

Estudo Comparativo de Custos: Compostagem como estratégia complementar ao Aterro Sanitário no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de Paraíba do Sul, RJ

Comparative Study of Costs: Composting as a complementary strategy to Landfill in the solid urban waste management of Paraíba do Sul, RJ

Estudio comparativo de costos: compostaje como estrategia complementaria al vertedero en la gestión de residuos sólidos urbanos en Paraíba do Sul, RJ

Alice Magalhães Garcia Souza

Mestre em Engenharia Urbana, UFRJ, Brasil.
alicemagalhaes.souza@poli.ufrj.br

Elaine Garrido Vazquez

Professora Doutora, UFRJ, Brasil.
elainevazquez@poli.ufrj.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar dois cenários simulados de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na cidade de Paraíba do Sul - Rio de Janeiro, utilizando indicadores de custos e prevendo uma possibilidade local e autossustentável de valorização de resíduos. O primeiro cenário é a disposição de todos os resíduos sólidos no aterro privado de Três Rios, município vizinho. O segundo cenário é o tratamento da fração orgânica dos resíduos em um projeto de compostagem local, aliado à disposição dos resíduos remanescentes no aterro citado. A metodologia utilizada foi a pesquisa exploratória quantitativa, baseada em três estimativas: geração de resíduos sólidos municipais (total e orgânicos de grandes geradores); custos para coleta (convencional e seletiva de orgânicos); e custos para disposição final e tratamento de resíduos (aterro e pátio de compostagem). Foram avaliados 10 bairros do núcleo municipal, escolhidos conforme a continuidade do tecido urbano. Os resultados mostraram uma diferença inferior a R\$ 10.000,00 por mês entre os custos totais estimados para cada cenário, sendo a segunda simulação mais cara. Entretanto, para o segundo cenário existe a possibilidade de geração de renda através da venda do composto, o que poderia cobrir o custo excedente. Assim, este estudo pretende contribuir para a discussão sobre tratamentos alternativos de resíduos em cidades menores, que em geral não podem arcar sozinhas com os custos de implantação e manutenção de um aterro próprio.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos sólidos urbanos; compostagem; Paraíba do Sul.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to evaluate two simulated scenarios of Urban Solid Waste Management at Paraíba do Sul City - State of Rio de Janeiro, using costs indicators and predicting a local and self-sustainable possibility of waste improvement. The first scenario is the disposal of all solid waste in the private landfill of Três Rios, a neighboring city. The second scenario is treating the organic fraction on a local composting project together with the disposal of residual waste on the mentioned landfill. The methodology used was the quantitative exploratory research, based on three estimates: municipal solid waste generation (total and organic of large generators); cost for collection (conventional and selective to organic waste); and costs for final disposal and waste treatment (landfill and composting courtyard). It was evaluated 10 neighborhoods from the municipal core, chosen according to the continuity of the urban fabric. The results showed a difference of less than R\$ 10,000.00 per month between the total estimated costs for each scenario, the second simulation being most expensive. However, for the second scenario there is the possibility of income generation through the sale of the compost, which could cover the surplus cost. Thus, this paper intends to the discussion of alternative treatment of waste in smaller cities, which in general can not afford alone with the costs of implantation and maintaining a landfill of their own.

KEYWORDS: urban solid waste; composting; Paraíba do Sul.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar dos escenarios simulados de Gestión de Resíduos Sólidos Urbanos en la ciudad de Paraíba do Sul - Río de Janeiro, utilizando indicadores de costos y previendo una posibilidad local y autosostenible de valorización de residuos. El primer escenario es la disposición de todos los residuos sólidos en vertedero privado de Tres Rios, municipio vecino. El segundo escenario es tratamiento de la fracción orgánica de los residuos en un proyecto de compostaje local, aliado a la disposición de los residuos restantes en vertedero citado. La metodología utilizada fue la investigación exploratoria cuantitativa, basada en tres estimaciones: generación de residuos sólidos municipales (total y orgánicos de grandes generadores); costos de recolección (convencional y selectiva de orgánicos); y costos para disposición final y tratamiento de residuos (vertedero y patio de compostaje). Se evaluaron 10 barrios del núcleo municipal, elegidos conforme la continuidad del tejido urbano. Los resultados mostraron una diferencia de menos de R\$ 10.000,00 por mes entre los costos totales estimados para cada escenario, siendo la segunda simulación más cara. Sin embargo, para segundo escenario existe la posibilidad de generación de renta a medio de la venta del compuesto, lo que podría cubrir el costo excedente. Así, este estudio pretende contribuir a la discusión sobre tratamientos alternativos de residuos en ciudades menores, que en general no pueden soportar solas con los costos de implantación y mantenimiento de vertedero propio.

PALABRAS CLAVE: residuos sólidos urbanos; indicadores de costo; vertederos; compostaje; Paraíba do Sul.

1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS – Lei federal 12.305/2010) instituiu a obrigatoriedade de destinação adequada (aterros sanitários) aos resíduos sólidos de todas as cidades brasileiras, no ano de 2010. Apesar disso, dados de 2017 indicavam que 29 dos 92 municípios do estado do Rio de Janeiro ainda destinavam seus resíduos a vazadouros a céu aberto - conhecidos como “lixões” (Instituto Trata Brasil, 2017). Dentre eles se inclui Paraíba do Sul, cidade objeto deste estudo – figura 1.

Figura 1: Foto do lixão da Barrinha, em Paraíba do Sul.



Fonte: a autora, 2017.

O município integra o Consórcio Serrana 2 para gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), junto a outros seis, incluindo Três Rios - a cidade-sede do consórcio, onde foi construído um aterro privado com capacidade para 10 mil t/mês, que espera vencer licitação para recebimento dos resíduos das cidades do consórcio.

Paraíba do Sul, cidade que se desenvolveu ao longo de um trecho do rio de mesmo nome, tem uma área total de 587,68 km². Sua população estimada em 2016 era de 42.737 pessoas (IBGE Cidades, 2017). O município possui extensa área rural, mas é em seu trecho urbanizado (cerca de 10 km²) que se concentra cerca de 88% da população, o que gera a densidade demográfica média de cerca de 3.760 hab/km².

A quantidade diária de RSU coletado no município é de 23,5 t/dia (SEA, 2013), dado que se desdobra em 728,5 t/mês e 0,55kg/hab/dia. Os serviços públicos de coleta e varrição são realizados por uma empresa terceirizada, e os estabelecimentos grandes geradores de resíduos orgânicos do município (restaurantes, mercados etc.) são atendidos pela coleta municipal pública - diferentemente de outras cidades, onde é contratada coleta privada.

Paraíba do Sul ainda não concluiu seu Plano Municipal para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que está em fase de elaboração, tendo sua versão preliminar divulgada em abril de 2018. Com a conclusão e regulamentação do PMGIRS e o envio do RSU ao novo aterro sanitário de Três Rios, a prefeitura pretende requerer o remanejamento tributário do Imposto

Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – conhecido como “ICMS Verde”. Seu valor foi simulado em R\$ 449.522,91 anuais (SEA, 2013).

Destaca-se que os custos com serviços de limpeza urbana são altos, podendo chegar a 13,3% da despesa corrente total das prefeituras brasileiras (MCidades, 2017). Barros (2012) comenta o tema e ressalta a importância de considerar outras soluções antes da disposição em aterros:

Tendo sido indicada a possibilidade de disposição final através de aterro sanitário, suas exigências técnicas (de concepção e operação) e financeiras os tornam praticamente inviáveis, do ponto de vista econômico, para cidades sem recursos. [...]

Nunca é demais recordar que os aterros [...] são parte de estratégias mais amplas de gestão de resíduos sólidos, que devem considerar as formas de sua produção e de sua minimização [...] Deve-se esperar que uma parte dos resíduos destas localidades seja constituída de matéria orgânica, que recomenda e favorece a compostagem. [...] (Barros, 2012)

Neste sentido, Massukado (2008) também defende a compostagem como uma das técnicas mais vantajosas para a valorização de resíduos sólidos orgânicos (RSO), sobretudo por gerar o composto, que é um excelente condicionador de solos. A autora comenta que, em algumas regiões da Itália, o governo subsidia os agricultores que utilizam o composto para uso em solos empobrecidos.

Paraíba do Sul possui uma área rural significativa, que demanda condicionadores em suas culturas, pois boa parte do solo foi erodida com o cultivo extensivo de café, no século XIX. Assim, a escolha da Compostagem para a fração orgânica do RSU é uma alternativa que poderá promover o fechamento local do ciclo de RSO, por meio da venda do composto aos agricultores da região.

A situação da gestão de resíduos no município traz à tona a falta de eficiência na aplicação das leis ambientais, sobretudo em contextos de cidades menores. Todavia, pelo mesmo fato de ser um município pequeno, as estratégias para o desenvolvimento sustentável na gestão de RSU podem ser mais simples e baratas do que em metrópoles.

1.1 OBJETIVOS

A Prefeitura Municipal de Paraíba do Sul (PMPS) estuda a possibilidade de envio de seu RSU para o aterro sanitário privado de Três Rios. Um dos objetivos deste trabalho é propor uma estratégia complementar a tal solução, dada a escala urbana de Paraíba do Sul e a possibilidade de um tratamento mais sustentável dos resíduos, como, por exemplo, a compostagem de sua fração orgânica. Para validar tal arranjo, este trabalho apresenta uma avaliação comparativa de dois cenários simulados para a gestão de RSU no município de Paraíba do Sul, sob indicadores de custos (para coleta, tratamento e disposição final).

1.2 ECONOMIA CIRCULAR E CRADLE TO CRADLE

A concepção tradicional de “lixo” é algo sujo, sem serventia, o que está fora de ordem, sem classificação (Carregal, 1992). Esta noção vem progressivamente sendo substituída por outra, na qual o “lixo” é visto como resíduo ou nutriente, como um material que pode ser utilizado para outros fins. Este pensamento se relaciona com um conceito econômico contemporâneo.

Segundo Santiago (2015), o conceito de Economia Circular (EC) teve sua origem primeiramente na China e na Europa, no contexto de crise econômica mundial. Conforme a autora, sua ideia central é dissociar o uso de recursos naturais do mecanismo de produção e consumo, garantindo o progresso e o bem-estar.

Neste sentido, o conceito *Cradle to Cradle* (McDonough & Braungart, 2013), vem ao encontro da necessidade de repensar a produção como um todo, visando obter substâncias e objetos desenhados para a reciclagem ou para nutrir o meio onde irão se decompor, ao invés de gerar rejeitos e degradação. O conceito pode ser traduzido como “do berço ao berço”, por propor que os materiais retornem infinitamente à cadeia de produção, sem descartes.

O *Cradle to Cradle* (C2C) propõe que, analogamente aos processos da natureza, os processos tecnológicos também possam ser cíclicos, aproveitando os materiais descartados na produção de novos itens (McDonough & Braungart, 2013).

A seguir serão descritos os dispositivos de gestão de RSU propostos nos cenários simulados deste artigo.

1.3 ATERROS SANITÁRIOS

Conforme documento produzido pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal:

O aterro sanitário é uma obra de engenharia projetada sob critérios técnicos, cuja finalidade é garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente.

É considerado uma das técnicas mais eficientes e seguras de destinação de resíduos sólidos [...] (Elk, 2007)

Apesar de o AS não ser a única solução para a Gestão de RSU, qualquer forma de tratamento de RSU precisa, em última instância, de uma solução para disposição final dos rejeitos gerados no processo – e o AS é, atualmente, a mais adequada ambientalmente. O aterramento (em AS ou vazadouros a céu aberto) é a forma mais utilizada de disposição final de resíduos no Brasil (IBGE, 2010).

Os custos de um AS podem variar muito conforme seu tamanho, capacidade de operação, previsão de vida útil, tipo de gestão (pública ou privada) e escala de geração de resíduos sólidos (RS). Segundo Barros (2012), os custos de um sistema de disposição final de RS variam entre 10 e 20% dos custos das atividades de limpeza, em geral. O estudo de Rodrigues, Magalhães e Pereira (2016) indica, ainda, que municípios menores (até 500 mil hab.) pagam mais caro pelos serviços de RSU, comparado a cidades maiores (mais de 5 milhões de hab.).

Em relação a eficácia da implantação de aterros sanitários no Brasil, é pertinente observar a análise expressa no estudo do Ministério do Meio Ambiente (2009):

A simples construção das instalações de tratamento infelizmente não tem garantido que o serviço seja prestado à população. É preocupante a quantidade de aterros sanitários financiados pelo Governo Federal que, depois de implantados, transformam-se em lixões ou são abandonados, resultando em desperdício de recursos e prejuízos sociais e ambientais. (MMA, 2009).

O documento (MMA, 2009) afirma ainda que os custos em 3 anos de operação do AS equivalem ao investimento total de sua implantação, o que explica o expressivo abandono dos AS pela municipalidade após a sua implantação.

1.4 COMPOSTAGEM MUNICIPAL

A compostagem é um processo controlado de transformação dos RSO em um composto condicionador de solos (“fertilizante”), com o auxílio de micro-organismos e monitoramento da temperatura, que pode acontecer de forma aeróbia ou anaeróbia (Barros, 2012). No âmbito de gestão municipal, os resíduos passíveis de compostagem são a fração orgânica do RSU e os resíduos de poda urbana (Inácio & Miller, 2009). Estima-se que apenas 1,6% dos resíduos sejam aproveitados dessa maneira no Brasil (Ipea, 2012).

O processo de compostagem pode acontecer por diferentes métodos, sendo o grau de mecanização e a tecnologia aplicada os principais fatores da escolha, interferindo nos custos e na aplicabilidade local: especialização técnica da mão de obra, espaço disponível, etc. Quando o processo não é confinado (reatores), o material é organizado em leiras, que são montes com altura e largura predefinidas e precisam estar oxigenadas adequadamente (através de revolvimento ou o insuflamento forçado de ar), para evitar excesso de lixiviado e maus odores (Barros, 2012).

Conhecida como “Método UFSC”, a compostagem em Leiras Estáticas com Aeração Natural ou Passiva é um modelo que mantém o material oxigenado por conta de sua própria composição – 1/3 de material seco (serragem, poda, etc.) misturado aos demais resíduos orgânicos segregados na fonte -, bem como pela estrutura retangular das leiras, que propicia maior superfície de contato com o ar – figura 2. (Inácio & Miller, 2009, pp. 61-67; MMA, 2017, pp.27-31)

Figura 2: Leiras de compostagem pelo método UFSC, no município de Alto Paraíso, GO.



Fonte: MMA, 2017, p. 27 (acervo pessoal Lúcio C. Proença).

Neste método, os pátios são semimecanizados e os equipamentos são simples e de baixo custo, tais como tratores e garfos agrícolas. (Inácio & Miller, 2009, pp. 61-67; MMA, 2017, pp.27-31) Inácio e Miller (2009) comentam sobre projetos baseados neste método:

A baixa necessidade de capital investido, o custo baixo de operação e manutenção, a disponibilidade de mão de obra e a disponibilidade de área são características que tornam a compostagem em leiras estáticas uma tecnologia com alto potencial de replicabilidade e sustentabilidade para as condições brasileiras. (Inácio & Miller, 2009, p.70)

É importante também definir o modelo de implantação e gestão da unidade de compostagem. Siqueira e Assad (2015, pp. 246-248) pesquisaram diversos modelos no estado de São Paulo, tendo feito uma sistematização que caracterizou o Modelo Descentralizado através dos seguintes critérios: “localização dentro do perímetro urbano ou periurbano; resíduos provenientes de poucos grupos de geradores; unidade de compostagem localizada (...) próxima ao local de origem”, entre outros. Já o Modelo Centralizado tratou de Usinas implantadas fora do ambiente urbano e longe das fontes geradoras. O estudo apresenta dados percentuais parecem apontar o sucesso da implantação descentralizada com gestão pública.

Fehr (2006) observou unidades descentralizadas em diversos países, verificando casos de sucesso em países em desenvolvimento, como Índia e Brasil. Siqueira e Assad (2015, p.258) apontam o fato de tal modelo se basear “mais em mudança de paradigmas e tecnologia social e menos em obras de engenharia” como principal causa de sua eficiência, em detrimento do modelo centralizado.

O tipo de coleta mais indicado à compostagem é a seletiva de orgânicos, pois além de garantir a eficiência do processo, sua aplicação está diretamente ligada à qualidade final do composto - evita que o mesmo venha misturado a rejeitos, recicláveis e elementos tóxicos. Neste sentido, MMA (2010) indica a participação do grande gerador de resíduos orgânicos. São eles: restaurantes, lanchonetes, casas de suco, hortifrútis, mercados, produtores de alimentos para entrega, e hotéis. (MMA, 2010)

A respeito dos custos, a inclusão de um novo processo de tratamento de resíduos e da coleta seletiva na gestão de RSU obviamente aumenta seus investimentos globais. Apesar disso, quando os processos alternativos foram comparados aos convencionais (avaliados separadamente), alguns autores observaram custos menores (Zambonim, 1997; Aquino, 2012; Inácio & Konig, 2004).

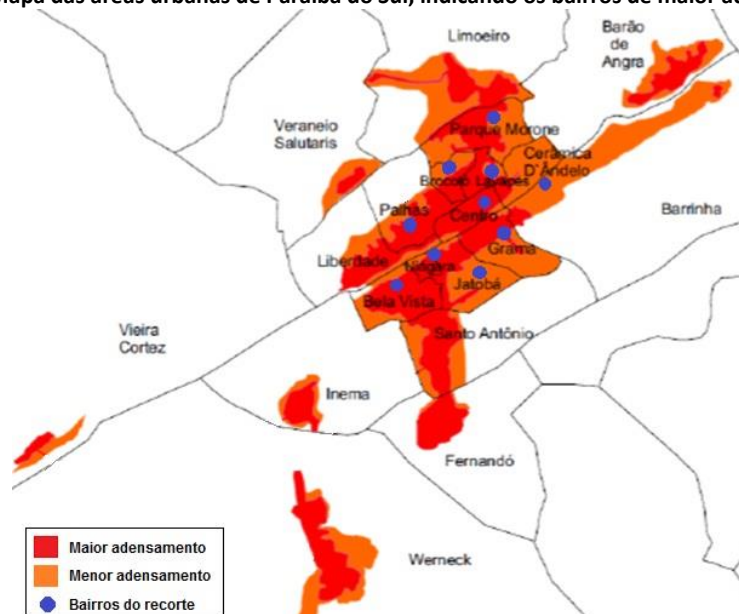
Convém lembrar ainda que, no Brasil, cerca de 50% do RSU é orgânico (MMA, 2017). Sendo o AS um dispositivo que, além de custar caro, possui curta vida útil (média de 20 anos), a compostagem aparece como uma boa estratégia para reduzir a quantidade de RSU aterrada. Além disso, diversos nutrientes retirados do solo nas colheitas agrícolas (Nitrogênio, Ferro etc.) podem ser reintroduzidos quando o composto é utilizado nas culturas (Inácio & Miller, 2009).

Por fim, Barton, Issaias e Stentiford (2007) informam que vêm surgindo projetos de redução da participação dos aterros na gestão de RSU, nas submissões ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os autores comentam que priorizar outros tipos de tratamento de resíduos seria uma diretriz mais inteligente para os países em desenvolvimento, que ainda não conseguiram implantar os AS massivamente.

2. MÉTODO DE AVALIAÇÃO COMPARATIVA

Este trabalho baseia-se em uma pesquisa exploratória quantitativa, avaliando aspectos de custos dos dados levantados. O recorte espacial contempla 10 bairros que compõem o tecido urbano contínuo do município, conforme a figura 3. Os bairros Limoeiro, Liberdade, Santo Antônio e Fernandó, apesar de estarem na mesma mancha urbana do mapa, possuem características morfológicas ou limites que os fazem se destacar dos demais, como a presença de uma rodovia ou relevo.

Figura 3: Mapa das áreas urbanas de Paraíba do Sul, indicando os bairros de maior adensamento.



Fonte: Elaboração própria, adaptado do PDDT de Paraíba do Sul, com uso de AutoCAD.

O primeiro cenário avaliado - Cenário Simulado 1 (CS1) - teve como premissa o envio de todo o RSU coletado no recorte de bairros proposto ao novo aterro sanitário privado de Três Rios (ASTR). O Cenário Simulado 2 (CS2) - foi um modelo onde se previu o envio do RSO, segregado na fonte, a um pátio de compostagem municipal (PCM) simulado em Paraíba do Sul. Tais resíduos seriam coletados apenas nos grandes geradores, além de incluir também os resíduos da poda municipal. Os demais RSU seriam enviados ao ASTR.

A seguir, a descrição de cada indicador utilizado.

2.1 ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE RSU, EM T/MÊS

Para estimar tais quantidades, primeiro foi realizado o levantamento da área e da população do recorte de bairros proposto, com dados do Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial (PDDT) de Paraíba do Sul referentes à área total e à área ocupada de cada bairro, além da porcentagem de residentes na área urbana (88%).

A quantidade total de RSU recolhida neste universo foi estimada a partir do dado de 0,55kg/hab/dia, descrito na introdução (SEA, 2013).

Após isso, foram identificados e selecionados os estabelecimentos grandes geradores do mesmo recorte, por meio de documento fornecido pelo cadastro municipal de empresas da PMPS, que indica a localização e as áreas de tais estabelecimentos, em m².

A quantidade de RSO gerada nos estabelecimentos selecionados, foi estimada a partir de COMLURB (2004), que indica as seguintes estimativas, relacionando-as com as áreas (m²):

- 0,70 litros/dia/m² para lojas, hotéis e pousadas;
- 1,00 litro/dia/m² para restaurantes, lanchonetes e afins.

As quantidades encontradas foram convertidas para quilos, utilizando o índice de 300 kg/m³ para o RSU recém-coletado (PROSAB, 2003), e multiplicadas por 0,50, já que a fração orgânica é cerca de metade do total de resíduos, em peso.

Assim, produziu-se três dados de geração de resíduos: i) geração total de RSU (CS1), ii) geração de RSO a ser enviado à compostagem (CS2) e iii) fração heterogênea a ser enviada ao AS (CS2).

2.2 ESTIMATIVAS DE CUSTOS DE COLETA, EM R\$/MÊS

Foram realizadas duas estimativas de custos: para a coleta convencional e para a seletiva de RSO dos grandes geradores. Tais estimativas são compostas de: i) consumo de combustível dos veículos e ii) salários dos funcionários. Não foram contemplados os custos com aquisição, depreciação, manutenção, seguro e licenciamento dos veículos coletores; encargos e benefícios dos funcionários; despesas com uniformes e EPIs; e impostos.

Para estimar o consumo de combustível dos veículos, primeiro foram definidos os tipos de caminhões e suas respectivas capacidades, usando estudos de caso similares presentes em PROSAB (2003) e Inácio & Miller (2009).

Para estimar as distâncias a serem percorridas pelos caminhões de coleta, primeiro definiu-se o terreno para a instalação do PCM, na Estrada da Barrinha – local isolado, nem tão perto nem tão longe dos bairros do recorte, de modo a evitar, simultaneamente, gastos extremos de logística e incômodos na vizinhança. Então utilizou-se as distâncias D1 e D2 determinadas por Souza (2018), com base no Sistema Google Maps (D2 com auxílio do software AutoCAD), a saber:

- D1, referente à logística dos resíduos já coletados até o seu destino final = 17,8km entre o centro da cidade até o ASTR, e 3km entre o centro e o PCM;
- D2, referente à coleta casa-a-casa = 113km de ruas a serem percorridas por cada caminhão em ambos os cenários simulados (Souza, 2018).

Então, foi calculado o consumo de combustível utilizando-se o dado de 0,433 L/km (Lino, 2009) e o valor do óleo diesel (R\$ 3,254/L em novembro de 2017, na região de Paraíba do Sul – Souza, 2018).

Para os salários dos coletores e motoristas utilizou-se os dados informados por Souza (2018), a saber: R\$ 937,00 para coletores, e R\$ 955,23 para motoristas.

A seguir a descrição logística de cada cenário proposto.

No CS1 simula-se a coleta convencional uma vez ao dia, exceto domingos (média de 28 dias/mês), realizada por quatro funcionários em cada caminhão. Total de 2 caminhões, 6 coletores e 2 motoristas.

No CS2 simula-se, além da coleta convencional (da mesma forma descrita no parágrafo anterior), a coleta seletiva de orgânicos, sob a média de 28 dias/mês por dois funcionários em cada caminhão. Total de 2 caminhões, 2 coletores e 2 motoristas. Neste cenário simula-se o uso de bombonas plásticas de 50L para acondicionar o RSO nas fontes geradoras, que não são descartáveis e serão adquiridas pelos geradores - não compondo custos para a gestão municipal.

2.3 ESTIMATIVAS DE CUSTOS DE DISPOSIÇÃO FINAL E TRATAMENTO DE RESÍDUOS, EM R\$/MÊS

Os custos de disposição final e tratamento foram estimados a partir de três definições: i) custos para disposição final no ASTR; ii) custos para implantação e operação mensal do PCM; iii) receita mensal da comercialização do composto.

Para determinar os custos da disposição final no ASTR, utilizou-se o dado de R\$ 92,15/t de RSU como valor referencial cobrado pelos AS, conforme estudo de Souza (2018).

Para determinar os custos de implantação do PCM primeiro definiu-se o Método UFSC sob Modelo Descentralizado de implantação/gestão, conforme sua adequação ao estudo de caso. Desta forma, a unidade de compostagem simulada neste estudo atenderá apenas alguns bairros do município e será gerida pela PMPS.

Os custos de implantação do PCM foram estimados de forma global, em reais (R\$), através de Souza (2018). O objetivo de sua definição é auxiliar nas análises finais, ao lado dos dados estimados para o ICMS Verde e para a comercialização do composto.

Os custos de operação mensal do PCM foram estimados de forma unitária, contemplando os salários dos funcionários e os custos operacionais fixos, conforme Souza (2018). Os valores referentes a impostos, encargos/benefícios dos funcionários, manutenção e depreciação de equipamentos, e compra de insumos para o PCM não foram contemplados.

Para determinar a receita da comercialização do composto, primeiro procedeu-se à estimativa da quantidade gerada. Segundo MMA (2010), “para cada quilo de resíduos entregues na unidade, [produz-se] meio quilo de composto”. Assim, a quantidade foi multiplicada por 0.5.

Conforme levantamento no mercado local, o preço médio de 1kg de composto é R\$15,00. Optou-se por simular um preço abaixo do valor de mercado, para fomentar o fechamento local do ciclo de RSO, vendendo aos pequenos agricultores da região.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

3.1. ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE RSU

A área estudada neste artigo possui 4,61 km², e sua respectiva população é de 17.910 habitantes. O total de grandes geradores de resíduos orgânicos com endereço dentro do recorte espacial proposto é de 95 estabelecimentos.

Assim, estimou-se uma produção de 9,85 t/dia de RSU nos bairros analisados, que se converte em 305,4 t/mês. No CS1, toda esta produção será disposta no ASTR. No CS2, a fração orgânica dos grandes geradores será subtraída desta quantidade.

O total de RSU heterogêneo produzido nos 95 estabelecimentos grandes geradores foi estimado em 12.650,10 L/dia. Após as conversões, definiu-se a fração orgânica dentro da quantidade total heterogênea em 1,9 t/dia, que se converte em 58,9 t/mês - quantidade que será enviada ao PCM, no CS2.

Por fim, a quantidade de resíduos heterogêneos a ser enviada ao ASTR no CS2 será de 7,95 t/dia, que se converte em 246,5 t/mês.

3.2. ESTIMATIVAS DE CUSTOS DE COLETA

A tabela 1 apresenta, em resumo, os indicadores utilizados para estimar o custo mensal das coletas convencional e seletiva de orgânicos nos grandes geradores (GG), respectivamente, e seus valores finais.

Tabela 1: Estimativa de custos das coletas convencional e seletiva de RSO.

ITEM	COLETA CONVENCIONAL	COLETA SELETIVA DE RSO
Quantidade de resíduos	RSU = 9,85t/dia	RSO GG = 1,9t/dia
Capacidade do caminhão	Caminhão compactador: 19m ³ = 5,7t/viagem	Caminhão Ford F-4000: 96 bombonas de 50L = 1,44t/viagem
Quantidade de caminhões	2 unidades	2 unidades
D1	17,8 km por viagem x 4 71,2 km/dia no total x 28 dias D1 = 1.994 km/mês	3 km por viagem x 4 12 km/dia no total x 28 dias D1 = 336 km/mês
D2	113 km/dia x 28 dias D2 = 3.164 km/mês	113 km/dia x 28 dias D2 = 3.164 km/mês
D1 + D2	5.158 km/mês	3.500 km/mês
Custo mensal de combustível	consumo médio de 2.233 L/mês valor do diesel por litro R\$ 3,254 valor aproximado R\$ 7.500,00/mês	consumo médio de 1.515 L/mês valor do diesel por litro R\$ 3,254 valor aproximado = R\$ 5.000,00/mês
Custo mensal de salário	8 funcionários R\$ 7.532,46/mês	4 funcionários R\$ 3.784,46/mês
Custo Total	R\$ 15.032,46/mês	R\$ 8.784,46/mês

Fonte: Elaboração própria, 2019.

3.3. ESTIMATIVAS DE CUSTOS PARA DISPOSIÇÃO FINAL E TRATAMENTO DE RESÍDUOS

A tabela 2 apresenta quantidades e custos para a disposição final no ASTR, no CS1 e no CS2.

Tabela 2: Custo disposição final no ASTR - CS1e CS2.

ITEM	CS1	CS2
Quantidade total de RSU do cenário	305,4 t/mês	246,5 t/mês
Custo estimado para disposição, corrigido	92,15/t	92,15/t
Custo total aproximado	R\$ 28.500,00/mês	R\$ 23.000,00/mês

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Para o custo global de implantação do PCM, obteve-se a estimativa de R\$ 85.340,00, aproximada para R\$ 90.000,00. A tabela 3 apresenta a estimativa de custos de operação mensal do PCM.

Tabela 3: Custos estimados para a operação do PCM.

ITENS	VALOR (R\$)
Contas de água e energia	222,53
Revirador de leira	1.619,68
Aux. administrativo	1.810,59
Aux. de pátio	952,20
TOTAL (APROXIMADO)	4.605,00 (R\$ 5.000,00)

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Para a estimativa de receita com a comercialização do composto produzido no PCM, estipulou-se o valor de R\$ 2,00 para a comercialização do saco de 1kg. A partir da quantidade estimada de RSO recebida no PCM (58,9 t/mês), tem-se a produção estimada em 29,4 t/mês de composto. Assim, a receita mensal foi estimada em R\$ 58.800,00, aproximada para R\$ 55.000,00/mês.

Por fim, apresenta-se, na tabela 4, um resumo de todos os indicadores do estudo.

Tabela 4: Resumo dos indicadores e seus resultados.

RESUMO DOS INDICADORES			
	Descrição	Quant. / Ordem Grandeza	Unid.
	Estimativa quantidade RSU total	305,4	t/mês
1	Estimativa quantidade fração orgânica GG	58,9	t/mês
	Estimativa quantidade RSU (-) fração orgânica GG	246,5	t/mês
2	Custo coleta convencional	15.032,46 (15.500,00)	R\$/mês
	Custo coleta seletiva orgânicos grandes geradores	8.784,46 (9.000,00)	R\$/mês
3	Custo disposição final AS para o CS1 (todo o RSU)	28.142,61 (28.500,00)	R\$/mês
	Custo disposição final AS para o CS2 (RSU exceto orgânicos GG)	22.714,97 (23.000,00)	R\$/mês
	Custo implantação PCM	85.340,00 (90.000,00)	R\$
	Custo operação mensal PCM	4.605 (5.000,00)	R\$/mês
	Estimativa de receita com a comercialização do composto	58.800,00 (55.000,00)	R\$/mês

Fonte: Elaboração própria, 2017.

3.4. RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS - CS1 E CS2

A partir dos dados obtidos, tem-se que o custo mensal da PMPS para coleta e disposição final de seus resíduos é de aproximadamente R\$ 44.000,00 para o CS1; e de aproximadamente R\$ 52.500,00 para o CS2. A tabela 5 mostra uma comparação entre os cenários.

Tabela 5: Comparação em valores absolutos e percentuais, entre os indicadores de custos para o CS1 e o CS2.

Indicadores de Custo	Valores CS1 (R\$)	Valores CS2 (R\$)	Observações percentuais
Coleta (s)	15.500,00	24.500,00	CS2 58% mais caro que CS1
Disposição Final no Aterro - RS heterogêneos	28.500,00	23.000,00	CS2 19% mais barato que CS1
Tratamento PCM - RS orgânicos GG	--	5.000,00	Somente CS2
TOTAIS	44.000,00	52.500,00	CS2 19% mais caro que CS1

Fonte: Elaboração própria, 2017.

3.5. ANÁLISE DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

A diferença entre os custos mensais entre o CS1 e o CS2 foi de apenas R\$ 8.500,00, ou cerca de 19%, sendo o CS2 o mais caro. Este valor é considerado baixo no âmbito da gestão municipal de RSU, porém Paraíba do Sul é um município de pequeno porte, que dispõe de poucos recursos. Assim, tal investimento poderia ser requerido em algum programa de fomento a iniciativas de desenvolvimento sustentável, ou em projetos de MDL – já que o CS2 contempla o sistema de compostagem.

Ressalta-se que o PCM proposto neste trabalho custaria aproximadamente R\$ 90.000,00 para ser implantado em Paraíba do Sul. Tal custo é cerca de apenas um quinto do valor estimado para

remanejamento anual de ICMS Verde na cidade: R\$ 449.522,91 (SEA, 2013). Este recurso poderia ser requerido pela PMPS no primeiro ano de destinação dos resíduos da cidade ao ASTR. Assim, o PCM poderia ser implantado e começar a funcionar no ano seguinte, gerando economia de cerca de R\$ 5.500,00/mês na disposição de resíduos no ASTR - valor que poderia ser utilizado para financiar a operação mensal do próprio PCM (estimada em R\$ 5.000,00 mensais).

No CS2, a venda de composto poderia gerar uma receita média mensal de R\$ 55.000,00, valor que cobre totalmente os custos de gerenciamento dos resíduos no CS2 (R\$ 52.500,00). Lembrando que este total de R\$ 52.500,00 desconsidera custos significativos, relativos à depreciação de equipamentos, impostos, encargos etc. Acredita-se que um estudo de viabilidade estabeleceria um valor final cerca de 30 a 40% mais alto. Ainda assim, a venda do composto traria uma receita relevante a ser considerada no financiamento do sistema, caso o mercado local tivesse condições de absorver a produção.

Ressalta-se ainda, a economia de carbono contemplada pela prática local da compostagem - sobretudo se a comercialização do composto for realizada também localmente. O uso do composto na agricultura local, em detrimento de fertilizantes sintéticos, poderá fomentar o cultivo de alimentos orgânicos na região, fechando o ciclo de materiais orgânicos e auxiliando o solo empobrecido pela monocultura de café no século XIX.

Por fim, destaca-se que os custos não-contemplados nos cálculos deste trabalho - a saber: depreciação de equipamentos e caminhões, impostos, encargos e benefícios - não fariam diferença significativa na comparação entre os cenários, pois seriam apenas somados a ambos os cenários, de forma que a diferença final permaneceria praticamente inalterada.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscou-se, neste artigo, oferecer subsídios a uma alternativa complementar aos aterros, que foi validada sob os pontos de vista técnico e econômico, com enormes ganhos ambientais: a compostagem da fração orgânica do RSU. Pretendeu-se destacar a importância de se considerar outras soluções antes da disposição dos resíduos em aterros.

No âmbito da gestão municipal, é necessário transformar a visão predominante de que estratégias menos impactantes e mais sustentáveis sempre custam mais caro, ou que o custo de tais soluções é demasiadamente maior do que o custo das soluções tradicionais.

No âmbito técnico, convém destacar que o foco da coleta seletiva apenas nos resíduos recicláveis pode estar equivocado, já que os resíduos orgânicos representam, em média, 50% do total de RSU na maioria das cidades brasileiras. A reciclagem dos “nutrientes técnicos” é importante; mas, se considerarmos o novo direcionamento proposto por conceitos como a Economia Circular (EC) e o C2C para o desenho de produtos e serviços, pode-se prever uma queda significativa na quantidade de recicláveis nos próximos anos. Ressalta-se ainda, no contexto brasileiro, o fato de muitos tipos de recicláveis ainda precisarem de aterramento, por não haver mercado de reciclagem consolidado no país.

Em um cenário no qual grande parte dos municípios brasileiros ainda utilizam “lixões” para dispor seus resíduos, pode-se vislumbrar um longo caminho até a implantação de alternativas menos impactantes ao meio-ambiente (integradas aos exclusivos para rejeitos). Contudo, este raciocínio pode ser inverso: já que os municípios terão de se adequar às regras da PNRS em algum momento, não seria mais interessante “pular etapas”, indo direto para iniciativas ambientalmente melhores (e, em alguns casos, mais baratas) do que começar a dispor todos os resíduos nos onerosos AS, para só depois integrar soluções complementares? Acredita-se que esta é uma provocação pertinente no contexto, não só do Brasil, mas dos países em desenvolvimento.

A análise de novas possibilidades de gestão de RSU no contexto de pequenos municípios é a principal contribuição deste trabalho. Observou-se que já existem tecnologias de baixo custo para um tratamento eficaz e ambientalmente adequado de resíduos - como é o caso do Método UFSC de compostagem com implantação descentralizada. Esta alternativa apresenta maiores vantagens ambientais do que os AS.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, L. de. **Subsídios para implantação do processo de compostagem em município de pequeno porte: estudo de caso em Corumbataí, SP.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2012.

BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos.** Belo Horizonte: Tessitura, 2012. ISBN: 9788599745366

BARTON, J. R.; ISSAIAS, I.; STENTIFORD, E.I. **Carbon – Making the right choice for waste management in developing countries.** *Waste Management* 28, 690–698. Elsevier, 2007. DOI:10.1016/j.wasman.2007.09.033

CARREGAL, L.T.L. (org.). **Falas em torno do lixo.** Rio de Janeiro: Nova, Iser e Polis, 1992.

ELK, A.G.H.P. van. **Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos: Redução de emissões na disposição final.** Karin Segala (coord.) – Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

FEHR, M. **A successful pilot project of decentralized household waste management in Brazil.** *The Environmentalist*, v. 26, p. 21-29, 2006. DOI: 10.1007/s10669-006-5355-1.

INÁCIO, C.T.; KONIG JUNIOR, G. **Reciclagem orgânica: a fração orgânica como alvo da coleta seletiva.** In: Seminário Nacional de Resíduos Sólidos, 2004, São Paulo. Anais. São Paulo: ABES, 2004.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. ISBN: 85-85864-31-6.

LINO, F. A. M. **Consumo de energia no transporte da coleta seletiva de resíduo sólido domiciliar no município de Campinas (SP).** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares.** 2008. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008. DOI: 10.11606/T.18.2008.tde-18112008-084858

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to Cradle: criar e reciclar ilimitadamente.** São Paulo: Editora G. Gili, 2013.

RODRIGUES, W.; MAGALHÃES FILHO, L.N.L.; PEREIRA, R.S. **Análise dos determinantes dos custos de resíduos sólidos urbanos nas capitais estaduais brasileiras.** urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana, Curitiba, v. 8, n. 1, 2016.

SANTIAGO, L.S.P. **Transição para a economia circular: possibilidades de aplicação no setor de metais.** 2015. Dissertação (Mestrado em Práticas em Desenvolvimento Sustentável) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

SIQUEIRA, T.M.O.; ASSAD, M.L.R.C.L. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil).** Revista Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. XVIII, n. 4, p. 243-264, 2015.

Souza, A.M.G. **Comparação de custos e sustentabilidade entre dois cenários de gestão de resíduos sólidos no município de Paraíba do Sul – RJ.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana. Rio de Janeiro, 2018.

ZAMBONIM, F. M. **Análise econômica de dois processos de tratamento de lixo: a compostagem termofílica e a disposição final em aterros sanitários.** 1997. Relatório de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

LEGISLAÇÃO E DOCUMENTOS CONSULTADOS

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, [2010].

COMLURB – Companhia de Limpeza Urbana. SISTEMA DE DOCUMENTAÇÃO COMLURB – SÉRIE DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA. **SISTEMA DE MANUSEIO DO LIXO DOMICILIAR EM EDIFICAÇÕES.** Maio de 2004 – atualizado em 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008.** Rio de Janeiro, 2010.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos.** Relatório de pesquisa. Brasília, 2012.

MCIDADES - Ministério das Cidades. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2015.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental; Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNSA. Brasília: 2017.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Programa Nacional de Capacitação de Gestores Ambientais. Módulo Específico: **Licenciamento Ambiental de Estações de Tratamento de Esgoto e Aterros Sanitários.** Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente. Brasília: 2009. ISBN: 978-85-7738-128-9.

_____ **Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos.** Projeto Internacional de Cooperação Técnica – BRA/OEA/08/001. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2010.

_____ **Compostagem Doméstica, Comunitária e Institucional de Resíduos Orgânicos – Manual de Orientação.** Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo - Cepagro; Serviço Social do Comércio – Dep. Regional Santa Catarina - SESC/SC. Brasília: 2017. ISBN: 978-85-7738-313-9.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PARAÍBA DO SUL. **Plano Diretor de Ordenamento Territorial de Paraíba do Sul, RJ.** Paraíba do Sul: 2006.

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Resíduos sólidos urbanos:** aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Armando Castilho Jr. (coord.). Florianópolis, 2003. ISBN 85-86552-70-4.

SEA - SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE. GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Consultoria e Assessoria Técnica de Engenharia à SEA para Elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS)** - Volume 3: Arranjo Regional. SEA Secretaria do Ambiente e Ecologus Engenharia Consultiva. Agosto, 2013.

SÍTIOS ELETRÔNICOS

IBGE Cidades: <cidades.ibge.gov.br> Acesso em junho de 2017.

Instituto Trata Brasil: <www.tratabrasil.org.br> Acesso em junho de 2017.