.D: Abaixo do limite de detecção.

Pela análise da Tabela 4, percebe-se que para ambos os corpos foi possível detectar os gases O₂, CO₂, CO, NO_x. Sendo que para o gás CO, esta concentração variou conforme a massa do corpo, isto é, quanto maior a massa, maior a concentração de CO. Ainda, é possível salientar que a presença do mesmo caracteriza uma combustão incompleta. De acordo com Lucon (2003), o monóxido de carbono é um gás oriundo da combustão incompleta, é incolor e inodoro.

Ainda, foi possível observar que o CO, encontram-se dentro do limite permitido pela legislação Conama 316 de 2002, isto é, 100 ppm. Além disso, observa-se que em nenhuma das amostragens houve presença de dióxido de enxofre.

Estudo da decomposição do cadáver suíno

Os resultados encontrados para as concentrações dos gases emitidos durante a decomposição da carcaça do suíno, estão dispostos nas Figuras 2 (a), (b), (c), (d) e (e).

Analisando a Figura 2, inicialmente, percebe-se que no dia 21/05/2018 as concentrações emitidas foram maiores que nos outros dias para todos os gases estudados. Neste dia, as condições climáticas não mostraram-se discrepantes às condições dos demais dias monitorados. Portanto, acredita-se que não seja este o fator que tenha influenciado na maior dispersão dos poluentes. Dessa forma, pressupõe-se que houve o rompimento de algum órgão que estava acumulando tais gases. Segundo Bartolomucci (2008), o período gasoso de um cadáver, inicia normalmente na primeira semana após o óbito. Os gases originados no interior do corpo, causam colapsos intestinais, ou seja, deslocamento dos órgãos (FRANÇA, 2017). Percebe-se ainda, que a emissão dos gases é constante, desde o dia em que a carcaça foi enterrada. Este resultado vem ao encontro do prescrito na literatura de (VIEIRA, 2012), onde o corpo já começa a produzir gases pouco tempo após a morte, liberando odores.

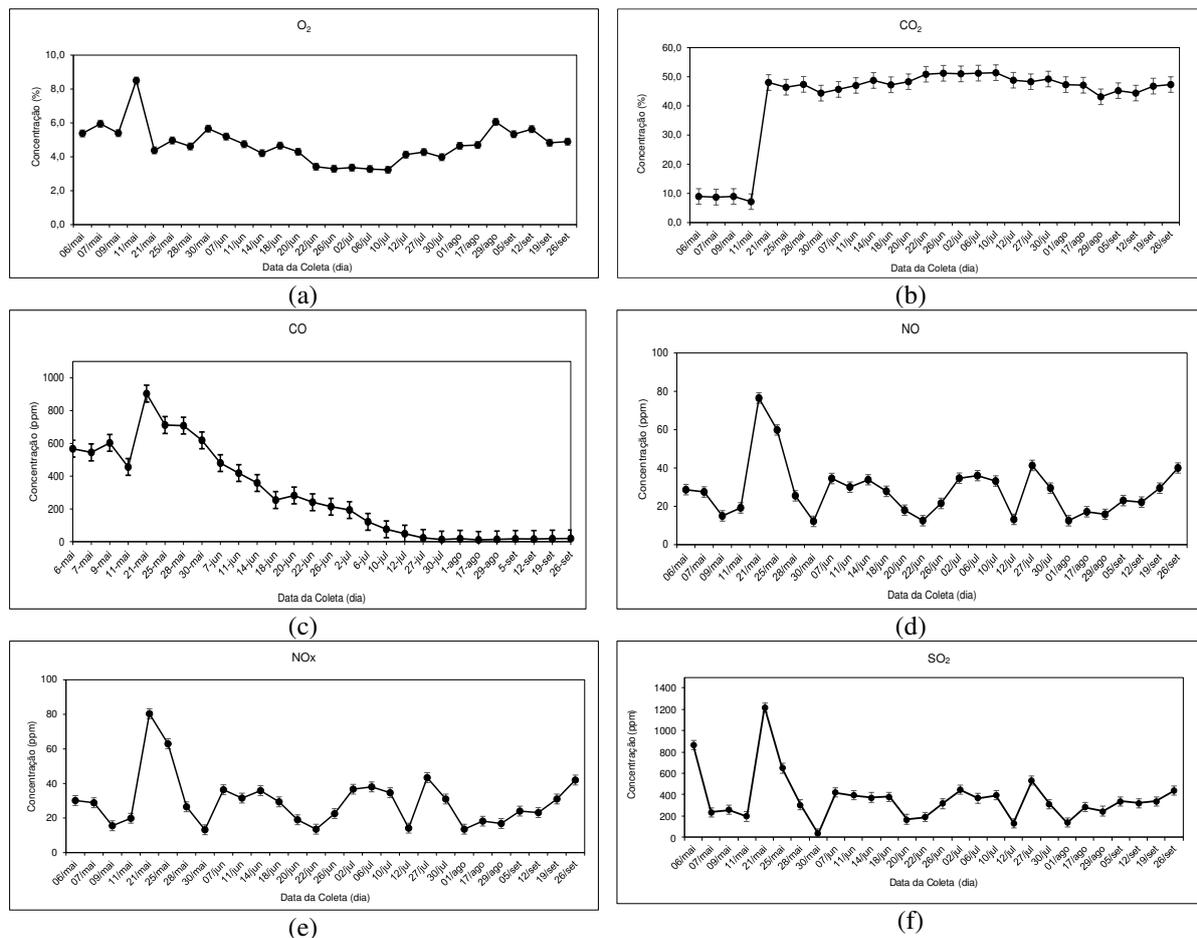


Figura 2: Concentrações dos gases (a) oxigênio (O₂), (b) gás carbônico (CO₂), (c) monóxido de carbono (CO), (d) monóxido de nitrogênio (NO), (d) óxido de nitrogênio (NO_x) e (e) dióxido de enxofre (SO₂), obtidas durante as medições da carcaça do suíno.

Na Figura 2 (b) observou-se que a concentração de CO₂ manteve-se na faixa de 10% até o quinto dia de sepultamento. Este fato deve-se ao dióxido de carbono invadir o sangue quando as células do corpo param de se oxigenar, e dessa forma, inicia-se o processo de decomposição do mesmo (FRANÇA, 2017). Além disso, pode-se dizer que o CO₂ está relacionado às atividades das bactérias aeróbias-anaeróbias intestinais, que são provenientes do cadáver bem como do meio circundante (PACHECO, 1986 apud CARLOS; SUGUIO; PACHECO, 2008). Ainda analisando a mesma, pode-se observar que a partir do quinto dia de sepultamento, a concentração de CO₂ aumentou e manteve-se estabilizada até o experimento ser interrompido. Entretanto, ressalta-se que não foram realizadas medições entre o período de 11/05/2018 até 21/05/2018, o que corresponde a um período de 10 dias sem medições. Sendo assim, não se sabe exatamente o período que a concentração começou a aumentar. No entanto, esse aumento da concentração de CO₂, pode estar relacionado

à saída dos gases, uma vez que, entre os gases eliminados na fase de decomposição ativa, encontra-se o CO₂. Neste período, o corpo começa a desinchar conforme os gases vão sendo eliminados, pode haver a exposição de alguns órgãos internos e o odor de putrefação é intenso. Essa fase geralmente ocorre no final do sétimo dia após a morte (CARTER et al., 2007; GOFF, 2010; LOPES, 2012, apud CRAVO, 2015).

Na Figura 2 (c) percebe-se que, aproximadamente um mês e meio após o enterro da carcaça, a concentração de monóxido de carbono decaiu gradativamente, tendendo a estabilizar. A presença de monóxido de carbono não era esperada, uma vez que, o mesmo costuma ser produzido geralmente em processos de combustão incompleta. No entanto, acredita-se que este resultado possa estar atrelado a alguma reação química com o CO₂ e outros compostos ou ainda, microorganismos. Esta análise não pode ser fundamentada com base na literatura pois, não foram encontrados relatos a respeito deste assunto.

Avaliando-se as concentrações de O₂, NO, NO_x e SO₂, Figura 2 (a), (d), (e) e (f), observa-se que as mesmas mantiveram-se instáveis durante o período do experimento. Acredita-se que os gases tiveram este comportamento devido a degradação do corpo ainda estar na fase de putrefação, sendo que, um dos períodos do processo de putrefação é o período gasoso, caracterizado pela liberação de gases (FRANÇA, 2017). Além disso, acredita-se também que a presença de NO e NO_x está relacionada com a presença de O₂ no interior do caixão, uma vez que, o mesmo é fundamental para a formação de NO e NO_x.

Referente ao SO₂, acredita-se que a presença do mesmo é resultante do processo de oxidação do enxofre. De acordo com a literatura, um dos fatores responsáveis pelo processo oxidativo é a decomposição da matéria orgânica. Além disso, o cheiro característico de ácido sulfídrico (composto formado por enxofre), é a primeira indicação do processo de putrefação (MALAVOLTA, 1958). Associado a isso, acrescenta-se que durante o experimento, percebeu-se a presença de odor resultante de decomposição, possivelmente de compostos de enxofre.

A fim de comparar as emissões geradas por um cadáver cremado e um cadáver sepultado, a Tabela 4 apresenta uma relação das concentrações obtidas para os gases comuns a ambas as destinações. Isto é, as concentrações obtidas no processo de cremação do corpo humano, bem como, as concentrações obtidas no processo de sepultamento, aqui adquiridas, usando a carcaça suína como modelo. Os resultados apresentados são referentes às médias das medições, tanto no processo de cremação como no processo de decomposição do suíno.

Tabela 4: Média das concentrações obtidas no processo de cremação do corpo humano e no processo de sepultamento da carcaça do suíno.

Técnica de destinação	O ₂	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂
	(%)	(%)	ppm	Ppm	ppm
Cremação	14,3	4,3	19	76	N.D
Sepultamento	4,75	42,16	284	30	367

Analisando a Tabela 4, fica evidente que neste estudo comparativo, a cremação tem se mostrado uma técnica menos poluente, uma vez que, para todos os gases avaliados obteve-se menor concentração dos gases, salve-se para que o gás O₂ e NO_x. Além disso, conforme já mencionado, a cremação não gera poluentes líquidos, apenas emissões atmosféricas, diferentemente do processo de sepultamento (ECOBR, 2009). Destaca-se ainda, que as emissões geradas pelo processo de cremação são relacionadas ao período de cremação, ou seja, em torno de 1 hora, dependendo da massa corpórea do humano. Já as emissões geradas pelo processo de sepultamento iniciam poucas horas após a morte, no processo de putrefação. O tempo de putrefação de um corpo varia conforme as condições em que o mesmo se encontra (VIEIRA, 2012). Salienta-se ainda, que não se sabe por quanto tempo a carcaça irá emitir gases, visto que, o experimento foi interrompido para transposição do suíno.

Também foi possível observar a presença de necrochorume na bacia de contenção do caixão, Figura 3. Considerando também o tempo de experimento, acredita-se que o suíno encontrava-se já no final da fase de coliquação. De acordo com Martins (2009), o período coliquativo se dá pela dissolução pútrida, onde as partes moles do cadáver progressivamente reduzem de volume ao desintegrarem os tecidos. Ainda, conforme Vieira (2012), o período coliquativo inicia-se normalmente no primeiro mês.



Figura 3: Suíno após o experimento, observando a geração de necrochorume orinundo da decomposição do mesmo.

A presença de necrochorume se deve ao tempo em que a carcaça permaneceu enterrada, isto é, de acordo com a literatura, a liberação deste ocorre normalmente seis meses após o óbito (FRANCISCO et al., 2017). As medições do suíno foram realizadas por um período aproximado de 5 meses, porém a carcaça do suíno permaneceu enterrada no período de 21/04/2018 até 17/11/2018, completando assim, praticamente 7 meses de sepultamento.

CONCLUSÕES

A análise de dados referente ao crematório de humanos, mostrou-se que a cremação gera emissões atmosféricas, mesmo que em baixas concentrações. Em contrapartida, este processo não gera poluentes líquidos, o que se torna um ponto positivo em relação ao processo de sepultamento. O experimento com o cadáver suíno, evidenciou a presença dos gases O_2 , CO_2 , NO , NO_x e SO_2 durante a sua decomposição, revelando que há emissão de gases no processo de sepultamento de cadáveres.

O processo de cremação e sepultamento são totalmente diferentes, portanto, não se pode afirmar com clareza que a cremação gera um menor impacto ambiental do que o sepultamento. Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho evidenciaram que aparentemente, o sepultamento gera um maior impacto ambiental do que a cremação. Principalmente, quanto às alterações da qualidade do solo e das águas subterrâneas, devido à liberação do necrochorume. Além disto, os resultados mostraram que os gases oriundos da decomposição cadavérica, estão presentes em maiores concentrações, além de serem emitidos por um período maior, comparando com o processo de cremação.

A melhor forma de destinação de um corpo após a morte é um assunto delicado. Embora o mesmo venha sendo bastante discutido nos dias atuais, a presente pesquisa mostrou-se que ainda há muito o que ser estudado, visto que a literatura é pouco abrangente neste tema. Além disso, é importante considerar também, que deve haver uma cobrança maior por parte dos órgãos ambientais regulamentadores em relação a este tema de suma importância para a sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARTOLOMUCCI, R. Preservação óssea: um estudo tafonômico dos remanescentes ósseos humanos dos sambaquis fluviais do vale do Ribeira de Iguape, SP. 2008.
2. CARLOS, F.; SUGUIO, K.; PACHECO, A. Avaliação Ambiental Preliminar Do Cemitério De Itaquera, Segundo a Resolução Conama 335 / 2003, Município De São Paulo. Evaluation, 2008.
3. CRAVO, L. A. S. Estudo experimental sobre decomposição cadavérica usando carcaças de *Sus scrofa domestica*, 2015.
4. ECOBR. Relatório de impacto ambiental - rima igreja espiritualista universal crematório - necrópole ecumênica vertical universal.
5. FRANÇA, G. V. Medicina Legal, 2017.
6. FRANCISCO, A. M. et al. Tratamento do Necrochorume em Cemitérios, 2017.

7. KEMERICH, P. D. DA C. et al. A questão ambiental envolvendo os cemitérios no Brasil. v. 5, 2014.
8. LUCON, O. DOS S. *Modelo Horus inventário ee emissões pela Queima de combustíveis em indústrias no estado de São Paulo*. Economia, 2003.
9. MALAVOLTA, E. Estudo químico agrícola sobre enxofre. 1958.
10. MARTINS, E. Análise dos processos de decomposição e sucessão ecológica em carcaças de suíno (*Sus scrofa L.*) mortos por disparo de arma de fogo e overdose de cocaína e protocolo de procedimentos diante de corpo de delito. 2009.
11. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002.
12. VIEIRA, F. Avaliação da contaminação das águas subterrâneas na cidade de Maceió por atividade cemiterial. 2012.