



EXPERIÊNCIA ALEMÃ COM TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Luisa Ferolla Spyer Prates¹ (luisa.ferolla@gmail.com), Klaus Fischer¹ (klausmartinfischer@hotmail.com), Karen Amaral¹ (karenjamaral@gmail.com), Daniela Neuffer¹ (daniela.neuffer@iswa.uni-stuttgart.de), Uwe Menzel¹ (uwe.menzel@gmx.de)
1 UNIVERSITÄT STUTT GART

RESUMO

A redução de matéria orgânica disposta em aterros sanitários reduz impactos ambientais negativos causados pela produção de chorume e biogás, aumenta o tempo de vida útil do aterro e reduz os custos de monitoramento e manutenção do aterro após seu fechamento. A pesquisa visa apoiar as metas estabelecidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2012 que determina uma redução de 53% da matéria orgânica sendo depositada em aterros até o ano de 2031. O tratamento mecânico-biológico (TMB) é uma das principais alternativas de tratamento para resíduos sólidos urbanos (RSU) utilizados na Europa. O artigo descreve três plantas alemãs que utilizam diferentes sistemas de TMB, assim como o sistema de gestão de RSU no país. As etapas mecânicas e biológicas são detalhadas assim como o custo de investimento e operacional de cada planta. As dificuldades apresentadas em plantas de TMB também são descritas. O TMB apresenta-se como uma alternativa viável para o tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil devido a sua alta flexibilidade para atender a realidade técnica e financeira do país.

Palavras-chave: Tratamento Mecânico-Biológico; Resíduos sólidos urbanos; Tratamento de resíduos.

GERMAN EXPERIENCE WITH MECHANICAL BIOLOGICAL TREATMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE

ABSTRACT

The reduction of organic material in landfills minimizes negative environmental impacts caused by leachate and gas production from waste, increases the lifetime of the landfill and reduces the costs of the landfill after-care period. The study targets to support achievement of the goals set by the Brazilian National Solid Waste Plan of 2012, which determines the reduction of 53% of the organic material being deposited in sanitary landfills by the year 2031. Mechanical-Biological Treatment (MBT) is one of the main alternatives to treat municipal solid waste in Europe. This article describes three different German MBT plants and also the solid waste management system in the country. The mechanical and biological steps are detailed, as well as the operational and investment costs of each plant. The difficulties shown by MBTs are described. In conclusion, MBT plants appear as a feasible alternative to treat Brazilian municipal solid waste due to its high flexibility to comply with local technical and financial reality.

Keywords: Mechanical Biological-Treatment; Municipal Solid Waste; Waste treatment

1. INTRODUÇÃO

O Panorama dos Resíduos Sólidos Urbanos 2014, publicado pela Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, estima que neste ano foram gerados 78,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo que 90,6% do resíduo produzido foi coletado. Deste material coletado, de acordo com o mesmo estudo, 58,4% foram encaminhados para aterros sanitários. Sendo esta, a principal forma de disposição final de resíduos sólidos no Brasil (ABRELPE, 2015). Analisando a características dos resíduos brasileiros, destaca-se a relevante parcela de matéria orgânica que representa 51,4% do total (BRASIL, 2012).



Quando os resíduos são aterrados, a fração orgânica é decomposta anaerobiamente e, durante este processo, biogás e chorume são gerados. O gás produzido constitui-se basicamente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), os quais são, reconhecidamente, gases de efeito estufa. Processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no aterro, transferem os poluentes presentes nos resíduos para o chorume tornando-o altamente poluente devido a altos teores de matéria orgânica dissolvida, compostos inorgânicos, metais pesados e compostos orgânicos xenobióticos. Assim, quando não coletados e tratados adequadamente, biogás e chorume causam danos ao meio ambiente (THEMELIS, ULLOA 2007). A degradação da matéria orgânica e consequente produção de chorume e biogás são processos que continuam por muitos anos após o encerramento do aterro (KRANERT, 2012). Desta forma, a necessidade de coletar e tratar tais emissões também continuam até que estas emissões atinjam cargas ambientalmente aceitáveis. Este tempo de manutenção necessário após encerramento da vida útil do aterro gera despesas prolongadas e aumenta a possibilidade de contaminação do meio ambiente decorrente da má gestão do sistema. Visando reduzir impactos ambientais, aumentar a vida útil do aterro, recuperar o conteúdo energético presente na fração orgânica e também reduzir custos associados ao tratamento de chorume e biogás, legislações estabeleceram metas para diminuir a carga orgânica sendo depositada nos aterros sanitários.

A Diretiva da União Europeia 1999/EC/31, tornou ilegal a disposição de resíduos sólidos não tratados em aterros sanitários a partir de 2005 nos países europeus. A principal e mais antiga forma de tratamento de resíduos sólidos é o tratamento térmico por incineração. Contudo, devido a motivos políticos e à baixa aceitação pública em relação a esta forma de tratamento, o tratamento mecânico-biológico (TMB) surgiu como alternativa à combustão de resíduos sólidos (THOMÉ-KOZMIENSKY, PELLONI 2011). O principal objetivo desta tecnologia era atender os limites regulatórios estipulados e ao mesmo tempo ser uma tecnologia de baixo custo, capaz de adaptar-se as condições locais (DEFRA, 2013). Hoje, após alguns anos de evolução, as plantas de tratamento mecânico-biológico, visam não somente a redução da carga orgânica, mas também a produção de combustíveis derivados de resíduos (CDR) e recuperação de materiais recicláveis, sendo que a comercialização destes produtos auxilia na manutenção econômica destas plantas. A Alemanha é um dos países que mais utiliza a tecnologia de tratamento mecânico-biológico, sendo que possui atualmente um total de 61 plantas em operação. (THOMÉ-KOZMIENSKY, PELLONI 2011).

No Brasil, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, publicado em 2012, prevê uma redução dos resíduos úmidos sendo dispostos nos aterros sanitários. A Tabela 1, expõe as metas estabelecidas pelo Plano Nacional para redução da carga orgânica com base na caracterização nacional realizada em 2010. O plano prevê uma redução gradual até 2031 e estabelece diferentes metas para as cinco grandes regiões do Brasil (Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-oeste).

Tabela 1. Meta de redução do percentual de resíduos úmidos dispostos em aterros, com base na caracterização nacional de 2010 (%)

Região	2015	2019	2023	2027	2031
Brasil	19	28	38	46	53
Norte	10	20	30	40	50
Nordeste	15	20	30	40	50
Sul	30	40	50	55	60
Sudeste	25	35	45	50	55
Centro-oeste	15	25	35	45	50

Fonte: BRASIL, 2012

Desta forma, a necessidade de proteger o meio ambiente, desenvolver a gestão de resíduos sólidos no Brasil e atingir a meta de estabelecida pelo Plano Nacional de Resíduo Sólidos, justifica a necessidade de investigar, conhecer e desenvolver tecnologias que suportem a redução da carga orgânica sendo disposta em aterros sanitários.



2. OBJETIVO

O principal objetivo do trabalho é conhecer alternativas de tratamento que auxiliam na redução da carga orgânica dos resíduos sólidos sendo depositados em aterros sanitário. Assim, a Experiência Alemã com sistemas de Tratamento Mecânico Biológico (TMB) foi investigada de forma a entender a tecnologia, custo e logística demandada pelo sistema.

3. METODOLOGIA

O artigo tem como base três estudos de casos em plantas de TMB alemãs que foram analisadas para entender o tratamento utilizado. Os custos operacionais assim como o investimento de cada planta também foram parâmetros investigados. As plantas foram escolhidas considerando diferentes capacidades de tratamento e tecnologias, de forma a abranger diferentes alternativas de tratamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Tratamento Mecânico-Biológico

O sistema de tratamento mecânico-biológico surgiu como uma tecnologia alternativa à incineração e com o principal objetivo reduzir a carga orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Desta forma, é importante ter em mente que os resíduos aptos a serem tratados por esse tipo de tecnologia são aqueles que possuem considerável parcela de material orgânico biodegradável (GTZ 2003). Resíduos derivados de indústrias, serviços de saúde e de construção civil, por suas características de alta periculosidade e baixa biodegradabilidade, respectivamente, não são passíveis de tratamento por sistemas de TMB.

Os objetivos do tratamento mecânico-biológico antecedente à disposição final em aterro sanitário incluem: inativar processos biológicos e químicos nos resíduos de forma a reduzir a formação de biogás e chorume; minimizar o volume e massa de resíduos sendo dispostos no aterro de forma a aumentar a vida útil do mesmo; imobilizar contaminantes presente na massa de resíduos visando reduzir a carga contaminante do chorume; aumentar a densidade do resíduo disposto em aterro e conseqüentemente reduzir os processos de assentamentos no aterro; reduzir a quantidade de chorume gerado e diminuir o tempo de cuidado após fechamento do aterro (MÜNNICH ET AL. 2006).

Como sugerido pelo nome, o sistema é constituído por uma etapa mecânica seguida por uma etapa biológica.

A etapa mecânica visa:

- i. Reduzir o tamanho e homogeneizar o material a ser tratado, de forma a otimizar o tratamento biológico;
- ii. Recuperar materiais recicláveis (metais, plásticos, vidros) e remover materiais que possam prejudicar o processo biológico;
- iii. Aumentar a concentração do material orgânico biodegradável.

O grau de complexidade e extensão do tratamento mecânico depende das características do resíduo a ser tratado (umidade, tamanho, composição, etc); da quantidade e qualidade de materiais recicláveis presente na massa de resíduos; do tratamento biológico a ser utilizado; da qualidade do produto final a ser alcançada e também da meta de reciclagem estipulada pela legislação e/ou operador da planta (FISCHER, 2012). A etapa de tratamento mecânico pode incluir os seguintes equipamentos: peneiramento (tambor, estático ou vibratório); separação magnética; separação manual; classificação aerada; classificação por correntes de Foucault; classificação por sistema de detecção infravermelho próximo; separador balístico. É importante ficar claro, que nem todos os elementos devem estar presentes simultaneamente na etapa de pré-tratamento mecânico.

O tratamento biológico é considerado a parte central do TMB, tendo como principal objetivo acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica. Os tratamentos disponíveis são subdivididos em processos aeróbios (com presença de oxigênio), processos anaeróbios (ausência de oxigênio) ou



processos combinados. Alternativas de sistemas para o tratamento biológico são: compostagem em leiras, compostagem em túneis, compostagem em containers; digestão anaeróbica; percolação; secagem biológica (Bio-drying) (FISCHER, 2012).

4.2 Gestão de resíduos sólidos urbanos na Alemanha

A gestão e gerenciamento de resíduos sólidos na Alemanha é guiada por regulamentos e diretivas estabelecidas pela União Europeia os quais devem ser adotadas por seus estados membros. Regulamentos são atos legislativos vinculativos, aplicáveis a todos os estados membros da EU. Já as diretivas são atos legislativos que fixa um objetivo geral que todos os países da EU devem alcançar, cabendo a cada país elaborar a sua própria legislação para cumprimento do objetivo estipulado. A principal diretiva relacionada a resíduos sólidos é a Diretiva de Resíduos 2008/98/EC, que define os principais termos relacionados a resíduos, a hierarquia das ações de resíduos e as principais disposições que guiam a legislação alemã (UBA, 2014). Os resíduos sólidos domésticos devem ser entregues ao setor público, o qual é responsável pelo gerenciamento deste resíduo. É responsabilidade das organizações públicas estaduais estabelecerem planos de sistemas de gestão e gerenciamento de resíduos. As organizações públicas estão autorizadas a comissionar terceiros a realizarem suas obrigações. Entretanto, tal comissionamento não exclui a responsabilidade do órgão público de cumprir sua obrigação de recuperar e dispor adequadamente os resíduos em questão. De acordo com a Lei de Gestão de Resíduos os estados têm jurisdição sobre aspectos que ainda não estão regulamentados pela lei federal, tratando de questões relacionadas a implementação da lei como: determinar quais entidades estão sujeitas às obrigatoriedades de disposição de resíduos, estruturar os órgãos para autorização de disposição de resíduos e estabelecer a legislação municipal.

A coleta e recuperação dos resíduos sólidos domésticos no nível municipal são regidos por leis municipais que estabelecem o uso e a integração no sistema público e também determina os encargos a serem pagos pela coleta de resíduos (UBA, 2014).

A gestão e gerenciamento do sistema de resíduos sólidos na Alemanha envolve a atuação de diversos grupos. Cerca de 1000 empresas municipais e privadas realizam a tarefa de coleta, recuperação e disposição dos resíduos sólidos urbanos. As empresas municipais correspondem a 35% e as empresas privadas são responsáveis por 65% da gestão dos resíduos sólidos urbanos domésticos. As empresas com permissão para tratar os resíduos em nome das autoridades públicas não podem visar lucro, mas apenas a cobertura dos custos de tratamento. Assim, o custo anual das plantas de tratamento de resíduos é distribuído entre o número de domicílios atendidos e o sistema é pago pelos cidadãos anualmente. Em geral, o sistema de resíduos sólidos na Alemanha é financiado pelas seguintes fontes (RETECH, 2010):

- O princípio do “poluidor-pagador” é a base de um sistema financiado por taxas, no qual o gerador deve pagar para o tratamento e disposição final do resíduo.
- A responsabilidade dos produtores e distribuidores de recolher, tratar e dispor de seus produtos resulta em um sistema financiado por este setor.
- A venda de materiais recicláveis de alta qualidade (originados de coleta seletiva) permite o financiamento de uma fração de atividades de gerenciamento de resíduos
- Outra fonte de recurso são os impostos.

O Regulamento dos Aterros (Deponieverordnung – DepV) determina métodos para a disposição ambientalmente correta de resíduos em aterros sanitários, define regras de construção, operação, monitoramento dentre outros detalhamentos. O regulamento estabelece limites que devem ser atendidos por resíduos tratados em plantas de tratamento mecânico-biológico. Os resíduos provenientes de plantas de TMB devem atender aos seguintes parâmetros de estabilização: a fração orgânica dos resíduos secos deve ser menor que 18% em massa (COT) ou possuir um poder calorífico inferior a 6.000 kJ/kg (matéria seca); carbono orgânico dissolvido de no máximo 300 mg/L;



a biodegradabilidade do resíduo seco deve apresentar uma atividade respiratória após 4 dias (AT4) menor que 5 mg O₂ /g resíduo seco ou 20 l/kg no teste de fermentação (GB21).

4.3 Estudos de caso

4.3.1 TMB de Aurich-Großefehn

A planta de Tratamento Mecânico-Biológico (TMB) de Aurich-Großefehn está localizada no município de Großefehn, distrito de Aurich, no norte da Alemanha. O sistema de tratamento mecânico-biológico está inserido no Centro de disposição de resíduos de Großefehn (Entsorgungszentrum Großefehn) o qual é operado pela empresa Materialkreislauf-und Kompostwirtschaft (MKW) GmbH. A MKW GmbH é uma empresa pública com responsabilidade limitada subsidiária do distrito Aurich desde 1982.

A planta atende a população dos distritos Ammerland, Aurich e Oldenburg, o que corresponde a 435.000 habitantes. A capacidade total aprovada da planta é de 47.600 Mg ao ano. Os tipos de resíduos tratados são: resíduo doméstico, resíduo comercial, resíduo volumoso, madeira, fração fina (< 40 mm) de resíduos já pré tratados em outras plantas de tratamento de resíduos (WASTECONSULT 2014). A unidade de disposição e tratamento de resíduos opera com 29 funcionários sendo 7 responsáveis por operar o sistema de tratamento mecânico-biológico. Os funcionários se distribuem entre funções administrativas, motorista da retroescavadeira e manutenção dos equipamentos, sendo que os funcionários possuem tarefas múltiplas.

O resíduo que chega ao centro de tratamento passa inicialmente por uma inspeção visual para remover possíveis impurezas, como solventes, óleos, resíduo químico, materiais explosivos, materiais perigosos, resíduos volumosos que possam danificar equipamentos. Este procedimento de inspeção visual é comum a todas as plantas de TMB.

O tratamento mecânico inicia com a trituração de todos os resíduos a serem tratados. Em seguida o material passa por um separador magnético que remove o material ferroso. Após a separação magnética o resíduo é peneirado e obtêm-se uma fração grossa (> 40 mm) com alto poder calorífico e uma fração orgânica fina (< 40 mm). A fração grossa é disposta em containers para ser transportada para planta de incineração. A fração fina é encaminhada para o tratamento biológico (WASTECONSULT 2014).

O tratamento biológico possui capacidade construída para tratar 24.000 Mg/ano de resíduos pré-tratados. A compostagem ocorre em 30 túneis aerados com duração total de 6-8 semanas. O resíduo é transportado da área do tratamento mecânico ao tratamento biológico por um sistema de esteiras transportadoras. Após a compostagem, o material é removido utilizando-se uma retroescavadeira (WASTECONSULT 2014).

O ar de exaustão das áreas com baixo nível de contaminação (área de recepção e tratamento mecânico) é tratado por um sistema constituído por um lavador de gás (scrubber) seguido de 5 biofiltros. O lavador de gás tem como função saturar o ar e reduzir o nível de poeira (MKW GmbH & Co.KG 2012). Já o ar com alto teor de compostos orgânicos voláteis, derivado dos túneis de compostagem, sistema de oxidação térmica regenerativa (Regenerative Thermal Oxidizer - RTO) associado a um purificador ácido é utilizado. O purificador ácido tem como principal objetivo reduzir o teor de amônia nas emissões (MKW GmbH & Co.KG 2012). O volume total de emissão a ser tratado é de aproximadamente 50.000 m³/hora durante a operação diurna e 30.000 m³/hora para turno noturno (ASA e.V. 2012).

A planta de TMB Aurich- Großefehn está inserida em um esquema de cooperação intermunicipal dos distritos Grafschaft-Bentheim, Aurich, Ammerland, Friesland-Wittmund e Oldenburg. Os distritos possuem uma dinâmica interessante para tratar seus RSU, havendo plantas que realizam apenas o pré-tratamento mecânico e encaminham a fração com alto teor orgânico para outra planta de tratamento realizar o tratamento biológico, o que confirma a alta flexibilidade do sistema devido sua configuração modular.



4.3.2 TMB de Münster

A planta de TMB localizada em Münster atende cerca de 281.000 habitantes deste estado. O sistema de tratamento mecânico-biológico é operado pelo Departamento de Resíduos do município de Münster – Abfallwirtschaftsbetriebe Münster. O centro de tratamento de resíduos possui uma área total de 40 hectares, incluindo um aterro sanitário que recebe cerca de 25.000 toneladas por ano de rejeitos. A planta, que trata resíduos domésticos, comerciais, públicos, volumosos e sobras de tratamentos prévios, opera com auxílio de 23 funcionários (Abfallwirtschaftsbetriebe Münster 2015).

O resíduo que chega ao centro de tratamento passa inicialmente por uma inspeção visual. Após inspeção o resíduo é triturado e encaminhado por meio de esteiras transportadoras para peneiramento. O processo de peneiramento possui duas etapas: a primeira consiste em uma peneira de 220 mm, sendo que a fração mais fina (<220 mm) segue para a segunda etapa de peneiramento que possui peneiras de 120 – 50 mm. Por sua vez, a fração fina (<50 mm) é encaminhada diretamente para a separação magnética e depois é encaminhada para o processo biológico. Já a fração grossa de ambas etapas (frações 50 a 120mm e > 220mm) passam por um sistema de classificação aerada com sistema de detecção infravermelho próximo que é capaz de recuperar plástico flexível, papel e componentes de madeira. Plástico e papel são encaminhados para reciclagem ou utilizados como combustível secundário. O resíduo não recuperado passa por um separador magnético para remoção dos metais ferrosos. A fração que resta é constituída de plásticos duros, material têxtil e couro, estes materiais possuem alto poder calorífico e são encaminhados para utilização térmica (Abfallwirtschaftsbetriebe Münster 2015).

Cerca de 2/3 da fração fina proveniente do tratamento mecânico, é tratada anaerobiamente por 18 dias em um sistema seco, termofílico (49°C), em etapa única. Após a digestão a massa digerida resultante é misturada com o 1/3 ainda não tratado biologicamente e encaminhado para compostagem em túnel. Esta compostagem ocorre aerobiamente por um período de 6 semanas. Durante o processo há uma redução de aproximadamente 1/3 em volume. Por fim, este material é encaminhado para disposição final no aterro (Abfallwirtschaftsbetriebe Münster 2015).

O biogás produzido durante o tratamento anaeróbio é tratado (sistema de dessulfurização e carvão ativado) e gera eletricidade para a planta TMB Münster (Abfallwirtschaftsbetriebe Münster 2015). O ar contaminado é coletado por um sistema de exaustão que capta até 42.000 m³/hora. O ar de exaustão é encaminhado para sistema de oxidação térmica regenerativa (RTO).

De acordo com informações o Plano de Gestão de Resíduos de Münster de 2007, publicado por AWM (Abfallwirtschaftsbetriebe Münster 2007), para uma quantidade inicial de 70.000 Mg de resíduos a ser tratada após o processo de TMB obtém-se apenas 24.479 Mg a ser encaminhada para o aterro. Papel, plástico, madeira, metais ferrosos e não ferrosos e a fração de materiais com alto valor calorífico são recuperados na etapa de tratamento mecânico. Durante a etapa biológica aproximadamente 2,4 milhões m³ de gás são gerados anualmente disponibilizando cerca de 2,8 milhões KWh para ser utilizado na planta (Abfallwirtschaftsbetriebe Münster 2015). O material de alto poder calorífico é levado para incineração na planta GMVA Oberhausen, localizada a 103 km de distância.

4.3.3 TMB de Kahlenberg

A planta de Tratamento Mecânico-Biológico de Kahlenberg está localizada no estado de Baden-Württemberg e recebe resíduos dos distritos de Ortenaukreis e Emmerdingen, o que corresponde a uma população de 570.000 habitantes. O sistema é operado pela empresa pública Associação de Tratamento de Resíduos Kahlenberg: Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg (ZAK) (ZAK 2009). A planta de TMB está localizada entre os dois distritos atendidos com uma distância de 24,2 km até Ortenaukreis e de 13,4 km até Emmerdingen.

A planta possui capacidade para receber 110.000 Mg/ano de resíduos domésticos. O tratamento visa recuperar materiais valiosos, produzir um combustível derivado de resíduo (CDR) e o garantir



o aproveitamento do conteúdo energético dos resíduos. A operação da planta é feita em dois turnos de 5 horas e possui 50 funcionários envolvidos na sua operação.

Após a inspeção inicial, os resíduos são triturados e em seguida passam por um sistema de peneiras com malhas de 60 e 150 mm. A fração fina (< 60 mm) segue para o tratamento biológico, e a fração grossa passa por uma separação magnética (remoção de metais ferrosos) e separador balístico (remoção de materiais inertes). Além dos processos automatizados, também há o controle manual do resíduo triado feita por dois funcionários. O objetivo principal da etapa de tratamento mecânico é recuperar a maior quantidade possível de resíduos com alto poder calorífico, e desta forma, conseguir produzir um CDR de alta qualidade (ZAK 2009).

O sistema que inicia a etapa biológica é chamado de Processo Aeróbio Definido Misturado: Defined Aerobic Mixing Process (DAMP® process). A fração de resíduos encaminhada para tratamento biológico é lavada com água de processo de forma que a matéria orgânica é transferida para água. Esta lavagem é feita durante dois dias em um sistema com movimento constante (meia volta por minuto). Dois produtos são gerados nesta etapa: a água de processo e a matéria sólida.

A água de processo, com alto teor de matéria orgânica, é tratada anaerobicamente. A digestão anaeróbia é feita em um sistema úmido, mesofílico, em etapa única. A água resultante é tratada e posteriormente reciclada para ser reutilizada no processo DAMP®.

A fração sólida passa por um processo de secagem biológica, conhecida como “biodrying”. A planta TMB Kahlenberg possui nove túneis de secagem com volume de 500 m³, comprimento de 30 m e altura de 3 m. Os túneis são completamente encapsulados e possuem aeração ativa. Os microrganismos produzem o calor necessário para secar os resíduos, elevando a temperatura do sistema até 50 a 60°C. Esta etapa do processo ocorre em 9 dias. Um resíduo seco, solto e homogêneo é produzido e encaminhado para o pós-tratamento mecânico, onde os diferentes componentes são separados (ZAK 2009).

Após a secagem biológica, o resíduo é encaminhado para um pós-tratamento mecânico, visando produzir um CDR de alta qualidade. Este tratamento ocorre de forma completamente automatizada constituído por sistemas de peneiras, sistemas aerados para diferenciação de materiais com diferentes densidades e remoção de impurezas.

O tratamento dos gases de exaustão com baixo nível de poluição (provenientes da área de pré-tratamento mecânico) é realizado por um sistema de umidificadores e biofiltros. Já o ar com maiores níveis de contaminação (derivado dos túneis de secagem biológica) é tratado por lavadores de gases (scrubbers) e sistema de oxidação térmica regenerativa (RTO).

4.3.4 Custos de investimento e operacionais

O resumo dos custos associados das três plantas estudadas, estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1. Título da tabela sem ponto final

Local	Capacidade ton/ano	Custo	
		Investimento	Operação
Aurich-Großefehn	47.600	12.300.000 €	66 €/ton
Münster	70.000	27.000.000 €	70 – 90 €/ton
Kahlenberg	110.000	40.000.000 €	70 – 95 €/ton

Fonte: *Elaboração própria com base em AWM Münster 2007; ZAK 2009; ASA e. V. 2012.*

Como há inúmeras alternativas de se proceder um TMB, o custo do tratamento pode variar consideravelmente de acordo com o sistema adotado. Tais custos também variam amplamente de acordo com o país na qual está localizada. Isto se deve ao fato de o custo para mão de obra, construção, energia, assim como os impostos e tarifas são altamente variáveis. Outro aspecto influente são os limites e padrões impostos pela legislação referente ao controle de emissões, qualidade da água, monitoramento. Desta forma, considerando as diferenças entre países e as diversas alternativas tecnológicas disponíveis, podemos dizer que o custo para tratamento



mecânico-biológico fica em uma ampla faixa de 10 – 75 USD/Mg quando não se considera a disposição final dos rejeitos (GTZ, 2000).

4.3.5 Dificuldades operacionais

A tecnologia de Tratamento Mecânico-Biológico ainda é relativamente recente e está em constante desenvolvimento. As dificuldades encontradas em diferentes etapas do TMB estão listadas abaixo (THOMÉ-KOZMIENSKY, 2011):

- Processamento mecânico: alto nível de desgaste dos equipamentos mecânicos; bloqueio e contaminação durante sistema de peneiramento e triagem; alta demanda de tempo e esforço para limpar, manter e reparar equipamentos; baixa disponibilidade de equipamentos devido a frequente necessidade de manutenção e reparo; subestimação do pessoal necessário para manter e reparar equipamentos; demanda energética subestimada

- Digestão Anaeróbia: alta flutuação na produção de biogás devido a entrada descontínua de substrato; maior quantidade de águas residuais produzidas do que esperado; e conseqüentemente maior custos e complexidade do sistema; sistemas operando com fermentação úmida e aeração do material digerido em tanques de lodos ativados apresentaram sérios problemas como bloqueios, incêndios e total destruição da etapa biológica.

- Corrosão: Alto nível de corrosão do sistema de purificação de ar, edifícios e ventilação; a fração a ser aterrada possui maiores concentrações de Carbono Orgânico Total quando comparados a cinzas e escórias de plantas de incineração.

O autor conclui que muitos dos aspectos acima reduzem a disponibilidade e capacidade do sistema, e, conseqüentemente, aumenta os custos operacionais e de manutenção (THOMÉ-KOZMIENSKY, 2011). Desta forma, é importante frisar que a tecnologia de TMB ainda está em constante desenvolvimento.

5. CONCLUSÃO

Considerando o atual cenário brasileiro de gestão de resíduos sólidos que apresenta baixa taxa de coleta seletiva, a ausência de incineração de resíduos sólidos urbanos como forma de tratamento e, o principal método de disposição final de resíduos sólidos urbanos sendo a disposição no solo (aterro sanitário, aterro controlado e lixões) (SNIS,2016), o sistema de tratamento mecânico biológico se estabelece como principal alternativa de tratamento dos resíduos sólidos urbanos antes de serem dispostos em aterros sanitários.

O TMB não é um conceito único, mas inclui uma extensa gama de processos que podem ser combinados de diferentes formas. A grande vantagem desta tecnologia é sua flexibilidade, podendo se adaptar as condições e objetivos locais devido sua configuração modular. Este aspecto também favorece uma transição de um sistema de baixa para alta tecnologia de acordo com demandas futuras.

É importante entender que o TMB não entra em conflito com o sistema de coleta seletiva, pois também é uma tecnologia efetiva para o tratamento dos rejeitos. O sistema de Tratamento Mecânico Biológico é um método efetivo para reduzir a carga orgânica potencialmente poluidora, recuperar materiais recicláveis não segregados na fonte e conseqüentemente reduzir o volume de resíduos sendo enviados para aterros sanitários. É importante considerar a situação local de mercado de reciclagem que poderia absorver os materiais recuperados durante o processo.

Apesar de ainda ser uma tecnologia em desenvolvimento, quando comparada com a incineração, as vantagens apresentadas pelo sistema incluem: melhor aceitação pela comunidade, menor custo investimento, permite recuperação de materiais recicláveis e não gera cinzas que devem ser dispostas em aterros especiais (Classe I).



REFERÊNCIAS

ABFALLWIRTSCHAFTSBETRIEBE MÜNSTER (AWM). Abfallwirtschaftskonzept der Stadt Münster 2007. Abfallwirtschaftsbetriebe Münster. Münster. Disponível em: <<http://awm.stadt-muenster.de>>. Acesso em 06/08/2015.

ALEMANHA. Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) - Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. 2012. Disponível em <http://www.bmub.bund.de> Acesso em 19/11/2015.

ASA e.V. Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung Mitgliedsbetriebe 2012. Disponível em <www.asa-ev.eu>. Acesso em 06/05/2015.

ABBRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2014. São Paulo, 2015. Disponível em: <www.abrelpe.org.br> Acesso em 10/08/2015.

AURICH. Landkreis Aurich Umweltschutz & Abfallwirtschaft – Gebühren und Preise 2016. Disponível em: <http://www.landkreis-aurich.de/8103.html> Acesso em 18/01/2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Versão Preliminar. Brasília, 2012. Disponível em <http://www.mma.gov.br>, Acesso em 3/30/2015.

CIMATORIBUS, C. Notas de aula - The biogas process. ISWA University of Stuttgart. Stuttgart, Alemanha, 2013.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS (DEFRA) Mechanical biological treatment of municipal solid waste. Londres, 2013. Disponível em <https://www.gov.uk>, Acesso em 4/20/2015.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ). Mechanical - Biological Waste Treatment? Introduction and Decision-making Tools for Application in Developing Countries. Eschborn, 2000. Disponível em: <<http://static1.squarespace.com>> Acesso em 08/09/2015.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ). Projeto setorial: Promoção do tratamento mecânico-biológico de resíduos. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn, 2003. Disponível em <http://www2.gtz.de>, Acesso em 5/12/2015.

FISCHER, K. Notas de aula - Solid Waste Treatment. University of Stuttgart. Stuttgart, Alemanha, 2012.

KRANERT M., Notas de aula - Design of Biological Waste Treatment Plants. ISWA Universität Stuttgart. Stuttgart, Alemanha, 2013.

MATERIALKREISLAUF- UND KOMPOSTWIRTSCHAFT (MKW GmbH & Co.KG). Abfallwirtschaft. Hand in Hand für unsere Bürger 2011. Disponível em <http://www.unserebroschuere.de> Acessado em 23/07/2015.

MÜNNICH, K.; MAHLER, C. F.; FRICKE, K. (2006): Pilot project of mechanical-biological treatment of waste in Brazil. Em Waste Manag 26 (2), pp. 150–157. DOI: 10.1016/j.wasman.2005.07.022.



GERMAN RECYCLING TECHNOLOGIES AND WASTE MANAGEMENT PARTNERSHIP E.V. (RETECH). Waste Management Made in Germany 2010. Disponível em: <http://www.retech-germany.net> Acessado em 01/12/2015.

THOMÉ-KOZMINSKY, K. J.; PELLONI, L. Waste management, Volume 2. Waste Management, Recycling, Composting, Fermentation, Mechanical Biological Treatment, Energy Recovery from Waste, Sewage Sludge Treatment. 2 volumes. ISBN: 978-3-935317-69-6. 2011.

UMWELTBUNDESAMT (UBA). Waste regulations 2014. Disponível em <http://www.umweltbundesamt.de> Acesso em 18/01/2016.

WASTECONSULT INTERNATIONAL. Discussion paper on the use of Mechanical Biological Treatment (MBT) to treat mixed putrescible waste. Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.wasteauthority.wa.gov.au> Acesso em: 16/06/2015.

ZWECKVERBAND ABFALLBEHANDLUNG KAHLENBERG (ZAK). Maximum Yield Technology 2009. Ringsheim, Alemanha. Disponível em <http://web317.bwx2.de/media/myt.pdf>, Acesso em 6/8/2015.