



ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SISTEMAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

Recebido: 28/09/2015

Aprovado: 09/11/2015

¹Anderson Giovane Sontag
²Igor Kenji Hilahata Cruz
³Fernanda Paola Butarelli Cruz
⁴Geysler Rogis Flor Bertolini

RESUMO:

A disposição de resíduos sólidos tem sido um fator crítico na gestão urbana. Os sistemas de tratamento por aterros sanitários predominam, mas novas alternativas têm sido desenvolvidas, respaldadas pela alta tecnologia, porém o investimento financeiro exerce uma forte restrição nessa decisão. Desse modo, é economicamente viável a implantação de um equipamento *Alfa* em substituição aos aterros sanitários? O objetivo foi levantar os custos com o aterro sanitário e mensurar os custos para implantação de um sistema de tratamento térmico. A metodologia foi uma pesquisa aplicada, exploratória, caracterizada como um estudo de caso na cidade de Marechal Cândido Rondon – Paraná. Os resultados demonstram que a substituição não é economicamente viável, optando-se pela permanência do aterro sanitário. A nova tecnologia possui um grande potencial ambiental e social, essencialmente nas cidades onde o espaço físico é bastante restrito ou de alto custo.

Palavras-chave: Aterro Sanitário, Gestão Pública, Tratamento Térmico.

¹ Mestrando em Administração na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
Especialista em Contabilidade, Perícia e Auditoria pela Universidade Norte do Paraná - UNOPAR
Contador na Escritório Contábil Rondon Ltda, ESC CONT RONDON
E-mail: andersonsontag@hotmail.com

² Mestrando em Administração na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Brasil
Técnico do Seguro Social pelo Instituto Nacional do Seguro Social, INSS/DF, Brasil
E-mail: igor_kc88@hotmail.com

³ Mestranda em Engenharia Química na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Brasil
Docente nos cursos Técnicos pela SENAI - Departamento Regional do Paraná, SENAI/DR/PR, Brasil
E-mail: ferpaola_4@hotmail.com

⁴ Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Brasil
Professor pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Brasil
E-mail: geysler_rogis@yahoo.com.br



ANALYSIS OF ECONOMIC VIABILITY FOR SOLID URBAN WASTE TREATMENT SYSTEMS IN THE MUNICIPALITY OF MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

ABSTRACT:

The disposal of solid residues has been a critical factor in urban management. Sanitary landfilling treatment systems predominate, but new alternatives have been developed, supported by high-tech. Nevertheless, financial investment exerts a strong restriction to that choice. Thus, is it economically viable to implement an *Alfa* equipment to replace sanitary landfills? This study aimed to measure the costs of landfilling and to implement a heat treatment system. The methodology was an applied and exploratory

research characterized as a case study in the municipality of Marechal Cândido Rondon, in the State of Paraná. The results demonstrate that such a replacement is not economically viable, and sanitary landfilling is still the chosen method. The new technology has a great environmental and social potential, essentially in the cities where physical space is very restricted or costly.

Keywords: Sanitary Landfilling, Public Management, Heat Treatment.

ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE SISTEMAS EN EL MUNICIPIO DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

RESUMEN:

La eliminación de residuos sólidos ha sido un factor fundamental en la gestión urbana. Los sistemas de tratamiento para los rellenos sanitarios predominan, pero nuevas alternativas se han desarrollado, con el apoyo de la alta tecnología, sin embargo la inversión financiera ejerce una fuerte restricción de esa decisión. Por lo tanto, ¿es económicamente viable implementar un equipo *Alfa* para reemplazar los rellenos sanitarios? El objetivo era verificar los costos de rellenos sanitarios y medir los costos para implementar un nuevo sistema de tratamiento térmico. La metodología fue una investigación

aplicada y de exploración que se caracteriza como un estudio de caso en la ciudad de Marechal Cândido Rondon - Paraná. Los resultados demuestran que la sustitución no es económicamente viable, eligiéndose así la permanencia de los rellenos sanitarios. La nueva tecnología tiene un gran potencial ambiental y social, principalmente en las ciudades donde el espacio físico es muy limitado o costoso.

Palabras clave: Rellenos Sanitarios, Gestión Pública, Tratamiento Térmico



1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional nas cidades e o crescente processo de industrialização têm contribuído para uma maior geração de resíduo urbano. O consumo de bens materiais tem aumentado significativamente nas últimas décadas e como consequência mais resíduos têm sido produzidos (Paro, Costa, & Coelho, 2008).

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE] (2010b), a população urbana teve um alto índice de crescimento nas últimas décadas, passando de um total de 45,1% no censo de 1960 para 84,4% no censo de 2010, influenciando diretamente no volume de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados. Em 2014, a geração total de RSU no Brasil foi de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, representando um aumento de 2,9% em relação a 2013, índice superior à taxa de crescimento populacional, que foi de 0,9% (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais [ABRELPE], 2014). Além da migração para a cidade, nas últimas décadas tem ocorrido uma crescente industrialização, de forma que o consumo de produtos industrializados, água e outros bens de consumo teve um aumento significativo, bem como o volume de resíduos.

A partir dessa necessidade, técnicas de tratamento passaram a ser desenvolvidas, porém, com restrição de tecnologias e recursos. Segundo Eigenheer (2009), ao longo do século XX novas técnicas de tratamento de resíduos no Brasil começaram a ser utilizadas, iniciando com a incineração e em seguida com as usinas de triagem e compostagem. No entanto, essas técnicas geralmente não são autossuficientes, necessitando de um tratamento adicional, tradicionalmente o aterro sanitário (Soares, Lupatini, & Castilhos, 2002; Eigenheer, 2009).

Mesmo sendo o aterro sanitário a técnica de tratamento mais utilizada, alguns pontos precisam ser observados, como a grande necessidade de espaço físico para construção dos aterros e problemas relacionados à poluição ambiental, como o risco de poluição das águas subterrâneas e superficiais (Demajorovic, 1995; Capelo Neto & Castro, 2005; Nakamura, Marques, Viela, Oda, Lima, Costa & Azevedo, 2014).

Dados da ABRELPE (2014) mostram que 41,6% dos resíduos sólidos urbanos tiveram destinação inadequada, sendo utilizados vazadouros a céu aberto ou aterros que não possuem um conjunto de sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública, portanto a questão da destinação final continua precária em boa parte do país. Um importante fator é o gasto público destinado à coleta, destinação e tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

Conforme a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental [SNSA], através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, em 2013 as despesas relacionadas ao manejo de resíduos sólidos urbanos corresponderam em média 4,7% em relação às despesas correntes das prefeituras brasileiras. Excluindo São Paulo e Rio de Janeiro, que são os dois municípios maiores, a média cai para 4,1%. Já municípios de até 30.000 habitantes, representados por 1.044 prefeituras, gastam em média 2,7% em relação às suas despesas correntes.

Observando o contexto de uso de outros tratamentos propostos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a empresa Solum Ambiental elaborou um sistema de tratamento que propõe a utilização de um reator que trabalha com temperaturas elevadas para tratar o resíduo, sem geração de gases ou subprodutos tóxicos, chamado de equipamento *Alfa*. Nesse sentido, o manejo de resíduos sólidos urbanos torna-se essencial e, com o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento, a pesquisa é justificada pela possibilidade de explorar o potencial na gestão pública aplicando um estudo de caso na cidade de Marechal Cândido Rondon – Paraná. Dessa forma, cabe responder à questão se **é economicamente viável a implantação do equipamento Alfa em substituição ao tratamento dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Marechal Cândido Rondon – PR**. Logo, o objetivo deste trabalho é levantar os custos com o sistema de tratamento por aterro sanitário, mensurar o investimento para implantação de um novo sistema e fazer a análise de viabilidade econômica de substituição do atual pelo sistema de tratamento térmico.

O trabalho está estruturado em quatro fases principais: uma primeira parte conceitual, iniciando com o histórico, o contexto atual e exibindo as assimetrias entre a legislação e a realidade social. Numa segunda parte promove-se um estudo aplicado com informações atuais do manejo de resíduo sólido na cidade pesquisada, expondo o tipo de tratamento, restrições e gastos financeiros. Em seguida será apresentada a proposta de um novo sistema de tratamento com o equipamento *Alfa*, os respectivos gastos com implantação e manutenção do sistema e a viabilidade de substituição do sistema atual. Por fim, as considerações finais, seguidas das referências que sustentaram a justificativa e argumentação do trabalho.



2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A gestão de RSU constitui um problema ambiental, econômico e social, em que o volume de resíduos está crescendo em proporções maiores que o crescimento populacional (Renou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan & Moulin, 2008). A característica e o volume dos resíduos gerados

podem variar conforme diversos fatores, sejam estes geográficos, sociais ou econômicos. No âmbito nacional, ao relacionar o volume total de resíduo coletado em relação à população, o índice obtido foi de 387,63 kg/hab./ano (ABRELPE, 2014). Na Tabela 1 são apresentados os valores relativos à destinação de RSU no Brasil no ano de 2014.

Tabela 1 - Recursos Aplicados na Coleta de RSU e Serviços de Limpeza Urbana em 2014

Regiões	População Urbana (hab.)	Recursos Aplicados na Coleta RSU (R\$ milhões/ano)	Demais Serviços de Limpeza Urbana (R\$ milhões/ano)	Recursos Totais (R\$ milhões/ano)	Valor Equivalente por Habitante (R\$/mês)
Norte	17.261.983	681	1041	1.722	8,31
Nordeste	56.186.190	2.019	3.630	5.649	8,38
Centro-Oeste	15.219.608	572	607	1.179	6,46
Sudeste	85.115.623	4.917	8.104	13.021	12,75
Sul	29.016.114	1.231	1.486	2.717	7,80
BRASIL	202.799.518	9.420	14.868	24.288	9,98

Fonte: ABRELPE (2014).

Um dos maiores problemas na gestão pública, a destinação de RSU passou a sofrer cada vez mais exigências ambientais. Renou *et al.* (2008) afirmam que exigências ambientais rigorosas são continuamente impostas sobre o tratamento de RSU. No Brasil não é diferente, seguindo tendências mundiais, e, com vários problemas sociais e ambientais envolvendo o manejo de RSU, foi sancionada em 2010 a Lei 12.305/2010, que trata do manejo de resíduos sólidos urbanos. Entre as principais exigências destacam-se:

- Proibição de lixões a céu aberto e aterros controlados. Todas as administrações públicas municipais devem construir aterros sanitários e encerrar as atividades dos lixões e aterros controlados, no prazo máximo de 4 anos, onde só podem ser depositados resíduos sem qualquer possibilidade de reciclagem e reaproveitamento, obrigando também à compostagem dos resíduos orgânicos;
- As administrações municipais, no prazo máximo de 2 anos, devem desenvolver um Plano de Gestão Integrada de Resíduos;
- Os municípios terão de implantar um sistema de coleta seletiva;
- A responsabilidade pelos resíduos passa a ser compartilhada, com

obrigações que envolvem os cidadãos, as empresas, as prefeituras e os governos estaduais e federal;

- Fabricantes, distribuidores e comerciantes, organizados em acordos setoriais, ficam obrigados a recolher e destinar para a reciclagem as embalagens de plástico, papel, papelão, de vidro e as metálicas utilizadas;
- Incentivo ao desenvolvimento científico para pesquisas direcionadas a RSU.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA] (1993) define sistema de tratamento de resíduos sólidos como “um conjunto de unidades, processos e procedimentos que alteram as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos e conduzem à minimização do risco à saúde pública e à qualidade do meio ambiente”. Diversas tecnologias de tratamento estão disponíveis, como aterro sanitário, incineração e compostagem. Em relação a essas técnicas de tratamento, o método mais utilizado é o aterro sanitário, sendo amplamente aceito como a mais viável em termos de exploração e custos de capital (Renou *et al.*, 2008).

Tigini, Prigione e Varese (2014) mencionam alguns fatores negativos no método de tratamento por aterro sanitário: a necessidade de uma extensa área física, inutilização da área mesmo



anos após o fechamento do aterro e a necessidade de instalação distante da cidade, devido ao mau cheiro, mau aspecto visual e risco de estabilidade. Os autores ainda afirmam que um dos principais problemas das áreas urbanizadas é a poluição causada por lixiviados de aterros sanitários, devido a sua composição química.

Chandramowli, Transue e Felder (2011) afirmam que os resíduos gerados nos aterros sanitários apresentam potencial para geração de renda para a comunidade local. Uma alternativa é a cogeração de energia a partir dos gases gerados no tratamento de resíduos urbanos. Silva, Rabelo, Ramazzotte, Rossi e Bollmann (2009) comentam que, mesmo sendo pouco representativa na matriz energética mundial e brasileira, a energia gerada a partir de RSU é uma opção estratégica que precisa ser considerada.

A incineração é outra técnica de tratamento de resíduos que tem como característica principal a redução em até 90% do volume inicial e a capacidade de recuperar grande parte da energia na cogeração (Hjelmar, 1996; Tang, 2012). Sendo muitas vezes a opção preferencial em países com disponibilidade ou acessibilidade do espaço limitado para deposição em aterro (Hjelmar, 1996). Como exemplos, a Noruega com 58%, Dinamarca 54%, Suécia 50%, Suíça 49% e Holanda 48% utilizam desse método de tratamento (European Statistic [EUROSTAT], 2013). Van Dijen (2003) e Tang (2012) mencionam que eficiências energéticas mais elevadas para os resíduos de incineração são obtidas por meio de cogeração.

No Brasil, Leão e Tan (1998) expõem que os resíduos de incineração representam uma alternativa promissora para geração de energia em São Paulo; embora seja mais cara do que a energia hidrelétrica, outros aspectos poderiam viabilizar a incineração em conjunto com a produção de energia. Todavia, essa técnica também apresenta fatores negativos, como o fato de não representar a fase final do tratamento dos resíduos, necessitando de um processo adjacente para as cinzas, geralmente depositadas em aterros. Emissões de incineradores podem proporcionar compostos orgânicos e inorgânicos potencialmente tóxicos para a população exposta (Ferreira, Petrenko, Lobo, Rodrigues, Moreira, & Saldiva, 2000). Outro fator é que sua instalação e funcionamento são geralmente dispendiosos quando comparados a outras técnicas de tratamento, decorrente principalmente dos implementos tecnológicos necessários para diminuir ou eliminar a poluição do ar provocada por gases produzidos durante a queima dos resíduos (Monteiro, Figueiredo, Magalhães, Melo, Brito, Almeida, & Mansur, 2001).

As cinzas geralmente são constituídas de componentes tóxicos e o seu descarte torna-se outro problema ambiental a ser tratado. Na América do

Norte a maior parte das cinzas geradas é depositada em aterros, porém em alguns países europeus (por exemplo, Dinamarca, França, Alemanha e Holanda) quantidades significativas (40%-60%) das cinzas são utilizadas para a construção de estradas e outros fins semelhantes (Hjelmar, 1996).

Outra alternativa é a compostagem, que Dmitrijev (2010) descreve como um método que consiste na decomposição de material orgânico existente no resíduo, a fim de se obter um composto orgânico para utilização na agricultura. Para processar esse tipo de material é necessária uma separação prévia, causando uma grande redução nos RSU destinados aos aterros sanitários. Segundo Barreira, Philippi e Rodrigues (2006), os resíduos orgânicos urbanos representam 50% do peso dos RSU no Brasil.

Monteiro *et al.* (2001) acrescentam que a economia da energia que seria gasta no tratamento de resíduos orgânicos em aterros sanitários e a transformação do material orgânico do resíduo em composto orgânico adequado para nutrir o solo destinado à agricultura representam vantagens ambientais e econômicas importantes proporcionadas pelas usinas de reciclagem e compostagem. Santos, Henrique, Shhlindwein, Ferreira e Stachiw (2014) analisaram o uso dos resíduos sólidos na agricultura em forma de compostagem para geração de adubo, considerando o processo satisfatório; o composto pode ser de uso irrestrito e com boas qualidades para melhorar as características químicas e físicas do solo.

Por outro lado, a poluição causada por tratamentos de resíduos sólidos com altas doses de metais pesados, organoclorados, benzenos, dioxinas, furanos, entre outros, tem conduzido a pesquisas de desenvolvimento de tratamentos alternativos que não sejam nocivos ao meio ambiente e à saúde do ser humano. A partir de uma dessas pesquisas foi desenvolvida a “Unidade de Tratamento de Resíduos – UTR *DuoTherm*” (com solicitação de pedido de patente internacional), denominada no presente trabalho como *Alfa*, que é comercializada e fabricada pela Solum Ambiental (Solum Ambiental, 2014).

A UTR *DuoTherm* é um reator que contém duas fontes térmicas que geram um gradiente de calor de altas temperaturas entre essas fontes. Esse reator não possui refratário como nos modelos convencionais (exceto em seu núcleo), podendo ser usado em locais com reduzido espaço físico. O processo não necessita de combustão ou de um equipamento auxiliar. No interior do reator, há duas fontes térmicas, a primeira a 900 °C e a segunda a 1.600 °C, formando um gradiente térmico e liquefazendo por completo até mesmo materiais como os férreos ou inertes (areia). O resíduo não é misturado ao ar atmosférico e sofre uma destilação seca, ou seja, é desintegrado e liquefeito na



ausência de ar, o que reduz consideravelmente a formação de poluentes danosos (como as dioxinas e furanos) ao meio ambiente e à saúde, inclusive cancerígenos. O processo de fabricação está atualmente licenciado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) do estado de São Paulo (Solum Ambiental, 2014).

Devido às altas temperaturas com que o processo trabalha, não há formação de cinzas ou subproduto tóxico, como ocorre na incineração, mas sim a transformação de resíduos particulados em matrizes férreas e cerâmicas, não havendo necessidade de tratamentos auxiliares. A massa do resíduo orgânico é reduzida para cerca 10% da massa inicial e o volume sofre uma redução para aproximadamente 1% do inicial, dependendo do resíduo processado. Esse produto final pode resultar em três frações de diferentes estados físicos: a) sólido: material vítreo ou férreo dependendo da composição do resíduo; b) líquido: água e óleos; e c) gasoso: gás combustível: CH₄, H₂, CO, entre outros. Os gases, formados no interior do reator, são absorvidos e resfriados abruptamente e então tratados e neutralizados em um tanque de imersão alcalino e filtros à base de carvão ativado (Solum Ambiental, 2014).

Ainda, de acordo com a fabricante, não há necessidade de triagem, podendo-se processar diferentes tipos de resíduos simultaneamente, e o material resultante, caso seja uma matriz férrea, poderá ser comercializado na indústria metalúrgica e, caso seja uma matriz cerâmica, com as mesmas propriedades da brita, poderá ser comercializado para empresas de construção civil (Solum Ambiental, 2014).

Os gases a serem tratados sofrem um choque térmico, impedindo que moléculas nocivas como as dioxinas e furanos voltem a existir no meio ambiente. Além disso, o equipamento consegue dar destinação final aos resíduos de praticamente qualquer origem, incluindo dos serviços de saúde, pois o processo faz com que todos os tipos de materiais sigam praticamente o mesmo fluxo, sendo desintegrados, transformados em líquidos e solidificados em um material completamente inerte e atóxico. O equipamento *Alfa* é apto ao tratamento de todos os tipos de resíduos, com exceção dos 100% líquidos, materiais explosivos, areia pura e

metais com ponto de fusão acima de 1.600 °C (Solum Ambiental, 2014).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo classifica-se como uma pesquisa aplicada, por objetivar a geração de conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais (Gil, 2010). Na abordagem do problema, a pesquisa é qualitativa na análise e desenvolvimento, e quantitativa com a utilização de planilhas eletrônicas nos cálculos de custos. Em relação aos objetivos, ela é exploratória, visando proporcionar uma maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito.

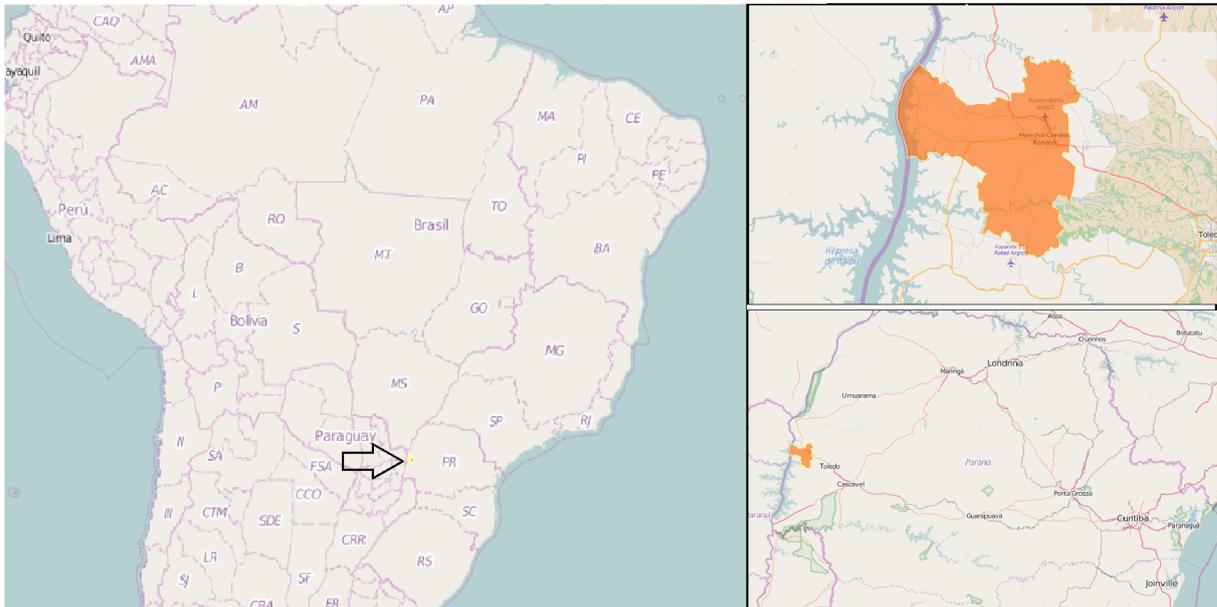
Quanto aos procedimentos técnicos, estes foram qualificados como estudo de caso, que para Yin (2001, p. 32) “é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real”. A coleta dos dados é documental, além de entrevistas não estruturadas com a empresa fornecedora do equipamento e com os responsáveis do setor no município, realizadas no período de junho a agosto de 2014.

Realizou-se a análise da viabilidade econômica para cada uma das técnicas de tratamento e estabeleceu-se uma relação de custo por tonelada. O método de custeio utilizado é o custeio por absorção; para Martins e Rocha (2010), o custo deve absorver, além dos custos variáveis, também os custos fixos, por isso, todos os métodos que atribuem custos fixos aos produtos pertencem a esse gênero.

O estudo é realizado na cidade de Marechal Cândido Rondon (Figura 1), estado do Paraná, com uma população estimada em 50.299 habitantes, 15.744 domicílios particulares, renda média de R\$ 1.018,98, índice de GINI de 0,5416 e índice de desenvolvimento humano (IDH-M) de 0,774 (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social [IPARDES], 2015). O município gera aproximadamente 25 toneladas de resíduo orgânico diário, ou seja, 497 gramas por habitante. O aterro sanitário está adequado à Lei 12.305/10 e tem prazo de vida útil estimado, nas condições atuais, em 7 anos.



Figura 1 – Localização geográfica de Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil



Fonte: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015)

A composição do sistema de recolhimento dos resíduos domésticos e de tratamento de RSU no município está organizada da seguinte forma: a logística do recolhimento dos resíduos das residências é realizada por uma autarquia municipal, o recolhimento dos resíduos sólidos recicláveis é feito por uma cooperativa e a disposição no aterro sanitário é de competência do município.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção é realizado o comparativo entre os custos de instalação de um aterro sanitário e a alternativa de compactação proposta, no atendimento ao princípio da economicidade na administração pública, buscando sempre a melhor alternativa para o município.

4.1 CUSTOS DE INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

Para Furlan (2007), as soluções de aterro vêm sendo otimizadas com a possibilidade de se promover o processamento mecânico do resíduo e algum tipo de compostagem, o que permite a redução do volume e, como consequência, redução da área ou o prolongamento da vida útil dos aterros.

Em relação aos custos de instalação e manutenção do aterro sanitário, houve certa dificuldade de obter informações dos custos de maneira organizada para a presente pesquisa, pois estes estão diluídos nas diversas secretarias, não

atendendo a critérios gerenciais ou de controladoria, mas a critérios diversos da administração pública. O aterro municipal atual conta com uma área de 129.683,60 m², adquirida em 2002 por R\$ 100.000,00, considerando que a estrutura tem um prazo de vida útil limitado, sendo necessária a aquisição de uma nova área no futuro. Para análise de viabilidade buscou-se o valor real do imóvel, que atualmente está, para aquisições de áreas similares, em aproximadamente R\$ 150.000,00 o alqueire (24.200 m²). Além disso, faz-se necessária a estrutura de edificação, cercado e instalações, estimada em R\$ 300.000,00.

Furlan (2007) comenta que os aterros sanitários pedem um investimento inicial mais baixo para o município que tenha áreas disponíveis, ou que consiga desapropriá-las a um custo mais baixo, no entanto, os custos de operação da solução do aterro tendem a subir com o tempo, em razão do passivo que se acumula. Conforme Martins e Rocha (2010), todos os custos utilizados exclusivamente para conceber, projetar, desenvolver e produzir um único produto são custos diretos dele, uma vez que a associação é direta, sendo que podem ser quantificados com acurácia, precisão e objetividade. Na Tabela 2, apresentam-se os custos diretos de manutenção do aterro sanitário no município, associados diretamente aos metros quadrados. Considera-se um aproveitamento de 90% da área adquirida para utilização no aterramento dos resíduos, sendo os custos da área e de implantação ajustados. Os custos diretos representam R\$ 40,12/m² e R\$ 4.682.313,23 do total do aterro sanitário.



Tabela 2 – Custos diretos de operação do aterro sanitário em Marechal Cândido Rondon – PR

Materiais/Serviços	Custo (R\$/m ²)	Custo Total (R\$)
Escavação Mecânica do solo	4,61	538.057,26
Manta Geomembrana PEAD 1 mm	14,00	1.634.013,36
Implantação da Manta	5,72	667.611,17
Escavação Mecânica	5,28	616.256,47
Proteção Mecânica	1,05	122.551,00
Apropriação do Custo da Área	6,89	803.823,97
Apropriação do Custo de Implantação	2,57	300.000,00
Subtotal	40,12	4.682.313,23

Fonte: dados da pesquisa.

Para Martins (2010, p. 49), os custos indiretos não oferecem condição de medida objetiva e qualquer tentativa de alocação tem de ser feita de maneira estimada e muitas vezes arbitrária (como aluguel, a supervisão, as chefias etc.), sendo indiretos em relação à aplicação no aterro. Na

Tabela 3, os custos indiretos são apropriados pelo critério de rateio por metro quadrado, cujas informações foram extraídas dos documentos relacionados nos processos de licitação. Os custos indiretos representam R\$ 3,68/m² e R\$ 429.039,03 no total do aterro sanitário.

Tabela 3 – Custos indiretos de operação do aterro sanitário em Marechal Cândido Rondon – PR

Materiais/Serviços	Custo (R\$/m ²)	Custo Total (R\$)
Pedra Brita N. 3	1,18	137.851,31
Escavação Mecânica da Vala	0,23	26.792,34
Geotêxtil não tecido 200 g/m ²	1,09	127.723,61
Tela Galvanizada	1,00	116.715,24
Forma de Madeira	0,04	4.903,81
Base Dreno	0,02	2.673,84
Tudo de Concreto	0,11	12.378,89
Subtotal	3,68	429.039,03

Fonte: dados da pesquisa.

Para Martins e Rocha (2010, p. 21), custos fixos são aqueles que não são afetados pelo volume, dentro de um determinado intervalo do nível de atividade. Eles geralmente se alteram quando há mudança de capacidade produtiva, para mais ou para menos, quando seu valor pode mudar de patamar, mas ele continua sendo fixo no novo patamar.

A Tabela 4 mostra os custos mensais de operação do aterro sanitário, considerando 3 funcionários com salário médio de R\$ 3.000,00, os

respectivos reflexos na contribuição previdenciária sobre a folha com uma alíquota de 27,5% (incluindo o valor de terceiros), 13^o salário e férias. As “horas máquinas mensais” correspondem aos serviços terceirizados de máquinas para escavações e aterramentos necessários e os combustíveis e despesas de veículos correspondem ao transporte dos funcionários até o empreendimento. O custo fixo de operação do aterro sanitário é de R\$ 31.775,00 por mês, representando R\$ 2.669.100,00 no período de 7 anos de duração do aterro sanitário



Tabela 4 – Custo fixo de operação do aterro sanitário em Marechal Cândido Rondon – PR

Custos de Operação	Mensal (R\$/mês)	Anual (R\$/ano)	Total Projeto (R\$)
Salários Operacional (3 funcionários)	9.000,00	108.000,00	756.000,00
Contribuição Previdenciária (27,5%)	2.475,00	29.700,00	207.900,00
13º Salário	750,00	9.000,00	63.000,00
Férias	1.000,00	12.000,00	84.000,00
Horas Máquinas Mensais	18.150,00	217.800,00	1.524.600,00
Combustível / Despesas Veículos	400,00	4.800,00	33.600,00
Subtotal	31.775,00	381.300,00	2.669.100,00

Fonte: dados da pesquisa.

Considerando que a produção atual do município é de 25 toneladas diárias de resíduos orgânicos que são destinadas ao aterro municipal, o custo é de R\$ 123,50/tonelada para o município, ou seja, R\$ 92.625,00/mês. O custo total do aterro sanitário para um prazo de vida estimado de 7 anos é de R\$ 7.780.500,00.

4.2 CUSTOS DE INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO ALFA

Em relação ao equipamento *Alfa*, a Solum Ambiental (2014) menciona que são de responsabilidade do cliente o transporte inicial do equipamento e a preparação das partes civis e elétricas para sua instalação. Para a aquisição do

equipamento são negociadas duas modalidades: (1) Operador, em que o adquirente do equipamento não é o consumidor final, terceirizando sua utilização; e (2) cliente final, em que o adquirente é quem fará a utilização do equipamento.

Os custos para utilização do equipamento são divididos em implantação e operação, sendo a implantação um valor cobrado uma única vez para a instalação e treinamento do equipamento e a operação um custo mensal, que é cobrado enquanto o cliente fizer uso do equipamento. O pagamento desses valores não transfere a posse do equipamento para o cliente, mas apenas o direito de utilizá-lo. Os valores para cada modalidade e modelo de equipamento estão identificados na Tabela 5

Tabela 5 – Modalidades e valores de negociação dos equipamentos

Modalidade	Capacidade/dia	Capacidade/hora	Implantação	Operação
Operador	2 toneladas	100 kg	R\$ 1.066.240,00	R\$ 31.500,00
	4 toneladas	200 kg	R\$ 2.007.520,00	R\$ 63.000,00
	10 toneladas	500 kg	R\$ 5.017.600,00	R\$ 157.500,00
Cliente Final	2 toneladas	100 kg	R\$ 1.066.240,00	R\$ 63.000,00
	4 toneladas	200 kg	R\$ 2.007.520,00	R\$ 126.000,00
	10 toneladas	500 kg	R\$ 5.017.000,00	R\$ 315.000,00

Fonte: Adaptado da Solum Ambiental (2014).

O equipamento possui um período de garantia de um ano, em que as manutenções de qualquer tipo, sejam preventivas ou corretivas, assim como troca de peças, serão de responsabilidade da fabricante. Após o período de garantia, toda manutenção do equipamento ficará a cargo, exclusivamente, da empresa fabricante e no local de instalação, sendo as peças necessárias para reposição orçadas à parte e trocadas mediante aprovação do cliente.

Para os cálculos utilizados nos custos de processamento de resíduos com o equipamento,

foram utilizados os custos de instalação e operação do modelo *Alfa* com capacidade de 10/toneladas por dia, na modalidade cliente final. Conforme dados do fabricante, foi considerada uma vida útil do equipamento de 20 anos e consumo de energia elétrica para esse modelo de 5.280 kW/dia.

Para efeitos de comparação e cálculos de viabilidade econômica entre os tratamentos de resíduos sólidos do aterro sanitário da cidade estudada e o processo térmico, os cálculos foram feitos para se chegar a um custo médio de processamento de resíduos em R\$/tonelada. Foram



considerados 2 operadores (1 para cada turno de trabalho) e os custos de combustível e despesas de veículos, foram considerados os mesmos do tratamento com aterro sanitário, uma vez que a diferença de valores não foi considerada significativa para efeito de cálculos da viabilidade. Os custos de energia elétrica foram calculados conforme o custo atual do kW/h de R\$ 0,43.

Na Tabela 6 são apresentados os custos mensais de tratamento intrínsecos ao processo com seus valores por mês, ano e o total do projeto, avaliado em 20 anos. Os custos de tratamento mensais calculados foram de R\$ 76.593,94, não sendo considerados os custos de manutenção corretiva e troca de peças após o período de garantia do equipamento, uma vez que a fabricante não forneceu uma estimativa para esses valores.

Tabela 6 – Custo fixo operação do equipamento Alfa

Custos de Tratamento	Mensal (R\$)	Ano (R\$)	Total Projeto (R\$)
Salários Operacional (2 funcionários)	5.500,00	66.000,00	1.320.000,00
Contribuição Previdenciária (27,5%)	1.512,50	18.150,00	363.000,00
13º Salário	458,33	5.500,00	110.000,00
Férias	611,11	7.333,33	146.666,67
Combustível / Despesas Veículos	400,00	4.800,00	96.000,00
Energia Elétrica	68.112,00	817.344,00	16.346.880,00
Subtotal	76.593,94	919.127,33	18.382.546,67

Fonte: dados da pesquisa.

O custo do terreno com 450 m² (15x30) para construção do barracão com 405 m² (15x27), com piso sanitário, nivelado, 7 metros de altura e instalações elétricas com voltagem de 220V foi orçado em um total de R\$ 300.000,00. Os valores

considerados para avaliar os custos por mês, ano e total do projeto ao final foram somados aos custos de tratamento mensais listados anteriormente, gerando um custo total do projeto ao final dos 20 anos de R\$ 98.999.546,67.

Tabela 7 – Amortização do custo de operação do equipamento Alfa

	Mensal (R\$)	Ano (R\$)	Total Projeto (R\$)
Construção do Barracão	1.250,00	15.000,00	300.000,00
Amortização do Contrato	20.904,17	250.850,00	5.017.000,00
Aluguel Mensal	315.000,00	3.780.000,00	75.600.000,00
Subtotal	335.904,17	4.030.850,00	80.617.000,00
Total Projeto	412.498,11	4.949.977,33	98.999.546,67

Fonte: dados da pesquisa.

Com os valores dos custos totais por mês de R\$ 412.428,11 e a produção mensal de resíduos para o modelo de equipamento com capacidade de 10 ton/dia, obteve-se um custo de tratamento por tonelada de resíduo de R\$ 1.374,99 por tonelada, representado principalmente pelo valor de locação mensal do equipamento. Para os cálculos de viabilidade econômica do tratamento de resíduos pelo equipamento não puderam ser considerados os custos com manutenção do equipamento após o primeiro ano de utilização e comercialização do material inerte gerado como produto final do processo. Em relação ao material gerado, há interessados em sua compra, porém ainda não

foram acordados valores de comercialização. Quanto à cogeração, essa possibilidade ainda está sendo estudada pela fabricante para agregar valor ao processo de tratamento de resíduos de seu equipamento (Solum Ambiental, 2014).

Considerando que o município produz 25 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos, o impacto financeiro na mudança de tratamento seria superior a 11 milhões de reais por ano. O resultado deve-se principalmente ao fato do baixo custo das áreas para construção de aterros sanitários, aproximadamente R\$ 6,50/m². Para viabilidade do equipamento Alfa o valor do terreno deve ser superior a R\$ 503,00/m².



Tabela 8 – Custos por tonelada aterro sanitário e equipamento Alfa

	Aterro Sanitário	Equipamento Alfa	
	RSU (ton)	Custos Totais	Diferença
	1	123,50	1.374,99 (1.251,49)
Diário	25	3.087,50	34.374,75 (31.287,25)
Mensal	750	92.625,00	1.031.242,50 (938.617,50)
Ano	9.000	1.111.500,00	12.374.910,00 (11.263.410,00)

Fonte: dados da pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o tratamento alternativo através do equipamento *Alfa* apresenta um custo muito superior ao tratamento por aterro sanitário utilizado atualmente pela prefeitura de Marechal Cândido Rondon – PR, com custo de R\$ 123,50/tonelada de resíduo sólido tratado e o alternativo de R\$ 1.374,99/tonelada, ou seja, 1.113,35% mais elevado. O equipamento apenas é viável caso o valor de aquisição do terreno fosse superior a R\$ 503,00/m².

Em relação ao espaço necessário, este tem sido um fator restritivo para a utilização de aterros sanitários em municípios ou países com espaço físico limitado e a incineração acaba sendo a opção preferencial. No entanto, um grande inconveniente da incineração é o fato de a técnica não representar a fase final de tratamento, necessitando de um tratamento adicional para as cinzas, geralmente depositadas em aterros, e as emissões dos incineradores podem proporcionar compostos orgânicos e inorgânicos potencialmente tóxicos para a população exposta.

O processo pelo tratamento de resíduos do equipamento *Alfa* tem pontos a seu favor, como a necessidade de um espaço físico reduzido, processo ecologicamente limpo e com emissão de poluentes dentro de níveis aceitáveis conforme determina a legislação, sem necessidade de tratamentos auxiliares ou complementares. Além disso, o material resultante da compactação dos resíduos deve ser considerado como um potencial subproduto a ser utilizado; sendo o material inerte, há possibilidade de utilização inclusive na construção civil.

A pesquisa contribui na análise comparativa de duas diferentes formas de tratamentos de resíduos. Embora novas tecnologias apresentem custos mais elevados de tratamento, são alternativas que podem ser consideradas conforme a característica dos resíduos e do local de implantação como hospitais e indústrias. Como sugestões de futuras pesquisas, recomenda-se a análise de viabilidade econômica com o equipamento *Alfa* no tratamento de resíduos de

saúde (RSS), por apresentarem custos de tratamento mais elevados do que os resíduos sólidos urbanos e em municípios que possuem dificuldades de área para constituição de aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2014). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. Recuperado em 16 agosto, 2015, de <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>.

Barreira, L. P., Philippi Junior, A., & Rodrigues, M. S. (2006, out/dez). Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. *Engenharia Sanitária ambiental*, 11(4), 385-393.

Capelo Neto, J., & Castro, M. A. H. D. (2005). Simulação e avaliação do desempenho hidrológico da drenagem horizontal de percolado em aterro sanitário. *Engenharia Sanitária ambiental*, 10(3), 229-235.

Chandramowli, S., Transue, M., & Felder, F. A. (2011). Analysis of barriers to development in landfill communities using interpretive structural modeling. *Habitat International*, 35(2), 246-253.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (1993). *Resolução Conama nº 5, de 5 de agosto de 1993*. Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários. Publicada no Diário Oficial da União nº 166, de 31 de agosto de 1993, Seção 1, páginas 12996-129818.

Demajorovic, J. (1995, maio/jun). Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos. *Revista de Administração de Empresas*, 35(3), 88-93.



Dmitrijevas, C. (2010). *Análise de eficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos*. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Eigenheer, E. M. (2009). *A limpeza urbana através dos tempos*. (1a. ed.). Porto Alegre: Gráfica Pallotti.

European Statistic. (2013). *Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method*. Recuperado em 4 novembro, 2015, de <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=tsdpc240&language=en&toolbox=data>.

Ferreira, M. I., Petrenko, H., Lobo, D. J. D. A., Rodrigues, G. S., Moreira, A., & Saldiva, P. H. N. (2000). In situ monitoring of the mutagenic effects of the gaseous emissions of a solid waste incinerator in metropolitan Sao Paulo, Brazil, using the Tradescantia stamen-hair assay. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(10), 1852-1856.

Furlan, W. (2007). *Modelo de decisão para escolha de tecnologia para o tratamento de resíduos sólidos no âmbito de um município*. 240 f. Tese (doutorado em Administração) Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Gil, A. C. (2010). *Como elaborar projetos de pesquisa*. (5a. ed.). São Paulo: Atlas.

Hjelmar, O. (1996). Disposal strategies for municipal solid waste incineration residues. *Journal of Hazardous Materials*, 47(1), 345-368.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 20 julho, 2014, de <http://www.censo2010.ibge.gov.br>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). *Síntese de informações de Marechal Cândido Rondon – PR*. Recuperado em 24 agosto, 2015, de <http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=411460&search=parana|marechal-candido-rondon|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>.

Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. (2015). *Caderno estatístico*

município de Marechal Cândido Rondon – PR. Recuperado em 19 agosto, 2015, de <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85960&btOk=ok>.

Leão, A. L., & Tan, I. H. (1998, março). Potential of municipal solid waste (MSW) as a source of energy in São Paulo: its impact on CO₂ balance. *Biomass and Bioenergy*, v. 14, n. 1, p. 83-89.

Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. (2010) Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Recuperado em 20 de julho, 2014, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm.

Martins, E. (2010). *Contabilidade de custos*. (10a. ed.). São Paulo: Atlas.

Martins, E., & Rocha, W. (2010). *Métodos de custeio comparados: custos e margens analisados sob diferentes perspectivas*. São Paulo: Atlas.

Monteiro, J. H. P., Figueiredo, C. E. M., Magalhães, A. F., Melo M. A. F., Brito J. C. X., Almeida, T. P. F., Mansur G. L. (2001). *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM.

Nakamura, C. Y., Marques, E., Vilela, P., Oda, T., Lima, L., Costa, R., & Azevedo, I. C. (2014). Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário. *Águas Subterrâneas*, 28(2), 28-40.

Paro, A. C., Costa, F. C., & Coelho, S. T. (2008, jul/dez). Estudo comparativo para tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários x incineração. *Revista Brasileira de Energia*, 14(2), 113-125.

Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468-493.

Santos, A. T. L., Henrique, N. S., Shhllindwein, J. A., Ferreira, E., & Stachiw, R. (2014). Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, 3(1), 15-28.

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2013). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento*. Recuperado em 20 julho, 2014, de



<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=16>.

Silva, C. L. da, Rabelo, J. M. O., Ramazzotte, V. C. B., Rossi, L. F. S., & Bollamann, H. A. (2009). A cadeia de biogás e a sustentabilidade local: uma análise socioeconômica ambiental da energia de resíduos sólidos urbanos do aterro da Caximba em Curitiba. *Innovar. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 19(34), 83-98.

Soares, S. R., Lupatini, G., & Castilhos, A. B. de. (2002). Sistema de apoio à decisão (SAD) em seleção de áreas de aterros sanitários para pequenas comunidades. In: Castilhos, A. B. de, Lange, L. C., Gomes, L. P., & Pessin, N. (2002). *Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades: coletânea de trabalhos técnicos*. Rio de Janeiro: RiMa, p. 3-12.

Solum Ambiental. (2014). *Solum Waste Solution: Unidade de tratamento de resíduos sólidos*. Recuperado em 1 agosto, 2014, de <http://www.solumambiental.com.br>.

Tang, J. (2012). *A cost-benefit analysis of waste incineration with advanced bottom ash separation technology for a Chinese municipality – Guanghan*. Recuperado em 4 novembro, 2015, de http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/PubDat_210340.pdf.

Tigini, V., Prigione, V., & Varese, G. C. (2014). Mycological and ecotoxicological characterisation of landfill leachate before and after traditional treatments. *Science of The Total Environment*, 487, 335-341.

Van Dijen, F. K. (2003). New initiatives on municipal solid waste incineration (MSWI) in the Netherlands. *VGB PowerTech*, 83(7), 57-59.

Yin, R. (2001). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Tradução Daniel Grassi. (2a. ed.). Porto Alegre: Bookman.