

Setorização de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares por técnicas multivariadas: estudo de caso da cidade do Recife, Brasil

Sectorization of solid household waste collection routes by multivariate techniques: a case study of the city of Recife, Brazil

Rodrigo Cândido Passos da Silva^{1*} , Amanda Rodrigues Santos Costa¹ , Soraya Giovanetti El-Deir² , José Fernando Thomé Jucá¹ 

RESUMO

Buscar soluções para a problemática dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) é um dos desafios enfrentados pelos gestores municipais. Diante do cenário ascendente de geração desses materiais, principalmente nos centros urbanos, a implantação de um modelo integrado e adequado à realidade da municipalidade torna-se imprescindível. Nesse sentido, a setorização de rotas de coleta a partir da utilização de técnicas multivariadas pode auxiliar o gestor na proposição de modelos setoriais de resíduos sólidos que contemplem as particularidades socioeconômicas das áreas estudadas. Desse modo, o presente artigo utiliza as técnicas multivariadas de análise de componentes principais, para avaliar a correlação entre população, renda, geração e composição gravimétrica dos resíduos, elencando, entre esses indicadores, os mais representativos; e a análise de agrupamento hierárquico, para setorizar 31 rotas de coleta em *clusters* por similaridade. Verificou-se que a população, a renda domiciliar e *per capita*, a geração de resíduos *per capita* e os resíduos recicláveis, alimentares e putrescíveis foram bem representados no estudo. A renda e a geração *per capita* apresentaram forte correlação positiva. A setorização das rotas gerou dois grupos: A e B, que resultaram em cinco subgrupos por similaridade: A1, A2, B1, B2 e B3. Os subgrupos A1 e A2 contemplaram os setores de classe baixa, ao passo que os *clusters* B1, B2 e B3 compreenderam os setores de classe alta, média e comercial, respectivamente. A setorização de rotas mediante o grau de similaridade apresenta-se como etapa basilar para a proposição de modelos setoriais de RSD que busquem o entendimento das particularidades elencadas.

Palavras-chave: gestão de resíduos sólidos; setores de coleta; indicadores gerenciais; análise de componente principal; análise de agrupamento hierárquico.

ABSTRACT

Finding solutions to the problem of household solid waste (HSW) is one of the challenges faced by municipal managers. In view of the upward scenario of generation of these materials, especially in urban centers, the implementation of an integrated model and adequate to the reality of society is essential. In this sense, the sectorization of collection routes from the use of multivariate techniques can assist the manager in proposing solid waste sector models that take into account the socioeconomic particularities of the studied areas. In this way, the present article uses the multivariate techniques of Analysis of Principal Components to evaluate the correlation of population, income, generation, and gravimetric composition of the residues, listing among these most representative indicators; and the Hierarchical Grouping Analysis to segment 31 collection routes into clusters by similarity. Population, household and per capita income, per capita waste production and recyclable, food and putrescible residues were well represented in the study. Income and per capita production showed a strong positive correlation. The segmentation of the routes generated two groups: A and B, which resulted in five subgroups by similarity: A1, A2, B1, B2, and B3. The A1 and A2 subgroups comprised the lower class sectors, while the B1, B2, and B3 clusters comprised the upper, middle, and commercial sectors, respectively. The sectorization of routes through the degree of similarity presents itself as the basic step for the proposition of HSW sectorial models that seek to understand the particularities listed.

Keywords: solid waste management; collection sectors; management indicators; principal component analysis; hierarchical grouping analysis.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a aceleração do crescimento populacional, principalmente nos centros urbanos, aliada à ascensão da renda da população e

ao aumento de produção e consumo vigentes, tem provocado elevados índices de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Esse aumento substancial torna-se um entrave para os gestores municipais no tocante

¹Universidade Federal de Pernambuco - Recife (PE), Brasil.

²Universidade Federal Rural de Pernambuco - Recife (PE), Brasil.

*Autor correspondente: rcpassos13@gmail.com

Recebido: 21/05/2018 - Aceito: 22/08/2019 - Reg. ABES: 200205

à oferta dos serviços de coleta, transporte e disposição final desses materiais. A baixa efetividade desse serviço acarreta danos visuais à cidade, agravando o problema de poluição ambiental, bem como compromete a qualidade de vida dos moradores urbanos. De acordo com o SNIS (2017), publicado em 2019, a quantidade de resíduos sólidos domiciliares e públicos coletados no Brasil em 2017 foi de 60,6 milhões de t. Esse valor foi acrescido em 2,89%, quando comparado com o ano de 2016. Em Recife, esse quantitativo foi de aproximadamente 825,4 mil t em 2017 (SNIS, 2017). Essa problemática exige soluções, haja vista que interfere nas dimensões econômica, ambiental, social e de saúde pública, além de prejudicar o desenvolvimento urbano sustentável do país.

Nesse sentido, pesquisas voltadas para essa temática têm atraído a atenção de pesquisadores nos últimos anos. De acordo com Purcell e Magette (2009), a inserção de técnicas estatísticas tem se mostrado relevante para auxiliar a municipalidade no planejamento e na gestão dos resíduos sólidos. As técnicas multivariadas se destacam por possibilitar a análise simultânea de vários indicadores e apontar possíveis estratégias gerenciais para os gestores públicos. Vários trabalhos foram publicados nessa perspectiva. Bari, Mata e Wanderley (2014) utilizaram a análise fatorial para determinar o grau de adequação do gerenciamento dos RSU em 27 estados do Brasil. Lenz *et al.* (2016) usaram modelos de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) para monitorar o lixiviado de aterros sanitários. Chu *et al.* (2016) empregaram a regressão múltipla para desenvolver um modelo estatístico que apontava as variáveis de influência na geração de RSU da China. Sel *et al.* (2016) utilizaram a regressão linear múltipla (MLR) para gerar um modelo de previsão do potencial bioquímico de metano (BMP) com base na composição dos resíduos dispostos no aterro de Istanbul, na Turquia. Já Chassaigne e Pinto (2014) usaram a regressão múltipla para elaborar um modelo de geração de resíduos sólidos domiciliares (RSD) para 175 municípios da Venezuela.

Além das técnicas de regressão, outras ferramentas multivariadas vêm sendo aplicadas para tal fim, assim como a análise de componentes principais (PCA) e a análise de agrupamento hierárquico (análise por *cluster*). Caribé (2015) utilizou a PCA para avaliar o comportamento geomecânico de uma célula experimental. Fudala-Ksiazek *et al.* (2016) empregaram a PCA para correlacionar características físico-químicas e microbiológicas do lixiviado gerado por um biodigestor. Ni, Liu e Zhang (2017) analisaram a interferência de indicadores químicos e espectroscópicos em lixiviados anaeróbicos com base na PCA. Schirmer *et al.* (2016) utilizaram a PCA para correlacionar o volume de biogás gerado com as características físico-químicas dos resíduos aterrados, ao passo que Costa (2017) utilizou a PCA e a análise por *cluster* para avaliar a inter-relação de indicadores de sustentabilidade nos setores de coleta de resíduos sólidos da cidade do Recife, Brasil. Rego *et al.* (2013) utilizaram a análise por *cluster* para agrupar alguns indicadores de saneamento ambiental, possibilitando a identificação de áreas

prioritárias para intervenções e alocação de recursos, já Sulkowski e White (2016) utilizaram a análise por *cluster* para agrupar 61 países por similaridade mediante indicadores de felicidade, desenvolvimento, renda e emissão de carbono. Agovino, Ferrara e Garofalo (2016) agruparam, por meio da análise por *cluster* combinada com a análise espacial exploratória (ESDA), 103 províncias italianas por similaridade, sendo que Lima *et al.* (2017) agruparam 116 países por similaridade com base em indicadores de competitividade e desenvolvimento sustentável. Tais informações ratificam que esse método está tendo usos diversos na busca por compreender a realidade de dados que apresentem grau de similaridade.

De forma a subsidiar a tomada de decisão da municipalidade e auxiliar na gestão dos RSD, o presente trabalho teve o objetivo de empregar técnicas multivariadas para setorizar rotas de coleta domiciliar em *cluster* por similaridade, com base em indicadores definidores de 31 rotas de coleta da cidade do Recife. Pretende-se que a setorização dessas rotas auxilie os gestores municipais na proposição de modelos gerenciais heterogêneos, com foco nas particularidades locais, conforme preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi realizado na cidade do Recife, por apresentar instrumento legal já elaborado, como a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), ancorada na Lei nº 14.236 (PERNAMBUCO, 2010), Plano de Gestão de Resíduos Sólidos em fase de elaboração e pela facilidade quanto ao acesso às informações. Recife é a capital do estado de Pernambuco, está localizada na Região Nordeste do Brasil (Figura 1), sendo a terceira maior metrópole regional. O município está situado a 7 m de altitude e posicionado nas coordenadas geográficas de 8°3'15" sul e 34°52'53" oeste. Com área de 218,435 km², está dividida em 6 regiões político-administrativas (RPAs), compreendendo 94 bairros. Tem população estimada de 1.625.583 habitantes, densidade demográfica de 7.441,95 hab.km⁻², produto interno bruto (PIB) *per capita* de R\$ 31.513,07 e índice de desenvolvimento urbano municipal (IDHM) de 0,772 para o ano de 2016 (IBGE, 2016).

A Secretaria de Infraestrutura e Serviços Urbanos é o órgão responsável pelo sistema de manutenção e limpeza urbana da cidade, sendo a incumbência gerencial atribuída à Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (Emlurb). Em 2013, foram coletadas 548.919,10 t de RSU, com valor *per capita* de 0,94 kg.hab⁻¹.dia⁻¹, sendo 72,9% correspondentes aos resíduos orgânicos, 22% a fração reciclável e 5,1% aos outros resíduos (SECID, 2015). A coleta de resíduos convencional é predominante na cidade, com taxa de cobertura em torno de 100%. No entanto, a coleta seletiva da fração seca reciclável é limitada, correspondendo a 0,5% da

coleta domiciliar no ano de 2016, além de não existir coleta diferenciada para os resíduos orgânicos domiciliares. A Central de Tratamento de Resíduos (CTR Candeias) é o principal local de destinação final, dada a coleta convencional de RSD do município.

O estudo procedeu mediante a definição de rotas de coleta de RSD presentes no mapa fornecido pela Vital Engenharia S/A, concessionária detentora de 70% da coleta convencional domiciliar da cidade, correspondendo à prestação do serviço em 81 bairros do município. As rotas ou setores de coleta são microáreas que compreendem bairros, de forma parcial ou total, pelos quais passam caminhões coletores que realizam a coleta e limpeza urbana.

As rotas foram selecionadas por meio de uma amostragem estratificada, com base nos seguintes critérios: bairros inseridos na rota, concentração populacional, densidade demográfica, número de domicílios, nível econômico, geração e composição dos resíduos, presença de estabelecimentos comerciais e/ou domiciliares (Tabela 1). Sendo assim,

foram selecionadas 31 rotas, correspondendo a aproximadamente 30% da população. Esses dados são oriundos de consultoria prestada pelo grupo de resíduos sólidos (GRS), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), à Vital Engenharia, nos meses de dezembro/2013 a março/2014.

As informações relativas a bairros inseridos nas rotas de coleta, população, densidade demográfica, número de domicílios e renda total e *per capita* foram obtidas em Jucá *et al.* (2014), com base nos dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Os resultados alusivos à renda média domiciliar foram analisados e agrupados em classes econômicas, por meio da Tabela de Classificação Social da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República do Brasil (Tabela 2) (Brasil, 2012). Os dados de geração média e *per capita* de resíduos nas rotas, referentes ao ano de 2013, foram fornecidos pela Vital Engenharia. A geração de resíduos correspondeu à quantidade média mensal de RSD coletado pelo sistema de coleta convencional, o qual foi integralmente destinado ao Aterro

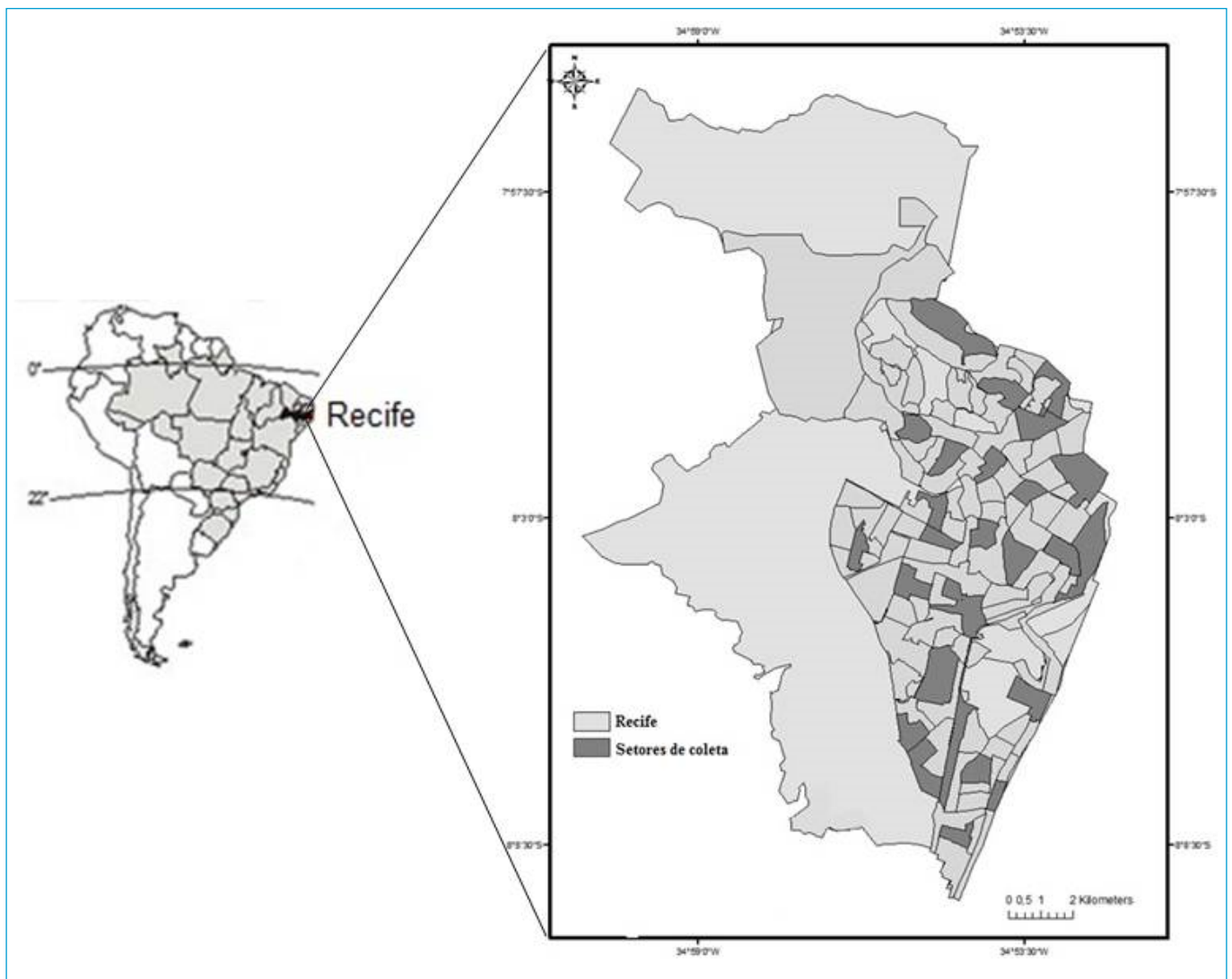


Figura 1 - Localização geográfica do Recife e identificação das 31 rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares.

Tabela 1 - Características das 31 rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares selecionados para o estudo.

Rotas	Bairros inseridos	POP	DD	ND	RMD	RMPC	CE	GR	GRPC	P	PL	M	V	RE	PU	CA
1-04	Casa Amarela e Monteiro	13.770	207,13	4.222	979	300,15	B	206,76	0,50	24,09	21,01	4,97	0,83	50,90	21,74	Re C
1-16	Casa Forte, Parnamirim e Casa Amarela	10.613	168,46	3.559	6.066	2.034,18	A	230,01	0,72	24,09	30,77	1,55	1,37	57,78	24,98	R
1-22	Arruda e Água Fria	15.852	159,86	4.786	1.092	329,59	B	205,70	0,43	12,49	24,68	0,72	0,64	38,53	39,40	Re C
1-30	Camp. do Barreto, Peixinhos e Água Fria	15.726	183,93	4.623	1.007	295,91	B	181,64	0,39	12,95	19,14	1,04	1,89	35,02	44,18	Re C
1-38	Prado, Zumbi, Madalena e Cordeiro	10.904	222,94	3.445	1.538	485,99	M	184,42	0,56	10,84	22,11	1,06	1,55	35,55	38,65	R
2-14	San Martin, Mustardinha e Bongí	16.776	203,59	5.036	1.375	412,74	M	259,66	0,52	15,96	23,54	1,20	1,66	42,37	34,51	R
2-34	Imbiribeira, Jiquiá, Afogados e Areias	18.593	111,94	5.608	1.540	464,35	M	225,52	0,40	20,46	20,25	1,88	2,88	45,47	33,16	R
2-40	Ipsep	6.836	97,24	2.031	1.766	524,72	M	208,79	1,02	12,19	20,99	0,42	0,71	34,32	42,04	Re C
2-42	Ipsep	9.515	93,28	3.156	1.580	524,06	M	203,24	0,71	18,23	21,91	2,58	1,42	44,14	34,91	R
2-44	Afogados e Bongí	17.172	124,43	5.369	880	275,00	B	232,92	0,45	8,83	24,48	2,25	1,62	37,18	33,55	Re C
3-01	Santo Amaro e Campo Grande	24.997	149,68	7.165	752	215,62	B	258,76	0,35	11,22	17,01	1,22	2,39	31,84	46,72	Re C
3-05	Espinheiro, Afritos e Encruzilhada	10.402	205,41	3.688	4.466	1.583,45	A	259,35	0,83	14,34	14,59	1,79	3,13	33,85	41,20	Re C
3-09	Jaqueira, Tamarineira, Rosarinho e Graças	12.327	215,36	4.025	5.989	1.955,61	A	287,82	0,78	16,29	20,82	2,88	1,72	41,70	41,42	Re C
3-37	Cordeiro, Zumbi e Iputinga	11.954	195,87	3.683	1.051	323,88	B	269,32	0,75	11,50	24,87	2,39	0,51	39,27	34,91	R
3-45	Madalena, Graças e Derby	8.738	139,88	2.998	5.102	1.750,55	A	219,28	0,84	12,86	18,21	1,23	1,32	33,62	43,58	R
4-03	Pina e Boa Viagem	6.645	70,96	2.386	5.995	2.152,76	A	228,63	1,15	16,37	17,53	2,09	5,55	41,54	39,67	R
4-13	Boa Viagem	10.456	154,83	3.525	2.758	929,67	M	222,37	0,71	16,66	26,29	3,24	0,98	47,17	34,63	R
4-17	Boa Viagem e Imbiribeira	10.652	89,21	3.320	824	256,93	B	293,37	0,92	17,75	27,95	2,12	1,34	49,16	29,75	Re C
4-23	Boa Viagem	8.666	257,61	3.205	5.323	1.968,82	A	271,32	1,04	20,93	23,88	1,47	0,48	46,75	29,31	R
4-29	Boa Viagem	10.685	218,64	3.545	3.205	1.063,39	M	226,55	0,71	15,12	26,59	1,13	3,82	46,66	33,18	R
5-03	Boa Vista, Soledade e Ilha do Leite	9.635	93,91	3.695	2.533	971,45	M	441,73	1,53	20,72	16,39	2,82	2,67	42,60	32,72	C
5-09	Recife (Centro), St. Amaro e St. Antônio	5.135	28,58	1.916	1.775	662,32	M	261,21	1,70	16,79	20,02	1,09	1,17	39,07	47,34	C
5-11	Santo Amaro e Boa Vista	3.926	53,53	1.648	2.147	901,10	M	373,95	3,17	19,86	21,69	2,25	1,77	45,56	43,43	C
5-14	Torrões e Cordeiro	19.093	345,76	5.524	550	1.591,2	B	348,53	0,61	6,89	19,81	4,54	2,14	33,38	32,15	R
5-22V	Água Fria e Fundão	22.038	245,28	6.232	558	1.578,1	B	280,68	0,42	12,44	25,14	1,45	0,29	39,32	34,05	Re C
5-32V	Dois Unidos, Beberibe e Linha do Tiro	25.642	122,28	7.364	531	1.526,0	B	263,64	0,34	13,16	17,68	1,61	4,77	37,21	37,01	R
6-12	Nova Descoberta e Brejo da Guabiraba	28.706	214,87	8.399	523	1.529,3	B	295,07	0,34	12,45	19,57	2,25	1,13	35,40	42,82	Re C
6-20	Morro da Conceição, Vasco da Gama	28.154	206,26	8.211	581	1.694,3	B	339,12	0,40	10,77	20,80	1,90	1,58	35,04	38,89	R
6-24	Mangabeira e Alto José do Pinho	18.183	286,03	5.272	620	1.796,6	B	325,55	0,60	14,89	21,83	2,52	2,04	41,27	30,24	R
6-82	Pina, Imbiribeira e Cabanga	22.149	113,88	6.958	821	2.579,4	B	317,39	0,48	16,35	22,31	2,43	2,96	44,04	32,83	R
6-84	Brasília Teimosa e Pina	21.941	252,72	6.610	897	2.702,8	B	362,68	0,55	19,54	27,48	2,21	1,41	50,64	23,68	R

POP: população (hab.); DD: densidade demográfica (hab.ha⁻¹); ND: número de domicílios; RMD: renda média domiciliar (R\$,mês⁻¹); RMPC: renda média *per capita* (R\$,hab.⁻¹mês⁻¹); CE: classe econômica; A: alta; M: média; B: baixa; GR: geração de resíduos (t.mês⁻¹); GRPC: geração de resíduos *per capita* (kg.hab.⁻¹dia⁻¹); P: papel (%); PL: plástico (%); M: metal (%); V: vidro (%); RE: recicláveis (%); PU: putrescíveis (%); CA: características; R: residencial; C: comercial.

Sanitário CTR Candeias. A geração *per capita* (kg.hab.⁻¹.dia⁻¹) foi calculada pela Equação 1:

$$GR = \frac{GPRC}{POP} \quad (1)$$

Na qual:

GPRC = geração de resíduos *per capita* (kg.hab.⁻¹.dia⁻¹);

GR = geração média mensal de resíduos (kg.mês⁻¹);

POP = população estimada na rota para o ano de 2013, com base nos dados do Censo 2010 (IBGE, 2010).

A composição gravimétrica das 31 rotas de RSD ocorreu nas proximidades da área de descarte final da CTR Candeias durante os meses de novembro e dezembro de 2013, nos turnos da manhã e da tarde. A amostragem dos resíduos seguiu a técnica de quartejamento, com base na metodologia da NBR 10.007 (ABNT, 2004). Dessa forma, os resíduos (em torno de 12 t) foram descarregados em uma área pavimentada e protegida com lona com o auxílio de um caminhão compactador, tendo sido previamente homogêneos por uma retroescavadeira hidráulica, separados em quatro partes iguais com cerca de 2,0 t (primeiro quartejamento) e selecionados aleatoriamente em duas partes. Esse procedimento foi realizado novamente resultando em um montante final de aproximadamente 1,0 t. Em seguida, realizou-se uma amostragem de 110 a 115 kg de resíduos, os quais foram segregados, adicionados sem compactação em recipientes identificados e pesados com o auxílio de uma balança eletrônica digital (Marca Filizola/Modelo MF 100), com capacidade máxima de 100 kg e sensibilidade de 0,02 kg.

Como no Brasil não existe uma legislação específica que padronize a caracterização gravimétrica de RSD, foi utilizada a classificação da Norma Portuguesa, Portaria nº 851/2009 (DIÁRIO DA REPÚBLICA PORTUGUESA, 2009, p. 5144), que é a mesma adotada pela Comunidade Econômica Europeia (CEE). As diretrizes dessa Norma foram adaptadas

à realidade brasileira. Assim, os resíduos foram qualificados em putrescíveis (somatório dos resíduos alimentares, de jardim e madeira/coco), recicláveis (composto pelos plásticos filme e rígido, metal, vidro, papel/papelão, jornal/revista) e outros resíduos (soma dos componentes têxtil, sanitários, compósitos, borracha/couro, resíduos perigosos e rejeito), conforme adotado por Jucá *et al.* (2014). As informações relacionadas à predominância de estabelecimentos domiciliares e comerciais foram obtidas por meio de conhecimento prévio e visitas técnicas *in loco*.

Seleção de indicadores e tratamento estatístico dos dados

Recife é uma cidade de contrastes sociais, econômicos e ambientais aparentes, com perfis que versam desde áreas com características comerciais/empresariais a localidades fortemente verticalizadas ou com Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), nas quais a pobreza é extrema. Dessa forma, a pesquisa contemplou alguns indicadores socioeconômicos e ambientais que representassem essa pluralidade, como, por exemplo: população; renda domiciliar e *per capita*; geração total e *per capita* de RSD; e composição gravimétrica: resíduos putrescíveis (resíduos alimentares, de jardim e madeira/coco) e recicláveis (plásticos, papel/papelão, metal e vidro). Assim, foi utilizada uma matriz de dimensão 31 × 14 referente às rotas de coleta e aos indicadores elencados no estudo. Os dados foram previamente padronizados por log (x + 1), para que tivessem a mesma medida de escala, ficando graficamente mais bem representados, favorecendo a interpretabilidade das informações (FERRAZ, 2012; WANG *et al.*, 2013).

No intuito de entender a inter-relação das rotas de coleta com os indicadores, foram utilizadas duas técnicas de análise multivariada: a análise de componente principal (ACP) e a análise de agrupamento hierárquico (AAH), ou análise por *cluster*. A análise multivariada é uma técnica que utiliza, simultaneamente, todas as variáveis na interpretação teórica dos dados obtidos. Segundo Hair *et al.* (2010), é uma técnica de análise quantitativa exploratória e não confirmatória dos dados, pois o tratamento das amostras em estudo gera perguntas/hipóteses, e não respostas/confirmações.

Análise de componente principal

A ACP, denominada por Hotelling (1933) de *principal component analysis* (PCA), é uma técnica estatística que possibilita a análise multivariada de dados, sem perdas significativas de informações. A análise consiste na conversão de uma matriz original n × p em uma matriz sintética (em que n é o número de indivíduos e p representa o conjunto de variáveis); na determinação de autovalores e autovetores; e na obtenção de combinações lineares das variáveis originais, as quais são denominadas de componentes principais (CP). As CP têm dimensão equivalente à matriz original, independência estatística, indivíduos similares agrupados e eliminação das variáveis originais com pouca informação (BRO; SMILDE, 2014).

Tabela 2 - Classificação da classe social.

Classe social	Grupo	Renda <i>per capita</i> (R\$ 1,00)	Renda familiar - 4 pessoas (R\$ 1,00)
Baixa	Extremamente pobre	0 a 81	0 a 324
	Pobre, mas não extremamente pobre	82 a 162	325 a 648
	Vulnerável	163 a 291	649 a 1.164
	Baixa classe media	292 a 441	1.649 a 1.764
Média	Média classe media	442 a 641	1.765 a 2.564
	Alta classe media	642 a 1.019	2.565 a 4.076
Alta	Baixa classe alta Alta classe alta	1.020 a 2.480 Acima de 2.481	4.077 a 9.920 Acima de 9.921

Fonte: Brasil (2012).

Cada combinação linear maximiza a variabilidade dos dados deixados pela matriz anterior. Assim, a primeira componente (CP1) apresentará maior grau de explicabilidade dos dados da matriz original, e a segunda componente (CP2) explicará o máximo da variância restante da CP1. A CP pode ser determinada por meio do algoritmo de variância-covariância (Σ) ou de correlação (R) (SOARES *et al.*, 2017). No presente estudo, utilizou-se a matriz de correlação para avaliar a inter-relação dos indicadores e identificar os mais representativos no estudo, como realizado por Agovino, Parodi e Sánchez Barajas (2014). Esses indicadores foram selecionados e utilizados na análise por *cluster*. O círculo unitário foi método gráfico adotado para a análise de correlação, conforme utilizado por Jardim *et al.* (2014).

Análise de agrupamento hierárquico

A AAH, ou agrupamento por *cluster* (NEDER, 2008), foi utilizada para agrupar 31 rotas de coleta com base nos indicadores mais representativos. De acordo com Manly (2008), a análise por *cluster* (*cluster analysis*) é uma técnica estatística multivariada que permite ao pesquisador gerar grupos mutuamente exclusivos por uma métrica de qualidade, com base em critérios predeterminados, de modo que tenham características de alta similaridade (homogeneidade) interna e elevada dissimilaridade (heterogeneidade) externa. Assim, a partir de uma matriz com n amostras (setores) e p variáveis (indicadores), procura-se um esquema de classificação que agrupe os objetos semelhantes em g grupos e subgrupos.

De acordo com Agovino, Ferrara e Garofalo (2016), a análise por *cluster* tem três principais etapas: definição da medida de distância entre as unidades estatísticas; transformação da matriz (X) de dados ($n \times p$) em uma matriz de diferenças ou distâncias ($n \times n$) entre os n pares de observações, sendo p elementos do vetor; e adoção de um algoritmo para agrupar as unidades estatísticas em grupos por similaridade.

A escolha da métrica de dissimilaridade depende da natureza dos dados analisados. Como o presente artigo utilizou dados quantitativos, foram empregadas medidas de distância. Existem diferentes medidas de distância, como Manhattan, Mahalanobis. Contudo, nesta pesquisa foi adotada a distância euclidiana como coeficiente de medida para mensurar as ligações entre os grupos formados ao longo dos passos de agrupamento, assim como foi realizado por Bari, Rosa e Pinto (2013).

Após essa etapa, o segundo passo consistiu na seleção do algoritmo de classificação e nos critérios de agregação. Os algoritmos de agrupamento podem ser hierárquicos ou não hierárquicos. Segundo Tumminello, Lillo e Mantegna (2010), ao utilizar o algoritmo hierárquico são testadas todas as possibilidades de agrupamento e é avaliada a quantidade de grupos mais pertinentes para a pesquisa. No entanto, no agrupamento não hierárquico, também conhecido como K-Means (HENNIG, 2008), não se produz diretamente uma partição em um número fixo de classes. No presente artigo, optou-se pelo método hierárquico para que fossem gerados grupos de rotas por similaridade.

Os *clusters* por similaridade gerados foram representados graficamente por meio de um dendrograma na forma horizontal, também conhecido como fenograma ou gráfico de árvore. Este foi utilizado horizontalmente para representar os agrupamentos das rotas por ordem decrescente de semelhança no eixo das ordenadas (eixo y) e as distâncias entre os grupos e subgrupos formados no eixo das abscissas (eixo x).

O corte no dendrograma chamado de linha Fenon, que determina o número de grupos e subgrupos por similaridade gerados pela análise, seguiu o critério realizado por Jardim *et al.* (2014). Dessa forma, procedeu na região de maior salto do gráfico, ou seja, no ponto médio entre as maiores distâncias euclidianas dos grupos formados. A ACP e a AAH foram realizadas pelo programa Statistica versão 7.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de componentes principais dos indicadores

A CP1 e a CP2 explicaram 70,20% da variabilidade do conjunto de dados do modelo. Os indicadores população (POP), renda média domiciliar (RMD), renda média *per capita* (RMPC), geração de resíduos *per capita* (GRPC), resíduos recicláveis (RE), resíduos alimentares (RA) e resíduos putrescíveis (PU) foram bem representados no estudo, devido ao elevado peso dos autovalores (Figura 2). Ao passo que vidro (V), madeira/coco (MC) e geração de resíduos (GR) apresentaram dados com pouca informação, sendo excluídos da análise por *cluster*.

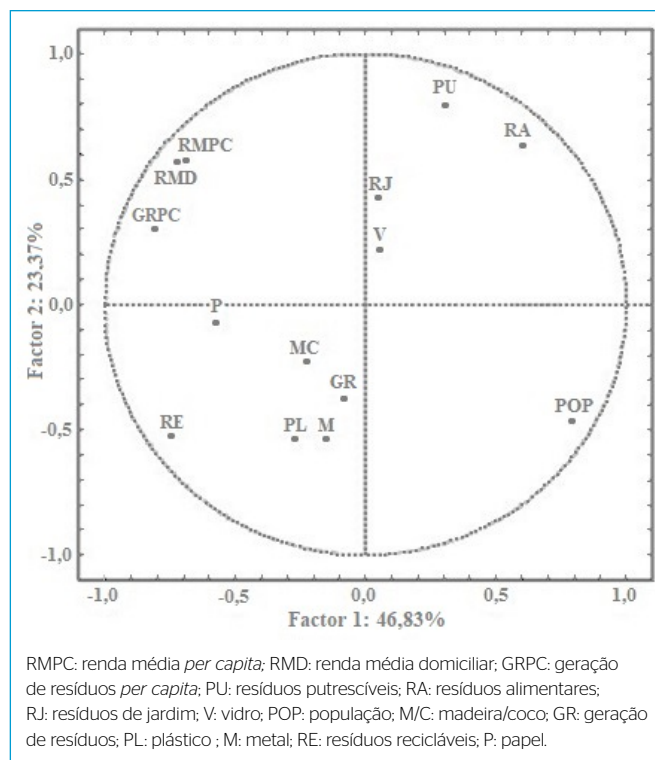


Figura 2 – Correlação dos 14 indicadores utilizados no estudo.

Os indicadores renda (domiciliar e *per capita*) e geração *per capita* de resíduos apresentaram forte correlação positiva. Essa lógica foi constatada nos estudos realizados por Afroz, Hanaki e Tudin (2011), na cidade Dhaka, Bangladesh; por Godecke, Naime e Figueiredo (2012) e por Campos (2012), em algumas capitais brasileiras; por Ogwueleka (2013), na Nigéria; por Jadoon, Batool e Chaudhry (2014), em Lahore, no Paquistão; por Buenrostro-Delgado *et al.* (2015), em Morélia, no México; por Medeiros, Paz e Morais Júnior (2015), na cidade de João Pessoa; por Cardoso (2016), no Distrito Federal; e por Chu *et al.* (2016), na China.

No entanto, pesquisas realizadas por Dahlén *et al.* (2009), em 35 municípios da Suécia; por Getahun *et al.* (2012), em Jimma, na Etiópia; por Monavari *et al.* (2012), no Irã; por Saladié (2016), na Catalunha, Espanha; e por Xu *et al.* (2016), na ilha de Xiamen na China, não encontraram correlação positiva significativa entre essas variáveis. Segundo Xu *et al.* (2016), ainda não foi alcançada uma visão consensual quanto à correlação positiva entre renda e geração de RSD, pois essa relação depende de outros fatores, como, por exemplo, o grau de urbanização da área estudada. Nessa perspectiva, nos estágios iniciais de urbanização, a ascensão da renda familiar estimularia o consumo e, por consequência, aumentaria a geração de RSD. Contudo, os efeitos positivos do nível de renda sobre o consumo diminuiriam gradualmente conforme o processo de urbanização. Assim, nos estágios avançados,

o aumento da renda implicaria redução da geração de RSD, devido à difusão da consciência ambiental da população. Isso foi observado pelos autores na Ilha de Xiamen, na China, em que constataram correlação não significativa da renda e geração de resíduos, em virtude dos estágios avançados de urbanização na área estudada.

A população das rotas selecionadas apresentou forte correlação negativa com a geração de resíduos *per capita* e com a renda. Assim, rotas de classe baixa e com elevada concentração populacional apresentaram baixos quantitativos de resíduos *per capita*. Essa lógica aplicou-se nas rotas de classe alta com baixa população, que apresentou elevada geração *per capita* de RSD. Notou-se que a relação renda e geração *per capita* com a composição gravimétrica dos RSD revelou dois eixos interpretativos:

- de independência — a tipologia dos resíduos não influencia fatores socioeconômicos, denominando-se como variáveis independentes;
- de dependência — a renda e a geração *per capita* dos RSD interferem na gravimetria dos resíduos sólidos gerados, inclusive em seus percentuais de recicláveis e putrescíveis.

Análise de agrupamento hierárquico das rotas

O dendrograma horizontal foi originado no salto de agrupamento 0,27, entre os passos 29 e 30 de distância euclidiana de 0,80 e 1,07 (Figura 3). A linha Fenon foi traçada na distância de 0,90, gerando

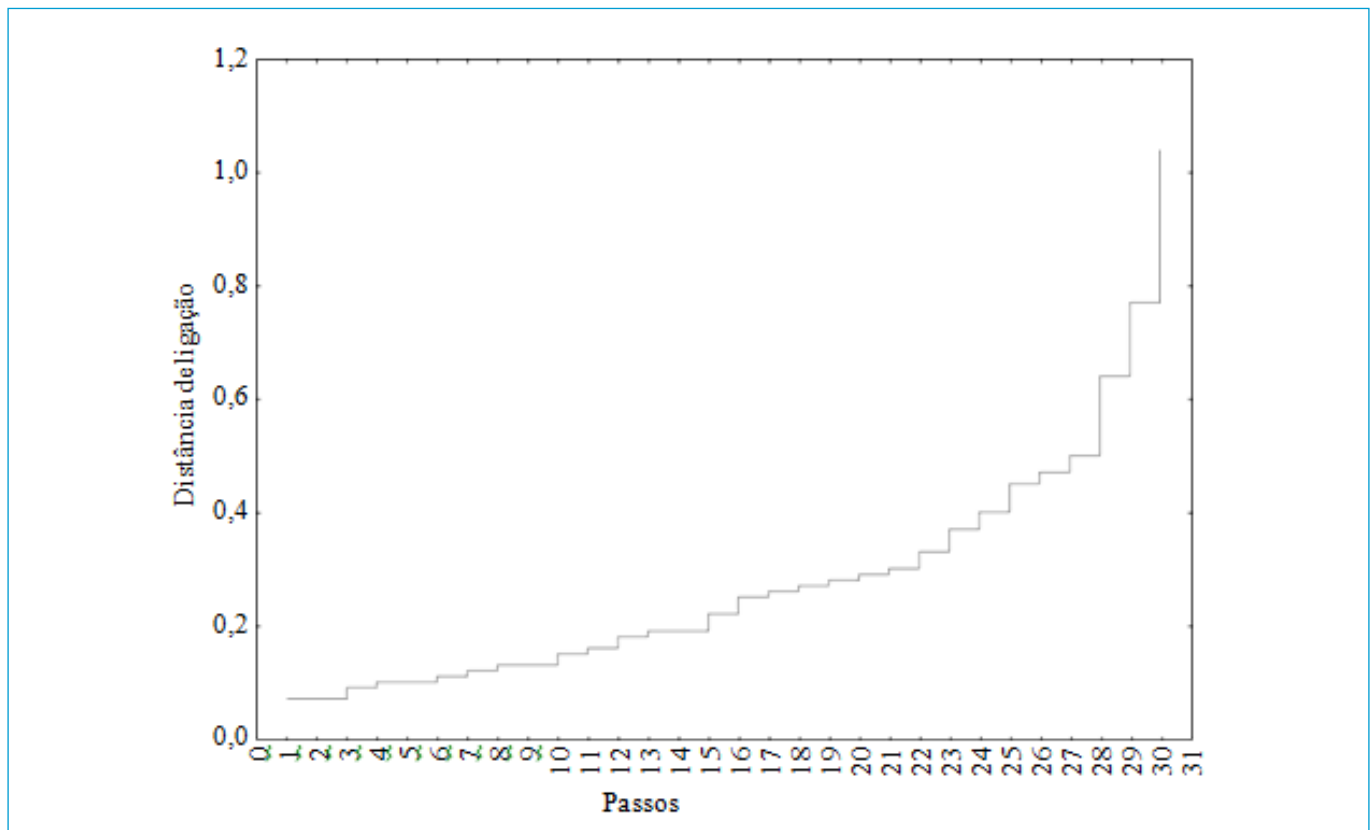


Figura 3 - Gráfico dos passos de agrupamentos e das distâncias euclidianas.

dois *clusters*. O primeiro (Grupo A) deu origem a dois subgrupos bem definidos: A1 e A2; e o segundo (Grupo B), a três subgrupos: B1, B2 e B3 (Figuras 4 e 5). O grupo A compreendeu 17 rotas e o B abrangeu 14.

O subgrupo A1 compreendeu as rotas 1-04, 1-22, 1-30, 2-44, 2-14, 2-34, 6-82, 6-84, 3-37 e 4-17, e caracterizou-se por abranger bairros predominantemente de classe baixa que tendem à classe média, com alta concentração populacional, forte característica residencial e presença marcante de comércio formal e informal. Apresentou geração *per capita* média de RSD de 0,54 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ e maiores percentuais de resíduos recicláveis (43,26%) diante dos putrescíveis (32,77%).

O subgrupo A2 contemplou as rotas 3-01, 5-22V, 5-32V, 6-12, 6-20, 5-14 e 6-24. Caracterizou-se como um *cluster* de classe social muito baixa, com renda média domiciliar em torno de R\$ 587,84 mês⁻¹, e por um adensamento urbano informal altamente concentrado, denominado de favelas ou comunidades, com moradias precárias e miséria extrema. As rotas desse subgrupo localizaram-se nas regiões norte e nordeste da cidade do Recife, apresentaram baixa geração *per capita* de RSD (0,44 kg.hab⁻¹.dia⁻¹) e percentuais bem equilibrados de resíduos putrescíveis (37,41%) e recicláveis (36,21%).

O subgrupo B1, formado pelas rotas 1-16, 3-05, 3-45, 3-09, 4-03 e 4-23, compreendeu os bairros de classe alta verticalizada do estudo,

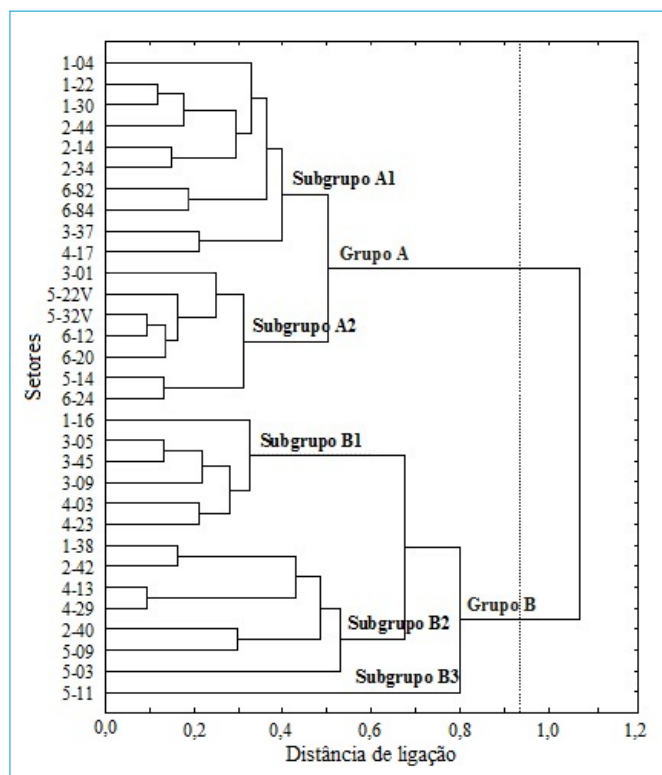


Figura 4 - Dendrograma dos *clusters* por similaridade das 31 rotas de coleta do Recife.

com renda *per capita* mensal superior a R\$ 1.900. Desse modo, caracterizou-se como um *cluster* de alto poder aquisitivo, por abranger áreas privilegiadas da cidade, com constante ascensão econômica e valorização imobiliária. O *cluster* apresentou geração *per capita* média de 0,89 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ e altos percentuais de resíduos potencialmente recicláveis (45%). Notou-se, além da coleta convencional, a presença de coleta seletiva porta a porta e de pontos de entrega voluntária (PEV) para os resíduos sólidos secos.

O subgrupo B2 compreendeu as rotas 1-38, 2-42, 4-13, 4-29, 2-40, 5-09 e 5-03, e caracterizou-se pela presença de bairros de classe média com baixa concentração populacional. O *cluster* compreendeu bairros com característica residencial e comercial com renda *per capita* mensal em torno de R\$ 740. Por contemplar áreas com forte atividade comercial, como os setores 5-03 e 5-09, o subgrupo apresentou geração *per capita* de RSD em torno de 1,00 kg.hab⁻¹.dia⁻¹, além de maiores percentuais de resíduos

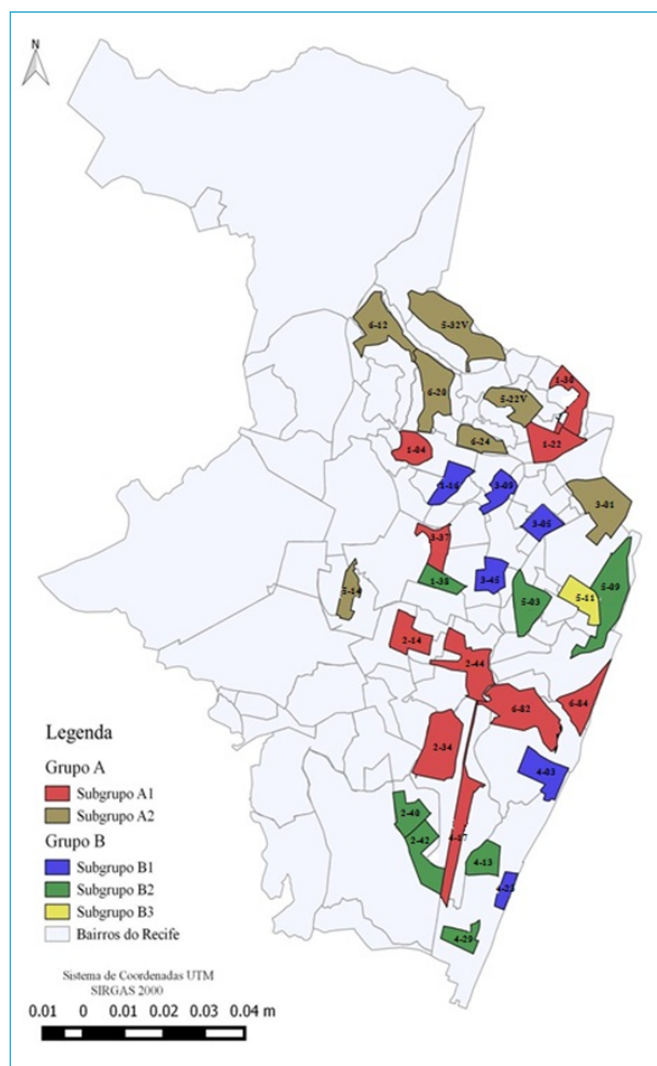


Figura 5 - Setorização dos *clusters* por similaridade das 31 rotas de coleta do Recife.

potencialmente recicláveis (41,36%) diante dos resíduos putrescíveis (37,64%).

O subgrupo B3, diferente dos demais, contemplou apenas o setor 5-11, que corresponde aos bairros de Santo Amaro e Boa Vista. Essa particularidade foi decorrente da elevada geração *per capita* de RSD na rota, com valor aproximado de 3,20 kg.hab⁻¹.dia⁻¹, sendo reflexo do forte e difundido comércio realizado nessas áreas. Dessa forma, caracterizou-se como um *cluster* de classe média, com renda *per capita* em torno de R\$ 900, essencialmente comercial e com população flutuante. Além disso, apontou percentuais bem equilibrados de resíduos recicláveis (45,56%) e putrescíveis (43,43%), o que diferiu das demais rotas comerciais do estudo.

Se observadas as características dos grupos e subgrupos formados pelas similaridades das rotas de coleta estudadas (Tabela 3), nota-se que há relação entre renda, geração *per capita* e recicláveis, tendo as classes mais favorecidas valores desses itens maiores também. Por outro lado, esses *clusters* apontam perfis de rotas de coleta domiciliar da cidade do Recife que poderão auxiliar o gestor do serviço na estruturação de modelos setoriais heterogêneos de RSD que busquem as particularidades das áreas estudadas, sendo uma possibilidade de ferramenta para a tomada de decisão no sentido de elevar a eficiência e a eficácia do processo de coleta de recicláveis.

Alguns pesquisadores também utilizaram a análise por *cluster* para setorizar áreas a partir de indicadores. Silva, Barbieri e Monte-Mór (2012) obtiveram sete *clusters* que agruparam domicílios do município de Belo Horizonte (MG) com base nas variáveis: renda, educação, estrutura etária e domiciliar, e geração de RSD. Bari, Mata e Wanderley (2014) obtiveram dois *clusters* para agrupar 27 estados do Brasil com base no grau de adequação do sistema de gestão. Cardoso (2016) verificou a formação de três *clusters* para a geração de RSD de 2003 a 2014 do Distrito Federal. Agovino, Ferrara e Garofalo (2016) constataram o surgimento de dois *clusters* que agruparam 103 províncias italianas com base na adequação do sistema de gerenciamento de RSD. Sulkowski e White (2016) verificaram dois *clusters* que contemplaram 61 países mediante indicadores de felicidade, desenvolvimento,

renda e emissão de carbono. Lima *et al.* (2017) encontraram quatro *clusters* de países por similaridade quanto ao PIB, ao desenvolvimento sustentável e ao índice de competitividade. Já Costa (2017) obteve cinco *clusters* formados por 31 rotas de coleta de RSD do Recife com base na pegada ecológica da fração seca reciclável. Entretanto, essa tecnologia de análise ainda não foi plenamente internalizada como um procedimento para a definição das estratégias e dos modelos de coleta de resíduos sólidos, especialmente dos recicláveis, havendo vasto campo para que tais procedimentos sejam compreendidos plenamente pela gestão pública.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foram utilizadas técnicas estatísticas multivariadas para setorizar 31 rotas de coleta de RSD da cidade do Recife, a partir da identificação dos indicadores mais representativos e do grau de similaridade dos *clusters*. A população, a renda domiciliar e *per capita*, a geração de resíduos *per capita* e os resíduos recicláveis, alimentares e putrescíveis foram bem representados no modelo. Já o vidro, a madeira/coco e a geração de resíduos (GR) apresentaram dados com pouca informação. A renda e a geração *per capita* apresentaram forte correlação positiva, em detrimento da correlação negativa com a população. Assim, a renda apresentou-se como o principal indicador para geração de RSD produzidos nas rotas do Recife.

As 31 rotas de coleta foram setorizadas em dois grupos (A e B), que resultaram em cinco subgrupos por similaridade (A1, A2, B1, B2 e B3). Os subgrupos apresentaram características socioeconômicas e ambientais distintas. Os subgrupos A1 e A2 compreenderam setores de classe baixa, ao passo que os *clusters* B1, B2 e B3, os setores de classe alta, média e comercial, respectivamente. A setorização das rotas mediante o grau de similaridade dos *clusters* mostrou-se uma ferramenta interessante de análise, principalmente como etapa para a estruturação de modelos setoriais heterogêneos de resíduos sólidos. Tais procedimentos analíticos deveriam ser considerados como ferramenta auxiliar na tomada de decisão em relação à gestão pública dos RSD.

Tabela 3 - Resumo das características dos *clusters* por similaridade.

G	SG	Rotas	POP	DD	CE	RMD	RMPC	GR	GRPC	RE	PU
A	A1	10	16.459	164,26	Baixa	1.046,50	318,68	255,50	0,54	43,26	32,77
	A2	7	23.830	224,31	Baixa	587,84	169,59	301,62	0,44	36,21	37,41
B	B1	6	9.565	176,28	Alta	5.490,41	1.907,56	249,40	0,89	42,54	36,69
	B2	7	9.024	129,92	Média	2.165,05	737,37	249,76	0,99	41,36	37,64
	B3	1	3.926	53,53	Média	2.146,67	901,10	373,95	3,17	45,56	43,43

G: grupos; SG: subgrupos; POP: população (n. hab.); DD: densidade demográfica (hab.ha⁻¹); CE: classe econômica; RMD: renda média domiciliar (R\$.mês⁻¹); RMPC: renda mensal *per capita*; GR: geração média de resíduos por mês (ton.mês⁻¹); GRPC: geração de resíduos *per capita* (kg.hab⁻¹.dia⁻¹); RE: recicláveis (%); PU: putrescíveis (%).

REFERÊNCIAS

- AFROZ, R.; HANAKI, K.; TUDIN, R. (2011) Factors affecting waste generation: a study in waste management program in Dhaka City, Bangladesh. *Environmental Monitoring Assessment*, v. 179, p. 509-519. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1753-4>
- AGOVINO, M.; FERRARA, M.; GAROFALO, A. (2016) An exploratory analysis on waste management in Italy: A focus on waste disposed in landfill. *Land Use Policy*, v. 57, p. 669-681. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.06.027>
- AGOVINO, M.; PARODI, G.; SÁNCHEZ BARAJAS, G. (2014) An analysis of disabled people and the labor market in Mexico. *Latin America Research Review*, v. 49, n. 2, p. 221-242. <https://doi.org/10.1353/lar.2014.0035>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004) *NBR 10007: Amostragem de resíduos*. Rio de Janeiro: ABNT. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2017.
- BARI, M.L.; MATA, H.T.C.; WANDERLEY, L.A. (2014) Gestão de resíduos nos estados/municípios brasileiros: avaliação e análise dos procedimentos para a escolha do modelo de gestão ambiental. *Nexos Econômicos*, v. 8, n. 2, p. 107-121.
- BARI, M.L.; ROSA, M.J.A.; PINTO, A.C. (2013) Gestão de resíduos nos estados/municípios brasileiros: avaliação e análise dos procedimentos para a escolha do modelo de gestão ambiental. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 10., 2013. *Anais...* Vitória.
- BRASIL. (2010) *Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 8 nov. 2017.
- BRASIL. (2012). Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE). Presidência da República. *Relatório de definição da classe média no Brasil*. São Paulo: Secretaria de Assuntos Estratégicos. Disponível em: <<https://silo.tips/download/definiao-da-classe-media-no-brasil-sao-paulo-junho-de-2012>>. Acesso em: 13 out. 2020.
- BRO, R.; SMILDE, A.K. (2014) Principal component analysis. *Analytical Methods*, v. 6, p. 2812-2831. <https://doi.org/10.1039/C3AY41907J>
- BUENROSTRO-DELGADO, O.; ORTEGA-RODRIGUEZ, J.M.; CLEMITSHAW, K.C.; GONZÁLEZ-RAZO, C.; HERNÁNDEZ-PANIAGUA, I.Y. (2015) Use of genetic algorithms to improve the solid waste collection service in an urban area. *Waste Management*, v. 41, p. 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.026>
- CAMPOS, H.K.T. (2012) Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 171-180. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000200006>
- CARDOSO, M.S.S. (2016) *A gestão de resíduos sólidos urbanos na RIDE-DF: a geração e a coleta seletiva*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília.
- CARIBÉ, R.M. (2015) *Análise multivariada no comportamento dos recalques em célula experimental de resíduos sólidos urbanos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- CHASSAIGNE, G.; PINTO, G. (2014) Determinación de variables que inciden en la estimación de residuos y desechos sólidos municipales recolectados en Venezuela. *Interciência*, v. 39, n. 12, 874-881.
- CHU, Z.; WU, Y.; ZHOU, A.; HUANG, W.C. (2016) Analysis of influence factors on municipal solid waste generation based on the multivariable adjustment. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 35, n. 6, p. 1629-1633. <http://doi.org/10.1002/ep.12399>
- COSTA, A.R.S. (2017) *Análise da gestão dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Recife-PE a partir de indicadores de sustentabilidade*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- DAHLÉN, L.; BERG, H.; LAGERKVIST, A.; BERG, P.E.O. (2009) Inconsistent pathways of household waste. *Waste Management*, v. 29, n. 6, p. 1798-1806. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.12.004>
- DIÁRIO DA REPÚBLICA PORTUGUESA. (2009) *Portaria nº 851/2009*. Norma portuguesa que estabeleci a padronização da caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos. 1ª Série, n. 152.
- FERRAZ, H.D.A. (2012) *Associação da Ocorrência de Cianobactérias às Variações de Parâmetros de Qualidade da Água em Quatro Bacias Hidrográficas de Minas Gerais*. 133f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- FUDALA-KSIAZEK, S.; PIERPAOLI, M.; KULBAT, E.; LUCZKIEWICZ, A. (2016) A modern solid waste management strategy - the generation of new by-products. *Waste Management*, v. 49, p. 516-529. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.022>
- GETAHUN, T.; MENGISTIE, E.; HADDIS, A.; WASIE, F.; ALEMAYEHU, E.; DADI, D.; VAN GERVEN, T.; VAN DER BRUGGEN, B. (2012) Municipal solid waste generation in growing urban areas in Africa: current practices and relation to socioeconomic factors in Jimma, Ethiopia. *Environmental Monitoring Assessment*, v. 184, n. 10, p. 6337-6345. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2423-x>
- GODECKE, M.V.; NAIME, R.H.; FIGUEIREDO, J.A.S. (2012) O consumismo e a geração de resíduos sólidos no Brasil. *Revista Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 8, n. 8, p. 1700-1712. <http://dx.doi.org/10.5902/223611706380>
- HAIR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. (2010) *Multivariate Data Analysis*. 7. ed. Nova York: Pearson.
- HENNIG, C. (2008) Dissolution point and isolation robustness: robustness criteria for general cluster analysis methods. *Journal of Multivariate Analysis*, v. 99, n. 6, p. 1154-1176. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2007.07.002>

- HOTELLING, H. (1933) Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components. *Journal of Educational Psychology*, v. 24, n. 6, p. 417-441. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0071325>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2010) *Censo demográfico 2010: resultados da amostra - rendimento para os municípios pernambucanos*. Brasil: IBGE.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2016) *Estimativa dos dados de Recife 2016*. Brasil: IBGE. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=261160>>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- JADOON, A.; BATOOL, S.A.; CHAUDHRY, M.N. (2014) Assessment of factors affecting household solid waste generation and its composition in Gulberg Town, Lahore, Pakistan. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 16, n. 1, p. 73-81. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0146-5>
- JARDIM, F.A.; VON SPERLING, E.; JARDIM, B.F.M.; ALMEIDA, K.C.B. (2014) Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 207-218. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001026>
- JUCÁ, J.F.T. FIRMO, A.L.B.; OLIVEIRA, L.R.G.; BRITO, E.P.L.; SILVA, R.C.P.; GÓIS, T.M.L. (2014) *Estudo da geração e composição dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Recife*. Relatório técnico. Versão final. Recife.
- LENZ, S.; BÖHM, K.; OTTNER, R.; HUBER-HUMER, M. (2016) Determination of leachate compounds relevant for landfill aftercare using FT-IR spectroscopy. *Waste Management*, v. 55, p. 321-329. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.034>
- LIMA, M.L.B.; FROTA, J.A.; ARAÚJO, F.S.M.; FONTENELE, R.E.S. (2017) Desenvolvimento sustentável e competitividade das nações: uma análise multivariada. *REUNA*, v. 22, n. 1, p. 41-62. <https://doi.org/10.21714/2179-8834/2017v22n1p41-62>
- MANLY, B.J.F. (2008) *Métodos estatísticos multivariados: Uma introdução*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman. 230 p.
- MEDEIROS, J.E.S.F.; PAZ, A.R.; MORAIS JÚNIOR, J.A. (2015) Análise da evolução e estimativa futura da massa coletada de resíduos sólidos domiciliares no município de João Pessoa e relação com outros indicadores de consumo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 119-130. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000120117>
- MONAVARI, S.M.; OMRANI, G.A.; KARBASSI, A.; RAO, F.F. (2012) The effects of socioeconomic parameters on household solid-waste generation and composition in developing countries (a case study: Ahvaz, Iran). *Environmental Monitoring Assessment*, v. 184, p. 1841-1846. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2082-y>
- NEDER, H.D. (2008) Estrutura do mercado de trabalho agrícola no Brasil: uma análise descritiva da evolução de suas categorias entre 1995 e 2006. In: BUAINAIN, A.M.; DEDECCA, C. (Org.). *Emprego e trabalho na agricultura brasileira*. Brasília: IICA. p. 156-182. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35341/1/Serie-DRS-vol-9-Emprego-e-Trabalho-na-Agricultura-Brasileira.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2020.
- NI, Z.; LIU, J.; ZHANG, M. (2017) Short-term pre-aeration applied to the dry anaerobic digestion of MSW, with a focus on the spectroscopic characteristics of dissolved organic matter. *Chemical Engineering Journal*, v. 313, 1222-1232. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.11.020>
- OGWUELEKA, T.C. (2013) Survey of household waste composition and quantities in Abuja, Nigeria. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 77, p. 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.011>
- PERNAMBUCO. (2010) *Lei nº 14.236, de 13 de dezembro de 2010*. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. Pernambuco. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Lei%2014236;141010;20101229.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2017.
- PURCELL, M.; MAGETTE, W.L. (2009) Prediction of household and commercial BMW generation according to socio-economic and other factors for the Dublin region. *Waste Management*, v. 29, n. 4, p. 1237-1250. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10.011>
- RECIFE. (2014) *Plano de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos de Recife (PGIRS)*. Diagnóstico e análise da situação atual (Produto 2). Recife: BRENCORP - Consultoria, Meio Ambiente e Empreendimento.
- REGO, R.F.; LIMA, V.C.; LIMA, A.C.; BARRETO, M.L.; PRADO, M.S.; STRINA, A. (2013) Environmental indicators of intra-urban heterogeneity. *Caderno de Saúde Pública*, v. 29, n. 6, p. 1173-1185. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2013000600014>
- SALADIÉ, O. (2016) Determinants of waste generation per capita in Catalonia (North-eastern Spain): the role of seasonal population. *European Journal of Sustainable Development*, v. 5, n. 3, p. 489-504. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2016.v5n3p489>
- SCHIRMER, W.N.; CROVADOR, M.I.C.; MARTINS, K.G.; FRANQUETO, R.; CABRAL, A.R.; CAPANEMA, M.A.; JUCÁ, J.F.T. (2016) Análise por componentes principais para o volume de biogás gerado em aterro sanitário e a correlação com variáveis físico-químicas. *Revista Gestão Sustentável e Ambiental*, v. 5, n. 2, p. 149-164. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsav5e22016149-164>
- SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO E HABITAÇÃO (SECID). Secretaria das Cidades. (2015) *Consórcio metropolitano de resíduos sólidos*. SECID. Disponível em: <<http://www.portais.pe.gov.br/web/secid/programas-acoas/consorcio-metropolitano-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 8 nov. 2017.
- SEL, I.; ÇAKMAKCI, M.; ÖZKAYA, B.; ALTAN, H.S. (2016) Case study on prediction of remaining methane potential of landfilled municipal solid waste by statistical analysis of waste composition data. *Waste Management*, v. 56, p. 310-317. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.023>
- SILVA, H.; BARBIERI, A.F.; MONTE-MÓR, R.L. (2012) Demografia do consumo urbano: um estudo sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte. *Revista Brasileira de Estatística Populacional*, v. 29, n. 2, p. 421-449. <https://doi.org/10.1590/S0102-30982012000200012>

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2017. Disponível em: < <http://snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2017>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

SOARES, M.A.R.; QUINA, M.J.; REIS, M.S.; QUINTA-FERREIRA, R. (2017) Assessment of co-composting process with high load of an inorganic industrial waste. *Waste Management*, v. 59, p 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.044>

SULKOWSKI, A.; WHITE, D.S. (2016) A happiness Kuznets curve? Using model-based cluster analysis to group countries based on happiness, development, income, and carbon emissions. *Environmental Development Sustainable*, v. 18, p. 1095-1111. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9689-z>

TUMMINELLO, M.; LILLO, F.; MANTEGNA, R.N. (2010) Correlation, hierarchies, and networks in financial markets. *Journal of Economic Behavior & Organization*, v. 75, n. 1, p. 40-58. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2010.01.004>

XU, L.; LIN, T.; XU, Y.; XIAO, L.; YE, Z.; CUI, S. (2016) Path analysis of factors influencing household solid waste generation: a case study of Xiamen Island, China. *Journal of Material Cycles Waste Management*, v. 18, p. 377-384. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0340-0>

WANG, H.; SHANGGUAN, L.; WU, J.; GUAN, R. (2013) Multiple linear regression modeling for compositional data. *Neurocomputing*, v. 122, p. 490-500. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2013.05.025>

