

A pirólise como método limpo de destinação de resíduos domiciliares: revisão de literatura e estudo de caso

Rhullyan Milton Neves¹

Felipe Pereira Melo

RESUMO

Este trabalho aborda o processo da pirólise como método limpo de destinação de resíduos domiciliares. Tal abordagem se faz necessária para proceder à melhor destinação dos resíduos domiciliares no Município de Campo Belo/MG. O propósito dessa pesquisa é o enfrentamento do problema causado com a geração de resíduos, visando reduzir o passivo ambiental e objetivando apresentar uma solução de baixo impacto e com retorno financeiro. Esta tarefa será desenvolvida a partir do estudo de caso e revisão bibliográfica sobre o uso dos resíduos no processo pirolítico, destacando suas vantagens e desvantagens. A análise evidenciou que o processo de pirólise é vantajoso, porquanto os resíduos gerados ao final do processo podem ser usados na geração de energia elétrica e na produção de biocombustível.

Palavras-chave: Resíduos. Vantagens. Processo pirolítico.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de bens é consequência da industrialização e do crescimento populacional. Um dos resultados do consumo desenfreado é a geração de resíduos.

O manejo inadequado dos resíduos traz efeitos negativos, entre eles prejuízos ao meio ambiente, isso porque a inadequação no descarte dos componentes gera poluição do solo, da água e danos à saúde.

¹ Técnico Químico pelo SENAI, Bacharel em Administração de Empresa pela FAGAM, Pós Graduado em Formas Alternativas de Energia e Biocombustíveis pela UFLA, Eng. Civil pela UNIS. E-mail. rhullyanquimica@gmail.com

No entanto, não há como impedir o aumento da população nem obstar a industrialização, mas deve-se evitar o agravamento das consequências geradas pela produção de resíduos domiciliares, cabendo ao poder público buscar métodos para gerenciar a questão.

O Brasil possui lei que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) cujo objetivo é apresentar diretrizes para enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Com o intuito de aperfeiçoar o gerenciamento dos resíduos sólidos, frequentemente são apresentadas alternativas para tratamento dos resíduos, das quais podem ser citadas: o aterro sanitário, a incineração, a reciclagem, o reuso e a pirólise.

O processo de pirólise tem sido estudado como método de destinação de resíduos e trata-se de reação de decomposição térmica e, como isso, objetiva-se analisar a viabilidade da implantação desse processo para enfrentamento do problema causado com a geração de resíduos, inclusive, para reduzir o passivo ambiental e apresentar uma solução de baixo impacto ambiental e retorno financeiro.

A pirólise tem vantagens, como a geração de produtos como óleo, gases, carvão, e desvantagens das quais deve ser citado o alto custo de investimento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Normas e políticas para resíduos sólidos

A Lei nº 12.305/10 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e apresentou diretrizes para enfrentamento dos problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

O artigo 1º e parágrafos da Lei nº 12.305/10 dispõem sobre os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento

de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

A lei alcança pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos. No entanto, não se aplica aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica. (BRASIL, 2010).

A definição de resíduo sólido é dada pela NBR 10004/2004:

Resíduos sólidos: Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (NBR 10004, 2004).

A Lei nº 12.305/10, em seu artigo 4º, define a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos como um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares (BRASIL, 2010).

De acordo com o artigo 6º da Lei nº 12.305/10, há princípios a serem seguidos para aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dos quais podem ser mencionados: a prevenção e a precaução; o poluidor-pagador e o protetor-recebedor; a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; o desenvolvimento sustentável etc (BRASIL, 2010).

Há, ainda, instituição de objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no artigo 7º da Lei nº 12.305/10: proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais; redução do volume e da periculosidade dos resíduos

perigosos; incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados; gestão integrada de resíduos sólidos, entre outros (BRASIL, 2010).

Importante mencionar que existem instrumentos para efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), elencados no artigo 8º da Lei nº 12.305/10: os planos de resíduos sólidos; os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos; a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; - o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; o monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária; entre outros (BRASIL, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ao definir o gerenciamento de resíduos sólidos, estabelece uma ordem de prioridade a ser observada: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (artigo 9º). Isso quer dizer que o resíduo somente será dispensado caso não haja outra forma de destinação, conforme acima mencionadas (BRASIL, 2010).

De acordo com o artigo 10 da Lei nº 12.305/10 a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios é de responsabilidade do Distrito Federal e dos Municípios, sem prejuízo das competências de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, bem como da responsabilidade do gerador pelo gerenciamento de resíduos (BRASIL, 2010).

Os resíduos podem ser classificados quanto à origem e à periculosidade. Quanto à origem, podem ser: domiciliares; de limpeza urbana; sólidos urbanos; estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços; dos serviços públicos de saneamento básico; industriais; de serviços de saúde; da construção civil; agrossilvopastoris; de serviços de transportes; de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios. O artigo 13 da Lei nº 12.305/10 apresenta o conceito de cada uma das espécies de resíduo (BRASIL, 2010).

Com relação à periculosidade, os resíduos são classificados em a) perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade,

teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica; b) não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a” (artigo 13 da Lei nº 12.305/10) (BRASIL, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) exige a elaboração de planos de resíduos sólidos que, de acordo com o artigo 14 da Lei nº 12.305/10, são: o Plano Nacional de Resíduos Sólidos; os planos estaduais de resíduos sólidos; os planos microrregionais de resíduos sólidos e os planos de resíduos sólidos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas; os planos intermunicipais de resíduos sólidos; os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos e os planos de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

No que concerne ao plano municipal de gerenciamento de resíduos sólidos, o artigo 18 da Lei nº 12.305/10 estabelece que

A elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade (BRASIL, 2010).

De acordo com o artigo 19 da Lei nº 12.305/10, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos deve preencher alguns requisitos, dos quais podem ser citados: diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território; identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos ao plano de gerenciamento específico; programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos; mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda; metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem e identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Com isso, verifica-se que a Lei nº 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos possui instrumentos eficazes e suficientes para possibilitar a solução dos problemas ambientais, sociais e econômicos que decorram do inadequado manejo de resíduos sólidos.

2.2. Deliberação normativa COPAM nº 217/17

A Deliberação Normativa COPAM nº 217/17 estabelece critérios para a classificação dos empreendimentos para o licenciamento ambiental, tais como porte, potencial poluidor para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais.

A Deliberação Normativa Copam nº 217/17 dispõe sobre o enquadramento das atividades e empreendimentos, a formalização do processo de regularização ambiental, estudos ambientais bem como análise do processo.

O parágrafo único do artigo 1º da Deliberação Normativa Copam nº 217/17 prevê que “o licenciamento ambiental deve assegurar a participação pública, a transparência e o controle social, bem como a preponderância do interesse público, a celeridade e a economia processual, a prevenção do dano ambiental e a análise integrada dos impactos ambientais”.

O artigo 8º da Deliberação Normativa Copam nº 217/17 estabelece quais são as modalidades de licenciamento ambiental: Trifásico (LAT); Concomitante (LAC) e Simplificado (LAS).

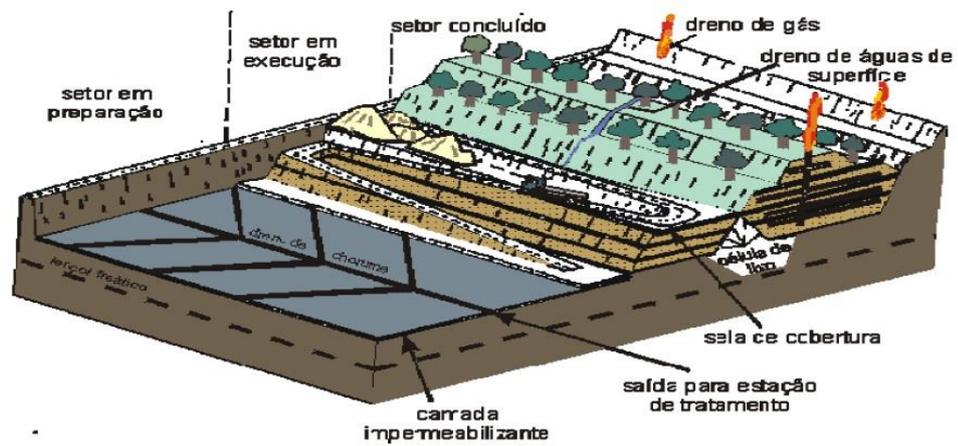
Importante mencionar que a Deliberação Normativa Copam nº 217/17 está inserida no Sistema Estadual do Meio Ambiente e em consonância com a Lei Estadual nº 21.972/16 e objetiva delimitar regras sobre o licenciamento ambiental.

Diante disso, constata-se que há legislação estadual para regulamentar o licenciamento de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais.

2.3. Alternativas para tratamento do lixo urbano

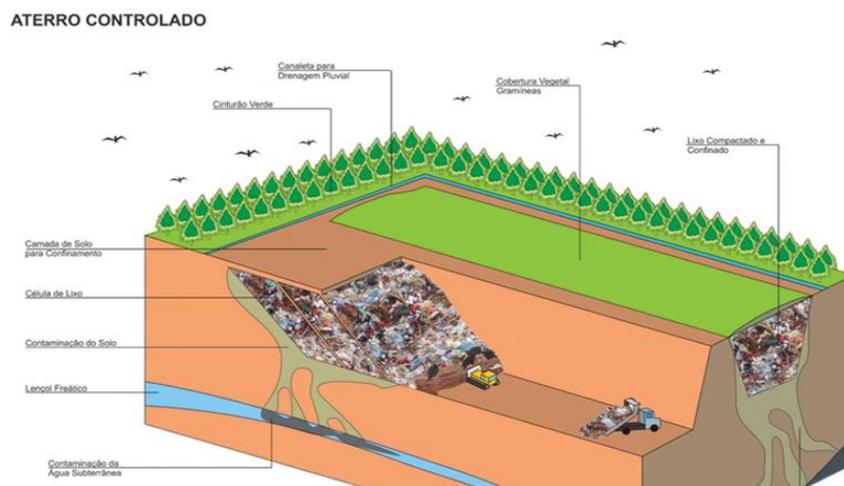
A primeira alternativa para tratamento do lixo urbano a ser comentada é a dos aterros, que são formas predominantes de destinação e tratamento de resíduos. No Brasil, há três tipos: sanitários, controlados e vazadouros a céu aberto (lixões):

FIGURA 1 – aterro sanitário



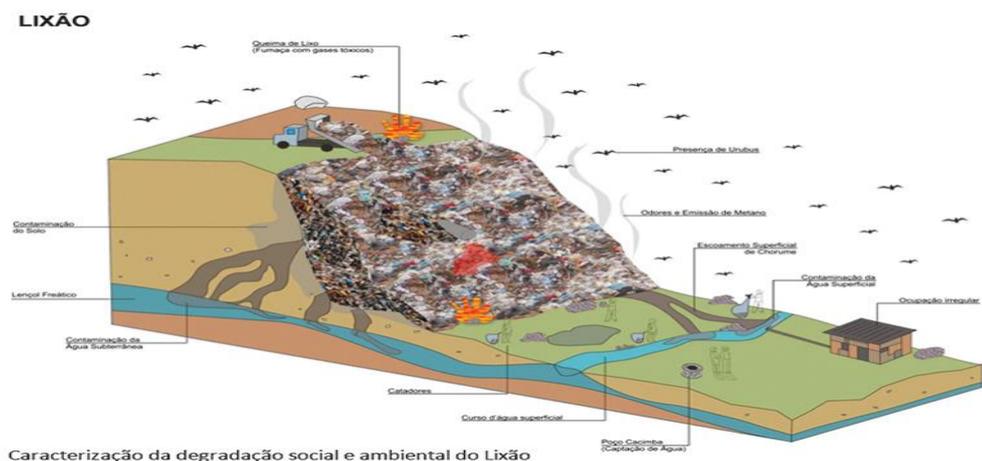
Fonte: Site Matemática e Meio Ambiente (BACELAR, Flávio)

FIGURA 2 – aterro controlado



Fonte: Site Rnews

FIGURA 3 – lixão



Caracterização da degradação social e ambiental do Lixão

Fonte: Site Rnews

O conceito de aterro sanitário é apresentado pela NBR 8419 de 1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas

Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Uma das vantagens apontadas pelos defensores dos aterros sanitários é a redução do impacto ao meio ambiente, objetivo perseguido pelos entes públicos atualmente. CASTILHOS JR. *et al.* (2006, p. 494) apresenta medidas de proteção ao meio ambiente:

Seleção de áreas adequadas que levem em consideração os fatores ambientais com o intuito de preservar o meio físico, biológico e antrópico; Implementação de barreiras no entorno dos resíduos através de geomembranas ou solos compactados, tendo em vista a contenção do lixiviado; Confinamento do resíduo em células, através da compactação dos mesmos, além da sua cobertura diariamente com solo ou outro material, para a redução da proliferação dos vetores; Execução de sistema de drenagem de águas pluviais definitivas e temporárias, para evitar a formação do lixiviado e erosão dos taludes; Construção de sistemas de drenagem de gás e lixiviado, além de ambos os tratamentos, para redução da contaminação do ambiente; Isolamento da área e o controle das pessoas para que haja uma redução nos riscos de acidentes e contaminação por elas, e por fim, um sistema de monitoramento eficiente das águas subterrâneas e superficiais para monitorar se a água permanece com qualidade.

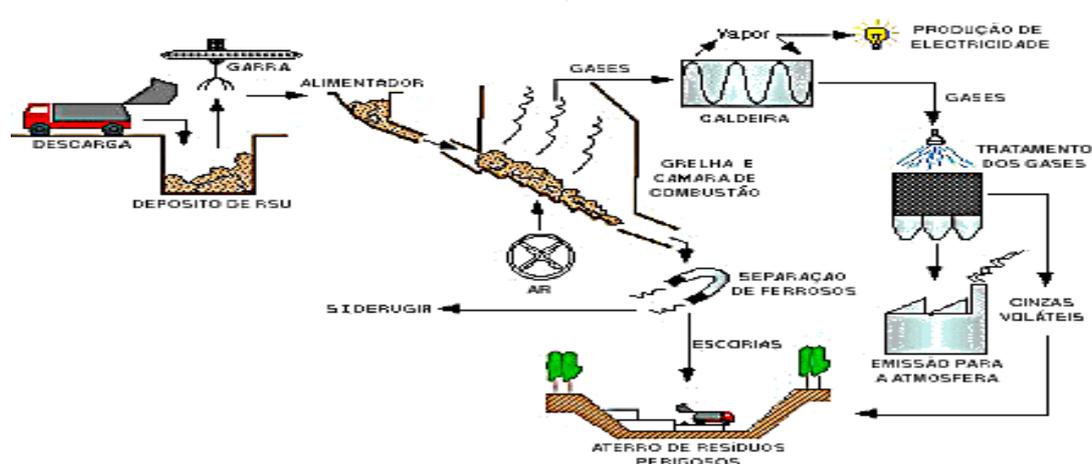
Outra vantagem é o baixo custo, ou seja, o aterro sanitário demanda baixo investimento na implantação. Tal argumento é defendido por LIMA (2004, p. 265), “o aterro sanitário é preferido universalmente devido aos custos relativamente baixos”.

LIMA (2004, p. 265) também apresenta outros pontos fortes dos aterros sanitários “esse método possui basicamente quatro fatores limitantes: a disponibilidade de grandes áreas próximas aos centros urbanos; disponibilidade de material para a cobertura diária; condições climáticas favoráveis e recursos humanos habilitados para tal”.

A incineração é a segunda forma para tratamento do lixo urbano e trata-se de um processo de destruição de resíduos sólidos que são colocados à alta temperatura, sendo utilizada desde o início do século XVIII.

As usinas de incineração de resíduos são um conjunto de instalações necessárias para viabilizar o tratamento térmico dos resíduos e que em função do tipo de combustível a ser incinerado, do volume e da tecnologia utilizada, podem apresentar diversas concepções (GRIPP, 1998, p. 208).

FIGURA 4 – sistema de incineração



Fonte: Site Só biologia

Uma das vantagens da incineração é a de que “o volume inicial dos resíduos é reduzido em cerca de 10%, com a utilização da incineração o que é uma vantagem no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, pois aumenta a vida dos aterros sanitários e diminui a necessidade de áreas municipais voltadas a esse fim” (BIZZO E GOLDSTEIN JR, 1995, p. 06).

HENRIQUES (2004, p. 190) argumenta que “a incineração tem como principal atrativo sua possibilidade de diminuir para cerca de 4% do volume total de resíduos a ser destinado ao aterro sanitário”.

Em contrapartida, “as principais desvantagens da incineração são as emissões de dioxinas, furanos, particulados e precursores da chuva ácida (NOx, SOx). Estes poluentes encarecem o tratamento e a purificação dos gases produzidos, além da obtenção de produtos sólidos e líquidos” (BRERETON, 1996, p. 264; HEBERLEIN e MURPHY, 2008, p. 264).

Outra forma para tratamento do lixo urbano a ser citada é a reciclagem ou reuso e, de acordo com o artigo 9º da Lei nº 12.305, os materiais passíveis de reciclagem devem ser separados antes da realização do tratamento ou disposição final correta.

FIGURA 5 – caminho da reciclagem



Fonte: Site Ecodebate

2.4. Pirólise: histórico, definição, vantagens e desvantagens

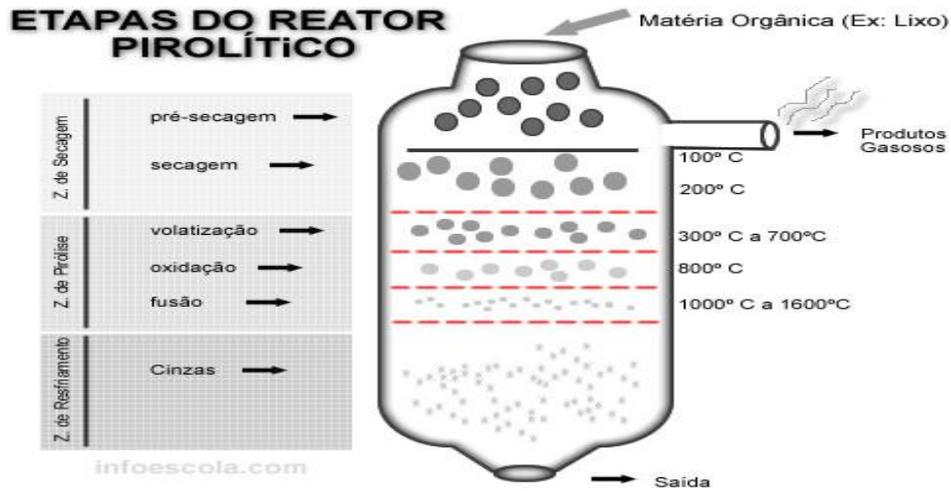
A pirólise é método de destinação de resíduos e, há décadas, vem sendo estudada como uma alternativa viável para o gerenciamento da produção de resíduos no Brasil. Ou seja, tal processo está incluído nas tecnologias disponíveis para tratamento de resíduos.

Das opções citadas pela literatura especializada, merece destaque e estudo a pirólise que se trata de processo em que o resíduo é submetido a altas temperaturas sendo transformado em energia, porquanto aproveita o alto poder calorífico contido nos resíduos sólidos para uso como combustível.

Segundo MOHAN *et al.* (2006, p. 848-889), a pirólise remonta aos tempos egípcios antigos, quando o alcatrão para calafetar barcos e certos agentes de embalsamação foram feitos por pirólise. BASU (2010, p. 365) define a pirólise como

Processo de aquecimento de um combustível (RSU) até temperatura máxima, denominada temperatura de pirólise, por um tempo específico. Após atingir essa temperatura deve-se mantê-la. O processo ocorre na total ausência de oxigênio (ou numa quantidade tão pequena que não permite ocorrer a gaseificação) e pode ou não ser realizado na presença de um gás mediador, como o nitrogênio. Este processo necessita de energia externa para ser iniciado, porém alguns de seus produtos como o carvão, que possui um alto valor energético, pode ser utilizado através da sua queima para fornecer energia para dar continuidade ao processo.

FIGURA 6 – etapas do reator pirolítico



Fonte: Site Infoescola

Cabe esclarecer que a pirólise “ocorre em temperaturas relativamente mais baixas, podendo variar entre 250°C e 700°C de acordo com o tipo de produto que se deseja obter, e na total ausência de oxigênio” (CHHITI; KEMIHA, 2013, p. 75-85).

A pirólise é um processo de degradação termoquímica que ocorre quando se aplica calor a uma substância ou material, em ausência total de oxidante, isto é, trata-se de um processo endotérmico que precisa de uma fonte externa de energia (calor) para seu desenvolvimento (LORA e VENTURINI, 2012, p. 1200).

Como consequência do processo, permite-se a transformação dos resíduos em três frações: sólida, gasosa e líquida (LORA e VENTURINI, 2012, p. 1200).

A fração sólida consiste principalmente em cinzas e carbono (dependendo da temperatura empregada no processo), que podem ser utilizadas como combustível ou na fabricação de carvão ativado por meio da sua posterior ativação com CO₂ e/ou vapor. A fração gasosa é também combustível, sendo composta por H₂, CO, CO₂, CH₄ e outros hidrocarbonetos. A fração líquida é composta por uma mistura complexa de hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos oxigenados (LORA e VENTURINI, 2012, p. 1200).

Os produtos da pirólise são o carvão, óleo pirolítico (ou bio-óleo), e um gás, composto por hidrogênio (H₂), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e metano (CH₄). (CHHITI; KEMIHA, 2013, p. 75-85).

FIGURA 7 – resultado da pirólise de lixo



Fonte: QUEIROZ, 2004

Os produtos da pirólise possuem várias aplicações e podem substituir e complementar o uso das atuais fontes de combustíveis e derivados químicos. Segundo SANTOS (2011, p. 166),

O bio-óleo obtido no processo de pirólise é considerado promissor e apresenta várias aplicações. A presença de uma grande variedade de grupamentos químicos torna este material um bom substituto do óleo combustível, aditivos para diesel e fonte de insumos químicos de alto valor agregado, como na formulação de resinas fenólicas. Outros produtos podem ser obtidos a partir do bio-óleo, que podem ser aplicados na produção de solventes, adesivos, fibras sintéticas, fármacos e cosméticos. A fração aquosa contém grande quantidade de água e ácidos orgânicos, que têm sido empregados na produção de inseticidas e fungicidas, adubo natural e na produção de combustíveis leves.

De acordo com PINTO COELHO (2009, p. 340), “o processo de pirólise se baseia na decomposição física e química por ação térmica na ausência de oxigênio, a temperaturas entre 500°C e 1.000°C. A técnica tem pouca aplicação no Brasil, pois depende, ainda, do aperfeiçoamento da capacidade tecnológica nacional”.

FIGURA 8 – modelo de separador de RSU com pirólise



Fonte: Site Delta Bravo Reciclagem

No entanto, tal processo tem ganhado importância “devido ao fato de que produzir produtos líquidos com uma densidade de energia muito elevada, podendo de ser aprimorado para combustíveis limpos e produtos químicos de valores muito altos” (WILLIAMS; BESLER, 1996, p. 250).

Há dois tipos de pirólise: lenta e rápida: “na pirólise lenta, ou carbonização, são empregadas baixas temperaturas e longos tempos de residência favorecendo a produção de carvão (fase sólida). Altas temperaturas e longos tempos de residência dos vapores favorecem a formação de gases. Na pirólise rápida são empregadas temperaturas moderadas e pequenos tempos de residência dos gases favorecendo a produção de líquidos” (FERREIRA, 2017, p. 139). A pirólise lenta divide-se entre carbonização e pirólise convencional. BASU (2010, p. 365) esclarece que

A carbonização ocorre quando se deseja a obtenção do carvão. Assim, a biomassa é aquecida a uma temperatura de pirólise relativamente baixa (em torno de 400°C) numa taxa de aquecimento muito lenta (menor que 5°C/min), e o tempo de residência no reator pode ser de até alguns dias, fazendo com que os vapores condensáveis reajam entre si otimizando a produção de carvão.

Com relação à pirólise convencional, MOHAN *et al.* (2006, p. 848-889) que

Produz parcelas tanto de carvão, bio-óleos e gases. A temperatura final da pirólise convencional é em torno de 500°C a 600°C, a biomassa é aquecida numa taxa de aquecimento mais alta que para carbonização, porém ainda baixa, e o tempo de residência dos vapores no reator varia de 5 a 30 minutos. Assim, os vapores condensáveis que se formam no reator sofrem reações entre si, formando o carvão, mas uma parcela do mesmo somado aos vapores não condensáveis ainda são ejetados, podendo ser resfriados formando o óleo de pirólise e os gases.

FIGURA 9 – modelo de gaseificador de biomassas



Fonte: *Site Delta Bravo Reciclagem*

Importante distinguir a pirólise de outros processos. LIMA (2004, p. 265) esclarece que “a pirólise é um processo de reação endotérmica, diferindo do processo de combustão realizado em condições exotérmicas, isso se faz necessário, pois somente dessa forma, reduzindo as perdas de calor é possível obter o fracionamento das substâncias sólidas presentes no lixo”. A pirólise difere da incineração e, para REICHERT. F. (2015),

A queima direta dos resíduos em câmara de combustão produz poluentes, inclusive cancerígenos como dioxinas e furanos. Produz cinzas volantes, que são perigosas e têm alto custo de disposição. E os gases de combustão são altamente agressivos. No caso da pirólise, o processo transforma o lixo em um gás combustível limpo, similar ao gás natural, que pode substituir outros combustíveis sem qualquer risco ambiental ou à saúde pública. A tecnologia pode produzir também biochar a partir de biomassa, que pode ser usado inclusive na agricultura para o combate à desertificação e à perda de carga orgânica.

Cabe salientar as vantagens e desvantagens do processo de pirólise. Como ponto positivo, tem-se que “o balanço energético do sistema de pirólise é sempre positivo, pois produz mais energia do que consome; este, sem dúvida, é um fator importante para que este processo continue a ser pesquisado” (LIMA, 2004, p. 265).

FORLIN (2002, p. 07) apresenta vantagens da pirólise, das quais podem ser destacadas: “(a) a possibilidade de armazenamento, transporte e utilização como óleo bruto; (b) a viabilidade de refino do óleo bruto para a obtenção de monômeros para síntese de outros produtos plásticos; (c) a transformação do óleo bruto para composição de materiais com aplicação na construção civil (isolante, impermeabilizante, etc.) e como componente de material asfáltico na construção de rodovias”.

FILHO *et al.* (2014, p. 187-194) defende que “por caracterizar-se pela degradação térmica em uma atmosfera com deficiência de oxigênio, a pirólise minimiza as emissões de poluentes formados em atmosfera oxidante, tais como as dioxinas e os furanos”.

Como desvantagem do processo, pode-se citar que trata-se de processo em desenvolvimento e que necessita de alto investimento em seu aperfeiçoamento. No

entanto, “com o avanço da tecnologia da combustão, este método pode tornar-se um instrumento de grande utilidade na luta contra a poluição” (LIMA, 2004, p. 265).

Com a implantação de um reator pirolítico, há dissociação dos combustíveis gerando um gás que contém CO, H e N com traços de outros elementos presentes no combustível. A biomassa serve como fornecedora de carbono para, numa reação de oxirredução, gerar o gás misto. Este gás é altamente combustível e pode ser utilizada para a geração de energia, produção de vapor ou água fria.

Em resposta à avaliação das condições operacionais, verificou-se que o processo de pirólise possibilita um maior rendimento que os tradicionais, sendo que para a geração de energia, a relação é de no mínimo 1 tonelada de biomassa em base seca para MW. Com isso, há economia e sustentabilidade na geração de energia elétrica.

As cinzas alcançam 4% do total sendo ricas em potássio, e podem ser utilizadas como corretor de solo, na fabricação de sabão ou na comercialização como commodities em setores industriais. O gás produzido pode ser transportado por tubulação a distâncias consideráveis para consumo industrial ou doméstico. Com a separação do hidrogênio, permite-se a purificação e armazenamento para utilização do gás como combustível para o transporte coletivo do município.

Constatou-se a redução na emissão de gases do efeito estufa dos aterros sanitários; a recuperação energética mais eficiente dos resíduos urbanos inutilizados; a substituição de fontes fósseis de energia para otimização de recursos naturais; a recuperação de água; o resgate de créditos de carbono; o impedimento de desmatamento de novas áreas; a menor exigência de área para sua implantação e não geração de chorume.

2.5. Metodologia e Resultado

Trata-se de trabalho de cunho exploratório com abordagem qualitativa com revisão bibliográfica sobre o processo da pirólise como método limpo de destinação de resíduos domiciliares e estudo de caso.

A revisão bibliográfica e o estudo de caso foram considerados necessários para o desenvolvimento do estudo, onde o campo de pesquisa é pouco explorado, facilitando a descrição das características, pontos fortes e fracos da pirólise.

As atividades desenvolvidas para elaboração do presente trabalho se enquadram no modelo exploratório, porque foi entendido como o mais adequado ao trabalho, com relação à melhor instrumentalização da pesquisa, considerando que se “busca apenas levantar informações sobre determinado objeto, delimitando assim um campo de trabalho, mapeando as condições de manifestação desse objeto” (SEVERINO, 2007 p. 123)

O instrumento usado na busca de dados e informações é o qualitativo, escolhido porque trata-se de estudo descritivo que objetiva analisar se o resultado alcançado com a pirólise pode ser considerado como boa alternativa financeira e ecológica para o lixo urbano para o Município de Campo Belo-MG.

O método de pesquisa passou pela revisão bibliográfica, visando analisar a o entendimento da literatura sobre o processo da pirólise como método limpo de destinação de resíduos domiciliares, destacando suas vantagens e desvantagens.

O estudante, na elaboração do trabalho monográfico, sempre se valerá desse tipo de pesquisa, notadamente por ter que reservar um capítulo do trabalho para reunir a teoria condizente com seu estudo, normalmente chamado de revisão de literatura ou fundamentação teórica (BEUREN E RAUPP, 2004, p.87).

Isso quer dizer que “a pesquisa bibliográfica se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos, como livros, artigos, teses, etc” (SEVERINO, 2007 p. 122).

A revisão bibliográfica foi feita em livros, artigos científicos, sites e teses sobre o tema. Com isso, objetivou-se analisar materiais sobre a pirólise, em especial quanto ao tratamento e destinação dos resíduos domiciliares, em artigos elaborados e publicados por universidades, na área de engenharia civil e na literatura especializada, dentre os quais podem ser citados: “Elementos de gestão de resíduos sólidos” (Raphael Barros), “Lixo municipal” (Maria Luiza Otero D’Almeida), “Tratamento de resíduos de serviços de saúde pelo processo da pirólise” (A. Filho), “Biocombustíveis” (Electo Lora), “Utilização da pirólise para o tratamento de resíduos no Brasil (Guilherme Ricchini Leme), “Pirólise” (Raquel Dias Aires), “O processo de pirólise como alternativa para o aproveitamento do potencial energético de lodo de esgoto – uma revisão” (Gláucia Eliza Gama Vieira), “Processo pirólise para decomposição do lixo urbano” (Luana Cristina Rodrigues de Moraes).

Para estudo de caso foi elaborado um questionário visando apurar informações relativas à uma unidade experimental na cidade de Praia Grande - SP,

com objetivo de avaliar as condições operacionais e dificuldades encontradas durante a elaboração e implantação do projeto.

ANDRÉ e LÜDKE (1986, p. 45) definem a análise de dados como “trabalhar todo o material obtido durante a pesquisa, ou seja, os relatos das observações, as transcrições de entrevistas, as análises de documentos e as demais informações disponíveis”.

Após realização da revisão bibliográfica ficou demonstrado que a maior dificuldade encontrada para implementação de um processo de pirólise como forma de destinação de resíduos é o custo, no entanto, no estudo de caso constatou-se que não se trata de um investimento alto, sendo a falta de informação quanto à eficiência o principal obstáculo para avanço na implantação de projetos como esse.

Sendo assim, constatou-se que pirólise é alternativa para enfrentar o problema causado com a geração de resíduos, ante a possibilidade de redução do passivo ambiental com baixo impacto, destacando-se que pode haver retorno financeiro com a geração de energia e produção de combustível. Ademais, há redução da operação e do custo operacional, tornando-se viável como alternativa financeira e ecológica para o lixo urbano em Campo Belo – MG.

2.6. Materiais

O trabalho será desenvolvido através da revisão bibliográfica e do estudo de caso de uma unidade experimental na cidade de Praia Grande – SP.

Com os dados obtidos foi realizada a análise das condições operacionais e dificuldades encontradas durante a elaboração e implantação do projeto de tratamento de resíduos domiciliares através do processo da pirólise, no intuito de avaliar a viabilidade do projeto para redução do passivo ambiental.

O representante da unidade experimental na cidade de Praia Grande – SP respondeu ao questionário com objetivo de prestar informações práticas, técnicas e financeiras do sistema, cuja análise dos dados será feita em confronto com os argumentos lançados em artigos científicos e na bibliografia especializada.

Para MARCONI E LAKATOS (1999, p. 74), o questionário é constituído por uma série ordenada de perguntas, que são respondidas por escrito. Este instrumento pode utilizar perguntas abertas ou fechadas. As questões abertas

permitem ao informante responder livremente, usando linguagem própria, expressando comentários, explicações e opiniões. Porém as respostas dão uma margem maior à parcialidade do entrevistador na compilação das respostas, sendo mais onerosas e demoradas para serem analisadas.

Com relação ao presente trabalho, aplicou-se questionário no dia 27/04/2019, com perguntas abertas (dissertativas), cujas respostas foram literalmente transcritas (Apêndice 1).

2.7. Estudo de caso

A unidade experimental avaliada está localizada na cidade de Praia Grande – SP, tendo sido prestadas as seguintes informações pelo representante da mesma:

Durante o desenvolvimento do estudo de caso, os dados são coletados através de diversos instrumentos e em diferentes momentos, cruzando informações, afastando suposições e levantando outras hipóteses. Estes dados podem ser expressos de diversas maneiras, como desenhos, fotografias, filmagens, tornando a linguagem mais clara para os seus leitores (FLICK, 2009, p. 135).

De acordo com o questionário respondido, foi esclarecido que o processo de pirólise empregado é patenteado e, entre as vantagens do devem ser mencionadas a geração zero de materiais periféricos, pois o processo é combinado com a reutilização de todo o gás que vira fonte de combustível para um equipamento que pode ser uma caldeira; a geração de apenas 4% de material inerte rico em NPK (nitrogênio, sódio e potássio), porque os gases que viram energia por meio de um sistema conjunto de moto/gerador; o equipamento é compacto e de fácil operação, com pouca mão de obra e de grande eficiência energética.

Diferentemente de outras propostas, nesse processo de pirólise não há geração de alcatrão, óleo pirolítico ou qualquer outro material, sendo produzido, apenas, material inerte rico em NPK cerca de 4%, dependendo da característica do resíduo.

Considerando que se trata de material de fácil comercialização, que a cultura do café é muito forte na região a ser implementada e que a planta precisa desse tipo de produto para aumento da produtividade, pode-se dizer que o cenário de mercado é benéfico para absorver os produtos gerados.

Para processar 40 toneladas são necessários 8 colaboradores trabalhando 24 horas por dia. Para uma cidade como Campo Belo–MG, a proposta é de 8 horas por dia, com dois equipamentos que conseguem processar 2,5 toneladas por hora e um equipamento em *stand bay*, para casos de manutenção ou imprevisto.

A implantação do sistema não demanda estruturas periféricas complexas para o bom funcionamento, bastando água de boa qualidade para ser usada no sistema de geração de energia, limpeza de piso e consumo humano. A luz ficará somente para emergência, pois o próprio sistema gera a sua própria energia.

No caso de uma ETE não há necessidade porque o processo não gera efluente líquido, mas, dependendo do local será necessária a implantação de um sistema de tratamento para o esgoto gerado em banheiros.

Atualmente, o sistema de pirólise é passível de licenciamento ambiental no Estado de Minas Gerais, em conformidade com a nova DN 217.

O custo para implantação de uma unidade de pirólise é de R\$ 40,00 por tonelada de resíduo mais o retorno de 30% da geração de energia para o Município, ou seja, em torno de R\$ 20.000,00 por mês. Pode-se acordar, também, a redução do preço por tonelada e não repasse dos 30% de energia gerada.

Para geração de 40 toneladas por dia faz-se necessária uma área de 6000 m², com construção de um galpão e aquisição do equipamento (por doação por cessão ou outro modelo).

O processo de pirólise trará retorno ambiental ao Município, considerando o ente estatal cumprirá suas obrigações ambientais.

Dentre os benefícios, podem ser citados: a redução de áreas para aterro sanitário, a eliminação de passivos ambientais, a geração de energia por fontes alternativas, o retorno de receita por meio de ICMS ecológico e de crédito de carbono e a não aplicação de multas por destinação incorreta do RSU e o Município.

Por se tratar de um equipamento autossuficiente, o custo operacional mensal do sistema de pirólise é praticamente zero, somente com despesas referentes aos salários dos colaboradores e à manutenção do sistema.

Não foram encontradas dificuldades na implantação e início das atividades. Isso porque, como o retorno do licenciamento constatou-se que há grande possibilidade energética e potencial para solução do lixo nos Municípios. Inclusive, com a formalização da parceria, a atividade inicia-se em até 180 dias, não havendo

dificuldade na implantação ou no desenvolvimento do projeto. No entanto, o desafio é provar o sistema funciona, ou seja, a eficiência do equipamento.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pirólise é o processo em que o resíduo é submetido a altas temperaturas para sua transformação em energia, podendo ser considerada alternativa para o gerenciamento da produção de resíduos no Brasil. No entanto, não se trata de opção para substituir os aterros sanitários, devendo ser implantado de forma complementar.

Por conta disso, a pirólise mostra-se eficiente em sua proposta, porque atuará na diminuição do volume de resíduos lançados nos aterros sanitários.

Com base na revisão bibliográfica, análise documental e estudo de caso concluiu-se que o processo de pirólise oferece baixo impacto ambiental, dentre as quais pode ser citada a redução na emissão de gases do efeito estufa, bem como retorno financeiro em decorrência do reaproveitamento dos subprodutos para geração de energia e combustível.

Com relação à desvantagem da pirólise, a literatura pontua que o elevado custo operacional impede a implantação do projeto. No entanto, em comparação à construção de aterros sanitários, que também demanda alto custo, a pirólise deve ser considerada mais interessante em decorrência dos diversos fatores positivos que são apresentados.

Por conta disso, pode-se concluir que a implantação de um projeto de pirólise como forma de destinação de resíduos, para enfrentamento do problema causado com a geração de resíduos, é plenamente viável para o Município de Campo Belo-MG, devendo pontuar que, além da redução do impacto ambiental, pode haver retorno financeiro aos cofres públicos com a geração de energia e produção de combustível.

***Pyrolysis as clean method of disposal of household waste: literature review
and case study***

ABSTRACT

This work discusses the pyrolysis process as clean method of household waste disposal. such an approach is necessary to carry out the best household waste disposal in the municipality of campo belo, minas gerais. the purpose of this paper is to deal with the problem caused with the generation of waste, to reduce environmental liabilities and aiming to introduce a solution of low imp act and financial return. this task will be developed from the literature review on the use of waste in the pyrolytic process, highlighting its advantages and disadvantages. The analysis showed that the pyrolysis process is advantageous, because the waste generated at the end of the process can be used in power generation and in the production of biofuel.

Key words: *Wasted. Advantages. Pyrolysis process*

REFERÊNCIAS

BACELAR, Flávio. **Aterro Sanitário Cosanpa 2013**. Matemática e Meio Ambiente. Disponível em: <<http://profmbacelar.blogspot.com/2013/0>>. Acesso em 10/03/19.

BARROS, Raphael. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. São Paulo: Editora Tessitura, 2012. 424 p.

BEUREN, Ilse Maria; RAUPP, Fabiano Maury. Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais. São Paulo: Editora Atlas, 2004. p.87.

BASU, Prabir. **Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory**. Burlington: Ed. Elsevier, 2010. 365 p.

BIZZO, W; GOLDSTEIN Jr., L. **Incineração de lixo urbano com geração de energia elétrica**. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 1995. Campinas: Unicamp, 1995. 6 p.

BRASIL. **Lei n° 12.305/10**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em 10/03/19.

BRASIL. **NBR 8419/92 da ABNT**. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-8.419-NB-843-Apresentac%C3%A3o-de-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-RSU.pdf>>. Acesso em 10/03/19.

BRASIL. **NBR 10004/2004 da ABNT**. Disponível em: <<http://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em 10/03/19.

BRASIL. **Deliberação Normativa Copam n° 217/17**. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>>. Acesso em 10/03/19.

BRERETON, C. **Municipal solid waste - Incineration, air pollution control and ash management**. Resources Conservation and Recycling, v. 16, n. 1-4, 1996. 227-264 p.

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. 494 p.

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

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero, vilhena, André (Coords.). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2º ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: compromisso Empresarial Para Reciclagem, 2000. 54 p.

EUROSTAT. **Municipal waste treatment by type of treatment**. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Municipal_waste_treatment_by_type_of_treatment,_EU-27,_kg_per_capita,_1995_-_2015-F2.png>. Acesso em 10/03/19.

FERREIRA, B. S. **Desenvolvimento de uma estrutura metodológica para Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) do processo de fabricação do couro**. 2017. 139p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/151707>>. Acesso em 10/03/19.

FILHO, A; FERREIRA, A; MELO, G; LANGE, L. **Tratamento de resíduos de serviços de saúde pelo processo da pirólise**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental. V.19, n. 2, 2014. 187-194 p.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Editora Artmed. 2009. 135 p.

FORLIN, F. S.; FARIA, J. A. F. **Reciclagem de embalagens plásticas**. Departamento de Tecnologia de Alimentos. UNICAMP, Ciência e Tecnologia, vol. 12, nº 1, 2002, 07 p. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9876>>. Acesso em 10/03/19.

GRIPP, W. G. **Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos: considerações sobre a proposta para São Paulo**. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos. 1998. 208 p.

GOMEZ, G. et al. **Characterization of urban solid waste in Chihuahua**, Mexico. Waste Management, v. 28, n. 12, 2008. 2465-2471 p.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Urbanos: Uma abordagem tecnológica**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. 190 p. Disponível em: <<http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/rachelh.pdf>>. Acesso em 10/03/19.

HEBERLEIN, J.; MURPHY, A. B. **Thermal plasma waste treatment**. Journal of Physics DApplied Physics, v. 41, n. 5, 2008, 115 p.

KARAYILDIRIM, T.; YANIK, J.; YUKSEL, B. **Characterisation of products from pyrolysis of waste sludges**. Energy e Fuel , v.85, 2006. 1498 – 1508 p.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas, 1999, p. 74.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação**. 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004. 265 p.

LORA, Electo; VENTURINI, Osvaldo. **Biocombustíveis**. V. 1. São Paulo: Editora Interciência, 2012. 1200 p.

LUNDIN, M.; OLOFSSON, M.; PETTERSSON, G. F.; ZETTERLUND, H. **Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options**. *Resources Conservation*, v. 41, 2004. 255 – 278 p.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986. p. 45.

MOHAN, Dinesh; PITTMAN JR., Charles U.; STEELE, Philip H. **Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review**. *Energy & Fuel*, v. 20 n. 3, 2006. 848 – 889 p.

PARK, Y. J.; HEO, J. **Vitrification of fly ash from municipal solid waste incinerator**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 91, 2002. 83 – 93 p.

PINTO-COELHO, R. M. **Reciclagem e desenvolvimento sustentável no Brasil**. Belo Horizonte: Recóleo Coleta e Reciclagem de Óleos, 2009. 340 p.

QUEIROZ, L. M. **Lixo: Tratamento e Biorremediação**. 2ªed. São Paulo: Ed. Hemus, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Resultados-da-Pirolise-de-lixo-Fonte-QUEIROZ-2004_fig3_305319084>. Acesso em 10/03/19.

REICHERT, F. INNOVA **Energias Renováveis investe R\$ 4 milhões no Parque Científico e Tecnológico da Unicamp**. Fevereiro de 2015. Disponível em: <<http://www.inova.unicamp.br/parquecientifico/2015/02/376/>>. Acesso em 10/03/19.

SANTOS, K. G. **Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo**. 2011. 166p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <<http://pct.capes.gov.br/teses/2011/32006012005P4/TES.PDF>>. Acesso em 10/03/19.

SANTOS, Daniele Souza dos. **Viabilidade do aproveitamento do lixo urbano da cidade de Maceió como alternativa energética**. 2009. 111 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, 2009. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1127>>. Acesso em 10/03/19.

SANNER, W. **Conversion of municipal and industrial refuse into useful materials by pyrolysis**. Washington U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1970. 11 p.

SEVERINO, Antônio Joaquim. Metodologia do trabalho científico. São Paulo: Editora Cortez, 2007 (SEVERINO, 2007 p. 123) (SEVERINO, 2007 p. 122).

SILVÉRIO, J. **Uso agrícola do lodo de esgoto, da matéria orgânica do lixo urbano e de resíduos industriais.** O Agrônomo, v.1, 2004. 5-8 p. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/agronomico/pdf/v56-1_PaginasAzuis56-1-4.pdf>. Acesso em 10/03/19.

STENGER, A. **Experimental valuation of food safety: application to sewage sludge.** Food Policy, v. 25, 2000. 211 – 218 p.

TSUTYA, M. T. **Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos.** In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Embrapa, 2000. 312 p. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000141&pid=S0100-0683200900030002300039&lng=pt>. Acesso em 10/03/19.

VIEIRA, G. E. G. **Resíduos da produção industrial de borracha (ETRI) e bebida (ETE) – Uma avaliação pela tecnologia de LTC.** 2000. 322 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200059&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 10/03/19.

WILLIAMS, Paul. T.; BESLER, Serpil. **The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass.** Renewable Energy, v. 7, n. 3, 1996. 233-250 p.

Site Instituto Venturi para Estudos Ambientais. Disponível em: <www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/download/225/160> d GR Leme - 2017>. Acesso em 10/03/19.

Site Só biologia. Disponível em: <<https://www.sobiologia.com.br/figuras/Solo/incineracao.gif>>. Acesso em 10/03/19.

Site Ecodebate. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/wp-content/uploads/2017/05/20170522-170522caminho-da-reciclagem.jpg>>. Acesso em 10/03/19.

Site Info Escola. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/01/pir%C3%B3lise.jpg>>. Acesso em 10/03/19.

Site Delta Bravo Reciclagem. Disponível em: <<http://www.deltabravoreciclagem.com/images/separador-rsu-pirolise.jpg>>. Acesso em 10/03/19.

Site Delta Bravo Reciclagem. Disponível em: <<http://www.deltabravoreciclagem.com/images/GASEIFICADORES-DE-BIOMASSAS.png>>. Acesso em 10/03/19.

Site Rnews. Disponível em: <http://rnews.com.br/wp-content/uploads/2015/05/Informe-Essencis_Aterro-Sanitario.jpg>. Acesso em 10/03/19.