

Apoio à decisão voltada à economia circular: cenários aplicados na cidade de Florianópolis

CARLA TOGNATO DE OLIVEIRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

MAURICIO URIONA MALDONADO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

SEBASTIÃO ROBERTO SOARES

APOIO À DECISÃO VOLTADA À ECONOMIA CIRCULAR: CENÁRIOS APLICADOS NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS

1. Introdução

No Brasil, o aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), possui um índice superior ao crescimento populacional (ABRELPE, 2018). Essa geração cresce num processo que envolve diferentes agentes (Lakhan, 2014) e diversas questões, como ambiental, social, econômico e institucional (Plata-Díaz et al., 2014; Bing et al., 2016).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tem como diretriz a minimização da geração dos resíduos e a maximização de sua reutilização e reciclagem e tem a educação ambiental como ferramenta para alcançá-la (Brasil, 2010). No entanto, atualmente, em torno de 60% de todo o resíduo gerado no país, quarto maior gerador de resíduos do mundo (ABRELPE, 2015), é disposto em aterro sanitário e o restante vai para aterros controlados e lixões (ABRELPE, 2018). Ou seja, quase metade dos resíduos gerados no país não possuem destinação ambientalmente adequada conforme preza a PNRS.

Em geral, a destinação dos resíduos sólidos orgânicos urbanos (RSOU) possui a mesma destinação dos rejeitos. No Brasil, cerca de 40 milhões de toneladas de resíduos orgânicos são encaminhadas anualmente aos aterros como rejeitos (IPEA, 2012). E dentre os RSOU, os resíduos alimentares representam cerca de 50% dos resíduos domiciliares (Rezende et al., 2013). Se o usuário do sistema de coleta adotasse as práticas de separar e reciclar, tanto orgânico como seco (reciclável), traria um retorno econômico para os municípios, sem contar ganhos ambientais e sociais (Prefeitura de Florianópolis, 2018).

Sendo assim, essa pesquisa tem o objetivo de investigar cenários a partir de dinâmica de sistemas que simule o impacto de uma política pública de educação ambiental continuada e de uma política proibitiva referente a resíduos orgânicos para reduzir o envio desse para aterro sanitário. Por essa razão, o artigo foi descrito em seis seções. Nas seções 2 e 3 são apresentadas uma visão teórica concisa deste estudo. A seção 4 fornece o método adotado. Na seção 5 é exposta a principal contribuição do artigo e a seção 6 apresenta as conclusões.

2. Economia circular e os resíduos do ciclo biológico

Para uma mudança de cenário, o foco é a manutenção ou geração de valor dos recursos (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Assim sendo, McDonough & Braungart (2002) apresentam dois ciclos nos quais os movimentos de recursos fluem, o ciclo técnico e o ciclo biológico. Este último, é composto de materiais ou nutrientes orgânicos que podem retornar ao sistema ou se decompor sem danificar o meio ambiente e fornecer fonte de alimento para o

sistema (Benyus, 2002). A estratégia é o pensamento “resíduo é igual a alimento” (McDonough & Braungart, 2002). A economia circular em seu segundo princípio, otimizar a produção de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo (Ellen MacArthur Foundation, 2013) refere-se a incentivar nutrientes biológicos para reentrar na biosfera da maneira mais segura possível para se tornar matéria-prima valiosa para um novo ciclo (Moreno et al., 2016).

Assim, para os resíduos do ciclo biológico, o processo ocorre através da coleta, cascadeamento e extração de matérias-primas bioquímicas, digestão anaeróbia, geração de biogás, regeneração da biosfera, uso de insumos bioquímicos e agricultura/coleta (Sehnm et al., 2019). Portanto, as principais tecnologias de valorização dos resíduos são: compostagem e a biodigestão anaeróbia. A compostagem é a forma natural de reciclagem que consiste num processo biológico no qual microrganismos, na presença de oxigênio, decompõem materiais orgânicos transformando-o num composto orgânico (Lim et al., 2016). A digestão anaeróbia é um processo no qual os microrganismos decompõem materiais orgânicos na ausência de oxigênio, produzindo o biogás e um residual sólido. O biogás, constituído essencialmente de metano e dióxido de carbono, pode ser usado como uma fonte de energia semelhante ao gás natural enquanto o sólido residual pode ser utilizado como fertilizante natural (Khalid et al., 2011).

A primeira vantagem do reaproveitamento dos resíduos orgânicos é o desvio desse recurso dos aterros sanitários, o que diminui a quantidade de resíduo enterrado por ano, assim aumentando a vida útil do aterro. Além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, maior parte resultante da decomposição de resíduos orgânicos (Ferronato et al., 2019) da qual é emitido gás metano. Vale ainda ressaltar que os resíduos orgânicos podem representar uma fonte de matéria prima importante para a produção de fertilizantes orgânicos, biocombustíveis e energia (Khalid et al., 2011; Kothari et al., 2010; Lim et al., 2016). Logo, a vantagem para a agricultura é sua utilização como fertilizante.

Os resíduos do ciclo biológico resultam do descarte de alimentos e de produtos não consumidos, ou desperdiçados, ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Ademais, os RSOU são compostos pelos resíduos domiciliares, pelos resíduos de parques e jardins (podas), bem como por aqueles gerados pelo comércio e serviços (IPCC, 2006). No Brasil, a gestão destes resíduos é realizada pelos próprios municípios, por meio de autoridades locais.

Apesar das possibilidades da valorização de resíduos orgânicos, Massukado (2008) destaca alguns obstáculos para o tratamento da fração orgânica dos RSU via compostagem em larga escala em programas municipais de gerenciamento: 1) dificuldade de se obter os resíduos

orgânicos separados na fonte geradora; 2) falta de definição dos objetivos destes programas, o que dificulta o monitoramento do processo e de seus resultados; 3) baixa aceitação do composto orgânico, produto final, pelo mercado, por ser produzido a partir de resíduos; e 4) carência de investimentos e de tecnologia adequada para a coleta deste tipo de material.

3. Dinâmica de sistemas para gestão de resíduos sólidos

O modelo proposto neste estudo é construído de acordo com o princípio da dinâmica do sistema (DS), que é um método para lidar com sistemas de alta complexidade em larga escala (Yuan & Wang, 2014). É útil para examinar as características dinâmicas dos sistemas, através da análise das interações entre os elementos envolvidos. As interações entre os elementos são representadas por *loops de feedback*, com os quais uma mudança em qualquer elemento específico, que influenciará o comportamento geral do sistema, pode ser claramente traçada e demonstrada (Forrester, 1993). O pesquisador, portanto, deve construir modelos de DS apenas abstraindo os elementos mais importantes que podem representar a realidade.

Nas últimas duas décadas, a aplicação de DS tem sido predominante em estudos focados em lidar com sistemas econômicos, gerenciais, ambientais e sociais de grande complexidade. Sua aplicação abrange uma ampla gama de disciplinas, como a gestão municipal de resíduos sólidos (Dyson & Chang, 2005; da Silva, 2018). No que tange a gestão municipal de resíduos, Dyson & Chang (2005) planejaram e projetaram o sistema de gestão de resíduos da cidade de San Antonio (EUA) com a previsão realizada por DS. O mesmo é determinado por Karavezyris et al. (2002) para Berlim (Alemanha), Sufin & Bala (2007) apresentaram para Dacca (Bangladesh), assim como Adamides et al. (2009) para a cidade de Achaia (Grécia) e Rimaitytè et al. (2017) para Kaunas (Lituânia).

Sokka et al. (2007) utilizam o modelo dinâmico para entender as mudanças de produção e composição dos resíduos para prever o futuro nessa área. Com essa abordagem, um modelo dinâmico pode avaliar os efeitos da separação dos resíduos na fonte no sistema de gestão de resíduos sólidos em Bangkok (Tailândia) (Sukholthaman & Sharp, 2016), bem como em Terã (Irã) (Zanjani et al., 2012). Sudhir et al. (1997) apresentam a complexidade de planejar um sistema de gestão sustentável de resíduos sólidos com a interação dos catadores de resíduos recicláveis numa zona urbana da Índia. Caminhando para a economia circular, Golroudbary & Zahraee (2015) desenvolveram um modelo para otimizar a reciclagem e a coleta de resíduos numa cadeia de suprimentos de circuito fechado. As medidas de políticas públicas sobre resíduos são analisadas por Inghels & Dullaert (2010) através de DS. Com base nas conclusões dos estudos acima, há um consenso de que o DS é capaz de examinar o comportamento dinâmico dos sistemas a partir de uma perspectiva holística, com foco particular nas interações

entre os elementos nos sistemas. Assim, DS é considerada um método de informação para decisores políticos e melhora o processo decisório em qualquer parte do mundo sem distinção.

4. Desenvolvimento do modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos

4.1. Contexto do caso de estudo: a ilha de Florianópolis

Florianópolis é a capital do estado de Santa Catarina e uma das cidades mais desenvolvidas do Brasil. A cidade ser selecionada como caso de estudo inclui: (a) ser um contexto de cidade de economia emergente, com muitas oportunidades de desenvolvimento e também numerosos desafios (Barufi, 2018) e; (b) alcançar progressos notáveis na promoção de suas capacidades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, apesar de ser uma economia baseada principalmente no turismo (Mais et al., 2010).

Florianópolis é a terceira maior pontuação no índice de desenvolvimento humano em todas as capitais do Brasil (0,847), tornando-a uma das cidades mais habitáveis e seguras do país (Guerra et al., 2017). Logo, a cidade atrai residentes, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Crescimento geométrico da população de Florianópolis

Período	Taxa de crescimento da população (%)
1990-1995	2,81
1995-2000	3,47
2000-2005	3,05
2005-2010	2,73
2010-2015	2,32
2015-2020	1,96
2020-2025	1,65
2025-2030	1,41

Fonte: Campanário (2007)

Com mais residentes, aumenta o padrão de consumo doméstico (de Andrade Junior et al., 2017). Essa relação é percebida na geração per capita de resíduos. Sendo que entre os anos de 2000 e 2010, a taxa de geração de resíduos aumento 47% (COMCAP, 2019), e a previsão para 2030 é a geração de 1,405 quilogramas por habitante dia. Ou seja, cada habitante de Florianópolis gerará 513 quilogramas de resíduos no ano de 2030.

Em Florianópolis a maior parte dos resíduos gerados são direcionado a aterros. O município publicou o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS) em 2016. O PMGIRS possui metas de desvio de resíduos recicláveis e resíduos orgânicos do aterro sanitário. Com o objetivo de fortalecer o que prevê o PMGIRS, foi assinado em Florianópolis o Decreto nº 18.646/2018.

Com este Decreto se insistiu o “Programa Florianópolis Capital Lixo Zero”, o que proporciona a cidade o título de “Primeira Cidade Lixo Zero do Brasil”. Esse programa tem

como meta (Florianópolis, 2018): 1) alcançar o desvio de resíduos enviados ao aterro sanitário até o ano de 2030, de 60% de resíduos secos (recicláveis como alumínio, plástico, metal) e de 90% dos resíduos orgânicos, promovendo a valorização dos RSU, conforme a Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010); 2) promover educação ambiental continuada, o que incentiva a não geração e a redução dos RSU, conforme a Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010).

Porém, os cidadãos continuam enviando a maior parte de seus resíduos para o aterro sanitário. Com a compreensão que não haveria mudanças de comportamento, em abril de 2019, a Lei ordinária nº 10.501 entrou em vigor como uma ferramenta de mudança no comportamento da população em relação aos resíduos orgânicos. Essa lei dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de RSOU no município de Florianópolis e veda para pessoas jurídicas de direito público bem como de direito privado, condomínios residenciais ou comerciais a destinação aos aterros sanitários e à incineração de RSOU na cidade (Florianópolis, 2019). Prioriza-se, nesta lei (Florianópolis, 2019): 1) Implantação gradativa e adequada dos RSOU, considerando: (a) resíduos de poda, varrição e jardinagem; (b) grandes geradores de resíduos alimentares; e (c) resíduos domiciliares; 2) Adotar estratégias variadas para a destinação ambientalmente adequada dos RSOU; 3) Estimular as iniciativas comunitárias e de cooperativas na gestão dos RSOU; 4) Adotar estratégias de descentralização no gerenciamento dos resíduos sólidos no território municipal; e 5) Incentivar a compostagem doméstica e viabilizar sistemas de coleta domiciliar dos RSOU, preferencialmente por meio da gestão comunitária.

- Gestão do resíduo sólido urbano em Florianópolis

A gestão dos resíduos, incluindo a coleta do RSU e a limpeza pública da cidade é realizada pela Autarquia Melhoramentos da Capital (COMCAP) uma autarquia municipal de Florianópolis. Ela realiza dois tipos de coleta: convencional (porta a porta) e seletiva (porta a porta, ponto de entrega voluntário e ecoponto). A coleta seletiva coleta os resíduos secos, ou resíduos recicláveis e, para economia circular, recursos de ciclo técnico. Esses resíduos são doados às associações de catadores de materiais recicláveis. As duas coletas atendem 100% dos bairros da cidade e, em 2018 foi coletado um total de 209.318 toneladas (COMCAP, 2019). Desse montante, em torno de 6% corresponde a recicláveis coletados pela coleta.

Todo o RSU coletado na cidade é centralizado numa planta de transferência, chamada CTReS (Centro de Transferência de Resíduos Sólidos), na qual está situada a maior associação de catadores de materiais recicláveis de Florianópolis. Nesse local, os resíduos da coleta convencional são compactados e encaminhados, em veículos com capacidade de 25 toneladas (Zambon & Luna, 2016), ao aterro sanitário no município vizinho de Biguaçu, distante 50 km do centro de Florianópolis (de Andrade Junior et al., 2017).

No momento de triagem dos materiais recicláveis, provenientes da coleta seletiva, há uma quantidade que é direcionada para aterro sanitário, em 2018 foram 2.525 toneladas. Isso acontece, principalmente, por falta de informação da população na hora de separar no domicílio, enviando tanto material que não é reciclável, como roupa, quanto materiais sujos com gordura ou resto de alimentos que contaminam os outros materiais.

Em 2018, a COMCAP fez a caracterização dos resíduos sólidos domiciliares coletados no município. Assim, 43% desses resíduos são recicláveis secos (RRU), 22% de rejeitos (rejeito sanitário e outros materiais que não podem ser recuperados) e 35% são orgânicos (COMCAP, 2019). Dos 35% de orgânicos, 24% são restos de alimentos e 11% são resíduos verdes como podas, restos de jardinagem e folhas varridas na limpeza pública.

- Iniciativas governamentais e não governamentais de valorização dos resíduos orgânicos urbanos

O CTReS conta com um centro de compostagem da empresa responsável pela gestão de resíduos de Florianópolis, COMCAP. Esse centro é gerenciado pela Associação Orgânica (ONG). As coletas são realizadas pela ONG, por algumas empresas privadas com contratos com a COMCAP ou com a Associação Orgânica (Zambon & Luna, 2016). O pátio de compostagem tem o objetivo inicial de desviar do aterro sanitário as podas realizadas pelo município e os restos de alimentos dos grandes geradores como restaurantes. Florianópolis não possui a abrangência de coleta de orgânicos domésticos.

Iniciativas para o desvio de aterro de RSOU conduzidas por empresas privadas, ONGs e associações comunitárias são destaque em Florianópolis. Dentre essas pode-se citar o programa comunitário como Revolução dos Baldinhos, gerenciado pelo Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo (CEPAGRO), as parcerias de ONG com empresas privadas como o Projeto Olimpo; a Horta Alecrim, a Horta do PACUCA (Parque Cultural do Campeche), o projeto Família Casca promovido pela FLORAM (Fundação Municipal do Meio Ambiente de Florianópolis) e; as empresas privadas como a Procomposto, Brotei, Agroecológica, Destino Certo e Hotel SESC (Zambon & Luna, 2016). A Tabela 2 apresenta uma síntese das informações referentes as iniciativas não-governamentais de valorização dos RSOU de Florianópolis, num total de 3.852 toneladas por ano.

Tabela 2 - Resumo das iniciativas de valorização dos resíduos orgânicos

Iniciativa	Origem dos resíduos orgânicos	Quantidade compostada (ton/ano)
Procomposto	Restaurantes, condomínios, supermercados, condomínios e refeitórios de empresas	600
Brotei	Condomínios e escritórios	120
Agroecológica	Condomínios, padarias e restaurantes	36
Destino Certo	Escolas, restaurantes, pousadas e lanchonetes	120
Hotel SESC	Refeitórios próprios	120
Revolução dos Baldinhos	Comunidade	96
Horta do PACUCA	Comunidade	36
Horta Alecrim	Próprio e vizinhos	12
Projeto Família Casca	Comunidade	72
Projeto Olimpo	Supermercados	2.640

Fonte: Adaptada de Zambon & Luna (2016)

4.2. Identificação dos parâmetros

Alguns dos principais parâmetros que afetam a quantidade de resíduos desviados do aterro sanitário estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição dos principais parâmetros do modelo

Parâmetro	Descrição	Tipo	Valor	Unidade	Fonte
RSU Florianópolis	Resíduo gerado por ano em Florianópolis	Endógeno	-	Tonelada/ano	-
RSOU	Toda fração orgânica dos RSU gerados em Florianópolis	Endógeno	0,35*RSU Florianópolis	Tonelada/ano	COMCAP (2019)
RRU	Toda fração reciclável dos RSU gerados em Florianópolis	Endógeno	0,43*RSU Florianópolis	Tonelada/ano	COMCAP (2019)
Rejeito	Fração que não pode ser reaproveitada	Endógeno	0,22*RSU Florianópolis	Tonelada/ano	COMCAP (2019)
Iniciativas desvio inicial	Possibilidades de desvio de RSOU antes de ser realizada a coleta	Exógeno	3.852	Tonelada/ano	Zambon & Luna (2016)
Coleta COMCAP	Todos os resíduos coletados pela empresa de gestão de resíduos sólidos de Florianópolis	Endógeno	-	Tonelada/ano	-
Coleta orgânico	RSOU que não foram inicialmente desviados, mas que são compostados	Endógeno	-	Tonelada/ano	-
Coleta seletiva	Coleta de resíduos recicláveis secos (papel, metal, plástico, etc)	Endógeno	-	Tonelada/ano	-
Coleta convencional	Todo o resíduo coletado que vai para aterro	Endógeno	-	Tonelada/ano	-

Estes parâmetros podem ser classificados como endógenos ou exógenos. Os parâmetros que se esperam ser afetados por fatores internos e/ou outros parâmetros dentro do sistema são classificados como endógenos, enquanto os parâmetros afetados apenas por fatores externos além do escopo do sistema são classificados como exógenos (Ercan et al., 2016).

4.3. Formulação do modelo

O modelo projetado para esse estudo é apresentado nas três subseções a seguir. Os seguintes estoques e fluxos ilustram a expressão visual de relacionamentos de modelos desenvolvidos usando o *software* Stella.

- Submodelo geração de resíduos sólidos urbanos

A população total de Florianópolis é o ponto de origem desse modelo, já que as pessoas que geram os resíduos. Junto a taxa de crescimento da geração per capita de resíduos obtemos geração anual de resíduos. O foco central deste sistema está na geração dos resíduos e suas características, que podem ser representadas pelos RSOU (35%), RRU (43%) e rejeito (22%). Presume-se que a caracterização dos resíduos continuará a mesma durante os anos de 2018 (ano da realização da caracterização) até 2030. A Figura 1 mostra o submodelo da geração dos RSU desenvolvido para recriar os comportamentos e valores históricos da geração nos últimos anos e projetar os valores esperados nos anos futuros.

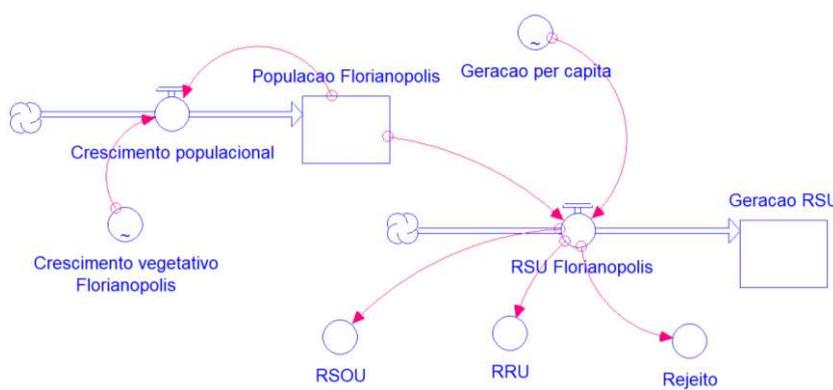


Figura 1. Submodelo de geração de resíduos sólidos urbanos

- Submodelo desvio inicial resíduo sólido orgânico urbano

Esse submodelo apresenta o desvio de aterro de parte dos RSOU gerados que antecedem a coleta da COMCAP, com base nas iniciativas discutidas anteriormente. A Figura 2 mostra o submodelo do desvio inicial RSOU desenvolvido para recriar o comportamento e valor das iniciativas não governamentais de valorização dos RSOU da geração nos últimos anos.

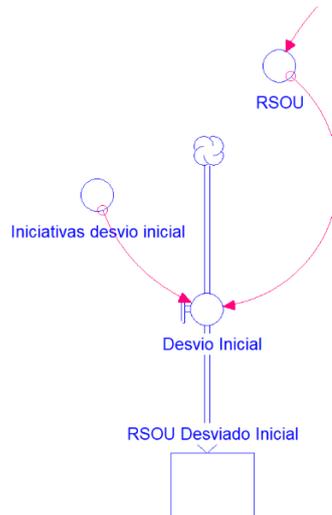


Figura 2. Submodelo de desvio inicial resíduo sólido orgânico urbano

- Submodelo de coletas realizadas pela COMCAP

Esse submodelo apresenta as coletas realizadas pela empresa de gestão de resíduos de Florianópolis. A coleta geral é a soma dos RRU, rejeito e RSOU subtraindo o desvio inicial de RSOU (submodelo já discutido). O principal desse modelo é a identificação dos resíduos aterrados, sendo que os RRU que não são enviados à reciclagem e os RSOU não tratados na compostagem mais o rejeito são aterrados. Portanto, a Figura 3 apresenta as relações entre esses parâmetros.

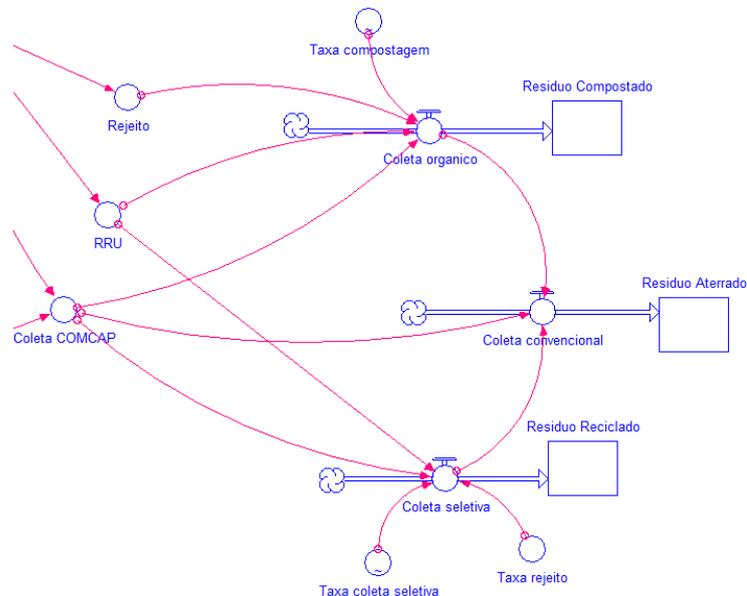


Figura 3. Submodelo de coletas realizadas pela empresa de gestão de resíduos de Florianópolis

4.4. Análise das políticas

- *Business as usual* (BAU)

Atualmente, existe uma baixa educação ambiental sobre o tema de resíduos sólidos.

Entretanto, existem iniciativas pontuais para desvio dos RSOU da coleta convencional da COMCAP. Essa não dispõe de coleta de RSOU, sendo que a maior parte desse resíduo é direcionado diretamente para aterro sanitário. Portanto, o principal material enviado para compostagem é referente à poda e à jardinagem realizada pelo município de Florianópolis.

- Fortalecimento da educação ambiental continuada (EAC)

Conforme a meta do Decreto nº 18.646 de promoção da educação ambiental continuada (Florianópolis, 2018), incentiva-se a população de Florianópolis a não geração de RSU, o aprimoramento da segregação na fonte, o que pode aumentar a taxa de coleta seletiva e reduzir a taxa de rejeito na triagem dos resíduos sólidos recicláveis, e a compostagem doméstica, além de outras alternativas para o desvio inicial dos RSOU da coleta convencional da COMCAP. Considera-se que a taxa de redução da geração seja 10% ao ano. Com a segregação na fonte, a taxa de coleta seletiva tenderá para 30% ao ano e a taxa de rejeito tenderá para 5%. Seguindo esse caminho, a taxa de compostagem aumentará para 60%. Parte-se da premissa que, para essa política, 50% da população aderirá as atividades de redução e segregação na fonte até 2030. No entanto, com o passar do tempo a população volta a perder motivação em suas atividades. Assim, são previstos reforços na comunicação com a população no ano de 2020, 2023, 2026, 2029 e 2030.

O município de Florianópolis apresentou no início de 2018 o projeto “Minhoca na cabeça”. Esse projeto doa a composteira e as minhocas e organiza uma oficina de capacitação para os inscritos no projeto. Na primeira etapa foram doados 500 kits e a lista de espera conta com mais de 1.500 pessoas (Prefeitura de Florianópolis, 2018). Espera-se que os 500 colaboradores iniciais desviem 292 toneladas de resíduos orgânicos por ano. A previsão é que sejam entregues mil kits por ano. Parte-se da premissa que todos os moradores que receberem o kit utilizem sempre e que as iniciativas não governamentais permanecem.

- Regulamentação da Lei ordinária nº 10.501/2019 (RLO)

Segundo a Lei ordinária nº 10.501/2019, o Poder Executivo tem até final de junho de 2019 para regulamentá-la. Sua regulamentação trará as datas limites para as etapas de proibição. Como ainda não foi regulamentada, determinou-se que: (1) em 2020 será vetado o envio de resíduos de podas, jardinagem e varrição para aterro sanitário (31% de todo RSOU gerado em Florianópolis); (2) em 2021 será vetado o envio de resíduos alimentares de grandes geradores para aterro sanitário (43% dos RSU gerados em Florianópolis); e (3) em 2022, será vetado o envio de resíduos orgânicos domiciliares para aterro sanitário (26% RSU gerados em Florianópolis). A premissa, nesse caso, é que os gerados de RSOU de Florianópolis entregarão seus resíduos orgânicos no CTReS da COMCAP. Mesmo com a proibição de envio de RSOU

para aterro sanitário, pressupõe-se que 5% da população de Florianópolis se confundirá no momento da segregação.

- Fortalecimento da educação ambiental continuada junto a regulamentação da Lei ordinária nº 10.501/2019 (EAC+RLO)

Como a Lei ordinária nº 10.501/2019 é consequência do Decreto nº 18.646/2018, a união das diretrizes apresentadas nessas é prioridade. Portanto, a terceira política a se avaliar é a união do fortalecimento da educação ambiental continuada e a regulamentação da Lei Ordinária nº 10.501/2019. O desvio inicial com o projeto “Minhoca na cabeça” permanecerá, bem como a projeção de chegar à redução de 10% na geração de resíduos, a taxa de coleta seletiva tenderá para 30% e a taxa de rejeito tenderá sua redução para 5%. Antes de iniciar a proibição, em 2020, do envio de poda para o aterro sanitário, a compostagem atenderá a taxa de 60%. Permanecendo a adesão de 50% da população pela educação ambiental.

5. Resultados

Os resultados das políticas foram divididos em quatro setores: (1) resíduos reciclados; (2) RSOU compostados na planta da COMCAP; (3) RSOU desviado de aterro inicialmente; e (4) resíduo aterrado. Esses resultados têm o objetivo de verificar se a cidade de Florianópolis alcançará o desvio de resíduos enviados ao aterro sanitário, no ano de 2030, de 60% de resíduos recicláveis e de 90% dos resíduos orgânicos.

Como apenas a educação ambiental reforça a segregação na fonte, aumentando a taxa de coleta seletiva e reduzindo os rejeitos que vão erroneamente para a triagem, apenas a política de EAC e a política EAC+RLO que traduzem um aumento do volume de resíduos a serem reciclados. Portanto, em 2030, as políticas EAC e EAC+RLO são traduzidas num desvio de RRU de aterro de 18,05% e 22,18%, respectivamente. Sendo que o cenário BAU chegava a 6,8% em 2030. A Figura 4 mostra o crescimento dos RRU reciclados.

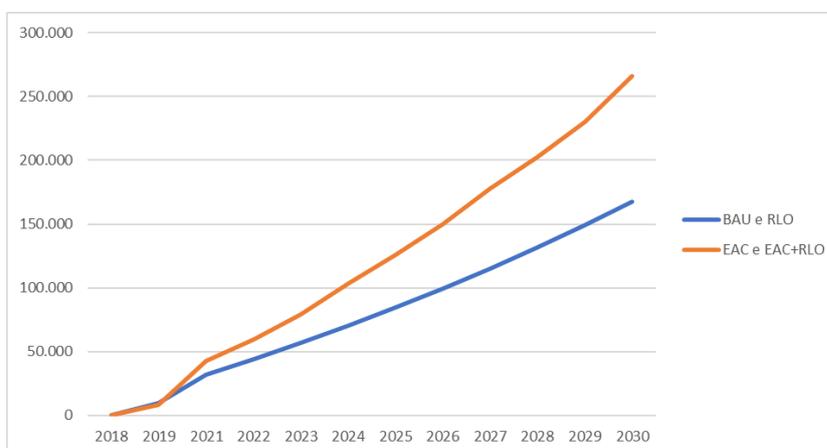


Figura 4. Crescimento dos resíduos reciclados conforme as políticas avaliadas

O RSOU desviado inicialmente e o RSOU compostado devem ser analisados conjuntamente, pois se o fizer separadamente pode levar a interpretações enganosas. A Figura 5 mostra o comportamento dos cenários para resíduos compostados na planta da COMCAP.

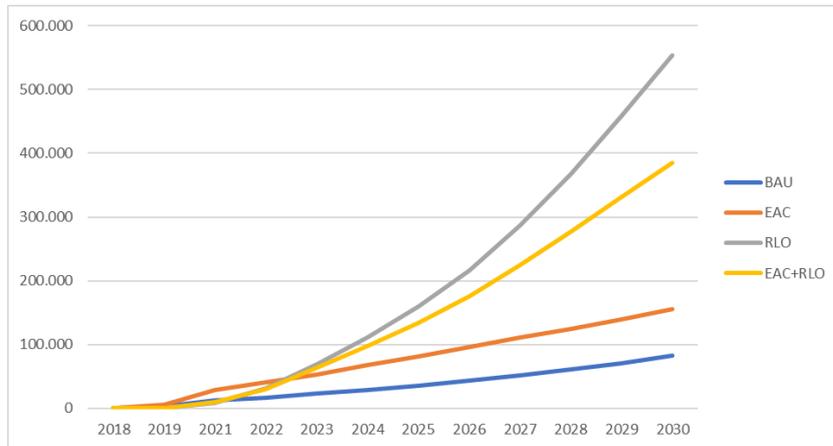


Figura 5. RSOU compostados na planta da COMCAP

O cenário EAC atua tanto no desvio inicial de RSOU quanto na compostagem na COMCAP. Portanto, quando as duas políticas se unem, EAC+RLO, o desvio inicial é maior e, conseqüentemente, as composteiras da COMCAP recebem menos RSOU. Por outro lado, mesmo o cenário RLO tratando de RSOU, ele não atua no desvio inicial. Sendo assim, ele funciona como o cenário BAU conforme se verifica na Figura 6.

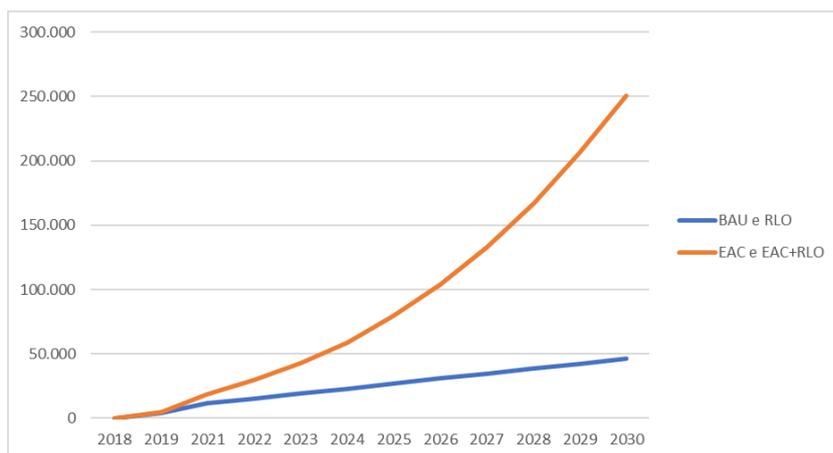


Figura 6. RSOU desviado de aterro inicialmente

O cenário EAC alcança 31,52% de desvio de RSOU, o cenário RLO alcança 52,81% em 2030. Já a política EAC+RLO apresenta o melhor resultado com desvio de 61,61% dos RSOU de aterro sanitário.

Os resíduos aterrados são consequência das ações apresentadas nas quatro políticas.

Pode-se verificar que qualquer ação que melhore a reciclagem ou compostagem dos resíduos já resulta numa redução do que é destinado para aterro. A Figura 7 identifica que a política EAC e RLO, mesmo atuando em diferentes partes do sistema reduzem praticamente a mesma quantidade de resíduos enviados para aterro e que unir a política EAC+RLO traz resultados vantajosos para o desvio de resíduos de aterros.

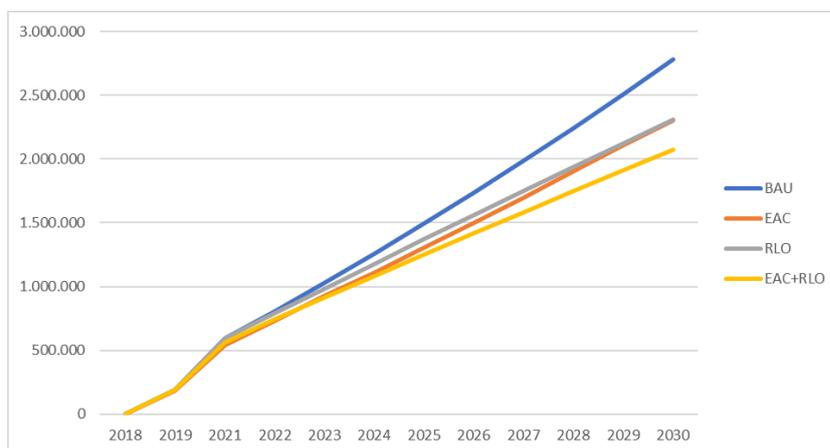


Figura 7. Resíduos aterrados

6. Conclusões

Há um grande problema com a geração e disposição ambientalmente adequada dos RSU e esse deve ser considerado. Os planos de gestão de resíduos são elaborados pelos municípios (5.570) e obrigatórios, mas as taxas de recuperação e valorização dos RSU são ainda muito baixas no Brasil. Para reduzir esse impacto, a valorização dos RRU e RSOU devem ocorrer para garantir a circularidade dos recursos.

O principal objetivo da pesquisa foi investigar se ações de educação ambiental e leis proibitivas resolvem os problemas encontrados com o envio dos resíduos para aterros. Para tanto, foi desenvolvido um modelo dinâmico para o caso da cidade de Florianópolis. O modelo mostrou como o uso desse método possibilita a análise de políticas que podem impulsionar a economia circular como uma nova forma de pensar sobre as questões de planejamento e gestão urbana.

Assim, o melhor cenário apresentado foi EAC+RLO em que foi desviado de aterro 61,61% dos RSOU e 22,18% dos RRU. No entanto, nenhum cenário alcançou a meta de 90% de desvio de RSOU e 60% de desvio de RRU. Verifica-se que as políticas são voltadas principalmente para RSOU e que é necessária uma política que englobe os RRU. Conclui-se, também, que investir numa política pública de educação ambiental influencia diretamente na sociedade. No entanto, apenas isso não é suficiente para permitir reorganizar as cadeias de valor

de resíduos e torná-las viáveis e constantes ao longo do tempo (da Silva, 2018).

As descobertas desta pesquisa têm implicações não apenas para formuladores de políticas públicas, mas para uma variedade de partes interessadas em valorização de RSU, incluindo, profissionais da indústria e pesquisadores acadêmicos. Em relação a estes últimos, esses resultados podem ser usados para abordar vulnerabilidades ambientais, econômicas e sociais entre países e populações. A avaliação numa área nebulosa e informal, como a valorização de RSOU pode contribuir para a redução das incertezas na implementação da gestão de resíduos sólidos nos municípios.

Esta pesquisa está concentrada num contexto específico de país. Trabalhos futuros podem examinar e comparar os diferentes contextos das nações para a implementação de uma gestão de RSOU com base em diferentes caminhos da economia circular.

Referências

- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de limpeza Pública e Resíduos Especiais (2015). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/> (acessado em 23 Junho 2019).
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de limpeza Pública e Resíduos Especiais (2018). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/> (acessado em 26 Junho 2019).
- Adamides, E. D., Mitropoulos, P., Giannikos, I., & Mitropoulos, I. (2009). A multi-methodological approach to the development of a regional solid waste management system. *Journal of the Operational Research Society*, 60(6), 758-770.
- Barufi, A. M. B. (2018). Services that add value in the city: The rise of the modern economy in Brazil. *Cities*, 78, 39-51.
- Benyus, J. (2002). *Biomimicry: Invention Inspired by Nature*; Harper Collins: New York, NY, USA.
- Bing, X., Bloemhof, J. M., Ramos, T. R. P., Barbosa-Povoa, A. P., Wong, C. Y., & van der Vorst, J. G. A. J. (2016). Research challenges in municipal solid waste logistics management. *Waste Management*, 48(2), 584–592.
- Brasil. (2010). Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
- Campanário, P. (2007). Florianópolis: dinâmica demográfica e projeção da população por sexo, grupos etários, distritos e bairros (1950-2050), IPUF: Florianópolis, SC, Brazil.
- COMCAP – Autarquia de Melhoramentos da Capital (2019). Disponível em: <http://portal.pmf.sc.gov.br/entidades/comcap/index.php?cms=valorizacao+de+residuos+solido&menu=6> (acessado em 14 Junho 2019).
- da Silva, C. L. (2018). Proposal of a dynamic model to evaluate public policies for the circular economy: Scenarios applied to the municipality of Curitiba. *Waste management*, 78, 456-466.
- de Andrade Junior, M. A. U., Zanghelini, G. M., & Soares, S. R. (2017). Using life cycle assessment to address stakeholders' potential for improving municipal solid waste management. *Waste Management & Research*, 35(5), 541-550.
- Dyson, B., & Chang, N. B. (2005). Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban

- region with system dynamics modeling. *Waste management*, 25(7), 669-679.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy, economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK. Disponível: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>. (acessado em 16 Junho 2019).
- Ercan, T., Onat, N. C., & Tatari, O. (2016). Investigating carbon footprint reduction potential of public transportation in United States: A system dynamics approach. *Journal of cleaner production*, 133, 1260-1276.
- Ferronato, N., Ragazzi, M., Portillo, M. A. G., Lizarazu, E. G. G., Viotti, P., & Torretta, V. (2019). How to improve recycling rate in developing big cities: An integrated approach for assessing municipal solid waste collection and treatment scenarios. *Environmental Development*, 29, 94-110.
- Florianópolis (2016). Plano municipal de coleta seletiva. Disponível em: http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/03_09_2016_8.03.03.d7f87e6c30573802087d99aa29365e01.pdf (acessado em 14 Junho 2019).
- Florianópolis (2018). Decreto nº 18.646, de 04 de junho de 2018. Institui o Programa Florianópolis Capital Lixo Zero, o grupo de governança e dá outras providências.
- Florianópolis (2019). Lei ordinária nº 10.501. Dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no município de Florianópolis.
- Forrester, J. W. (1993). System dynamics and the lessons of 35 years. In *A systems-based approach to policymaking* (pp. 199-240). Springer, Boston, MA.
- Golroudbary, S. R., & Zahraee, S. M. (2015). System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 53, 88-102.
- Guerra, J. B. S. O. A., Ribeiro, J. M. P., Fernandez, F., Bailey, C., Barbosa, S. B., & da Silva Neiva, S. (2017). Reprint of: The adoption of strategies for sustainable cities: A comparative study between Newcastle and Florianópolis focused on urban mobility. *Journal of Cleaner Production*, 163, S209-S222.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. (2019). Florianópolis Panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>. (acessado em 16 Junho 2019).
- Inghels, D., & Dullaert, W. (2011). An analysis of household waste management policy using system dynamics modelling. *Waste management & research*, 29(4), 351-370.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Waste generation, composition, and management data. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (Vol. 5)*. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
- Karavezyris, V., Timpe, K. P., & Marzi, R. (2002). Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. *Mathematics and Computers in simulation*, 60(3-5), 149-158.
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., & Dawson, L. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste management*, 31(8), 1737-1744.
- Kothari, R., Tyagi, V. V., & Pathak, A. (2010). Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3164-3170.
- Lakhan, C. (2014). Exploring the relationship between municipal promotion and education investments and recycling rate performance in Ontario, Canada. *Resource Conservation Recycling*, 92, 222–229.
- Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases

- emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111, 262-278.
- Mais, I., de Carvalho, L. C., Mohamed, A., & Hoffmann, M. G. (2010). The role of network relationships in innovation and internationalization of technology based companies. *RAI*, 7(1), 41.
- Massukado, L. M. (2008). Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*; North Point Press: New York, NY, USA.
- Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z., & Charnley, F. (2016). A conceptual framework for circular design. *Sustainability*, 8(9), 937.
- Plata-Díaz, A. M., Zafra-Gómez, J. L., Pérez-López, G., & López-Hernández, A. M. (2014). Alternative management structures for municipal waste collection services: the influence of economic and political factors. *Waste Management*, 34(11), 1967–1976.
- Prefeitura de Florianópolis (2018). Projeto Minhoca na cabeça. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/sistemas/MinhocaCabeca/> (acessado em 27 junho 2019)
- Rezende, J. H., Carboni, M., de Toledo Murgel, M. A., Capps, A. L. D. A. P., Teixeira, H. L., Simões, G. T. C., Russi, R. R., Lourenço, B. L. R., & de Almeida Oliveira, C. (2013). Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 18(1).
- Rimaitytė, I., Ruzgas, T., Denafas, G., Račys, V., & Martuzevicius, D. (2012). Application and evaluation of forecasting methods for municipal solid waste generation in an eastern-European city. *Waste Management & Research*, 30(1), 89-98.
- Sehnm, S., Campos, L. M. S., Julkovski, D. J., & Cazella, C. F. (2019). Circular business models: level of maturity. *Management Decision*, 57(4), 1043-1066.
- Sokka, L., Antikainen, R., & Kauppi, P. E. (2007). Municipal solid waste production and composition in Finland—Changes in the period 1960–2002 and prospects until 2020. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(4), 475-488.
- Sudhir, V., Srinivasan, G., & Muraleedharan, V. R. (1997). Planning for sustainable solid waste management in urban India. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 13(3), 223-246.
- Sufian, M. A., & Bala, B. K. (2007). Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. *Waste Management*, 27(7), 858-868.
- Sukholthaman, P., & Sharp, A. (2016). A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. *Waste Management*, 52, 50-61.
- Yuan, H., & Wang, J. (2014). A system dynamics model for determining the waste disposal charging fee in construction. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 988-996.
- Zambon, M. M., & Luna, M. M. M. (2016). Resíduos orgânicos urbanos: um olhar sobre Florianópolis. *ENGEMA-Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Anais*, São Paulo.
- Zanjani, A. J., Saeedi, M., & Vosoogh, A. (2012). The effect of the waste separation policy in municipal solid waste management using the system dynamic approach. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 1(1), 5.