

UMA ANÁLISE SOBRE O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: PROPOSTA DE SISTEMA ALTERNATIVO, TRANSFORMANDO RESÍDUOS SÓLIDOS EM CARVÃO E ENERGIA

DOI: 10.19177/rgsa.v8e120191015-1042

Carlos Donizetti Abreu¹
Jairo Afonso Henkes²

RESUMO

Com a Rio+20 retornou-se a discussão de estratégias para conciliar desenvolvimento com proteção dos ecossistemas. Um tema apenas tangenciado nessas discussões é o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, que devido a um sistema que cada vez mais prioriza o conforto, facilitando as dificuldades do dia a dia, através do consumo de bens descartáveis, alimentos industrializados, eletro domésticos, celulares e outros bens de serviços, vem aumentando a geração de resíduos sólidos como: plásticos, papeis, resíduos industriais e eletrônicos, se tornando um passivo que dispostos de forma inadequada, produz danos muitas vezes irreparáveis a natureza prejudicando a saúde dos próprios usuários. Diante da institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos, (PNRS), Lei Federal no 12.305/2010 (Brasil, 2010) e regulamentada pelo Decreto no 7.404, de 23 de dezembro de 2010, observa-se que o inadequado gerenciamento dos resíduos sólidos, gera impactos imediatos no ambiente contribuindo para as mudanças climáticas. Considerando as limitações das opções de destinação final para os resíduos, e neste contexto, destaca-se o papel dos catadores, que vêm realizando um trabalho de grande importância ambiental, sendo preciso delinear políticas públicas que tornem a atividade de catação mais digna e com menos riscos e que, ao mesmo tempo, garantam renda, para assim caminhar rumo a um desenvolvimento mais saudável, justo e sustentável. Aborda-se neste trabalho uma tecnologia inovadora que transformam todo tipo de resíduo sólido em carvão ecológico, esta tecnologia busca minimizar os efeitos poluentes em cada fase, produzindo um balanço geral positivo, que pode ser demonstrado em Relatório de Controle Ambiental, entre eles destacam-se a redução da pressão sonora, de efluentes atmosféricos e de efluentes líquidos no tratamento de óleos minerais e vegetais, materiais de origem mineral, vidro, sucata metálica, eletrônica e resíduos hospitalares. Um sofisticado sistema desenvolvido para o tratamento dos gases gerados nos processos, que realiza a lavagem dos gases utilizando além dos líquidos e componentes de absorção, processo de cavitação, eliminando os gases e os odores gerados pela decomposição natural dos resíduos orgânicos, atendendo às exigências da PNRS, resolvendo assim uma pendência ambiental a pesar dramaticamente sobre as prefeituras.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Impactos Ambientais. Inclusão social. Energia alternativa. Biomassa.

¹ Gestor Ambiental. Unisul. E-mail: abreu@qualitar.com.br

² Doutorando em Geografia (UMinho-Pt). Mestre em Agroecossistemas (UFSC). Especialista em Administração Rural (UNOESC). Engenheiro Agrônomo (UDESC). Professor do Curso de Administração, do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental e do Programa de Pós Graduação em Gestão Ambiental da Unisul. E-mail: jairohenkes333@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A sociedade esta cada vez mais consciente quando o assunto é o meio ambiente, tem se notado os impactos provocados pelos lançamentos indiscriminados e sem controle de resíduos de todos os tipos de atividades antropogênicas de varias origens, resíduos de toda espécie, inertes, tóxicos, orgânicos, inorgânicos, perigosos, recicláveis ou não, podem ser encontrados na natureza de forma inadequada sem nenhum tipo de tratamento, provocando contaminação, degradando o ambiente e os cursos d'água expondo a população a sérios riscos de saúde; Os resíduos gerados nas áreas de serviços de saúde são um dos principais problemas nas áreas urbanas, sua geração, descarte e disposição inadequados, causam impactos ambientais, sociais, econômicos e de saúde publica; Sabemos que as soluções para esses problemas dependem de desenvolvimento e implantação de tecnologias adequadas para a redução, reutilização e reciclagem desses resíduos; A tecnologia correta é aquela que uma vez aplicada, traga mais vantagens do que os efeitos colaterais, a exemplo da incineração que diminui o volume dos resíduos, tem auto poder energético mas destrói a atmosfera com as emissões de gases tóxicos e de difícil tratamento usando os equipamentos convencionais; Através da utilização de tecnologias multi disciplinares, desenvolveu-se um "Sistema de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos", onde se aplica equipamentos de última geração tendo a Pirólise como meio de degradação dos resíduos transformando estes em carvão conforme já conhecido o estado da técnica; Assim, apresentarei através deste trabalho o sistema e tecnologia para a substituição dos meios em uso de descarte final dos resíduos.

2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 RESIDUOS SOLIDOS

O crescimento na geração de resíduos, tem se tornado uma preocupação mundial entre os Países desenvolvidos, a destinação final, ideal, e a seleção de me-

tecnologias para eliminação destes resíduos que possam atender as legislações vigentes, tem se tornado uma tarefa bastante complexa, no que diz respeito às exigências ambientais, sociais e econômico-financeiras. As ações de eliminação dos depósitos de resíduos urbanos a céu aberto, os chamados lixões, foram muito bem recebidas pela população e evoluíram de maneira a aperfeiçoar os sistemas de coleta destes resíduos e reforçar a importância da segregação dos seus componentes valorizando e reintroduzindo no mercado os materiais recicláveis. Esta ação proporciona uma redução direta no volume destes resíduos. No entanto, diversos tipos de resíduos necessitam passar por tratamentos diferenciados para que tenham destinação de forma adequada conforme a legislação ambiental, em Aterros Sanitários controlados, Equipamentos de incineração e/ou pirólise, em função de sua periculosidade. Estas duas últimas opções podem ainda proporcionar a geração de energia térmica e elétrica, sendo que para isso, deve-se levar em consideração a avaliação das características físicas, químicas e biológicas dos resíduos, sendo de fundamental importância conhecer o poder calorífico, que indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima.

Uma das alternativas de disposição final dos resíduos mais utilizadas ainda é o aterro sanitário (CASTILHO JR.A.B, 2003). Entretanto, é uma solução de baixa eficiência quando comparado com outros sistemas, constituindo-se na forma mais inadequada de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, por causarem problemas como, a destruição da paisagem natural, alta concentração de produtos em processo de degradação, atração de vetores de doenças, organismos patogênicos, aliados à geração e emissão de gás, especialmente metano (CH₄), Sulfídrico (H₂S), Dióxido de carbono (CO₂) e Monóxido de carbono (CO), gases que agride a atmosfera, atraindo também pessoas de baixo poder aquisitivo, que buscam no lixo o seu sustento, em clara degradação social. Todavia outras alternativas podem ser utilizadas para o tratamento dos resíduos para reduzir as ações nocivas ao meio ambiente. Dentre elas, abordar-se-á a incineração, que nada mais é que um tratamento baseado na combustão ou queima dos resíduos, é um processo que demanda investimentos bastante elevados e a necessidade de um rigoroso controle da emissão de gases tóxicos gerados pela combustão, o que torna sua operação e manutenção mais onerosas. O sistema de incineração de resíduos sólidos com o objetivo de geração de energia tem que ter a colaboração dos geradores dos resíduos, se não houver a separação dos resíduos conforme as suas características, o teor elevado

de umidade nos resíduos pode levar o sistema à falência operacional. A Pirólise no seu processo térmico, a decomposição das frações orgânicas é realizada em atmosfera isenta ou muito pobre em oxigênio. De acordo com a composição, a Pirólise é um dos processos mais eficientes de destinação final dos resíduos sólidos que já foi elaborado pelo homem, depois de muitos estudos chegou-se em um processo tecnológico que viabilizou a Pirólise como sendo o sistema que substitui as outras tecnologias com inúmeras vantagens, tem custo de implantação mais barato, pois pode processar todos os tipos de resíduos sólidos inclusive o lodo das ETE's, seu sistema é contínuo podendo processar qualquer quantidade de resíduos produzidos, é auto-sustentável, se mantendo com o próprio combustível que produz, podendo ser Carvão, Bioóleo e Gases não condensáveis (CHHITI e KEMIHA 2013). O sistema de pirólise não necessita de energia externa, o que a faz tão fascinante do ponto de vista científico, prático e econômico.

2.2 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

2.2.1 ATERRO SANITÁRIO

A implantação desse sistema tem como objetivo minimizar o problema do lixo no mundo, sobretudo a contaminação do solo, água e ar. Quando o lixo se decompõe gera substâncias como: chorume, líquido escuro, viscoso e tem cheiro forte que libera gás metano (CH_4), um dos principais causadores do efeito estufa, sendo mais prejudicial para o aquecimento global que o dióxido de carbono (CO_2) (CASSINI, 2003). O sistema dos aterros sanitários possibilita a captação do chorume e dos gases liberados pelo lixo, já que são os resíduos tóxicos que contaminam o solo, o ar e os cursos de água.

Na figura 1 pode-se ver um exemplo, é importante entender que os aterros sanitários têm sua vida útil pré determinada pela quantidade de lixo que nele poderá ser depositada, após esse período, o aterro deve encerrar suas atividades de recepção de resíduos naquele local.

O metano é o gás produzido em maior volume dentre os gases liberados na decomposição do lixo, sendo explosivo e bastante volátil. Por isso, é comum controlar seu escapamento através da queima, a qual se apresenta invisível (MEIRA, 2003). Para o monitoramento dos gases gerados, devem ser construídos poços de monitoramento a fim de se avaliar se estão ocorrendo vazamentos e contaminação

do lençol freático: no mínimo quatro poços, sendo um a montante e três a jusante, no sentido do fluxo da água do lençol freático. Deve se destacar ainda que o efluente das lagoas de tratamento dos percolados líquidos (chorume) deve ser monitorado pelo menos quatro vezes ao ano de acordo com as normas oficiais (NBR nº 13.896 da ABNT de 1997).

Figura 1 - Estrutura de aterro sanitário



Fonte: Toda Matéria, 2018.

2.2.1.1 Vantagens do aterro Sanitário

- Menor impacto ambiental;
- Redução da liberação de metano na atmosfera;
- Conversão dos gases em fontes de energias renováveis;
- Geração de energia com motores a gás.

2.2.1.2 Desvantagens do aterro Sanitário

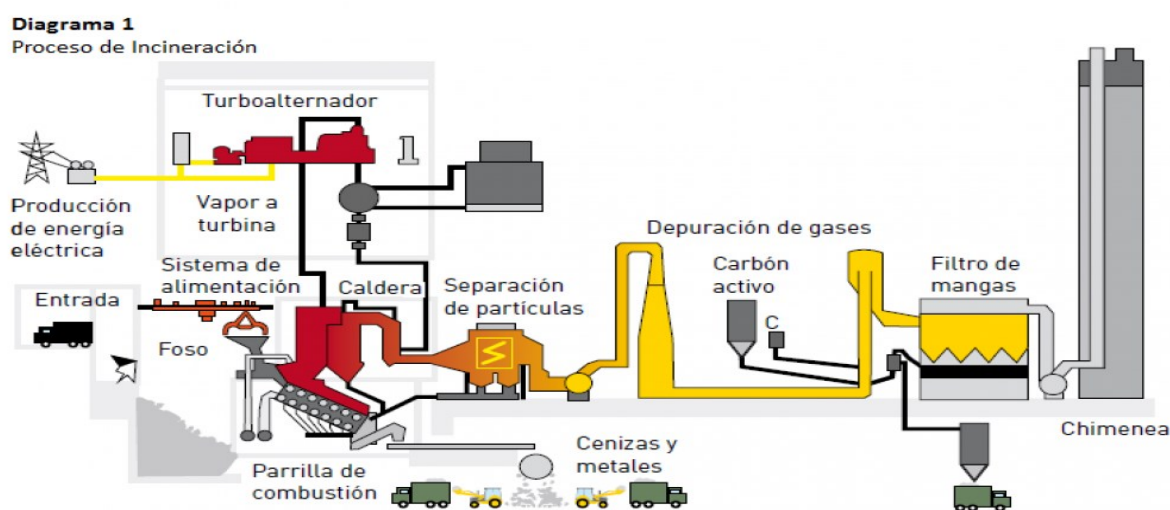
- Construção que exige grandes extensões de terras;
- Impactos ambientais: poluição do meio ambiente como vazamentos de líquidos e gases; contaminação dos lençóis freáticos e aquíferos; riscos aos animais selvagens;
- Limite de quantidade de camadas de lixo;
- Presença de ratos, moscas e transmissão de doenças;
- Alto custo econômico na implantação e na manutenção (CASTILHO JR., 2003).

2.2.2 INCINERADORES

Os resíduos sólidos são queimados através de altas temperaturas entre 900°C a 1200°C gerando uma grande quantidade de calor, que normalmente é aproveitado para geração de energia na forma de vapor, Figura 2. É normal no processo de incineração de resíduos sólidos, a geração de gases, CO, CO₂, SO₃, NO₂, HCl, HF, bem como vapores de metais pesados, Pb, Hg, Cd, Cr, Cu, e outros, óxidos metálicos, Al₂O₃, FeO e Fe₂O₃ e particulados, (CETESB, 1985).

A grande vantagem na utilização do processo de incineração esta na velocidade de destruição dos resíduos e a possibilidade do aproveitamento do mesmo como combustível auxiliar, devido ao seu alto poder calorífico. Como desvantagens tem-se o alto custo de instalação, operacional devido ao controle permanente de emissões gasosas, onde a ineficiência dos sistemas de tratamento, vem causando grande prejuízo ao meio ambiente, (CETESB, 1985).

Figura 2 - Partes constituintes de um incinerador



Fonte: TCHOBANOGLOUS, 1993.

2.2.2.1 Vantagens da incineração

São vantagens relevantes da incineração: redução dos resíduos em até 5% do volume e 15% do peso original, transformando-os em cinzas e escória, e aumentando consideravelmente o período de vida útil do aterro; eliminação satisfatória, sob o ponto de vista sanitário, de resíduos de serviços de saúde, alimentos, medicamentos vencidos, sobras de laboratórios e animais mortos; diminuição de distância de transporte, devido à possibilidade de localização da instalação em áreas pró-

ximas aos centros urbanos; bom funcionamento, independentemente das condições meteorológicas; possibilidade de recuperação de energia contida nos resíduos.

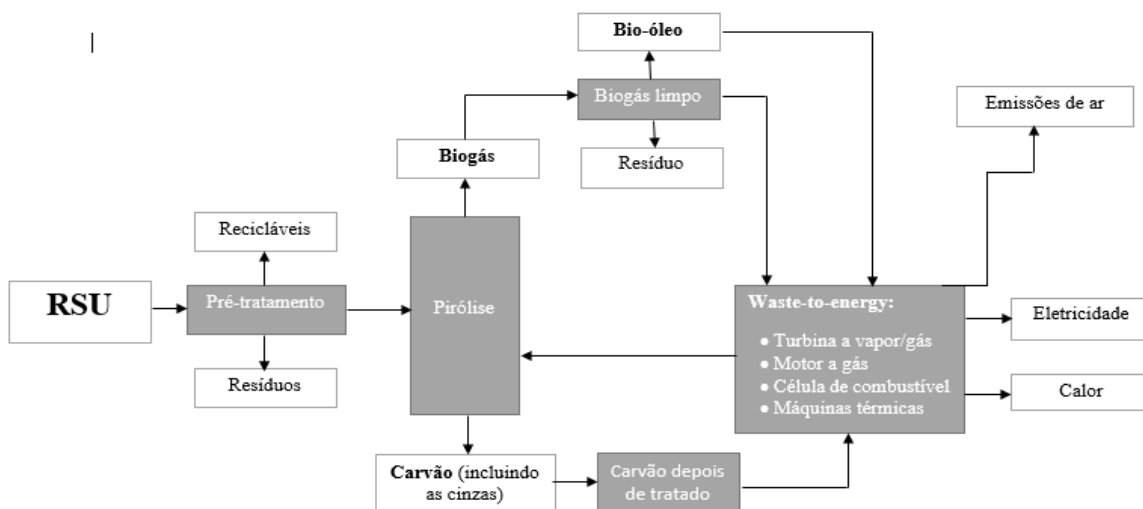
2.2.2.2 Desvantagem da incineração

Como desvantagens desse processo, destaca-se: investimento elevado; alto custo de operação e manutenção; gera poluição atmosférica com custo elevado para o controle, exigência de mão de obra especializada na operação.

2.2.3 PIRÓLISE NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS

A pirólise é um processo térmico de tratamento que promove a decomposição de resíduos em atmosfera ausente de oxigênio, tem se tornado objeto de estudos na busca por soluções que diminuam impactos ocasionados pela disposição ou tratamento de resíduos para a substituição dos processos existentes, com menor potencial de geração de poluentes, comparados com os aterros sanitários e os incineradores. Praticamente não emitindo gases de efeito estufa, e como a temperatura é baixa em relação a outros processos, não ocorre a vaporização de metais pesados. Destacando-se em relação aos outros processos, pois além de reduzir consideravelmente a massa e o volume de resíduos, produz combustíveis de alta qualidade, que podem ser utilizados para gerar energia, estes combustíveis podem ser gasosos, líquidos e sólidos, dependendo do objetivo da planta, diferenciando-se de outras tecnologias por possuir mais alternativas na geração de produtos (ALMEIDA, 2008; BOSMENS; GEYSEN; VANDERREYDT, 2012; BRASIL, 2007; IONESCU, 2016).

Figura 3- Processo de pirólise



Fonte: Do autor adaptado de Bosmans; Geysen; Vanderreydt (2012).

2.2.3.1 Vantagens do processo da pirólise

As vantagens da pirólise são a redução dos resíduos em até 95% do volume original, transformado em cinzas e escória, estes podendo ainda ser usado na construção civil, eliminação satisfatória de resíduos de serviços de saúde, Industriais alimentícias, lixo hospitalar, lixo orgânico; Baixo custo de Instalação, Manutenção simples, fácil operação, simplifica a logística, pode ser instalada próximo do ponto de coleta, produz vários tipos de componentes energéticos, com aproveitamento na geração de energia elétrica, os efluentes gasosos e líquidos são tratados e monitorados não gerando nenhum passivo ambiental sendo quase tudo aproveitado e possibilita geração de empregos diretos na pré reciclagem de maneira segura e saudável aos colaboradores.

2.2.3.2 Desvantagem do processo da pirólise

Como desvantagens desse processo é o desconhecimento, por se tratar de tecnologia inovadora, ainda tem muita resistência quanto a implantação do sistema em grande escala operacional, ainda é desconhecido a sua durabilidade e funcionamento do sistema.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e demonstrar que o sistema de Tratamento de Resíduos Sólidos pela pirólise pode substituir os Aterros Sanitários e os Incineradores com muitas vantagens e segurança, transformando resíduos sólidos urbanos em outras fontes de energia renováveis, tais como: Carvão (CRSU), Bio óleo e Gases, de acordo com Basu (2010), Chen et al. (2014) e Chhiti e Kemiha (2013).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Baseado nestas e outras informações como: Potencial de matéria prima no caso RSU, necessidade de geração de energia e preservação Ambiental mitigando o desmatamento e o passivo ambiental dos RSU, foi desenvolvido um projeto tecnológico para transformar RSU em Combustível de Resíduos Sólidos Urbanos (CRSU) denominado de Sistema para Tratamento de Resíduos Sólidos pela Pirólise.

O modelo desenvolvido pela empresa TJMC Empreendimentos (Natureza Limpa), é uma planta de grande porte e foi projetada para receber, resíduos orgânicos provenientes do RSU. Esta usina trabalha com uma temperatura média de 500°C de modo contínuo, com capacidade de 120t/dia (ALVES, 2016). Os resíduos sólidos coletados depois de pesados, são levados a um forno secador que tem a função de reduzir a umidade dos RSU, rasgar as embalagens, para poderem ser reciclados, são encaminhados a um separador dessimétrico com função de separar por densidade os materiais recicláveis. Depois de retirados os materiais recicláveis, ocorre a trituração dos Resíduos restantes, fragmentando todo o material em uma granulométrica uniforme. Essa biomassa triturada é levada até o reator pirolítico, onde ocorre a pirólise da biomassa, em média temperatura de 500°C, carbonizando a biomassa transformando em carvão, que é resfriado para disposição final. Os gases da pirólise são processados e eliminados através de lavadores especiais de alta tecnologia, a solução líquida e os resíduos nela contidos, são descartados no sistema de tratamento de efluentes líquidos. Os efluentes gasosos são condensados e reutilizados no processo. A geração de calor ocorre nas caixas de combustão, que é alimentado com carvão do próprio processo (TJMC Empreendimentos, 2016).

Todos os resíduos sólidos urbanos, de origem domiciliar, comercial e de limpeza urbana, os plásticos, papéis, borrachas, óleos comestíveis e lubrificantes podem integrar a massa a ser convertida em carvão através da pirólise. Para cada vertente há uma estrutura ajustável da usina de acordo com a demanda de resíduos (Colesanti; Morais, 2014).

Este sistema traz algumas vantagens se comparado aos sistemas aqui estudados:

- Não necessita de combustível externo, os fornos são abastecidos com o próprio carvão produzido, sendo o restante do carvão comercializado para outros fins;
- O rejeito do processo é praticamente zero, pois as cinzas podem ser aproveitadas na agricultura e na produção de insumos para construção civil. (TJMC Empreendimentos, 2016);
- O carvão produzido no processo de pirólise, pode substituir o carvão vegetal usado na queima em fornos e ou caldeiras para processos produtivos em indústrias alimentícias e também para geração de energia elétrica;
- Este sistema de processo é linear, de modo que para processarmos o dobro, basta dobrar a unidade processadora; Sem poluição sonora, do solo e do ar;
- O sistema pode ser instalado em qualquer lugar permitindo assim um melhor planejamento e estratégico para o gerenciamento dos resíduos;
- A instalação de uma planta tem baixo custo e pode-se considerar investimento de retorno rápido e lucrativo, considerando tudo o que se pode aproveitar dos resíduos. (TJMC Empreendimentos, 2016).

Como desvantagens desse processo é o pouco conhecimento, por se tratar de tecnologia inovadora, ainda tem muita resistência quanto a implantação do sistema em grande escala operacional, ainda é desconhecido a sua durabilidade e funcionamento do sistema.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 CAMPO DE ESTUDO

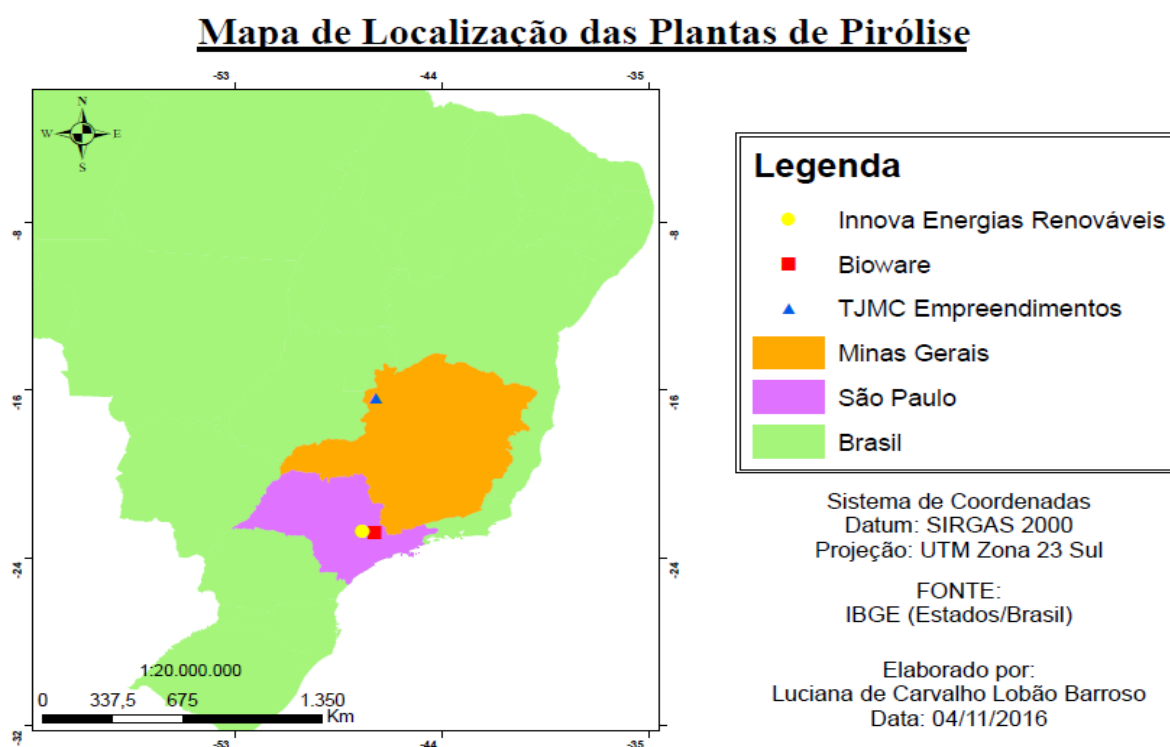
Como este trabalho é multi disciplinar com aplicação de varias ciências, descrevendo a realidade e as possibilidades como ela se apresenta, foram utilizadas pesquisas quantitativa, qualitativa e bibliográfica, através de análise das publicações R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.1015-1042, jan/mar. 2019.

pode se comparar e expressar ideias e pensamentos, tendo também a natureza exploratória e descritiva por ter o autor participado diretamente do desenvolvimento do projeto e implantação de uma planta de pirólise em escala comercial, foi feito buscas de diversos estudos a fim de enriquecer nosso conhecimento no assunto.

4.2 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Foram identificadas no Brasil três empresas, conforme a Figura 4, que desenvolvem plantas de pirólise, das quais somente a TJMC é o objeto de estudo do presente trabalho.

Figura 4 - Localização das plantas de pirólise no Brasil



Fonte: Bioware Tecnologia; Innova Energias Renováveis; TJMC Empreendimentos (2016).

A proposta de Sistema e equipamentos para aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos como fonte energética, contempla o sistema de pirólise de fluxo contínuo para transformar Resíduos Sólidos Urbanos em carvão embora esse processo contempla também outros tipos de produtos como Bio óleo e Gás, demonstrados nas figuras 5, 6 e 7.

Figura 5 - Carvão do processo de pirólise



Fonte: TJMC Empreendimentos (2016). MG

Figura 6 - Bio óleo do processo de pirólise



Fonte: Bioware Tecnologia (2016)

Figura 7 - Gás do processo de pirólise



Fonte: Almeida (2008)

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DA REALIDADE OBSERVADA

5.1 INCINERAÇÃO COMBUSTÃO DIRETA

A combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Pa-

ra fins energéticos, em fornos de metalurgia, caldeiras industriais e termo elétricas. Embora muito prático, às vezes, o processo de combustão direta é ineficiente quando é alta a umidade, (20% ou mais) ocasionando baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos orgânicos etc.) (SANCHEZ; LORA; GÓMEZA, 1997).

5.2 ATERROS SANITÁRIOS, DIGESTÃO ANAERÓBIA

Digestão anaeróbia, assim como a pirólise, ocorre na ausência de ar, mas, nesse caso, o processo consiste na decomposição do material orgânico pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos). Trata-se de um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos. O aproveitamento energético de Resíduos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais, Resíduos domésticos etc.) é feito pela digestão anaeróbia no aterro sanitário ou em biodigestores, onde o processo é favorecido pela umidade e aquecimento. O aquecimento é provocado pela própria ação das bactérias. Em termos energéticos, o produto final é o biogás, composto essencialmente por metano (CH_4), Sulfídrico (H_2S) e dióxido de carbono (CO_2). Seu conteúdo energético gira em torno de 5.500 kcal por metro cúbico, após tratamento pode ser usado em motores de combustão interna para a geração de energia elétrica. O efluente gerado pelo processo é o chorume que pode ser usado como fertilizante (SANCHEZ; LORA; GÓMEZA, 1997).

5.3 PROCESSO DE PIRÓLISE

A pirólise ou carbonização é o mais simples e o mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão). O processo consiste em aquecer o material original (300°C e 500°C), na quase ausência de oxigênio, até que os materiais voláteis sejam retirados (Bio óleo, gases, Alcatrão, ácido piro lenhoso e metais), sendo neste caso o principal produto final (carvão), tendo uma densidade energética maior que aquela do material de origem, sendo que seu potencial energético pode variar de acordo com as características do processo e o teor de umidade do material de origem. Nesse processo pode se através do controle da temperatura, coletar o material

volátil, visando melhorar a qualidade do combustível gerado e o aproveitamento dos resíduos. Nos processos de pirólise rápida, sob temperatura entre 800°C e 900°C, cerca de 60% do material se transforma num gás rico em hidrogênio e monóxido de carbono (apenas 10% de carvão sólido), o que a torna uma tecnologia competitiva com a gaseificação. Todavia, a pirólise convencional (300°C a 500°C) ainda é a tecnologia mais atrativa, devido ao problema do tratamento dos resíduos, que são maiores nos processos com temperatura mais elevada (Ramage; Scurlock, 1996), conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1- Variante do processo da pirólise

Processo de Pirólise	Tempo de residência	Temperatura (°C)	Taxa de Aquecimento	Produto Principal
Lenta	Horas/dias	300 - 500	Muito Baixa	Carvão
Convencional	5 - 30 min	400 - 600	Baixa	Bio óleo, Carvão e Gases
Rápida	0,5 - 5s	400 - 650	Alta	Bio óleo
Flash	< 1s	400 - 900	Alta	Bio óleo, Químicos e Gases

Fonte: Adaptado de Bosmans; Geysen; Vanderreydt (2012).

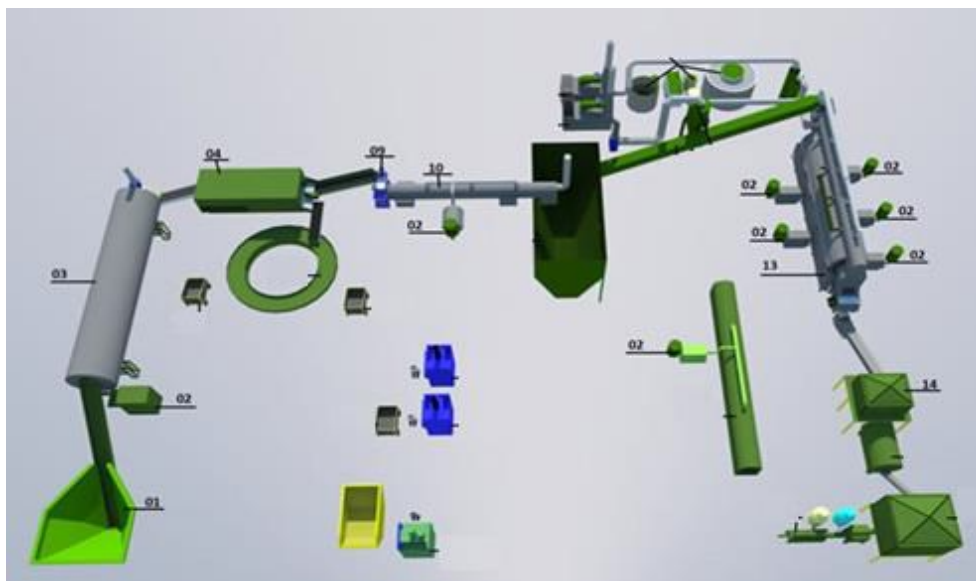
5.4 SISTEMA PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Esse sistema para Tratamento de Resíduos Sólidos pela pirólise foi desenvolvido depois de muitas pesquisas de viabilidade financeira e ambiental, realizada pela (TJMC Empreendimentos de MG), onde através de sua equipe multi disciplinares compostos por Engenheiros, Biólogos e Gestores ambientais, observando e analisando como é feito o carvão e as técnicas usadas nas carvoarias, sendo, Minas Gerais, principal estado produtor de carvão vegetal oriundo de plantação do montan-

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.1015-1042, jan/mar. 2019.

te nacional (IBGE, 2016). Baseado nestas e outras informações como: Potencial de matéria prima no caso RSU, necessidade de geração de energia e preservação Ambiental mitigando o desmatamento e o passivo ambiental dos RSU, foi desenvolvido um projeto tecnológico para transformar RSU em Combustível de Resíduos Sólidos Urbanos (CRSU) denominado de Sistema para Tratamento de Resíduos Sólidos pela Pirólise, ilustrado na figura 8.

Figura 8 - Planta Natureza Limpa para pirólise



Fonte: TJMC Empreendimentos (2016).

O modelo desenvolvido pela empresa TJMC Empreendimentos (Natureza Limpa), é uma planta de grande porte e foi projetada para receber, resíduos orgânicos provenientes do RSU. Esta usina trabalha com uma temperatura média de 500°C de modo contínuo, com capacidade de 120 t/dia (ALVES, 2016). Cujo processo (Figura 4) converte resíduos orgânicos em carvão. (TJMC Empreendimentos, 2016). Os resíduos sólidos coletados depois de pesados são depositados na moega (1), que possui capacidade para 30 toneladas de carga. Estes resíduos são levados a um forno secador (3) com capacidade de 5 ton/h, que tem a função de reduzir a umidade dos RSU em até 20%, rasgar as embalagens, para poderem ser reciclados, são encaminhados a um separador dessimétrico (4) que possui capacidade de 5 ton/h, com função de separar por densidade os materiais recicláveis. Depois de retirados os materiais recicláveis, ocorre a trituração dos Resíduos restantes (9), o triturador possui capacidade para triturar 5 ton/h, tem a função de fragmentar todo o ma-

terial em uma granulométrica de aproximadamente 5 cm³. Essa biomassa triturada é levada por esteira transportadora (10), até o reator pirolítico (13), onde ocorre a pirólise da biomassa, a uma temperatura média de 500°C, carbonizando a biomassa transformando em carvão, que é resfriado (14) para disposição final. Os gases do processo são processados e eliminados através de lavadores especiais de alta tecnologia, a solução líquida e os resíduos nela contidos, são descartados no sistema de tratamento de efluentes líquidos. Os efluentes gasosos são condensados e reutilizados no processo. A geração de calor ocorre nas caixas de combustão (2), onde se mantém uma temperatura em torno de 500°C á 700° C, que é alimentado com carvão do próprio processo (TJMC EMPREENDIMENTOS, 2016).

Todos os resíduos sólidos urbanos, de origem domiciliar, comercial e de limpeza urbana, os plásticos, papéis, borrachas, óleos comestíveis e lubrificantes podem integrar a massa a ser convertida em carvão através da pirólise. Para cada vertente há uma estrutura ajustável da usina de acordo com a demanda de resíduos (COLESANTI; MORAIS, 2014).

Outro detalhe é que, o sistema não necessita de combustível externo, os fornos são abastecidos com o próprio carvão produzido, na proporção de 20%, sendo o restante do carvão comercializado para outros fins. O rejeito do processo é praticamente zero, pois as cinzas podem ser aproveitadas na agricultura e na produção de insumos para construção civil. (TJMC EMPREENDIMENTOS, 2016).

O carvão produzido no processo de pirólise, pode substituir o carvão vegetal usado na queima em fornos e ou caldeiras para processos produtivos em indústrias alimentícias e também para geração de energia elétrica. Este sistema tem a capacidade de processar 5000 Kg/h de forma contínua, esse processo é linear, de modo que para processarmos o dobro, basta dobrar a unidade processadora, sem poluição sonora, do solo e do ar, esse sistema pode ser instalado em qualquer lugar permitindo assim um melhor planejamento e estratégico para o gerenciamento dos resíduos. A instalação de uma planta para processar 120 t/dia teria um custo aproximado de R\$ 16.000.000,00, pode-se considerar investimento de retorno rápido e lucrativo, considerando tudo o que se pode aproveitar dos resíduos (TJMC EMPREENDIMENTOS, 2016).

6 PROPOSTA DE SOLUÇÃO DA SITUAÇÃO PROBLEMA

6.1 PROPOSTA DE MELHORIA PARA A REALIDADE ESTUDADA

Considerando as propostas de sistema e equipamentos para aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos como fonte energética, abordando-se as tecnologias existentes mais usadas na atualidade, que objetivam mitigar ou solucionar o passivo ambiental que representam os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), estudou-se o sistema para Tratamento de Resíduos Sólidos pela pirólise que foi desenvolvido pela (TJMC Empreendimentos de MG), levando-se em conta que o estado é um dos produtores de carvão vegetal. (IBGE, 2016).

O potencial de matéria prima no caso dos RSU e a necessidade de geração de energia e preservação ambiental, mitigando o desmatamento, o sistema tecnológico descrito neste estudo que transforma RSU em um Combustível de Resíduos Sólidos Urbanos (CRSU) denominado de Sistema para Tratamento de Resíduos Sólidos pela Pirólise. Podem ser tratados todos os resíduos sólidos urbanos, ou seja, os de origem domiciliar, comercial e de limpeza urbana. Os plásticos, papéis, borrachas, óleos comestíveis e lubrificantes podem integrar a massa a ser convertida em carvão. Para cada vertente há uma estrutura ajustável da usina de acordo com a demanda de resíduos, como podemos ver na Figura 9, (COLESANTI; MORAIS, 2014).

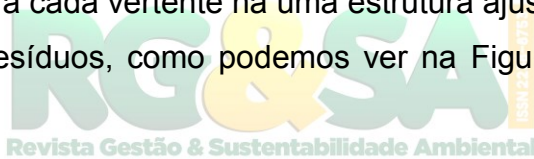
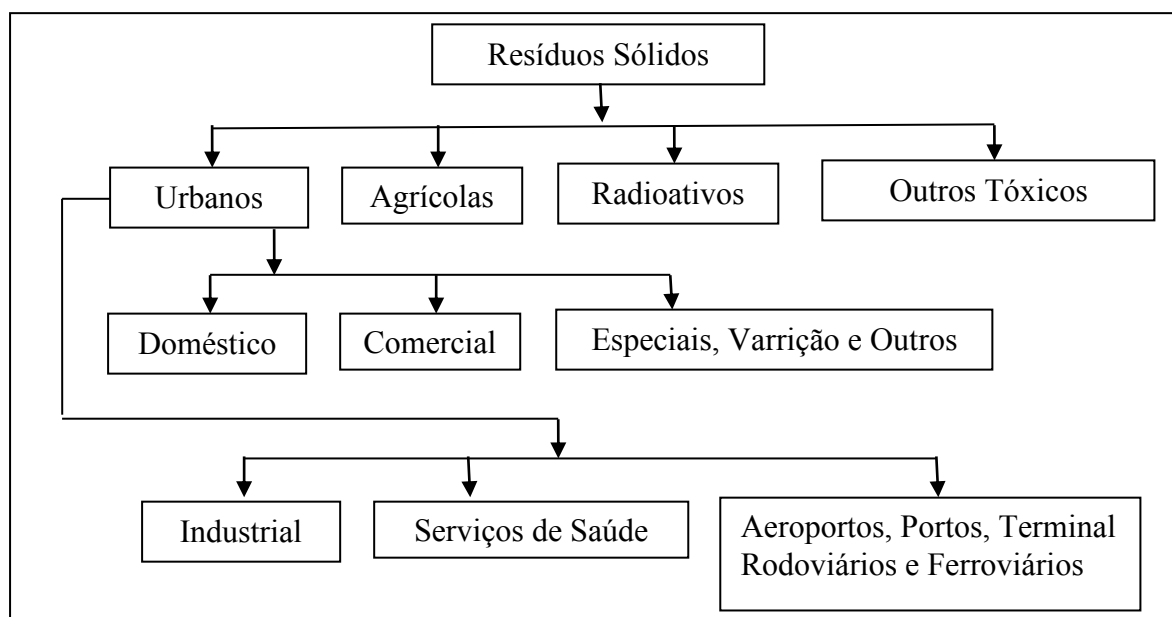


Figura 9 - Classificação dos Resíduos Sólidos



Fonte: Do autor adaptado de Oliveira (1997).

Outro detalhe é que, o sistema não necessita de combustível externo, pois ele se auto alimenta com uma fração de carvão produzido na própria usina. O rejeito do processo é praticamente zero, pois as cinzas, que seriam os rejeitos, são reaproveitadas na produção de cimento em fábrica anexa (TJMC EMPREENDIMENTOS, 2016).

O carvão produzido pelo processo pode substituir o carvão vegetal usado na queima em fornos para geração de energia (COLESANTI; MORAIS, 2014). Os vapores e gases depois de purificados por filtro passam por um processo de liquefação por destilação, resultando em subprodutos com valor de mercado. Já os efluentes líquidos procedentes da manipulação dos RSU são recolhidos em um tanque impermeável para posterior bombeamento no forno e incorporação à massa pirolisada (TJMC EMPREENDIMENTOS, 2016).

6.2 RESULTADOS ESPERADOS

As vantagens ambientais e sociais auferidas através da aplicação do sistema da pirólise de RSU, para a gestão dos passivos oriundos dos Resíduos Sólidos, sendo que os resíduos sólidos urbanos são uma mistura heterogênea de metais, plásticos, vidros, resíduos celulósicos, vegetais e matéria orgânica. O Brasil gera milhares de toneladas de RSU por dia, o tratamento e a disposição final destes é um grande desafio, já que o volume de resíduos é muito grande e as soluções usadas necessitam de grandes áreas com alto custo de implantação, já o Sistema para Tratamento de Resíduos Sólidos pela Pirólise, possibilita uma redução de até 95% no volume da biomassa original proveniente dos RSU sendo uma das melhores soluções para este problema.

O sistema proposto é de fácil implantação, baixo custo operacional e comparado com outras soluções ocupa pouco espaço físico além de reduzir a dependência da utilização de aterros sanitários, pelos municípios, também se constitui numa vantagem diferencial.

Os resíduos do processo da pirólise não geram chorume ou metano, como ocorre na disposição final em aterros sanitários e lixões, e, com isso, a poluição atmosférica é praticamente inexistente e a contaminação do lençol freático é praticamente nula (BARROS, COSENZA, *et al.*, 2014; MELO, 2016).

Com o sistema de pirólise é possível a utilização de vários tipos de resíduos, inclusive os resíduos já dispostos em aterros sanitários e lixões, que pode ser nele processados, eliminando os riscos ao meio ambiente e a saúde pública.

Outra vantagem é que no processo são gerados três tipos de subprodutos, que podem ser usados como fonte energética para a geração de energia elétrica, aquecimento em fornos para geração de calor em caldeira.

Os resíduos originários do processo da pirólise são as cinzas, que podem ser utilizadas na construção civil, ou na agricultura melhorando as condições físicas de solos degradados. O sistema proposto garante de certa forma a geração de energia limpa e renovável, possibilitando retorno econômico e social, venda dos recicláveis, do carvão e dos subprodutos, como o bio óleo e gases, evitando a escassez de recursos renováveis e não renováveis.

Permite de certo modo, uma desconcentração da matriz energética do país, garantindo a oferta e ampliando a produção de energia alternativa, tão necessária para o crescimento de qualquer nação, fornecendo maior segurança energética.

Outro ponto positivo é que no início do processo os resíduos passam por uma triagem para a separação dos materiais recicláveis, possibilitando a integração de cooperativas de catadores para a realização deste trabalho em melhores condições com um ambiente menos insalubre, todavia, gerando emprego e renda (MELO, 2016; TJMC EMPREENDIMENTOS).

6.3 VIABILIDADE DA PROPOSTA

A Lei nº 12.305 de 02/08/2010 (PNRS) que torna obrigatório o tratamento sustentável dos resíduos sólidos e cria um quadro inédito de responsabilidade compartilhada na gestão ambientalmente equilibrada, economicamente viável e socialmente correta dos resíduos urbanos.

Exaustivos estudos comparativos evidenciam a inoperância financeira das soluções até o presente momento implantadas no plano nacional e internacional. Embora tecnologicamente atraentes, com efeito, as fórmulas de gaseificação e incineração promovidas nos mercados do Primeiro Mundo implicam investimentos de

alto capital financeiro, despesas operacionais e custos de dependência que não é suportável no contexto brasileiro.

Neste sistema conseguem-se resultados iguais, senão superiores em nível socioambiental, se comparados com outras tecnologias utilizadas, sem contar o caráter nacional da iniciativa, inclina-se naturalmente em se embasar um juízo de oportunidade em critérios econômicos que elege as melhores condições de trabalho tornando o ambiente menos insalubre, como de Natureza Limpa o sistema desenvolvido pela TJMC Empreendimentos.

Como a maioria das entidades que integram o "Waste to Energy" (WtE) em funcionamento nas nações mais desenvolvidas, fica mais evidente a superioridade tecnológica e operacional da usina modular da TJMC que produz a partir da pirólise de RSU, materiais que são fontes energéticas proporcionando a diminuição do uso e por consequência uma possível eliminação dos aterros sanitários e incineradores, com uma simplicidade técnica, que muito contribui para a eficiência funcional e contenção de gastos no processo. Com uma boa base tecnológica, a carbonização dos resíduos sólidos através do processo de pirólise tem como consequência a produção de um combustível de alto teor calorífico.

Não ocorre a incineração dos resíduos, mas sim a decomposição em ambiente sem oxigênio levando a temperaturas onde ocorre a carbonização. Um detalhe importante é o tratamento das emanações gasosas, consistindo em um sistema de tratamento dos efluentes gasosos, desenvolvido com tecnologia de última geração, eliminando-se os gases nocivos à saúde e ao meio ambiente, resultando em níveis praticamente indetectáveis de poluição atmosférica.

Com 200 milhões de habitantes, o Brasil produz diariamente 190 mil toneladas de RSU, entretanto estima-se que quase a metade é disposta em lixões, e o restante, é disposta em aterros sanitários, em nenhum dos casos ocorre um tratamento adequado.

Neste processo de disposição em aterros, ocorre um desperdício de energia, pois não ocorre nenhum aproveitamento, nem há uma reciclagem mínima, demonstrando um descaso total com os impactos já sentidos em todo o mundo, nos continentes, corpos hídricos e oceanos, além da poluição efetiva do lençol freático e contaminação das fontes, impacto climatológico extremo e eminente risco epidemiológico.

O desafio de gestão dos resíduos sólidos contempla, somente no Brasil, volumes na ordem de 190.000 t/dia de resíduos sólidos urbanos (ABRELPE, 2018). Isto implica em uma demanda de instalação com uma capacidade de tratamento igual a 1.584 reatores pirolítico no modelo padrão 'Natureza Limpa', com capacidade para tratamento de 120 t/dia.

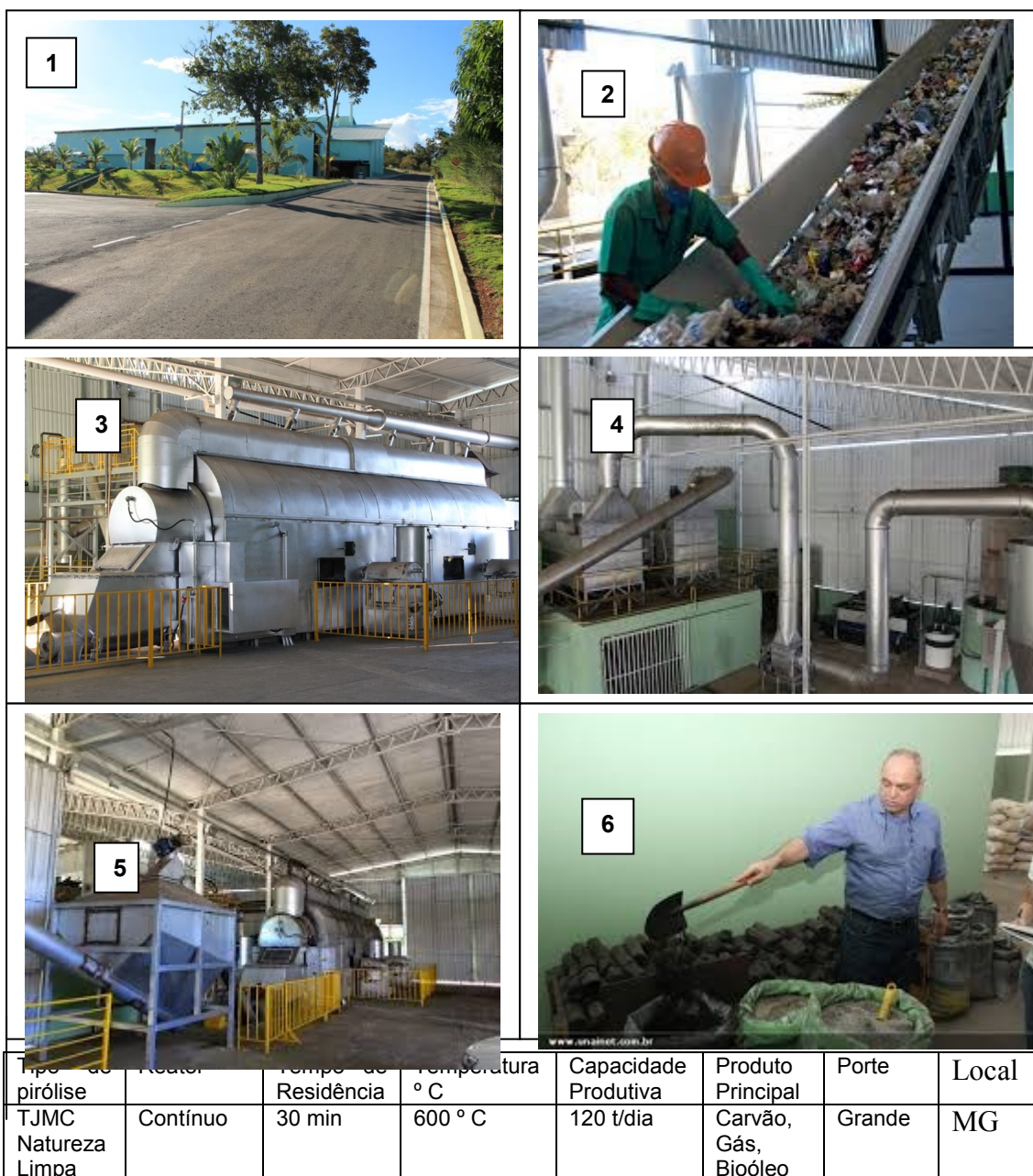
Os investimentos necessários para a implantação deste tipo de sistema de tratamento de resíduos sólidos, se aproxima da cifra de R\$ 25.344.000.000,00 (vinte e cinco bilhões, trezentos e quarenta e quatro milhões de reais) originado pela simples multiplicação no valor de cada modulo a um custo de R\$ 16.000.000,00.

A viabilidade de implantação das plantas de pirólise no Brasil, é financeiramente exequível, isto sem considerar a possibilidade de importação de equipamentos que podem baratear o sistema, o sistema demonstra a possibilidade de solução do passivo gerado em centenas de cidades, através da implantação de uma planta de pirólise.

A Figura 10 apresenta o processo da 'Usina Natureza Limpa', sendo a única planta de grande porte existente no Brasil implantada para a disposição final dos RSU gerados no município de Unaí MG. Esta usina possui capacidade de transformar 120 toneladas/dia de resíduos sólidos em carvão através da pirólise lenta, utilizando uma temperatura média de 500°C. Registre-se que uma fração do carvão produzido é utilizado na alimentação do sistema, não necessitando de combustível externo, e o restante é comercializado.

Na sequência de fotos presentes na Figura 10, se possibilita a visualização do processo, (1) mostra o galpão onde estão instalados os equipamentos para a segregação dos resíduos e os equipamentos para a pirólise na usina Natureza Limpa, confirmando sua área compacta; (2) esteira de alimentação do sistema; (3) o reator pirolítico; (4) lavadores dos gases com sistema de hidro turbilhonamento; (5) silo de descarga do reator, onde se deposita o material pirolisado e (6) o carvão tratado, que pode ser briquetado ou em pó. (TJMC EMPREENDIMENTOS, 2016; ALVES, 2016).

Figura 10 - Fotos do processo de pirólise Usina Natureza Limpa



Fonte: (TJMC EMPREENDIMENTOS, 2016; ALVES, 2016).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos, (PNRS), Lei Federal no 12.305/2010 (Brasil, 2010) e regulamentada pelo Decreto no 7.404, de 23 de dezembro de 2010, observa-se que o inadequado gerenciamento dos resíduos sólidos, gera impactos imediatos no ambiente contribuindo para as mudanças climáticas.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.1015-1042, jan/mar. 2019.

No Brasil a gestão dos resíduos sólidos comparados com outros Países mais desenvolvidos, é muito diferenciada, os brasileiros não têm o hábito da separação dos resíduos, tendo como cultura a deposição de todos eles em um único recipiente, a lixeira, sendo que em outros países a população já tem como cultura a separação em recipientes distintos e adequados viabilizando o aproveitamento dos resíduos para a geração de energia através da incineração. Com a PNRS que obriga os Municípios a darem solução adequada para disposição dos seus resíduos, denota-se que a disposição em lixões está proibida, surgiu como solução a disposição em aterros sanitários, todavia atualmente uma boa parcela destes aterros está com suas vidas úteis já se esgotando, tornando a função de gerenciamento e disposição final adequada, cada vez mais difícil e dispendiosa, sendo que muitos Municípios não dispõem de recursos financeiros e nem espaço adequado para a construção de um aterro sanitário, adequado para a destinação final de seus rejeitos favorecendo as descargas clandestinas de toda natureza, tanto de resíduos: domiciliares, industriais como de serviços de saúde, provocando impactos ambientais negativos. Atualmente já existem diversas áreas afetadas pela disposição desordenada de resíduos, que precisarão ser recuperadas, envolvendo enormes dificuldades técnicas, além de altos custos financeiros.

Através de soluções mais limpas e eficientes para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos e a preocupação com a degradação do meio ambiente, vem surgindo de forma crescente o estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias que buscam não apenas uma destinação final sustentável para esses resíduos, mas também a exploração do seu potencial econômico e energético para ampliar e eficiência o uso dos recursos naturais e diversificar a matriz energética nacional, fator predominante para o desenvolvimento do País.

O processo de Pirólise demonstrou ser uma opção promissora para ser adotada como alternativa no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, por apresentar uma série de vantagens ambientais e sociais. Essa tecnologia pode ser considerada viável, além de apresentar um elevado potencial para a geração de benefícios, especialmente para municípios de menor porte e que enfrentam problemas na destinação adequada de seus resíduos sólidos, seja por questões administrativas, socioambientais, tecnológicas ou econômicas.

Considerando que a maioria dos municípios brasileiros são de pequeno porte, possuem uma população inferior a 60 mil habitantes, e que por sua vez geram

menos de 47 t/dia de resíduos, possuem condições amplamente favoráveis ao uso do sistema de pirólise que é capaz de tratar seus resíduos corroborando para uma gestão sustentável dos resíduos, incorporando a possibilidade de cogeração de energia, pois as plantas de pirólise suportariam essa demanda (BARROS, COSENZA, et al., 2014).

Quanto aos aspectos socioambientais, o processo de pirólise não apresenta impactos ambientais quando comparada a outros tipos de tecnologias, e a produção de carvão, do bio óleo e gás, representam um avanço importante, pois garantem emissões limpas. Adicionalmente, em comparação ao uso de aterros, pode-se reduzir o volume da biomassa em até 95%, além de permitir a utilização dos resíduos já depositados em lixões e aterros, mantendo as áreas limpas evitando o surgimento de vetores de doenças, e ainda evita a contaminação do lençol freático e emissões atmosféricas. Dessa forma aumenta a qualidade de vida dos moradores em torno das instalações sem desvalorizar seus imóveis.

Economicamente, o sistema de pirólise, representa também uma oferta para a compensação de gastos com combustível e energia para o processo, uma vez que a unidade é inteiramente autossuficiente utilizando os subprodutos, bio óleo, gás e carvão, componentes energéticos gerando ainda uma fonte de renda com a cogeração de energia e com venda dos produtos excedentes gerados.

O uso do processo de pirólise em nível nacional, como uma tecnologia alternativa, economicamente viável, que permite a diversificação da matriz energética do país tão importante para o seu desenvolvimento e para uma maior segurança energética. Esse sistema de tratamento de resíduos sólidos urbanos por pirólise, é classificado como um sistema de pirólise contínua e linear, versátil, pois se for necessário aumentar a capacidade de processamento, basta implantar mais módulos. A pirólise destaca-se não apenas na questão da redução e destino dos resíduos sólidos urbanos mas também como uma possibilidade de diversificação dos mecanismos de fornecimento energético.

Dessa forma, é importante a disseminação dos conhecimentos relativos à esta tecnologia para que seja adotada em níveis regional, estadual e nacional, proporcionando benefícios ao meio ambiente, ampliando e mantendo os serviços ambientais oferecidos à humanidade em suas diversas áreas.

AN ANALYSIS ON THE TREATMENT OF SOLID URBAN WASTE: PROPOSED ALTERNATIVE SYSTEM, TRANSFORMING SOLID WASTE IN COAL AND ENERGY

ABSTRACT

Rio + 20 has returned to the discussion of strategies to reconcile development with ecosystem protection. A theme that is only tangible in these discussions is the management of solid urban waste, which, due to a system that increasingly prioritizes comfort, facilitating everyday difficulties through the consumption of disposable goods, processed foods, household appliances, cell phones and other goods of services, has been increasing the generation of solid waste such as: plastics, paper, industrial waste and electronics, becoming a liability that improperly arranged, produces damages often irreparable nature damaging the health of users themselves. In view of the institutionalization of the National Solid Waste Policy (PNRS), Federal Law no. 12,305 / 2010 (Brazil, 2010) and regulated by Decree No. 7,404 of December 23, 2010, it is observed that inadequate management of solid waste, creates immediate impacts on the environment contributing to climate change. Considering the limitations of final disposal options for waste, and in this context, the role of waste pickers, who have been carrying out work of great environmental importance, needs to be drawn up, and public policies should be drawn up to make the harvesting activity more dignified and with less risk and at the same time earning income, in order to move towards a healthier, just and sustainable development. In this work, an innovative technology is developed that transforms all solid waste into organic coal. This technology seeks to minimize the pollutant effects in each phase, producing a positive overall balance, which can be demonstrated in the Environmental Control Report, among them the reduction of sound pressure, atmospheric effluents and liquid effluents in the treatment of mineral and vegetable oils, materials of mineral origin, glass, su-tata, electronics and hospital waste. A sophisticated system developed for the treatment of the gases generated in the processes, which performs the gas washing using other liquids and absorption components, cavitation process, eliminating the gases and odors generated by the natural decomposition of organic waste. In compliance with the CONAMA Resolutions Relevant, the equipment contemplates the public partner with a Covered Collection Point meeting the requirements of the PNRS, thus resolving an environmental issue that weighs dramatically on prefectures.

Keywords: Solid Waste. Environmental Impacts. Waste Pickers. Alternative Energy. Biomass.

REFERÊNCIAS

Abrelpe **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo - SP. 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/> Acesso em: 06/11/2018

ALMEIDA, M. B. B. **Bio óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana de açúcar e seu coprocessamento com gásóleo em craqueamento catalítico**. 2008. 167 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.tpqb.eq.ufrj.br/download/bio-oleo-a-partir-da-pirolise-rapida.pdf>>. Acesso em : 18 out 2018.

ALVES, H. **Processo de Pirólise da TJMC Empreendimentos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <henrique@naturezalimpa.com> em 31 out 2016.

BASU, Prabir. **Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory**. Burlington: Ed. Elsevier, 2010.

BARROS, C. F. et al. **Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Produção de Energia: Análise de Legislação para Viabilidade Econômica de Soluções Conjuntas**. SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 11. Rio de Janeiro, 22 - 24 out 2014. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/43220492.pdf>>. Acesso em : 19 set 2018.

BIOWARE. **Bioware Tecnologia**, 2014. Disponível em: <<http://www.bioware.com.br/conteudo/1/bioware.aspx>>. Acesso em: 15 out 2018.

BOSMANS, A.; GEYSEN, D.; VANDERREYDT, I. The crucial role of Waste-to-Energy technologies in enhanced. **Journal of Cleaner Production**, Bélgica. v. 55. p 10-23. set 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612002557>>. Acesso em: 13 set 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 15 set 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília. 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf>. Acesso em: 20 set 2018.

CASSINI, Sérgio Túlio et al. **Digestão de resíduos sólidos orgânico e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: PROSAB-RiMa-ABES, 2003.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.1015-1042, jan/mar. 2019.

CASTILHOS JR, A. B. et al. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção de Corpos d'Água**: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários. 1. Petrópolis: 2006. 494p.

CETESB. Resíduos Sólidos Industriais, CETESB, 1985, Disponível em: < <http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/> > Acessado em 02 Out. 2018.

CHEN, D. et al. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. **Waste Management**, n. 0, 2014, ISSN 0956-053X.

CHHITI, Y.; KEMIHA, M., Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A Review. 2013. **The International Journal of Engineering And Science**, v. 2, n.3 p. 75-85.

COLESANTI, M. T. D. M.; MORAIS, F. Proposta de Tratamento Alternativo para Resíduos Sólidos Urbanos Na Cidade De Uberlândia – Mg. **Caminhos De Geografia**, Uberlândia, v. 5, p 100-118, Dezembro 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/26955/15963>>. Acesso em: 04 set 2018.

IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura 2012. Disponível em: < ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27112003pevshtml.shtm>, Consultado em 8 de fevereiro de 2018.

IONESCU, G. **Critical Analysis of Pyrolysis and Gasification Applied to Waste Fractions With Growing Energetic Content**. Tese (PhD) - Universitatea Politehnica Din București, Bucharest, 28 set. 2012. Disponível em: < http://eprints-phd.biblio.unitn.it/837/1/PhD_Gabriela_Ionescu.pdf >. Acesso em : 27 set 2018.

MEIRA, A. R.; ARAÚJO, N. M. C. Gestão de resíduos em empresas construtoras da grande João Pessoa. In: Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 7, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: FEA/USP, 2003. 1 CD

MELO, F. **Processo de Pirólise da Innova Energias Renováveis** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fmelo@innovabr.com> em 14 out 2016.

OLIVEIRA, Margarete Braz de. **A problemática do descarte de baterias usadas no lixo urbano**. Brasília: Fundacentro, 2001.

OLIVEIRA, Margarete Braz de. **A problemática do descarte de baterias usada no lixo urbano**. Dissertação. Universidade Mackenzie. BRASIL/ Ministério do Trabalho e Emprego. Fundacentro: São Paulo. 2001.

RAMAGE, J.; SCURLOCK, J. Biomass. In: BOYLE, G. (Ed.). Renewable energy: power for a sustainable future. Oxford: Oxford University Press, 1996. cap. 4, p. 137-182.

SANCHEZ, C. G.; LORA E. S.; GÓMEZ, E. O. Gaseificação. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. (Coord.). Tecnologias de conversão energética da biomassa. Manaus: EDUA, EFEI, 1997. cap. 1.

TCHOBANOGLOUS, G., Theisen, H. and Vigil, S.A. (1993) Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue. McGraw Hill Inc., New York.

TECNOLOGIA: o modelo Natureza Limpa. TJMC Empreendimentos. **Natureza Limp**a. Disponível em: <<http://naturezalimpa.com/>>. Acesso em: 05 Out. 2018.

Toda Matéria, 2018. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/aterro-sanitario/> (Acessado 15/09/2018).

