

CLUSTERIZAÇÃO DE AMOSTRAS: ESTUDO COMPARATIVO DA COMPOSIÇÃO IMEDIATA DAS FRAÇÕES COMBUSTÍVEIS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE SANTO ANDRÉ/SP

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.IV-041>

Marília Rodrigues Serra*, Kelly Cristina Rosa Drudi, Isis dos Anjos Silva, Graziella Colato Antonio Zaninetti, Juliana Tófano de Campos Leite

*Universidade Federal do ABC (UFABC), Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Email: marilia.serra@aluno.ufabc.edu.br

RESUMO

Resíduos sólidos urbanos (RSU) são compostos por materiais muito heterogêneos, o que torna a sua segregação desafiadora, seja visando a aplicação do melhor tratamento, a destinação ambientalmente adequada ou ainda para atender à legislação vigente. Para avaliar a viabilidade de recuperação energética dos RSU, é necessário conhecer a sua composição média a partir de dados estatisticamente representativos, o que demanda a coleta e análise laboratorial de muitas amostras, acarretando custos elevados. Uma alternativa para reduzir o número de análises é o agrupamento das amostras em *clusters*, organizados a partir da similaridade observada na composição gravimétrica dos resíduos, entre as regiões coletadas. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da clusterização de amostras de frações combustíveis de resíduos sólidos urbanos do município de Santo André sobre o resultado médio da sua composição imediata. Para realizar o trabalho, foram utilizadas amostras das frações combustíveis de resíduos, coletadas no município de Santo André, para as quais existem dados completos na literatura, referentes à sua composição imediata. As amostras dos 36 setores do município foram agrupadas em 7 *clusters*, utilizando uma técnica de inteligência artificial denominada clusterização baseada em centróides, através do algoritmo k-Means. Os resultados apresentaram alguns *clusters* com valores atípicos, sendo o *cluster* nº 5 (17,80%) da categoria dos têxteis para a análise de cinzas, o *cluster* nº 1 para a análise do carbono fixo (23,42%), na categoria dos sanitários e, na análise dos voláteis, os *clusters* 1 e 5 apresentaram *outliers* para as categorias de sanitários (73,50%) e têxteis (80,16%), respectivamente. Em relação ao efeito da clusterização, foi possível observar que as cinzas se mostraram como o componente mais adequado para avaliar o efeito da clusterização, em função do tempo de armazenamento das amostras, que pode ter acarretado na degradação do carbono fixo, aumentando o teor de voláteis. A análise desse componente mostrou que os valores médios observados para as amostras agrupadas se encontraram dentro da faixa observada na literatura, que se refere ao conjunto completo de amostras. Além disso, a categoria de resíduos orgânicos apresentou o maior teor médio de cinzas, da ordem de 15%, indicando que a separação dessa fração seria desejável, se considerada a qualidade dos resíduos como combustíveis. Ressalta-se que todas as categorias combustíveis apresentaram teor médio de voláteis superior a 83%, sendo que os orgânicos apresentaram a menor concentração e os têxteis, a maior.

PALAVRAS-CHAVE: clusterização, análises laboratoriais, resíduos sólidos urbanos, análise imediata

ABSTRACT

Municipal solid wastes (MSW) are composed by very heterogeneous materials, which makes their segregation challenging, whether aiming the application of the best treatment, environmentally appropriate disposal or even to comply with current legislation. To assess the feasibility of energy recovery from MSW, it is necessary to know its average composition from statistically representative data, which requires the collection and laboratory analysis of many samples, resulting in high costs. An alternative to reduce the number of analyses is to group the samples into clusters, organized in function of the similarity of wastes gravimetric composition, among the regions collected. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of clustering samples of combustible fractions of MSW from the municipality of Santo André on the average result of its ultimate composition. To carry out the study, samples of combustible fractions of waste collected in the municipality of Santo André were used, for which there are complete data on literature regarding their ultimate composition. Samples from 36 sectors of the municipality were grouped into 7 clusters, using an artificial intelligence technique called centroid-based clustering, through the k-Means algorithm. The results showed some clusters with atypical values, with cluster no. 5 (17.80%) in the textile category for the ash analysis, cluster no. 1 for the fixed carbon analysis (23.42%), in the sanitary category and, in the volatile analysis,

clusters 1 and 5 presented outliers for the sanitary (73.50%) and textile (80.16%) categories, respectively. Regarding the effect of clustering, it was possible to observe that ash was the most appropriate component to evaluate the effect of clustering, due to the storage time of the samples, which may have resulted in the degradation of fixed carbon, increasing the volatile content. The analysis of this component showed that average values observed for the grouped samples were within the range observed in the literature, which refers to the complete set of samples. Furthermore, the organic waste category presented the highest average ash content, of around 15%, indicating that the separation of this fraction would be desirable, if the quality of the waste as fuel is considered. It is worth noting that all fuel categories presented an average volatile content higher than 83%, with organic waste presenting the lowest concentration and textile waste the highest.

KEY WORDS: clustering, laboratory analysis, urban solid waste, immediate analysis.

INTRODUÇÃO

A coleta e o tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) vêm sendo objeto de pesquisas nos últimos anos, pois além de possuírem conteúdo passível de ser convertido em energia, são compostos por materiais heterogêneos, o que muitas vezes dificulta sua classificação e destinação para um tratamento apropriado. Para que os RSU tenham o tratamento adequado, é necessário conhecer as características e a quantidade de cada tipo de elemento que os compõem. No Brasil, a norma que dá indicações dos procedimentos a serem executados para caracterizar e classificar esses materiais é a ABNT NBR 10.007/2004, a qual aborda o tamanho das amostras apenas de forma superficial.

O estudo da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos é uma atividade obrigatória para todos os municípios, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010). Porém, para definir os sistemas de tratamento com recuperação energética, além da composição gravimétrica, é necessário conhecer as propriedades físicas e químicas dos materiais que compõem esses resíduos. Essas análises, além de morosas, podem ser insalubres e, para muitos municípios, economicamente inviáveis. Quando são necessárias análises laboratoriais; como para a determinação do poder calorífico, composição elementar e composição imediata; os custos são ainda maiores, dada a necessidade de insumos e mão de obra qualificada, além do grande número de amostras a serem analisadas.

Nesse contexto, e com o objetivo de diminuir essas lacunas, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos, como os trabalhos de Drudi 2017 e Drudi et al 2019, onde foi proposto um planejamento amostral para coletar amostras que fossem estatisticamente representativas do município de Santo André e, posteriormente, levadas ao laboratório para que fossem realizadas análises termofísicas. De acordo com Drudi et al. (2019), foram coletadas amostras de 36 subsetores do município de Santo André. Considerando-se que foram analisadas 5 diferentes categorias combustíveis de cada subsetor, tem-se um total de 180 amostras para análise em triplicata, totalizando um mínimo de 540 análises para cada propriedade a ser avaliada.

O município de Santo André é dividido em 15 setores, os quais são compostos por mais de um bairro. Para facilitar a logística de coleta, os setores são divididos em 56 subsetores. Essa divisão é feita com base nas características geográficas e demográficas da região. A Figura 1 apresenta a divisão dos 15 setores de coleta do município de Santo André (Drudi 2017, Drudi et al. 2019):

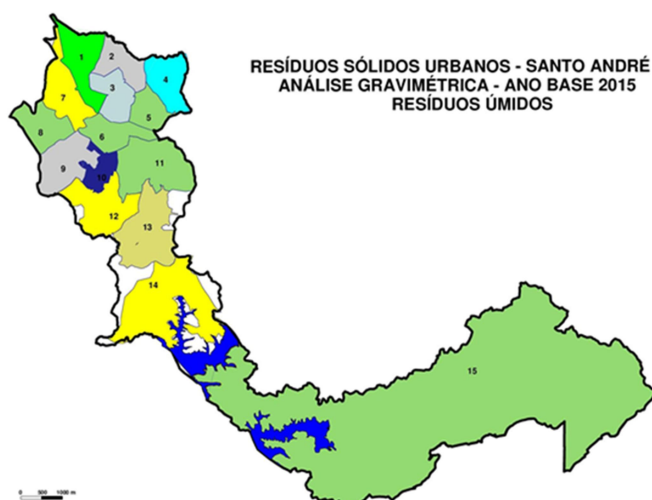


Figura 1- Mapa de subsetores de Santo André (Fonte: DRUDI, 2017)

Uma alternativa para viabilizar e otimizar as análises laboratoriais para a caracterização de resíduos sólidos urbanos é a redução do número de amostras, o que pode ser realizado por seu agrupamento em regiões com características semelhantes, considerando-se os dados da composição gravimétrica.

Tarefas de agrupamento de dados são conhecidas na área da Inteligência Artificial (IA) como *clusterização*, que consiste em uma técnica de aprendizado não supervisionado que visa agrupar dados semelhantes em *clusters*, nos quais a similaridade intragrupo é maximizada ao mesmo tempo em que a similaridade intergrupos é minimizada (Assef et al. 2022, Lail et al. 2022, Irfan et al.,2021). Existem várias técnicas de *clusterização*, cada uma com suas próprias vantagens e desvantagens.

Uma das técnicas mais eficientes é a *clusterização* baseada em centroides. Nesta técnica, os dados são agrupados ao redor de centroides que representam o centro do cluster. O algoritmo atribui cada dado ao centroide mais próximo e, em seguida, recalcula os centroides com base nos dados atribuídos a cada um. Esse processo é repetido até que os centroides não sejam mais alterados (Guevara-Viejó 2021).

O k-Means é um algoritmo de *clusterização* baseado em centroides, que visa dividir um conjunto de dados em k clusters (em que k é um número pré-especificado), de modo que cada ponto pertença a um e somente um *cluster*. A ideia é que os dados dentro de um *cluster* sejam semelhantes entre si, enquanto os dados de diferentes *clusters* sejam o mais distintos possível (Assef et al. 2022, Lail et al. 2022, Irfan et al.,2021, Guevara-Viejó 2021, Resti et al. 2022). Essa técnica possui como vantagens a fácil implementação e funciona rapidamente para conjuntos de dados de grande escala, mas tem como desvantagem o fato de que o resultado pode ser sensível à escolha da posição inicial dos centroides.

Dessa forma, considerando-se o panorama da grande quantidade de amostras e análises necessárias para a determinação experimental de propriedades físicas e químicas dos resíduos sólidos urbanos de um dado município, de forma estatisticamente representativa, e a possibilidade de agrupar estas amostras através da *clusterização*, neste trabalho foram analisados os resultados da composição imediata de amostras agrupadas de resíduos sólidos urbanos, para as quais foram analisados os efeitos e diferenças em relação aos resultados dos valores médios obtidos para o conjunto completo das mesmas amostras.

OBJETIVOS

Avaliar o efeito da *clusterização* de amostras de frações combustíveis de resíduos sólidos urbanos do município de Santo André sobre o resultado médio da sua composição imediata.

MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo, foram utilizadas amostras das frações combustíveis dos resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta indiferenciada do município de Santo André. As amostras e os dados utilizados são provenientes de estudos anteriores, conduzidos por integrantes do grupo de pesquisa responsável pelo projeto. Dessa forma, a amostragem, assim como a coleta e o preparo das amostras (secagem, trituração, armazenagem e identificação) foram previamente realizadas e os procedimentos estão descritos nos estudos de Gutierrez Gomes (2016) e Drudi et al. (2019).

As amostras resultaram de estudos de composição gravimétrica, nos quais foram realizadas amostragens estatisticamente representativas de 36 setores de coleta, seguidas da separação em 7 grandes categorias: fração orgânica, orgânico-sanitários, plásticos, papel e papelão, têxteis, inertes e outros, das quais as cinco primeiras são considerados como categorias combustíveis.

Foram realizadas análises experimentais para determinação da composição imediata dos RSU das amostras compostas (denominadas *clusters*), elaboradas a partir do agrupamento das amostras individuais das frações combustíveis. Foram

compostos 7 *clusters*, determinados a partir dos dados dos 36 setores amostrados (Drudi, 2017). A quantidade de amostras a serem utilizadas para cada composição foi estabelecida a partir de metodologia definida por Drudi (2019), consistindo no cenário mínimo de análises para que se tenha representatividade estatística com um nível de confiança de 90% e erro de 10%. Os resultados foram comparados com os dados de Gutierrez Gomes (2016), que correspondem ao valor médio encontrado para a análise individual dos 36 setores

As amostras das frações combustíveis de RSU do município de Santo André foram analisadas no Laboratório de Análise e Caracterização de Combustíveis da UFABC, em triplicata, segundo as propriedades físicas e químicas descritas no Quadro 1, seguindo as normas descritas no mesmo quadro:

Quadro 1. Parâmetros e metodologias específicas para análises laboratoriais

Fonte: EPA, 1997; ASTM, 1996

PROPRIEDADE	NORMA
Umidade	Standard Methods EPA 2540G (EPA, 1997)
Composição Imediata	ASTM E 897-88 - Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel ASTM E 830-87 (1996) Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados parciais médios, máximo e mínimo da composição imediata das frações combustíveis dos *clusters* referentes às amostras dos RSU de Santo André, em comparação aos resultados médios do município de Santo André, relatados por Gutierrez Gomes (2016)

Tabela 1. Composição imediata das amostras *clusterizadas* das frações combustíveis dos RSU do município de Santo André em comparação aos dados de literatura (% mássico, bs). Fonte: Autoras; Gutierrez-Gomes (2016)

Fração	Médio			Mínimo			Máximo			Literatura ^(a)			
	A	V	CF	A	V	CF	A	V	CF	A	V	CF	
O	M	15,00	83,01	1,98	5,38	94,10	0,50	23,00	94,10	1,30	22,48	61,14	16,38
	DP	6,69	7,29	0,98	1,82	1,85	0,04	5,10	4,83	0,30	11,56	8,71	5,64
	CV	44,6	8,8	49,8	0,34	0,02	0,08	0,22	0,06	0,23	51,42	14,25	34,43
S	M	4,94	93,02	2,03	3,53	94,95	1,52	6,39	91,42	2,18	6,85	77,07	16,08
	DP	1,08	1,60	0,71	0,39	0,29	0,56	0,69	0,99	0,33	2,07	3,4	2,93
	CV	21,9	1,7	35,2	11	0,00	37	0,11	0,01	0,15	30,22	4,41	18,22
P	M	6,33	92,61	1,04	3,52	94,94	1,52	8,15	95,60	0,98	6,67	89,33	3,88
	DP	2,79	2,83	0,56	0,38	0,29	0,56	0,51	2,65	0,34	3,16	4,41	2,1
	CV	44,0	3,1	54,0	0,11	0,00	0,37	0,06	0,00	0,35	47,38	4,94	54,12
PP	M	10,25	88,01	1,70	9,07	89,70	0,76	12,21	84,91	2,90	10,13	73,9	15,97
	DP	1,13	1,77	0,86	0,27	0,92	0,49	1,88	1,75	0,15	2,88	3,21	1,49
	CV	11,0	2,0	50,7	3	1	64	0,15	0,02	0,05	28,43	4,34	9,33
T	M	5,21	92,42	1,05	1,45	98,39	0,16	17,80	98,38	2,00	6,09	83,47	10,44
	DP	5,74	6,70	0,87	0,29	0,20	0,09	5,09	6,29	0,31	5,33	5,7	4,27
	CV	110,2	7,3	83,1	20	0	56	0,29	0,06	0,16	87,52	6,83	40,90

Legenda: (a) Resultado médio dos dados obtidos da análise experimental completa do conjunto de 36 amostras, disponíveis em Gutierrez Gomes (2016). O = Orgânicos; S = sanitários; P = Plásticos; PP = Papel/Papelão; T = Têxteis; A = cinzas; V = voláteis; CF = carbono fixo; M = média; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação

As cinzas se constituem como materiais inorgânicos não combustíveis. Em teor elevado, reduzem o poder calorífico dos RSU e comprometem as superfícies de troca térmica das caldeiras, dependendo da tecnologia adotada na sua construção. Um combustível com iguais ou superiores à faixa de 25% a 30% de cinzas pode inviabilizar a operação, em termos econômicos, dado que são necessários maiores investimentos para tratar das incrustações (Rand et al. 2000). Para a categoria de orgânicos, o teor de cinzas encontrado na literatura, para o município de Santo André, foi de 22,48%, o qual pode ser atribuído à maior presença de inertes nesta categoria. Na análise das amostras agrupadas, o valor médio observado foi de $(15 \pm 6,69) \%$, com 44% de coeficiente de variação. Considerando-se os desvios padrão, que refletem a heterogeneidade das amostras, os valores observados estão dentro da faixa encontrada no trabalho de Gutierrez Gomes (2016).

Para a categoria de plásticos, o teor de cinzas médio encontrado para as amostras agrupadas foi de $(6,33 \pm 2,79) \%$, muito próximo dos $(6,85 \pm 3,16) \%$ observados por Gutierrez Gomes (2016). O baixo teor de cinzas observado indica uma baixa contaminação do material, que pode ser justificada pela presença de coleta seletiva em 100% do município. O alto teor de voláteis observado nessa categoria, acima de 90%, em média, indica a sua inflamabilidade.

Para os materiais sanitários, também se observou um baixo teor de cinzas, na faixa de $(4,40 \pm 1,08) \%$. Considerando-se os desvios, está dentro da faixa dos valores observados na literatura, de $(6,85 \pm 2,07) \%$. Assim como os plásticos, os voláteis superaram os 90%, indicando alta inflamabilidade.

A categoria de têxteis apresentou um teor de cinzas médio de 5,21%, com coeficiente de variação de 110%. Quando comparado aos valores da literatura, observa-se que os níveis encontrados são da mesma ordem de grandeza. Essa alta variação indica que o material é de composição bastante heterogênea.

De uma maneira geral, as categorias combustíveis que compõem os resíduos possuem um maior teor de voláteis, sendo que os orgânicos apresentaram o menor valor médio de $(83,01 \pm 2,29) \%$, superior aos $(61,14 \pm 8,71) \%$ observados por Gutierrez Gomes (2016). Essa variação na composição de voláteis dos orgânicos pode indicar a decomposição do carbono fixo, em função do período de armazenamento das amostras. Uma variação similar foi observada nas frações de sanitários e papel/papelão, que também são compostas por material biodegradável. Nesse sentido, as cinzas são o componente mais adequado para avaliar o efeito do agrupamento das amostras, para as condições deste trabalho.

Para analisar descritivamente o efeito dos argumentos, foram elaborados *boxplots*. A Figura 2 apresenta os *boxplot* das cinzas dos clusters das categorias combustíveis do município de Santo André:

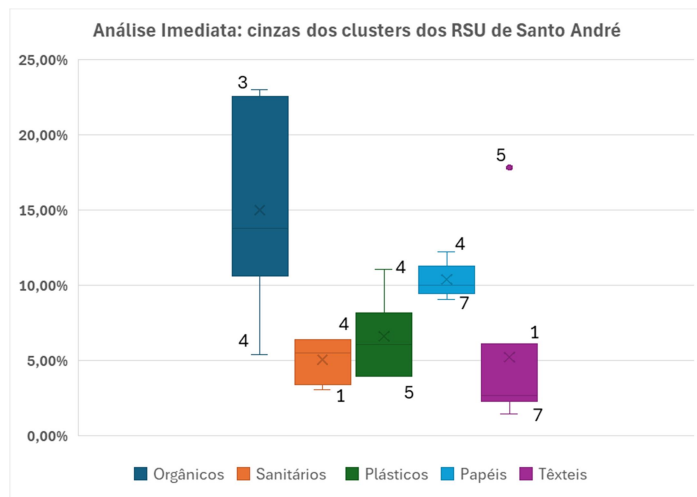


Figura 2: Boxplot dos dados da análise imediata de cinzas dos clusters das categorias combustíveis dos resíduos do município de Santo André. Fonte: Autoras

Conforme mencionado anteriormente, a análise imediata é composta pela análise de cinzas, sólidos voláteis e carbono fixo. Em relação aos resíduos orgânicos, o maior valor identificado do teor de cinzas foi para o cluster nº 3 (23,00%) considerado um *outlier*, enquanto o menor foi para o cluster nº 4 (5,39%).

Em relação à categoria dos sanitários, a maior quantidade de cinzas foi identificada no cluster nº 4 (6,40 %). A menor quantidade de cinzas foi detectada no cluster nº 1 (3,08%). Para os plásticos o maior valor identificado foi 11,05% para o cluster nº 4, enquanto o menor valor encontrado foi no cluster nº 5 (3,96%).

Os valores extremos de cinzas dos papéis foram identificados nos clusters nº 4 (12,21%) e nº 7 (9,08%). Esta categoria foi a que apresentou a menor amplitude de valores. Para a categoria dos têxteis, a região representada pelo cluster nº 5 apresentou o maior valor de cinzas, 17,80%, sendo considerado um *outlier* para a categoria, enquanto o cluster nº 7 apresentou 1,46%, o menor valor.

A Figura 3 apresenta o *boxplot* da análise dos sólidos voláteis dos resíduos de Santo André. A categoria dos têxteis apresentou a maior quantidade de voláteis com 98,38 % (cluster nº 7). O valor mínimo identificado para esta mesma categoria foi no cluster nº 5 (80,16%) que foi considerado um *outlier*. Na sequência, a categoria com maior teor de voláteis foi a dos plásticos que, para o cluster nº 7 apresentou 95,60% e para o nº 4, 88,22%. Esta categoria apresentou baixa amplitude, pois os valores descritivos foram muito próximos, sendo a mediana de 91,42% e a média, 92,61%.

Os papéis apresentaram como extremos os clusters nº 3 (89,95%) e nº 4 (84,92%). Para os sanitários, a menor quantidade de voláteis foi observada no cluster nº 1 (73,50%), considerado um *outlier*, e a maior, no nº 6 (94,95%). Para a categoria dos orgânicos, o maior valor (94,10%) correspondeu ao cluster nº 4 e o menor (74,59%), ao nº 6.

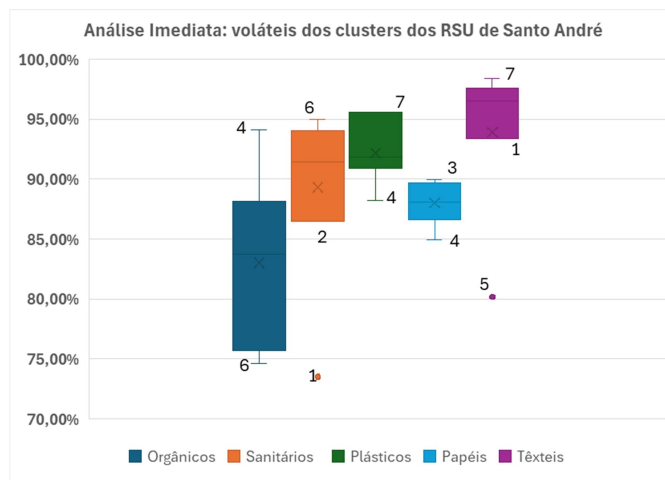


Figura 3: Boxplot dos dados da análise imediata de cinzas dos clusters das categorias combustíveis dos resíduos do município de Santo André. Fonte: Autoras

A Figura 4 mostra o boxplot dos valores de carbono fixo também das 5 categorias combustíveis dos resíduos de Santo André. Para a categoria de sanitários, os que apresentaram a maior quantidade de carbono fixo, foi o cluster n° 1 (valor *outlier*), onde foram identificados 23,42% deste material, enquanto no cluster n° 7 foram identificados 1,39% (menor quantidade).

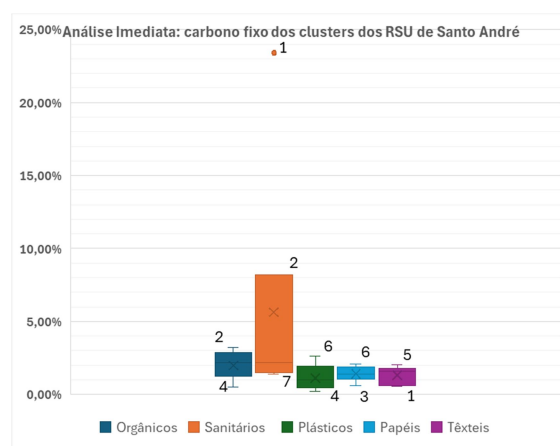


Figura 4: Boxplot dos dados da análise imediata do carbono fixo dos clusters das categorias combustíveis dos resíduos do município de Santo André. Fonte: Autoras

O *cluster* n° 4 apresentou 2 dos 5 valores mínimos para esta análise, sendo na categoria dos orgânicos (0,51%), para os plásticos (0,19 %). No *cluster* n° 6 foram identificados 2 valores extremos para o carbono fixo (desconsiderando o valor *outlier* encontrado na categoria dos sanitários para o *cluster* 1), sendo limites superiores: categoria de plásticos (2,61%) e na categoria dos papéis (2,10%). O limite inferior foi identificado na categoria dos plásticos (0,19%).

CONCLUSÕES

- As cinzas se mostraram como o componente mais adequado para avaliar o efeito da *clusterização*, em função do tempo de armazenamento das amostras. A análise desse componente mostrou que os valores médios observados para as amostras agrupadas se encontraram dentro da faixa observada na literatura, que se refere ao conjunto completo de amostras
- A categoria de orgânicos apresentou o maior teor médio de cinzas, na ordem de 15%, indicando a sua separação dessa fração seria desejável, se considerada a qualidade dos resíduos como combustíveis.
- Todas as categorias combustíveis apresentaram teor médio de voláteis superior a 83%, sendo que os orgânicos apresentaram a menor concentração e os têxteis, a maior.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal do ABC, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil e da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp).
Processo nº 2020/12269-8.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004. Resíduos Sólidos: Classificação – NBR 10.004/2004.
2. ASSEF F. M., STEINER M. T. A., LIMA E. P. (2022). A review of clustering techniques for waste management. *Heliyon*. Jan 19;8(1):e08784. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e08784. PMID: 35118205; PMCID: PMC8792088.
3. ASTM, American Society for Testing and Materials. E 897: Standard test method for volatile matter in the analysis sample of refuse-derived fuel. West Conshohocken, United States of America: ASTM, 1988 (1998).
4. ASTM, American Society for Testing and Materials. E 830: Standard test method for ash in the analysis sample of refuse-derived fuel. West Conshohocken, United States of America: ASTM, 1987 (2004).
5. BRASIL (2010) Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF.
6. DRUDI, K. C. R. Modelo de predição de poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos a partir de sua composição gravimétrica. Tese (Doutorado em Energia) -. Universidade Federal do ABC –(UFABC), Santo André, 2017.
7. DRUDI KCR, DRUDI R, MARTINS G, ANTONIO GC, LEITE JTC. Statistical model for heating value of municipal solid waste in Brazil based on gravimetric composition. *Waste Management*. 2019 Mar 15;87:782-790. doi: 10.1016/j.wasman.2019.03.012. Epub 2019 Mar 15. PMID: 31109582.
8. EPA – Standard Methods EPA 2540 B, Total Solids Dried at 103 – 105°C - Approved by SM Committee: 1997.
9. EPA – **Standard Methods EPA 2540 G, Total, Fixed, and Volatile Solids in Solid and Semisolid Samples** - Approved by SM Committee: 1997
10. GUEVARA-VIEJÓ F., VALENZUELA-COBOS J. D., VICENTE-GALINDO P., GALINDO-VILLARDÓN P. (2021). Application of K-Means Clustering Algorithm to Commercial Parameters of *Pleurotus* spp. Cultivated on Representative Agricultural Wastes from Province of Guayas *Journal of Fungi*. 10.3390/jof7070537
11. GUTIERREZ GOMEZ, A.C. Caracterização da fração combustível de resíduos sólidos urbanos úmidos do município de Santo André visando seu aproveitamento energético por processos termoquímicos. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Energia). Universidade Federal do ABC, Santo André, 2016. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, 17 de março de 2005**. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências.
12. IRFAM, M; WARSITO, B; SURYONO, S, W, B; SOEPROBOWATI, T, R; TRIADI PUTRANTO, T. Waste Banks Management Information System Using K-Means Cluster Approach Based on Geographic Information System. *Web of Conferences* 317, 05019, 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf>.
13. LAILI, N; INDRASTI, N, S; WAHYUDI, D. **Design of sustainable coffee processing wastewater treatment system using K-means clustering algorithm**. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2022. doi:10.1088/1755-1315/1063/1/012032.
14. RAND, T.; HAUKOLHL, J.; MARXEN, U. Municipal Solid Waste Incineration. Requirements for a successful project. Washington, D.C. The World Bank, 2000. 105 p.
15. RESTI Y., BURLIAN F., Yani I., ROSILIANI D. (2020). Analysis of a cans waste classification system based on the CMYK color model using different metric distances on the kmeans method. *Journal of Physics: Conference Series*. doi:10.1088/1742-6596/1500/1/012010.