



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

LUCAS HAMILTON CALVE

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RSU NOS MUNICÍPIOS
DO ESTADO DE SÃO PAULO**

São Paulo

2016

LUCAS HAMILTON CALVE

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RSU NOS MUNICÍPIOS
DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Monografia de conclusão de curso de pós-graduação para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração: Energia

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Suaní Teixeira Coelho

SÃO PAULO

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Calve, Lucas Hamilton
POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RSU NOS
MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO / L. H. Calve, S. T. Coelho -- São
Paulo, 2016.
72 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída
e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1. Gaseificação de RSU I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t. III. Coelho,
Suaní Teixeira

RESUMO

A presente monografia apresenta o estudo do potencial de geração de energia a partir do uso dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no estado de São Paulo, atendendo a PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos e visando a relação da melhor tecnologia para conversão energética de RSU. Considerando o tamanho do município (em sua grande parte abaixo de 12.000 habitantes), a tecnologia mais indicada é a recuperação por gaseificação, considerando a adoção dos consórcios de municípios como modelo para aqueles cuja capacidade de geração de resíduo é insuficiente para a viabilização de sua própria planta e também para aqueles que apresentam capacidade para viabilizar sua própria Usina de Recuperação de Energia (URE). Foram propostas duas plantas, como estudo de caso, sendo uma no município de Onda Verde com processamento de 528 t/dia e uma no município de Itapuí com processamento de 16,5t/dia. Foi analisado o processamento do resíduo e transformação em CDR (combustível derivado de resíduo) para melhor eficiência do sistema. Os resultados obtidos no estudo indicam que no Estado de São Paulo o potencial para geração de energia a partir do uso do RSU pode chegar a cerca de 1,15 GW de energia elétrica .

Palavras chave: Resíduos Sólidos Urbanos, energia elétrica, gaseificação.

ABSTRACT

This monograph presents the study of the potential of the State of São Paulo to generate energy from urban solid waste (RSU), in compliance with PNRS - National Policy on Solid Waste and aiming at the relation of the best technology for energy conversion of MSW. Considering the size of the municipality (largely below 12,000 inhabitants), the most indicated technology is the recovery by gasification, considering a consortium of municipalities for those who do not have the capacity to make their own plant viable, and also the municipalities that have the capacity to Feasible its own Energy Recovery Plant (ERU). Two plants were proposed, one in the municipality of Onda Verde with processing of 528t / day and one in the municipality of Itapuí with processing of 16.5t / day. The processing of the residue and transformation in CDR (waste derived fuel) was analyzed for Better efficiency of the system. The results obtained in the study indicate that the State of São Paulo has a potential to generate about 1.15 GW of electric energy from the RSU

Key-words: Urban Solid Waste, electricity, gasification.

Sumário

Sumário.....	5
1.Introdução:	6
2.Objetivo:.....	8
3. Revisão Bibliográfica:.....	9
3.1 Tecnologias para disposição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos	9
3.1.1 Coleta Seletiva.....	9
3.1.2 Reciclagem	10
3.1.3 Compostagem.....	11
3.1.4 Aterros Sanitários	12
Figura 1: Ilustração de um aterro sanitário.....	12
Fonte: transporteselocações (2016).....	12
3.1.4.1 Biogás de aterro sanitário	16
3.1.5 Incineração	17
3.1.6 Gaseificação.....	20
3.1.6.1 - Gaseificador de leito fixo	22
3.1.6.2 - Gaseificador de leito fluidizado.....	23
3.1.7 Pirolise.....	26
3.1.8 Plasma	27
3.1.9 Comentários preliminares	29
5.0 Localização dos Aterros de disposição dos RSUs.....	32
4.4 Definição de CDR	37
4.6 Volume de RSU gerados no Estado de São Paulo.....	43
4.7 Potencial energético do RSU do Estado de São Paulo.....	45
4.7.1 Usinas de Recuperação de Energia – URE	49
4.7.2 Estudo de Caso : Consórcio de municípios URE - ONDA VERDE	50
4.7.3 Estudo de Caso: URE - ITAPUÍ	57
5.0 Geração Distribuída.....	62
6.0 Avaliação econômica – financeira.....	63
6.1 Custos de Investimentos em Gaseificação - exemplo.....	64
7.0- Considerações finais.....	66
8.0 Referências Bibliográficas:.....	69

1. Introdução:

Segundo o Censo de 2014, o Brasil é formado por 5.570 municípios e sua população ultrapassará os 206 milhões de pessoas ao final de 2016 (IBGE, 2014). Neste cenário a geração de RSU é aproximadamente 215.297t/dia (*Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil - 2015 - Abrelpe*). No estado de São Paulo, objeto deste estudo, os 645 municípios com população de 44 milhões de pessoas (projeção do IBGE para 2016) gera 62.156 t/dia de RSU (*Panorama do RSU 2015 - Abrelpe*), sendo que destes 92,1% estão em aterros adequados ou controlados e 7,9% ainda são dispostos de maneira inadequada (lixões). Apesar dos avanços ocorridos nos últimos cinco anos – o relatório apontava que em 2011, 15,3% do resíduo gerado no estado era disposto de maneira inadequada – é sabido que a simples disposição destes resíduos de maneira inadequada pode causar graves problemas para a saúde da população e ao meio ambiente. O controle na disposição e a possibilidade de aproveitamento dos gases para a geração de energia, faz com que este impacto seja reduzido de forma significativa.

Além disso, o desenvolvimento de produtos industrializados associado às mudanças do estilo de vida da população faz com que haja a projeção de um cenário de geração de resíduos ainda mais elevada, sendo necessário o desenvolvimento de projetos para reaproveitamento sejam estes de reutilização, reciclagem e ou aplicação dos resíduos para outros fins, como determina a PNRS.

A definição de resíduos sólidos urbanos, ou popularmente chamado de lixo, é basicamente tudo que não se possui mais valor agregado, sendo discutido entre diversos autores e de diversas áreas.

“ Não há apenas uma definição sobre o lixo, mas várias. Há diversos modos de entender o lixo. Para alguns, lixo pode ser todo e qualquer material sólido que sobra das atividades humanas, ou provenientes da natureza, como folhas, terra, areia e galhos de árvores. Para outros, lixo pode ser tudo aquilo que, do nosso ponto de vista, perdeu a utilidade, o valor, ou que não queremos mais usar, nem guardar. Lixo pode ser qualquer coisa

velha. Essas são maneiras relativas de entender o lixo, relativas porque dependem do valor que diferentes pessoas atribuem ao que sobra, ao que se joga fora, ao que é sujo, inútil, velho, e que julgam não ter mais qualquer valor (Penteado, 2011). “

“Enquanto o lixo para alguns se resume àquilo que não tem valor, ou mesmo utilidade, pode por outro ângulo passar a ser tratado como substrato, ou mesmo, matéria prima, se considerado seu potencial energético (Nascimento, 2012).”

Neste contexto é de extrema relevância a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) que trata das “diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os 14 perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis”.

A Política Estadual de Resíduos Sólidos:

“Define princípios e diretrizes, objetivos, instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e à recuperação da qualidade do meio ambiente, e à promoção da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais no Estado de São Paulo”. (Lei nº 12.300 de 16 de março de 2006)

Com a disposição correta dos RSU, os municípios passam a ter alternativas para executar ações complementares para aproveitamento e destino final, tais como:

- Reciclagem
- Compostagem
- Biodepositores
- Incineração
- Pirolise
- Gaseificação

- Plasma

Do conjunto de alternativas acima apenas a reciclagem e a compostagem não permitem o aproveitamento do potencial energético destes resíduos para a produção de energia elétrica.

Este estudo abordou dois estudos de caso; a escolha destes se deu para que se pudesse investigar as vantagens e dificuldades do modelo de consórcios em dois cenários: o primeiro considerando a associação de diversos municípios de pequeno e médio porte - URE Onda Verde - e a segunda em um modelo mais simples com a associação de apenas dois municípios de pequeno porte URE Itapuí.

A cidade de Onda Verde foi escolhida por estar em um ponto estratégico para o atendimento a 15 municípios em um raio de 100 quilômetros e com potencial de recebimento de 528 t/dia de RSU. Para o segundo projeto, foi considerada a a cidade de Itapuí, município que atualmente além de dispor de seu próprio resíduo recebe também o proveniente do município de Bocaina, os dois juntos somam 16,5t/dia de RSU, quantia próxima ao mínimo estabelecido pelo equipamento de gaseificação adotado neste estudo.

2.Objetivo:

O objetivo principal desta monografia é a análise da quantidade de RSU gerado no Estado de São Paulo, considerando não apenas o percentual que está sendo depositado de forma adequada como também o que não se encontra depositado de maneira correta e a partir deste verificar o seu potencial para a produção de energia elétrica. Para este fim:

- 1- Foram identificadas as tecnologias existentes para o processamento destes resíduos na obtenção da geração de energia elétrica, considerando a geração distribuída e suas possibilidades de conexão com o sistema elétrico existente.

2- São apresentadas e discutidas as viabilidades técnicas e econômicas em seus potencias de produção.

3- É avaliado o potencial de geração de energia elétrica a partir de RSU no Estado de São Paulo.

Através do georreferenciamento do mapa do Estado de São Paulo com a utilização do Google Maps em “My Maps”, foi gerado o mapa com a locação de todos os aterros (adequados ou não), identificando sua capacidade de produção de energia e lançada para a plataforma do Software Qgis.

3. Revisão Bibliográfica:

3.1 Tecnologias para disposição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos

Das tecnologias para o tratamento do RSU, a coleta seletiva, reciclagem e a compostagem não permitem a produção de energia elétrica de que trata este estudo, tais processos são apresentados abaixo somente para informação.

3.1.1 Coleta Seletiva

A coleta seletiva possui como objetivo a separação dos RSU e como forma ideal desde a geração na residência, comércio e indústria até a destinação final do tratamento com a separação para reciclagem, reutilização e compostagem no caso dos resíduos orgânicos.

Infelizmente ainda não há políticas públicas que incentivem a coleta seletiva. Em diversas cidades se realiza a separação para a coleta seletiva na origem, porém no destino final todos os materiais se juntam e são destinados aos aterros.

Para que a reciclagem dos resíduos e o tratamento pela compostagem atuem juntamente, sendo destinada a fração seca para o primeiro e a úmida para o segundo, é necessário que os resíduos sejam segregados, preferencialmente na fonte geradora.

A ocorrência de forma eficaz com a unificação das soluções acima, se faz pelo poder público no comprometimento e atuação com o programa de coleta

seletiva, onde são destinados veículos específicos apenas para coletar a fração seca dos resíduos, em dias ou horários diferenciados da coleta da fração úmida. Além, de forma mais expressiva que o anterior por questões sociais, a atuação dos catadores e dos galpões de triagem, em que cooperativas realizam essa separação e a venda dos mesmos, já separados, é revertida para os próprios funcionários do local, melhorando a qualidade de vida destes catadores, protegendo-os com a mudança para uma local menos insalubre.

3.1.2 Reciclagem

De acordo com o PNRS (2010), a reciclagem consiste no processo de transformação das propriedades físico, físico-químicas e biológicas para aproveitamento da matéria prima na produção de novos produtos.

Os resíduos utilizados para reciclagem são os que possuem em sua base os papéis, plásticos, vidros, metais ferrosos e não ferrosos que podem ser separado manualmente próximo ao local de descarte dos resíduos ou em pontos anteriores com o envio direto para as empresas de processamento. A tabela 1 apresenta os tipos de materiais e quais são aproveitados na reciclagem ou não.

Tabela 1: Materiais com tecnologia economicamente viável e amplo mercado para a reciclagem

TIPO	RECICLAGEM	LIxo comum não reciclável
PAPEL	papelão papel de escritório jornais revistas livros cadernos cartolinhas e embalagens longa vida	papel carbono celofane papel vegetal papéis encerados ou plastificados higiênico lenço de papel guardanapos fotografias fitas ou etiquetas adesivas
PLÁSTICO	sacos cds embalagens de produtos de limpeza canos e tubos garrafas e plásticos em geral	plásticos termofixos embalagens plásticas metalizadas
VIDRO	garrafas de bebida vidro de janelas vidro de automóveis frascos em geral potes de produtos alimentícios e copos	espelhos cristais lâmpadas ampolas de medicamentos cerâmicas porcelanas tubos de tv e de computadores.
METAIS	latas de alumínio latas de produtos alimentícios tampas de garrafas embalagens metálicas de congelados e folha de flandres	clips grampos esponjas de aço tachinhas pregos e canos

Fonte: CBS, 2014.

3.1.3 Compostagem

A compostagem é um método de tratamento de resíduos sólidos no qual a matéria orgânica presente, em condições adequadas de temperatura, umidade e aeração, é transformada num produto estável, denominado composto orgânico, que tem propriedades condicionadoras de solo, sendo, portanto, de grande aplicabilidade na agricultura (CETESB, 1997).

O processo de compostagem pode ser considerado uma versão acelerada do processo natural de transformação da matéria orgânica no solo, sendo obtido através do fornecimento de condições favoráveis (como, por exemplo, aeração, temperatura, umidade e pH) à atividade microbiana (Provenzano et al, 2001).

Há diversos tipos de composteiras. As dimensões devem ser definidas considerando a necessidade de introdução de ar para que possa haver oxigênio disponível para os micro e macro-organismos aeróbicos. Esse consórcio de organismos é composto por bactérias, fungos, minhocas, lacraias, aranhas, baratas, besouros, entre outros. Além de forma e dimensão que favoreçam a aeração, é recomendável que se revolva os resíduos, a fim de provocar sua maior oxigenação (Junior; Saiani; Dourado, 2013).

O processo de compostagem se desenvolve em três etapas:

- a) Fase de decomposição caracterizada pelas elevadas temperaturas e pela presença de numerosos microrganismos;
- b) Fase de maturação com temperaturas menos elevadas e presença de microrganismos e de alguns invertebrados;
- c) Fase de estabilização com temperaturas próximas à do ambiente e importante redução do número de microrganismos e do volume do material a ser compostado.

Em um processo aeróbio, a compostagem destina-se, preferencialmente, ao processamento de resíduos orgânicos sólidos. Resíduos sólidos podem ser

incorporados como palha de cereais, fibra de coco, restos de vegetais desidratados, etc. De maneira geral, praticamente todos resíduos orgânicos podem ser compostados (Rodrigues, 2004). Assim como a reciclagem, a compostagem não atua unicamente como tratamento da composição total dos resíduos sólidos urbanos.

3.1.4 Aterros Sanitários

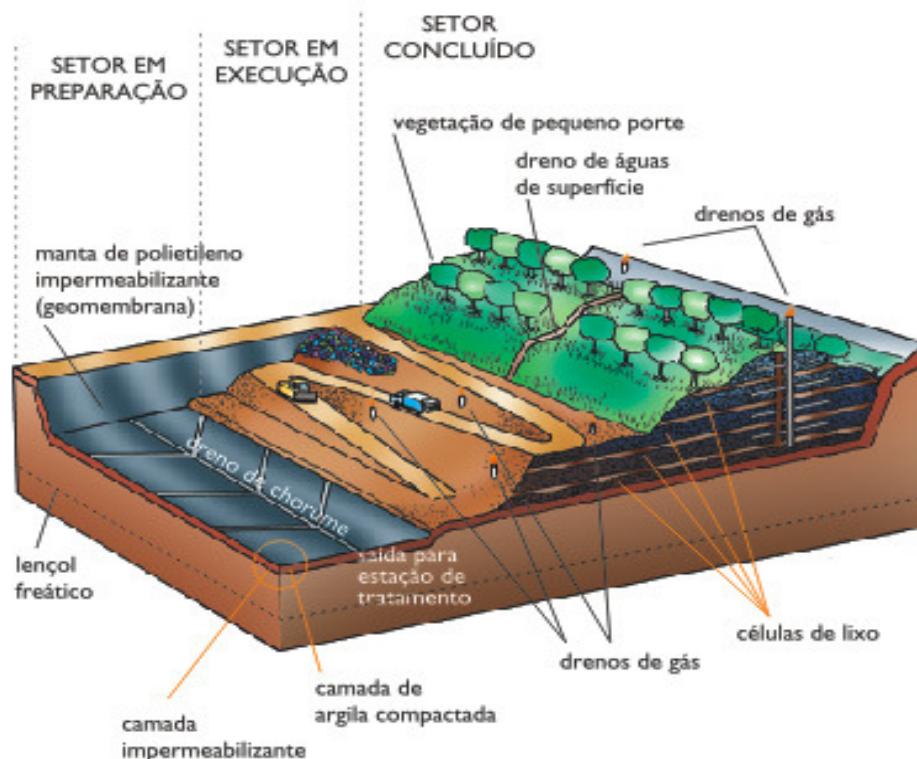


Figura 1: Ilustração de um aterro sanitário
Fonte: transporteselocações (2016)

É uma forma adequada e atualmente monitorada pela CETESB de disposição final dos resíduos, tornando-os, por este motivo, diferenciado dos lixões e aterros controlados. A figura 1 apresenta um modelo de aterro sanitário, com o corte para ilustrar sua composição.

A CETESB disponibiliza relatórios técnicos anuais com o índice de qualidade dos aterros, constando a quantidade de RSU disposta no aterro, capacidade licenciada e até mesmo suas coordenadas geográficas.

Os métodos de acondicionamento e coleta adotados pela maioria das cidades resultam na mistura de materiais que dificilmente são separados pelos processos de triagem atualmente utilizados. Como consequência, tanto as “usinas de compostagem” quanto as técnicas de “coleta seletiva” geram rejeitos que, obrigatoriamente, devem ser descartados. Até mesmo as soluções que serão citadas posteriormente de incineração e gaseificação que geram escórias e cinzas que precisam ser descartadas em aterros (CETESB, 2014).

Esta técnica consiste na compactação dos resíduos no solo, na forma de camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte.

Ainda que sendo o método sanitário mais simples de destinação final de resíduos sólidos urbanos, o aterro sanitário exige cuidados especiais e técnicas específicas a serem seguidas, desde a seleção e preparo da área até sua operação e monitoramento (Cetesb, 2014).

Eles devem operar de modo a fornecer proteção ao meio ambiente, evitando a contaminação das águas subterrâneas pelo chorume (líquido de elevado potencial poluidor, de cor escura e de odor desagradável, resultado da decomposição da matéria orgânica), evitando o acúmulo do biogás resultante da decomposição anaeróbia do lixo no interior do aterro. O biogás pode sair do interior do aterro de forma descontrolada ou infiltrar pelo solo e atingir redes de esgotos, fossas e poços rasos podendo causar explosões (CETESB, 2014).

Desta forma, antes de iniciar a disposição do lixo o terreno deve ser preparado previamente com o nivelamento de terra e com o selamento da base com argila ou geomembrana e mantas de PVC, sendo esta extremamente resistente. Com essa impermeabilização do solo, o lençol freático não será contaminado pelo chorume.

Este é coletado através de drenos de PEAD¹, encaminhados para o poço de acumulação de onde será encaminhado para a estação de tratamento de efluentes.

¹ PEAD – Polietileno de alta densidade, densidade igual ou maior que 0,941 g/cm³

A operação do aterro sanitário, assim como a do aterro controlado prevê a cobertura diária do lixo, não ocorrendo à proliferação de vetores, mau cheiro e poluição visual (Gonçalves, 2014).

De forma a reiterar o controle e o tratamento dos poluentes gerados pela decomposição dos resíduos, são listados a seguir as suas principais características (CETESB, 2014).

- **Impermeabilização da base do aterro:** evita o contato do chorume com as águas subterrâneas. A impermeabilização pode ser feita com argila ou geomembranas sintéticas;
- **Instalação de drenos de gás:** canal de saída do gás do interior do aterro. Os drenos podem ser construídos de concreto ou de PEAD¹ podendo receber uma conexão final de aço-inox quando a célula for fechada. O biogás pode ser recolhido para o aproveitamento energético através da ligação de todos os drenos verticais com um ramal central;
- **Sistema de coleta de chorume:** a coleta de chorume deve ser feita pela base do aterro. O chorume coletado é enviado a lagoas previamente preparadas com impermeabilização do seu contorno ou enviados para tanques de armazenamento fechados;
- **Sistema de tratamento de chorume:** após coletado, o chorume deve ser tratado antes de ser descartado no curso de um rio ou em uma lagoa. O tratamento pode ser feito no próprio local ou o chorume coletado pode ser transportado para um local apropriado (geralmente uma Estação de Tratamento de Esgotos). Os tipos de tratamento mais convencionais são o tratamento biológico (lagoas anaeróbias, aeróbias e lagoas de estabilização), tratamento por oxidação (evaporação e queima) ou tratamento químico (adição de substâncias químicas ao chorume);
- **Sistema de drenagem de águas pluviais:** o sistema de captação e drenagem de águas de chuva visa escorrer a água por locais

apropriados para evitar a infiltração que gera o chorume, além de prejudicar a decomposição anaeróbica dos RSU.

Os aterros podem ser divididos em dois tipos:

Aterro convencional: conforme mostra a Figura 2, há a formação de camadas de resíduos compactados, que são sobrepostas acima do nível original do terreno resultando em configurações típicas de “troncos de pirâmide”. A Figura 2 representa a instalação de um sistema para coleta e recuperação dos gases gerados no aterro.

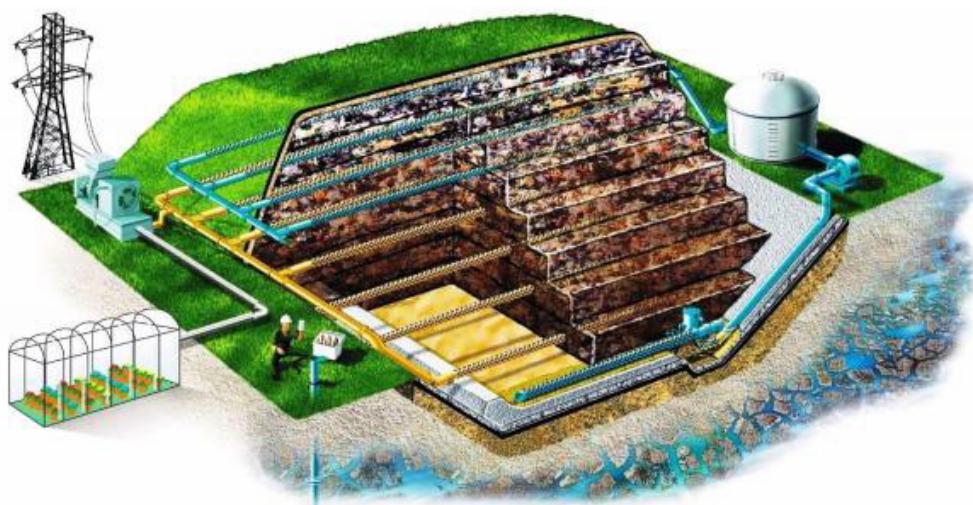


Figura 2: Aterro convencional
Fonte: Nogueira, Marlos (2015)

Aterro em valas: neste caso o uso de trincheiras ou valas visa facilitar a operação do aterrramento dos resíduos e a formação das células e camadas; assim sendo, tem-se o preenchimento total da trincheira, que deve devolver ao terreno a sua topografia inicial, conforme mostra a Figura 3.



Figura 3: Aterro valas

Fonte: (2016)

3.1.4.1 Biogás de aterro sanitário

O Biogás é uma mistura gasosa combustível produzida através da digestão anaeróbia, processo fermentativo que tem como finalidade a remoção de matéria orgânica, a formação de biogás e a produção de biofertilizantes.

A composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogénio, nitrogénio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio, sendo resultado do processo anaeróbico que consiste no processo fermentativo sem a presença de oxigênio. (Pecora, 2006)

A produção de biogás ocorre a partir da decomposição de materiais orgânicos do RSU e se dá em função da disposição dos resíduos em aterros com instalação de sistemas de captação dos gases gerados. O biogás é encaminhado por tubulações para tratamento e geração de energia elétrica, onde o gás é utilizado como combustível em motores Ciclo Otto ou microturbinas a gás, conforme Figura 4.



Figura 4: Aproveitamento biogás de aterro

Fonte: WILLUMSEN, 2001.

Caso o aterro não possua um equipamento de conversão em energia, o biogás deverá ser coletado e queimado em flare e nos aterros antigos onde os drenos de captação de biogás não são interligados a queima de biogás ocorre individualmente em cada dreno.

3.1.5 Incineração

Trata-se de um processo de combustão de forma controlada, que tem como princípio básico a reação do oxigênio com os combustíveis presentes no resíduo (como carbono, hidrogênio e enxofre), em temperatura acima de 800°C, convertendo sua energia química em calor e possui a capacidade de redução dos resíduos orgânicos e combustíveis à matéria inorgânica e incombustível em até 15% do peso e 90% do volume iniciais (Junior; Saiani; Dourado, 2013). A Figura 5 ilustra uma usina típica de incineração.

Os resíduos com maior potencial de combustão neste tipo de tratamento são os que apresentam elevado poder calorífico, matéria orgânica, plásticos, papel/papelão e borrachas (Tabela 2). Todavia, a composição dos RSU de São Paulo possui uma elevada fração de matéria orgânica a qual, devido à sua elevada umidade, apresenta baixo poder calorífico em relação a outros

materiais; isto pode resultar em resíduos misturados com carga térmica inferior à de projeto do forno de incineração, implicando no aumento do consumo de combustível auxiliar.

Tabela 2: Poder Calorífico Inferior (PCI) de alguns RSU.

RSU	PCI (base)	Umidade (%)	Cinzas (%)	PCI (base)
MATÉRIA ORGÂNICA	4300	66	25	712
PAPEL E PAPELÃO	3800	21	5	2729
TÊXTEIS E COUROS	4200	36	10	1921
MADEIRA	3700	25	5	2490
PLÁSTICO	10300	17	3	8193
BORRACHA	9700	5	6	8633

Fonte: Modificado de CODESC (2003) apud FEAM, 2012.

A composição dos gases e dos subprodutos gerados pela combustão no processo de incineração varia de acordo com o resíduo de alimentação e sua composição. De forma geral, são gerados como produtos da combustão, além de vapor d'água, CO₂ e SO_x, HCl, HF, CO, NO_x, material particulado (partículas finas quase sempre com sílica), metais — em particular metais pesados como Cd, Hg, As, V, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni e Tl, entre outros — e substâncias orgânicas (como dioxinas e furanos) na forma gasosa ou aderidas também ao material particulado. Também são gerados rejeitos (cinzas volantes e escórias) de materiais inorgânicos nos RSU que não participam das reações de combustão (FEAM, 2012).

Na combustão, a formação de dioxinas (substâncias comprovadamente cancerígenas) ocorre por mecanismos complexos, envolvendo matéria orgânica, oxigênio e cloro. Estas são destruídas a temperaturas acima de 600 °C, mas sintetizadas novamente entre 500 °C e 250 °C na presença de cloro e carbono. A maior parte das dioxinas fica retida nas cinzas volantes (FEAM, 2010). Tanto os gases emitidos quanto as cinzas geradas em incineradores devem receber atenção especial, dentro das recomendações da legislação, sendo necessários equipamentos e instalações especiais para o seu tratamento (Junior; Saiani; Dourado, 2013).

Para que a combustão do resíduo seja o mais eficiente possível e evitar a formação das dioxinas e furanos, três fatores são de grande relevância no processo, sendo eles:

- **Tempo de residência:** fundamental para que ocorram as reações de destoxificação².
- **Turbulência:** importante para garantir a mistura com o oxigênio, a fim de que ocorra a queima.
- **Temperatura:** fornece o calor necessário para sustentar o processo.

Os principais componentes de um sistema de incineração são o sistema de preparo e alimentação do resíduo, câmara de combustão principal, torre de resfriamento e sistema de controle de emissões.

Existem no mercado diversos modelos de incineradores, porém, a escolha pela tecnologia adequada depende do tipo de resíduo a ser queimado, ou seja, da quantidade e a características do resíduo, que por sua vez, pode ser líquido, semissólido ou sólido (Nascimento, 2012).

A figura a seguir (Figura 5) traz um esquema típico de um incinerador.

²

Destoxificação: processo de retirada dos gases tóxicos como dioxinas e furanos.

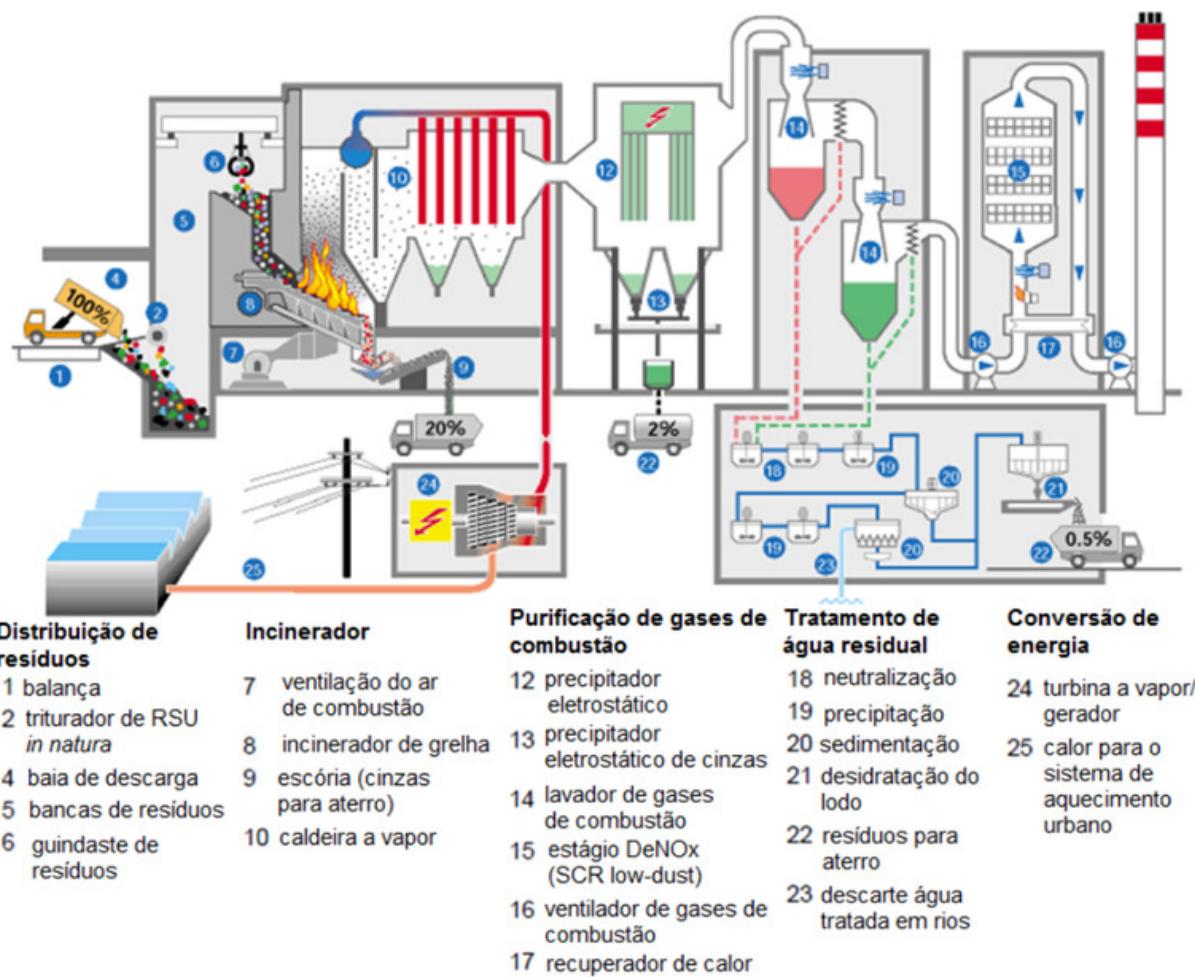


Figura 5: Incinerador

Fonte: CENBIO, 2013

3.1.6 Gaseificação

A gaseificação é um processo termoquímico que transforma o carbono presente nas estruturas químicas dos elementos pela decomposição da matéria orgânica.

O processo pode ser de fluxo contínuo ou batelada, sendo a técnica mais comum à oxidação parcial utilizando um agente de gaseificação (oxigênio, ar ou vapor quente), em quantidades inferiores a estequiométrica (mínimo teórico de oxigênio para combustão), para a produção de gás de síntese cujos principais componentes são monóxido de carbono e hidrogênio, mas contêm também dióxido de carbono e, dependendo das condições, metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor de água em diferentes proporções (CARBOGAS e FEAM, 2012).

Tendo em vista a ausência de excesso de O₂, a formação de componentes tóxicos como NOX, SOX, dioxinas ou furanos é muito reduzida (CARBOGAS, 2016).

A composição dos gases e a produção concomitante de combustíveis sólidos (carvão) e líquidos condensáveis (pirolenhosos) dependem dos seguintes fatores: tipo de forno de gaseificação, forma de fornecimento de energia ao processo, introdução ou não de vapor de água junto com o comburente (ar, O₂), tempo de retenção da carga, sistema de retirada de gases e outros produtos, da matéria orgânica utilizada (FEAM, 2012).

A obtenção do gás de síntese com poder calorífico inferior de 1.160 kcal/Nm³ só é possível utilizando-se oxigênio puro (CARBOGÁS 2016), pois a eliminação do nitrogênio inerte do ar aumenta o poder calorífico, ou misturas de gases — oxigênio e vapor de água ou ar enriquecido com oxigênio e vapor de água (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2009; BRAND, 2010). Por isso que só se usa ar se o gás de síntese tem baixo PCI.

A Figura 6 ilustra uma escala de aplicação dos modelos de gaseificadores considerando sua viabilidade técnica de acordo com cada potência gerada.

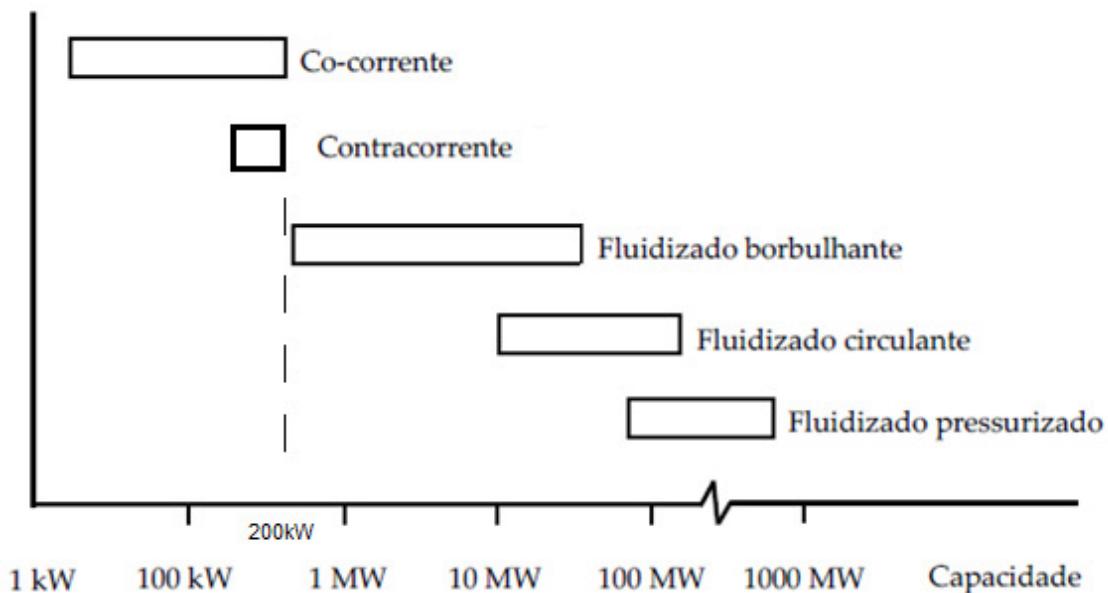


Figura 6: Escala para aplicação da Gaseificação

Fonte: autoria própria, com base em (LARSON,1998)

3.1.6.1 - Gaseificador de leito fixo

O termo leito fixo é para descrever o leito móvel descendente dado que normalmente o topo do leito é mantido a um nível razoavelmente constante com a alimentação pelo topo (REDDY e.t. al. - 1995). Em gaseificadores de leito fixo o combustível é gaseificado em camadas de leito, de modo que diferentes zonas de reação estão presentes: secagem, pirólise, redução e oxidação.

Gaseificadores de leito fixo são subdivididos em gaseificadores contracorrente e co-corrente. Gaseificadores contracorrentes, como o próprio nome diz são gaseificadores onde a carga alimentada e o fluxo de ar estão em sentidos contrários. O combustível é alimentado no topo enquanto que o ar é alimentado pelo fundo do reator. As Figuras 7 e 8, ilustram estes tipos de gaseificadores.

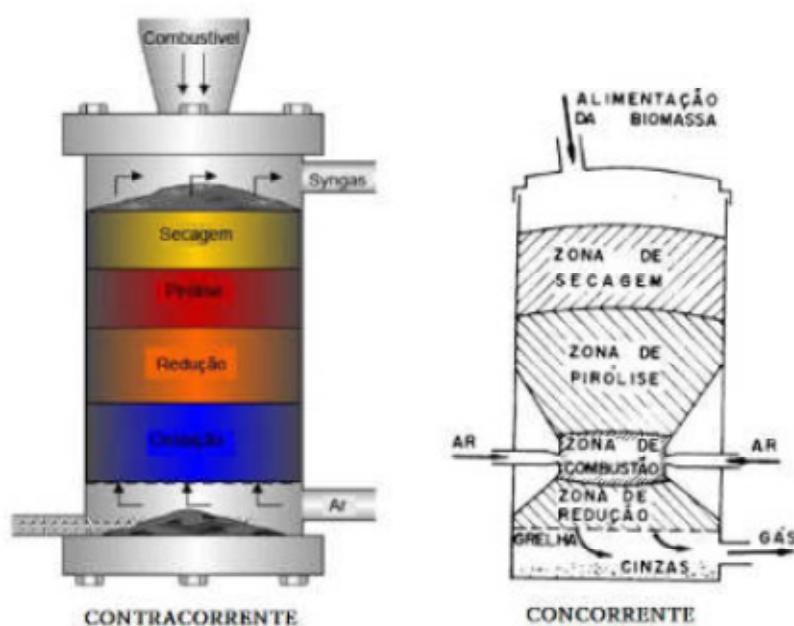


Figura 7: Modelos de Gaseificadores de Leito Fixo

Fonte: Adaptado de Pagliuso, 2009.

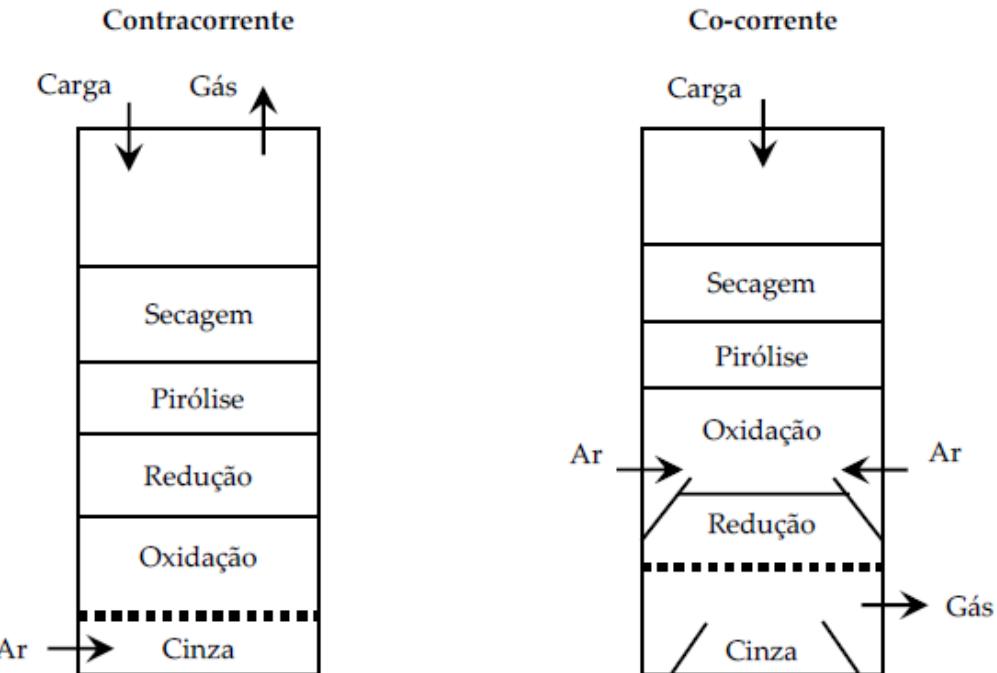


Figura 8: Fluxograma dos Gaseificadores de leito fixo

Fonte: (Belgiorno, 2003).

Na zona de oxidação de gaseificadores contracorrente temperaturas maiores que 1.200 °C podem ser alcançadas. Como consequência desta configuração, o alcatrão formado na zona de pirólise é levado para cima pelos gases quentes resultando em um produto gasoso com alto teor de alcatrão. Tipicamente o calor sensível dos gases é recuperado através da troca de calor direta com a carga alimentada(FEAM, 2012).

De maneira contrária, gaseificadores co-correntes são aqueles onde os fluxos de combustíveis e de ar estão no mesmo sentido. O combustível é alimentado no topo e o ar é alimentado na lateral e acima da grelha enquanto o gás combustível gerado é retirado sob a grelha. Sua configuração permite que os gases gerados na zona de pirólise sofram um craqueamento térmico adequado do alcatrão.

3.1.6.2 - Gaseificador de leito fluidizado

O gaseificador em leito fluidizado é caracterizado por um excelente contato entre sólido e gás, promovendo uma circulação das partículas favorecendo as

reações que envolvem o processo, possibilitando ainda, uma uniformidade da temperatura do leito.

Neste tipo de equipamento se utiliza um elemento como a areia para servir de leito, o qual será aquecido e mantido em suspensão (fluidizado) por um fluido, que pode ser o ar. A biomassa é introduzida no leito entrando em combustão incompleta quando em contato com as partículas a alta temperatura que o constitui (FEAM, 2012).

O desempenho desse tipo de equipamento depende das características da biomassa que é utilizada, do agente oxidante, bem como, dos parâmetros de operação do reator, como: temperatura do leito, velocidade superficial, pressão do reator e carga de biomassa (CARBOGAS E FEAM, 2012).

Os gaseificadores de leito fluidizado podem ser do tipo borbulhante ou circulante. Nos gaseificadores borbulhantes as partículas arrastadas pelo processo não são enviadas de volta para o leito e trabalha com velocidades menores que a de transporte pneumático. A alimentação de biomassa é feita diretamente na zona do leito (FEAM, 2012).

Nos gaseificadores de leito fluidizado circulante as partículas arrastadas pelos gases são enviadas de volta para o leito através de um ciclone, mantendo-se em circulação. Opera próximo ao regime de transporte pneumático e possui uma maior conversão de carbono, pelo maior tempo de residência das partículas. As Figuras 9 e 10 mostram o esquema de um gaseificador em leito fluidizado (GEROSA, 2012)

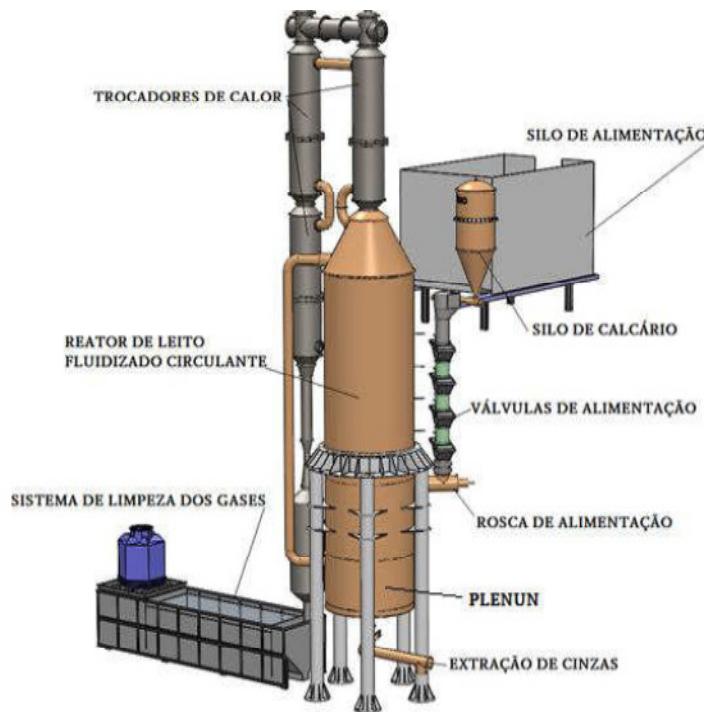


Figura 9: Gaseificador de leito fluidizado

Fonte: Carbogás (2016)

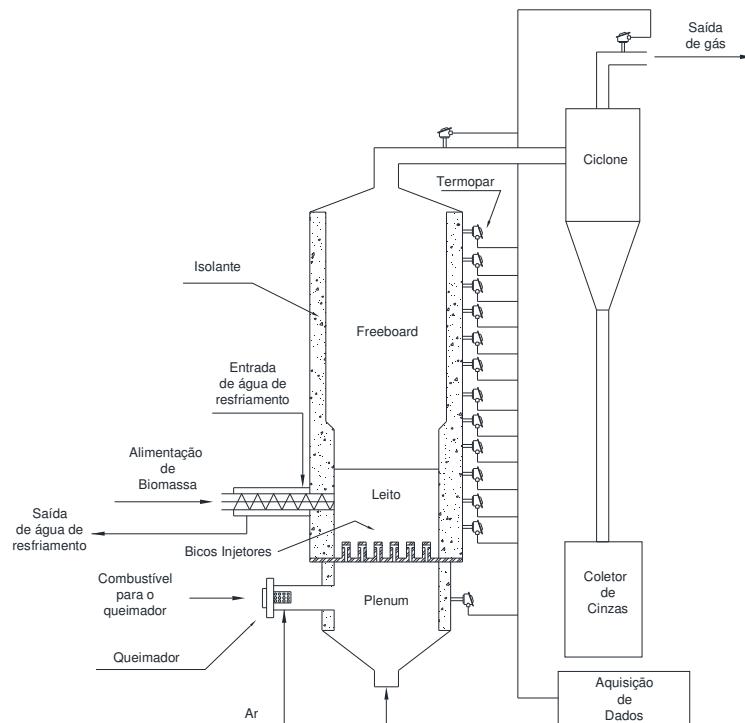


Figura 10: Desenho esquemático de um gaseificador de leito fluidizado

Fonte: Andrade R.V.(2007)

3.1.7 Pirolise

Pirólise é o processo onde a matéria orgânica é decomposta após ser submetida a condições de altas temperaturas em ambiente desprovido de oxigênio. Apesar de sua definição esclarecer a necessidade da inexistência de oxigênio, vários processos contam com uma pequena quantidade dele.

O processo é endotérmico, logo é necessário que exista bastante fornecimento externo de calor para acontecer o êxito da reação (Leal, 2010). O fracionamento das substâncias orgânicas ocorre gradualmente à medida que estas passam pelas diversas zonas de calor de um reator vertical ou horizontal: na zona de secagem, parte inicial no reator, perde a umidade e na zona pirolítica (pode variar de 300 °C a 1.600 °C), ocorrem os processos de volatilização, oxidação e fusão, onde são produzidos os seguintes subprodutos: (LIMA, 1995):

- Gases não condensáveis, compostos principalmente por nitrogênio e gás de síntese (uma mistura de dióxido de carbono, hidrocarbonetos (C_nH_m) e, principalmente, monóxido de carbono e hidrogênio);
- Líquido pirolenhoso, obtido pela condensação de gases que se desprendem durante o processo, com baixo teor de enxofre, composto por ácido pirolenhoso (ácido acético, metanol, alcatrão solúvel e outros vários compostos em menor quantidade) e alcatrão insolúvel;
- Resíduo sólido, constituído por carbono quase puro e ainda, por vidros, metais e outros materiais inertes (escória) caso estejam presentes no RSU processado.

Estudos realizados por Lima (1995) apontam que os subprodutos gerados no processo estão diretamente ligados a temperatura de operação, conforme pode-se observar na Tabela 3, quanto maior a temperatura, maior é a produção de gases como subproduto.

O líquido pirolenhoso é corrosivo, nocivo e altamente poluente. Este pode ser gaseificado ou refinado para uso energético e, dependendo da concentração de alcatrão e outros compostos tóxicos, pode ser utilizado na agricultura (CAMPOS, 2007).

Tabela 3: Efeitos da temperatura na pirólise de RSU

TEMPERATURA (°C)	Percentuais de subproduto da pirólise (%)		
	Gases	Líquidos	Sólidos
482	12,23	61,08	24,71
649	18,64	59,18	21,8
927	24,36	58,7	17,67

Fonte: Modificado de Lima (1995)

3.1.8 Plasma

A tecnologia da plasmificação , consiste em um processo de decomposição química por calor sem a presença do oxigênio. Nesta tecnologia dedicada à destruição dos resíduos que associa as altas temperaturas geradas pelo plasma com a pirólise dos resíduos os gases passam por mudanças grandes e quando este gás é submetido a temperaturas extremamente altas que podem atingir mais de 2.000 °C as moléculas do gás começam a se dissociarem em estado atômico. Quando atinge 3.000 °C os átomos são ionizados devido à perda de parte dos elétrons. Este gás ionizado é chamado de plasma (FEAM, 2010).

É uma tecnologia que ainda está em desenvolvimento. No estado de plasma o gás atinge temperaturas extremamente elevadas, variando de 5.000 °C a 50.000 °C de acordo com as condições de geração, tipicamente as temperaturas do plasma são da ordem de 15.000 °C. O gás sob o estado de plasma apresenta boa condutividade elétrica e alta viscosidade quando comparado a um gás no estado normal.

O plasma é gerado pela formação de um arco elétrico através da passagem de corrente entre o cátodo e o ânodo. Podem ser utilizadas tanto a corrente contínua como a corrente alternada (FEAM, 2010).

O resíduo sólido é alimentado na fornalha por meio de um sistema de alimentação de câmaras estanques (“lock hopper”). Ar pré-aquecido, enriquecido ou não com oxigênio, é injetado na base da fornalha para alimentar a combustão de parte do material, sob a forma carbonizada neste ponto do equipamento (FEAM, 2010).

Os gases da queima são conduzidos para um reator de decomposição térmica a plasma, onde são totalmente decompostos, tendo ao final como constituintes, basicamente, hidrogênio e monóxido de carbono. A queima do resíduo é acompanhada da vitrificação do material inorgânico no fundo da fornalha. Na concepção deste processo nenhuma corrente resultante da queima pode deixar o sistema sem ser exposta a elevadas temperaturas, quer seja a escória vitrificada ou os gases da decomposição. Os gases e os sólidos fluem contracorrente através da fornalha. A escória fundida escoa pela base a cerca de 1450 °C enquanto que o gás, inclusive hidrocarbonetos e outras substâncias orgânicas parcialmente compostas, sai pelo topo da fornalha entre 600 °C e 800 °C. Este gás é misturado com ar aquecido a plasma no reator de decomposição, onde é completamente destruída a matéria orgânica remanescente, produzindo um gás combustível a cerca de 1200 °C a 1400 °C, (FEAM, 2010).

Os principais atrativos para a utilização deste tipo de sistema são:

- Elevadas temperaturas causam rápida e completa pirólise da substância orgânica, assim como fundem e podem vitrificar certos resíduos inorgânicos;
- Alta densidade de energia possibilita a construção de reatores com menores dimensões para as mesmas capacidades, também favorece a construção de equipamento móvel;
- O uso de energia elétrica reduz a vazão total de gás combustível, dessa forma resultando em menores instalações para o processamento dos gases efluentes e de grande número de opções de gases para geração

- do plasma, tornando flexível o controle sobre os fatores químicos do processo;
- Com menores instalações e alta densidade de energia, os tempos de partida e paradas são reduzidos;
- Favorece a pirólise de substâncias sensíveis à radiação ultravioleta, como os organoclorados.

A grande desvantagem deste processo é a variação dos preços da energia elétrica, já que a tocha é gerada a partir de corrente elétrica. Ainda que sua eficiência de transformação seja da ordem de 85 a 90% (FEAM, 2010).

O processo de gaseificação de resíduo com a tecnologia de plasma pode ser usado para gerar energia elétrica, mas quando o volume de lixo processado é relativamente pequeno, não se produz gás de síntese para combustível. Entretanto, a usina produz vapor e água quente, que podem ser usados como energia e geração de calor em um parque industrial, por exemplo.

“Para um volume processado conveniente, um intervalo típico de energia elétrica gerada no processo é [0,6] MW por tonelada de resíduo gaseificado que apresenta um bom aproveitamento técnico e viabilidade econômica” (CARBOGAS 2016).

3.1.9 Comentários preliminares

Deve-se notar que, dentre as tecnologias de conversão de energia, apenas a incineração e a gaseificação de RSU parecem ser comercializadas, pois a geração por plasma ainda se encontra em fase de desenvolvimento. Entretanto a incineração só é comercializada para potências acima de 10MW, o que contempla os municípios que geram mais de 600/dia de RSU.

4.0 Geração de energia elétrica a partir do RSU no Estado de São Paulo.

No Estado de São Paulo, são gerados 62.156 t/dia de RSU que estão sendo depositados de formas diferentes, ou seja, em aterros sanitários, valas (aterros

controlados) e ainda em locais a céu aberto, os chamados lixões que ainda representam 7,9% dos resíduos gerados e com um volume de 4.909 ton/dia.

Neste estudo, foram identificados todos os pontos de descarte e o volume gerado em cada município com base no Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos do Estado de São Paulo - CETESB - 2015.

Trabalhando com o objetivo de propor neste estudo o consórcio de municípios, para aqueles que não possuem um volume de geração de RSU/dia que apresente viabilidade em implantação de uma usina de recuperação de energia e com produção do CDR também em consórcio de municípios.

Cerca de 40% dos municípios no estado de São Paulo possuem volume de RSU/dia para viabilidade de implantação de suas usinas de recuperação de energia sem a dependência de outros municípios, porque geram acima de 12t/dia de RSU e segundo a Carbogás (2016) o perfeito funcionamento do gaseificador se dá a partir deste volume diário.

Porém os demais, ou seja, 60%, necessitam da participação em consórcios para acumulo acima de 12t/dia a fim de proporcionar viabilidade técnica na implantação do sistema de gaseificação.

Com base nos dados fornecidos pela Carbogás, considerando uma situação hipotética de processamento em um único ponto e em planta de gaseificação com rendimento global de 18%, poderá se obter uma geração de mais de 1.000 GWh por mês, porém realizando esse processamento de forma fracionada e aplicando o conceito para geração distribuída pode-se obter um melhor rendimento e maior potência instalada e energia produzida.

4.1 Consumo de Energia Elétrica no Estado de São Paulo

Segundo o resumo do 3º trimestre de 2016 da Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo, forma consumidos pelas 18.063.487 unidades consumidoras o montante de 10.224.296 MWh no mês junho de 2016. Subdivido nos setores demonstrados na Figura11.

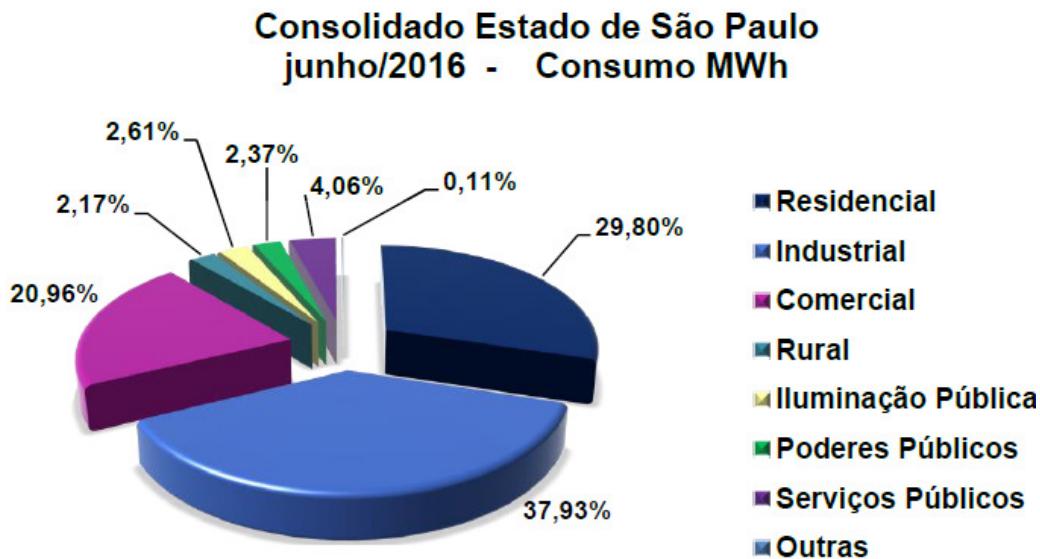


Figura 11: Consumo em MWh no Estado de São Paulo

Fonte: Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo

A tabela 4 apresenta os percentuais de consumo de energia elétrica por classe de consumidores no mês de junho de 2016.

Tabela 4: Consumo de energia no Estado de São Paulo por setor de consumo.

CLASSES	CONSOLIDADO ESTADO DE SÃO PAULO JUNHO/2016		
	UNIDADES CONSUMIDORAS	CONSUMO MWh	%
RESIDENCIAL	16.450.644	3.046.784	30
INDUSTRIAL	107.138	3.877.602	38
COMERCIAL	1.109.058	2.143.095	21
RURAL	271.577	221.950	2
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	22.201	266.532	3
PODERES PÚBLICOS	87.789	241.892	2
SERVIÇOS PÚBLICOS	13.545	415.322	4
OUTRAS	1.535	11.119	0
TOTAL	18.063.487	10.224.296	100

Fonte: Secretaria de Energia e Mineração

No que se refere a geração de energia, o Estado de São Paulo produziu 5.038GWh no mês de junho de 2016, correspondendo a 13% da geração de energia elétrica do Brasil.

5.0 Localização dos Aterros de disposição dos RSUs.

Com a utilização da ferramenta, Google Maps foi gerado o mapa dos pontos de disposição dos resíduos no estado de São Paulo e integrado com o sistema Qgis, a partir de dados da Cetesb de 2015.

Na Figura 12, apresentamos o mapa com a localização dos pontos de disposição e identificados quanto ao índice de qualidade do aterro de acordo com o relatório da Cetesb de 2015.

No anexo IV, apresentamos o mapa em uma escala ampliada para melhor visualização.

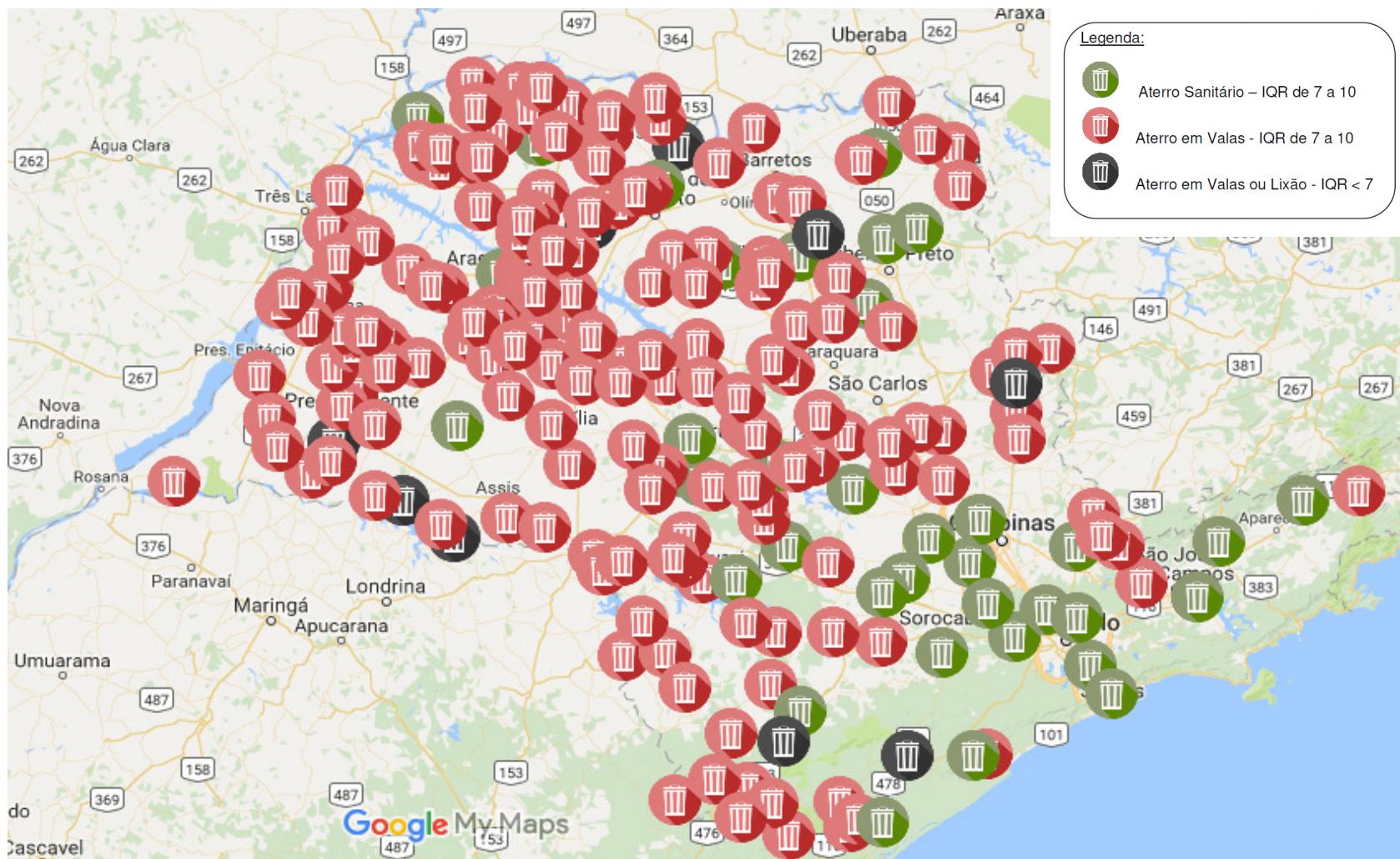


Figura 12: Mapa dos aterros no Estado de São Paulo

Fonte: autoria própria

4.3 Características dos Resíduos Sólidos

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2001), a análise das características físicas dos resíduos sólidos pode ser feita considerando as seguintes informações:

- Geração per capita: relaciona a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região.
- Composição gravimétrica: traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduo analisada. Os componentes mais utilizados na determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos são listados na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Composição gravimétrica do resíduo

RESÍDUO	CURITIBA	SÃO PAULO	RIO DE JANEIRO	CAMPO GRANDE	BELO HORIZONTE	PORTO ALEGRE	SALVADOR	MANAUS	MÉDIA
NÃO RECICLÁVEIS	54,5%	64,0%	65,1%	62,6%	64,6%	48,7%	56,4%	51,2%	58,4%
MATÉRIA ORGÂNICA	47,5%	57,5%	63,1%	57,2%	61,6%	43,9%	54,1%	45,2%	53,8%
BIOMASSA VERDE	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
MADEIRA	1,3%	1,6%	0,3%	0,6%	1,0%	0,7%	0,6%	3,6%	1,2%
PANOS TRAPOS	5,1%	3,9%	1,6%	4,7%	1,0%	3,5%	0,9%	1,2%	2,7%
COURO	0,6%	0,0%	0,1%	0,1%	1,0%	0,6%	0,8%	1,2%	0,6%
RECICLÁVEIS	37,9%	32,1%	34,1%	35,8%	26,6%	30,4%	21,7%	44,4%	32,9%
PAPEL PAPELÃO	19,8%	11,1%	14,8%	13,2%	9,5%	10,9%	5,3%	18,9%	12,9%
PLÁSTICOS	9,9%	16,8%	14,7%	18,4%	10,9%	11,8%	12,8%	18,5%	14,2%
VIDRO	4,2%	1,8%	2,7%	1,6%	2,9%	3,4%	1,9%	2,2%	2,6%
BORRACHAS	1,1%	0,2%	0,3%	0,9%	1,0%	0,3%	0,0%	1,2%	0,6%
METAIS	2,9%	2,2%	1,6%	1,7%	2,3%	4,0%	1,7%	3,6%	2,5%
REJEITOS	7,6%	3,9%	0,8%	1,6%	8,8%	20,9%	21,9%	4,4%	8,7%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: CIVAP, 2010

- Peso específico aparente: é o peso do resíduo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m³. Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações. Na ausência de dados precisos, convém utilizar os seguintes valores de peso específico: 230 kg/m³ para resíduo domiciliar, 280 kg/m³ para resíduos de serviços de saúde.
- Teor de umidade: representa a quantidade de água presente no resíduo, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro se altera em função das estações do ano e da incidência de chuvas, podendo-se estimar o teor de umidade variando entre 40 e 60%.
- Compressividade: é o grau de compactação ou a redução do volume que uma massa de resíduo pode sofrer quando compactada. Submetido a uma pressão de 4 kg/cm², o volume do resíduo pode ser reduzido de um terço (1/3) a um quarto (1/4) do seu volume original.

Conforme Norma Técnica da ABNT NBR 10.004:2004, os resíduos são classificados pelos seguintes grupos:

- Resíduos perigosos (classe I) – são aqueles que apresentam periculosidade ou apresentem uma das seguintes características: inflamabilidade; corrosividade; reatividade; toxicidade e; patogenicidade.
- Resíduos não perigosos, não inertes (classe IIA) – são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou de resíduos classe IIB, os resíduos classe IIA podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos não perigosos, inertes (classe IIB) – são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo norma ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme norma ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes

solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. Segundo esse critério, os diferentes tipos de resíduos podem ser agrupados em cinco classes:

- Resíduo doméstico ou residencial: são os gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.
- Resíduo comercial: são os gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade desenvolvida.
- Resíduo público: são aqueles presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também os descartados irregular ou indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.
- Resíduo domiciliar especial: grupo que compreende os entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus. Os entulhos de obras, também conhecidos como resíduos da construção civil, só se enquadram nesta categoria devido à grande quantidade gerada e pela importância de sua recuperação e reciclagem.
- Resíduo de fontes especiais (industrial, radioativo, de portos, aeroportos e terminais rodoviários, agrícola e de serviços de saúde): são os resíduos que, em função de suas peculiaridades, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte ou disposição final.

4.4 Definição de CDR

A busca de outras formas de combustíveis para processos termodinâmicos, teve início com a crise do petróleo em 1973, de acordo com o Instituto Técnico

de Lisboa. Após a crise do petróleo iniciada no final de 1973, todos os países importadores de petróleo foram afetados, principalmente aqueles em desenvolvimento como o Brasil.

A crise envolveu o processo de nacionalizações e de uma série de conflitos envolvendo os produtores árabes da OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo, como a guerra dos Seis Dias (1967), a guerra do Yom Kipur (1973), a revolução islâmica no Irã (1979) e a guerra Irã-Iraque (a partir de 1980). Os preços do barril de petróleo atingiram valores altíssimos, chegando a aumentar até 400% em cinco meses (17 de outubro de 1973 – 18 de março de 1974). (A Revolução Iraniana, 2007). Essa crise causou uma necessidade em se obter fontes alternativas de energia.

A partir daí novas alternativas e tecnologias foram estudadas. No Brasil a saída para essa crise foi o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), e na Europa foram desenvolvidos os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR), que emergiram como potenciais combustíveis para a substituição de combustíveis fósseis com baixos custos. A dificuldade, no entanto (no início), ocorreu pela abundância do carvão que impediu a penetração deste combustível no mercado. Contudo, nos últimos 10 anos, tem havido um crescente interesse por parte dos setores cimenteiro, metalúrgico e energético em CDR por questões sobretudo econômica, mas também ambientais, principalmente pela política energética europeia, e as políticas desenvolvidas no Brasil – PNRS, para a gestão dos resíduos, dando um novo incentivo à utilização de CDR em processos termodinâmicos, baseados em resíduos não perigosos.

De acordo com estudos do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, definem-se Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) os combustíveis sólidos preparados a partir de resíduos não perigosos cuja utilização visa a recuperação de energia em unidades térmicas.

Mas para a obtenção deste combustível – CDR, há a necessidade de uma linha de produção que consiste numa sequência de operações unitárias organizadas em série com o objetivo de separar componentes indesejados e condicionar a matéria de maneira a obter CDR com as características desejadas, ou seja, umidade abaixo de 25%, prensagem e envelopamento.

Devido a isso o CDR tem sido largamente utilizado como combustível de substituição em várias instalações de co-incineração na Europa e suas vantagens de utilização como combustível substituto são:

- a. Redução da emissão de gases com efeito de estufa;
- b. Redução da emissão de gases ácidos;
- c. Redução da depleção de recursos naturais (materiais e combustíveis fósseis);
- d. Redução do impacto na água (lixiviados);
- e. Redução da contaminação de solos.

Para esta análise do potencial para o Estado de São Paulo, para os municípios que necessitam de consórcios para viabilizar uma planta de gaseificação, o recebimento e processamento do RSU deve ir para obtenção do CDR que de fato corresponde a cerca de 50% do volume gerado. Deverão ser processado no mesmo local da planta de gaseificação, para volumes de até 12 toneladas/dia. Caso a gaseificação de RSU seja menor que 12t/dia os mesmos devem operar em forma de consorcio. A Figura 13 ilustra o fluxo no tratamento dos resíduos.

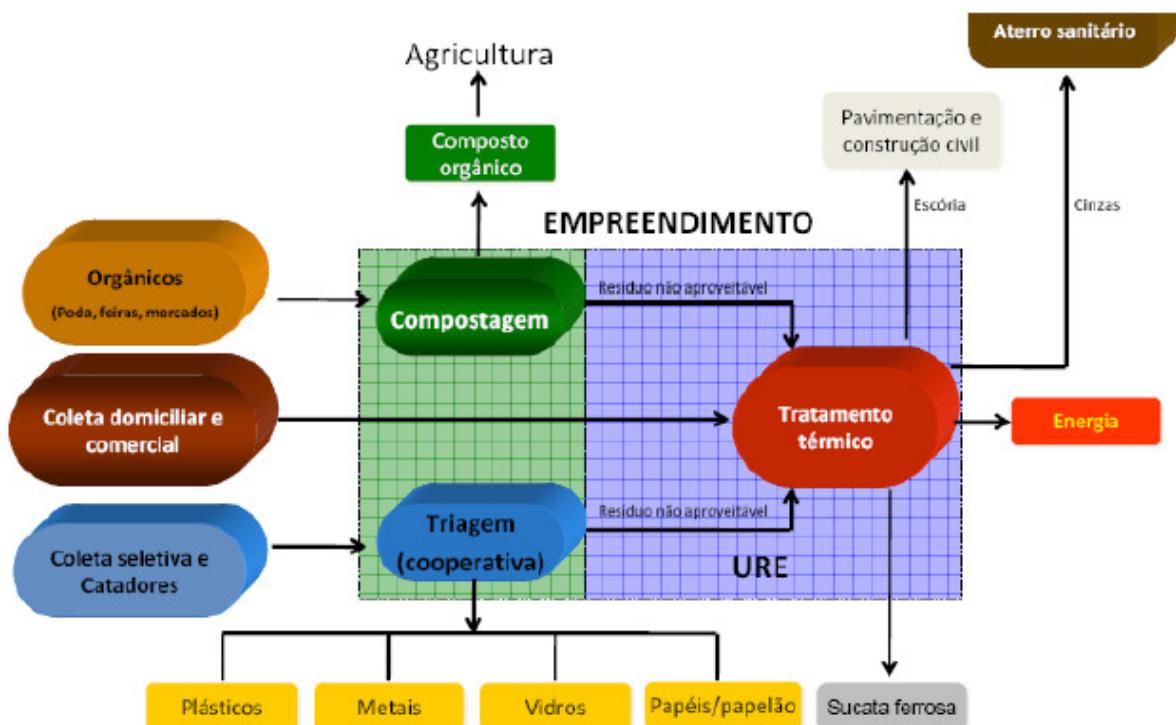


Figura 13: Central de Tratamento de Resíduos

Fonte: EMAE 2010

Métodos de Processamento e Industrialização de Resíduos Sólidos.

De acordo com o estudo de BANDEIRA (2010), existem dois métodos de produção de CDR a partir da fração com elevado poder calorífico do RSU:

TMB – Tratamento Mecânico Biológico e a **bio-estabilização**. A principal diferença entre eles consiste no fato de que, no TMB a fração orgânica putrescível não integra o CDR, enquanto no segundo caso, os orgânicos fazem parte do combustível produzido.

Na bio-estabilização os resíduos são estabilizados com o abatimento da umidade, ou seja, a perda de água e inativação biológica, e no processo são retirados os inertes e os metais.

O processo concebido neste estudo é vinculado ao processo de bioestabilização, no qual os resíduos processados serão triturados, havendo posteriormente a separação magnética de metais, prensagem e secagem, e enfardamento. Neste processo, os invólucros / fardos serão hermeticamente fechados, não havendo formação de gás e chorume. É importante destacar, que neste processo a estabilização para inativação biológica é fundamental, e visa o controle da temperatura, umidade, teor de carbono, teor de oxigênio, diminui a produção de odores, a degradação da matéria orgânica e o crescimento de patógenos. As Figuras 14,15 e 16 indicam, entre os processos indicados acima, a prensa desaguadora, o qual possui a função de abater a umidade do resíduo através de choque mecânico.

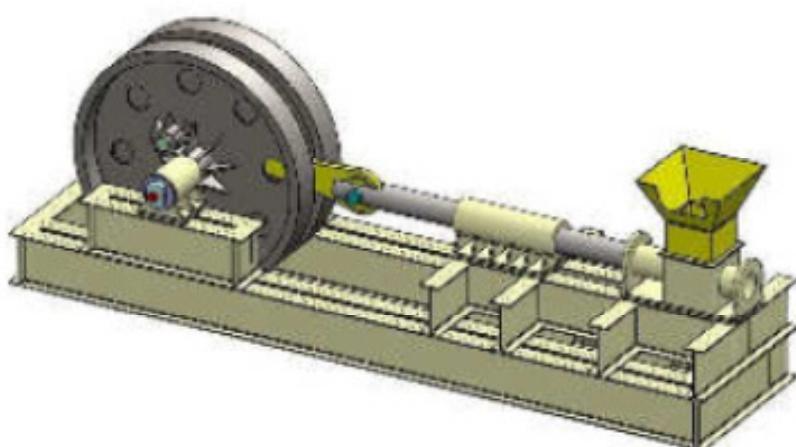


Figura 14: Prensa Desaguadora de RSU

Fonte: Carbogás(2015)

4.5 Caracterização Biológica dos Resíduos

4.5.1 Carbono

Os resíduos e os CDR têm na sua constituição, nutrientes como o N, P e K, e quantidades apreciáveis de carbono (40 a 50% m/m – concentração correspondente a massa de soluto por massa de solução, Martins Dias et al, 2006), distinguindo-se dois tipos de carbono, de acordo com a sua biodisponibilidade o de origem renovável, denominado biogénico e de origem não renovável. O carbono degradável, de origem biogênica, pode ser encontrado em diferentes componentes dos resíduos sólidos como açúcares, amidos, celulose, óleos e gorduras, entre outros. Como, este carbono tem origem de materiais renováveis, sua queima permite a obtenção de benefícios na produção de eletricidade renovável e comércio de licenças de emissão de CO₂, conferindo característica de combustível renovável e não fóssil.

Adicionalmente, pode encontrar-se o carbono de origem não renovável sob a forma de cadeias complexas, dificilmente biodegradáveis como por exemplo plásticos e outros materiais de origem fósseis.

4.5.2 Oxigênio

Na decomposição aeróbia de resíduos, o fornecimento de oxigênio aos organismos determina a cinética de degradação. No entanto, matrizes sólidas como o CDR não oferecem as condições ótimas para o fornecimento de oxigênio, pois este deve estar dissolvido na fase aquosa. O oxigênio não é muito solúvel na fase aquosa, assim, a sua biodisponibilidade vai depender da capacidade de adsorção de água pelos resíduos (Miller e Clesceri, 2000).

Por outro lado, a degradação aeróbia vai depender da relação entre a taxa de transferência de oxigênio da fase gasosa para a fase líquida e a taxa de consumo por parte dos organismos (Miller e Clesceri, 2000).

4.5.3 Teor em Água

Ainda no estudo de Miller e Clesceri(2000), foi mostrado que a umidade é uma propriedade bastante utilizada para caracterizar o CDR, sobretudo para efeitos de queima e bio-degradação. Para tanto, este parâmetro aponta que a atividade bacteriana está ligada diretamente com a água livre no resíduo. A água ligada ao resíduo não está disponível para os microrganismos, devido a energia necessária para sua captação.



Figura 15: Processo de Trituração - <50mm do RSU

Fonte: Carbogás(2015)



Figura 16: Prensagem e Enfardamento do CDR

Fonte: Carbogás(2015)



Figura 17: Transporte e Estocagem do CDR

Fonte: Carbogás (2015)

4.6 Volume de RSU gerados no Estado de São Paulo

Atualmente como já mencionado, são gerados no estado de São Paulo um volume de 62.156 t/dia de RSU sendo que 59,8% deste volume corresponde a municípios que geram até 12t/dia, 29% de 12t/dia até 100 t/dia e apenas 11,2% dos municípios geram acima de 100t/dia, conforme mostra a Figura 18.

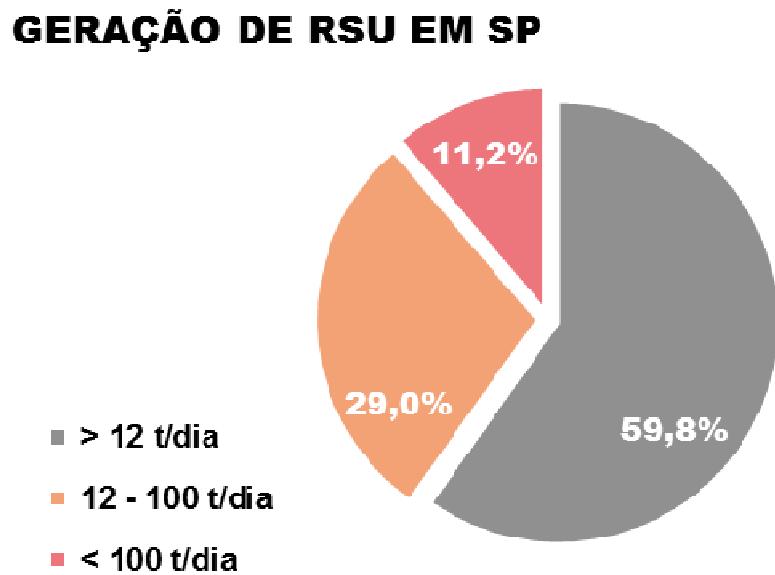


Figura 18: Gráfico da geração de RSU no estado de SP

Fonte: autoria própria

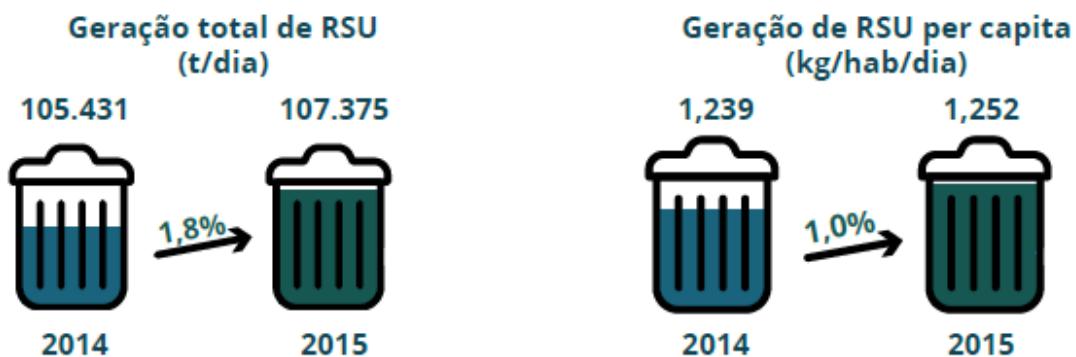


Figura 19: Quantidade de RSU gerados na região Sudeste

Fonte: Abrelpe - 2015

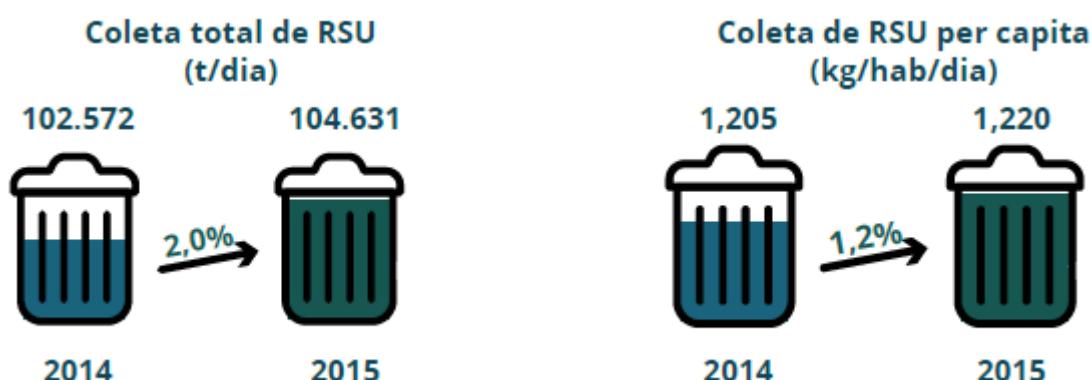


Figura 20: Quantidade de RSU coletados na região Sudeste

Fonte: Abrelpe - 2015

Tabela 6: Geração e coleta de RSU no Estado de São Paulo

População Total		RSU Gerado (t/dia)		RSU Coletado			
				(Kg/hab/dia)		(t/dia)	
2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
44.035.304	44.396.484	61.344	62.585	1.381	1.400	60.810	62.156

Fonte: modificado de ABRELPE (2016)

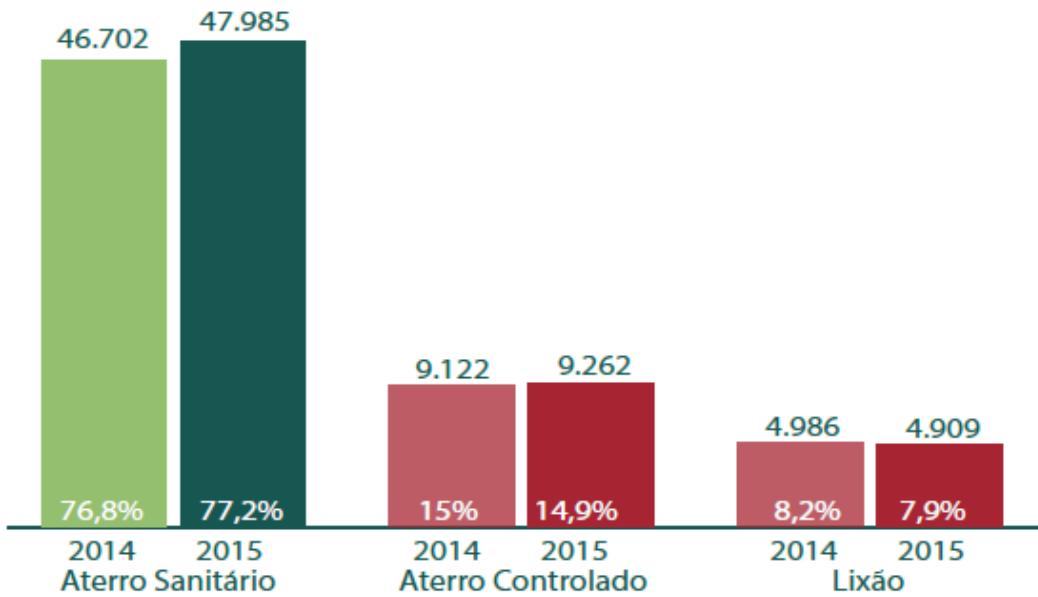


Figura 21: Disposição final do RSU no Estado de São Paulo (t/dia)

Fonte: Abrelpe - 2015

Pode-se observar que SP possui a maior geração per-capita de RSU, ou seja, 1,4kg/dia contra 1,2kg/dia da média de geração da região Sudeste.

4.7 Potencial energético do RSU do Estado de São Paulo

Após análise de todo o RSU gerado, coletado e disposto nos destinos finais, sendo adequados ou não, foi avaliado o potencial energético deste material para confecção do CDR e posterior utilização em plantas de gaseificação.

Considerando a utilização total do RSU gerado e coletado no Estado de São Paulo, ou seja, deixaríamos de dispor em aterros sanitários, controlados e até mesmo os lixões e passaríamos a utilizar em URE para processamento e geração de energia elétrica.

Como não foi possível obter com precisão a umidade dos resíduos devido a grande variação em todo estado e em função das diferentes zonas climáticas, adotou-se a média de 50%.

Como nos gaseificadores, são aceitos RSU com uma umidade entre 10 e 30%, após a prensagem dos resíduos para gerar o CDR obtém-se a uma umidade de 15% que foi considerado nos dimensionamentos do sistema de gaseificação por biomassa, sendo que o PCI do CDR (resíduos domiciliares) fica entre 3.500 e 4.200 kCal/kg. (Carbogas, 2016).

A redução da umidade presente nos resíduos se dá pela prensagem e aquecimento com pequena parte dos gases já gerados na usina e com isso reduzindo de 50% para 15%.

Com uma geração de 62.156 toneladas por dia de RSU, foi considerada a triagem para separação dos resíduos passíveis de aproveitamento em reciclagem e reutilização de todo o resíduo gerado no Estado de São Paulo, conforme tabela abaixo:

Tabela 7: Composição gravimétrica do RSU

COMPOSIÇÃO DO LIXO	%	kcal/kg	kcal médio	PCI com umidade de 15,0%	CDR	Abatimento Umidade		
						Secador	Linha	Total
						Saida Secador	kg/h	kg/h
MATÉRIA ORGÂNICA	35,20%	4.521,00	1.591,39	1.352,68	536247,8	71499,71	303873,78	375.373,49
FINOS	3,00%	4.521,00	135,63	115,29	45702,9	6093,73	25898,33	31.992,06
PAPEL	6,45%	3.575,00	230,59	196,00	98261,3	13101,51	55681,42	68.782,93
PAPELÃO	6,00%	3.795,00	227,70	193,55	91405,9	12187,45	51796,67	63.984,12
COMPLEX	8,75%	5.005,00	437,94	372,25	133300,2	17773,37	75536,81	93.310,17
TÊXTIL	10,00%	4.542,00	454,20	386,07	152343,1	20312,42	86327,78	106.640,20
TÊXTIL DE SAUDE (FRALDAS, ETC)	12,30%	4.518,00	555,71	472,36	187382,1	24984,27	106183,17	131.167,44
PLASTICOS	8,80%	7.957,80	700,29	595,24	134062,0	17874,93	75968,44	93.843,37
NÃO CLASSIFICADOS	1,30%	4.278,00	55,61	47,27	19804,6	2640,61	11222,61	13.863,23
VIDRO	1,40%	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00
METAIS	5,20%	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00
NÃO CLASSIFICADOS	0,50%	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00
OUTROS	1,10%	4.203,00	46,23	39,30	16757,7	2234,37	9496,06	11.730,42
TOTAL	100,00%		4.435,29	3.770,00	1415267,7	188702,4	801985,1	990687,4

Fonte: Elaborado com base nas informações da Carbogás(2016)

Considerando esta geração diária de 54.866 toneladas (massa de RSU pós-triagem e ser tratado), na implantação o funcionamento da planta 24 horas por dia, a energia de entrada no sistema será:

54.866.000 kg/dia, que por hora teríamos:

$$2.286.083,3 \text{ kg/hora} \times 3.225 \text{ kcal/kg} = 7,37 \text{ Tcal/hora}$$

Estudos práticos apontam, segundo REED e DAS (1988) apud RIBEIRO, LIMA e VERAS (2006), que a gaseificação consegue converter de 60% a 90% da energia de biomassa em energia no gás de síntese. Moura (2012) e projetos pilotos da empresa **CarboGas** Energia utilizando CDR como combustível, apontam rendimentos de conversão na ordem de 70%. Sendo assim, calculase a energia convertida do combustível para o gás de síntese.

Sendo:

$$7,37 \text{ Tcal/h} \times 0,7 = 5,16 \text{ Tcal/h}$$

Se tratando de um resíduo com uma heterogeneidade grande, e de acordo com informação da Carbogás que o gás de síntese gerados em seus gaseificadores possui PCI médio de 1.160 Kcal/Nm³, foi possível calcular a quantidade de gás de síntese produzido no sistema de gaseificação conforme abaixo.

$$5,16 \times 10^9 \text{ kcal/h} / 1.160 \text{ kcal/Nm}^3 = 4.448.275,86 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

O gás de síntese produzido será encaminhando ao motor em ciclo diesel Dual-Fuel que não necessita de adaptação e trabalha com os dois combustíveis. Com esses dados, podemos determinar a potência a ser gerada em um grupo motogerador a partir do gás de síntese e a um rendimento de 28%. Fonte

$$Pot = \frac{Q \times PCI_{\text{gás}} \times \eta}{860.000}$$

Onde:

Pot = potência disponível (MW);

Q = vazão do gás (m³/h);

PCI_{gás} = Poder Calorífico Inferior do gás de síntese = 1.160 kcal/Nm³;

η = eficiência de motores ciclo Diesel = 28% = 0,28;

860.000 = fator de conversão de kcal/h para MW.

$$Pot = \frac{4.448.275,86 \times 1.160 \times 0,28}{860.000} = 1.680 MW$$

Considerando Fator de Capacidade de 95%:

$$Pot = 1.680 \times 0,95 = 1\,596 MW$$

Estimando a energia disponível diária pela equação abaixo:

$$E = P \times FC \times \text{Tempo de Operação.}$$

Onde:

E = energia disponível (MWh/dia)

P = potência disponível (MW)

FC = fator de carga – motores operando a plena carga = 87% = 0,87

Tempo de operação do motor = h/dia

$$E = 1.596 \times 0,87 \times 24 = 33.324,5 MWh/dia$$

Ou seja,

$$E = 33,32 GWh/dia$$

ou

$$E \approx 1.000 GWh/mês$$

Ou seja, se todo o resíduo do estado de São Paulo após processado e transformado em CDR para alimentação de gaseificadores seria possível gerar cerca de 1.000GWh por mês.

Este potencial representa um acréscimo de 19,8% na geração de energia no Estado de São Paulo e é cerca de 9,7% da média de consumo de energia elétrica no Estado (referenciado por Julho de 2016).

4.7.1 Usinas de Recuperação de Energia – URE

Com o objetivo de aproveitamento da energia do RSU gerado nos municípios, de início será proposto o projeto denominado Usinas de Recuperação de Energia - URE, nas áreas dos aterros particulares já existentes e mapeados em função das informações dos municípios que já possuem contrato para dispor o resíduo, logística e ponto de conexão com a rede elétrica.

Em segundo momento, os projetos serão para os municípios que não dispõe em aterros particulares e nos casos com geração menor que 12t/dia. O projeto acontecerá em consórcio de municípios a fim de viabilizar a implantação.

Com a análise de todos os resíduos gerados no Estado de São Paulo, e de acordo com os dados fornecidos pela CETESB, conclui-se que grande parte dos municípios do estado possuem geração de até 12t/dia (59,8%, que corresponde a 388 municípios). Nestes casos visualizamos com a grande dificuldade com a destinação correta dos RSU e, com a implantação das plantas de gaseificação espera-se atender a PNRS. A Figura 22 apresenta a quantidade de municípios e sua geração diária de RSU

MUNICÍPIOS X GERAÇÃO DE RSU

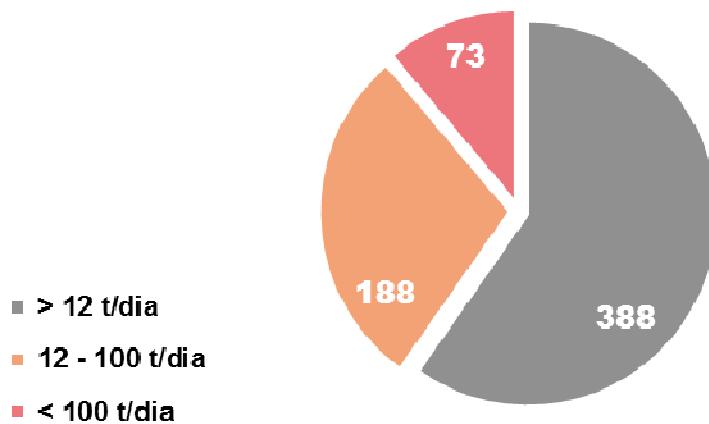


Figura 22: Geração de RSU por municípios

Fonte: autoria própria, baseado Cetesb 2015.

4.7.2 Estudo de Caso : Consórcio de municípios URE - ONDA VERDE

O Aterro particular de Onda Verde recebe resíduos de 15 municípios do Estado de São Paulo, possui uma capacidade licenciada para 1.500 toneladas por dia, e está localizado as margens da BR-153, com excelente facilidade de acesso e conexão a rede elétrica de distribuição da Concessionaria local CPFL em 13,8kV. No anexo I, apresentamos a planta e fluxo do processo desta URE com os números em cada setor e abaixo a descrição dos principais setores.

A URE é composta dos seguintes setores:

- Recebimento e balança
- Separação de vidros e metais
- Linha de produção do CDR
- Gaseificação
- Unidade geradora de energia elétrica
- Subestação de energia - 10 MW - 13.800V

Tabela 8: Quantidade de RSU gerado:

MUNICÍPIO	RSU(t/dia)
ALTAIR	2,25
BADY BASSITT	10,71
CEDRAL	4,86
GUAPIAÇU	12,41
JACI	3,91
JOSÉ BONIFÁCIO	25,76
MONTE APRAZÍVEL	15,21
NEVES PAULISTA	5,69
NOVA ALINÇA	3,8
NOVA GRANADA	13,44
OLÍMPIA	40,32
ONDA VERDE	2,31
PALESTINA	7,12
SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	374,13
UCHOA	6,48
TOTAL	528,4

Fonte: autoria própria

Tabela 9: Composição gravimétrica do RSU - URE Onda Verde

COMPOSIÇÃO DO LIXO		kg/h com umidade de 50,0%	PCI com umidade de 15,0% Saida Secador	CDR kg/h
MATÉRIA ORGÂNICA	35,20%	7.744,00	1.352,68	4.555,29
FINOS	3,00%	660,00	115,29	388,24
PAPEL	6,45%	1.419,00	196,00	834,71
PAPELÃO	6,00%	1.320,00	193,55	776,47
COMPLEX	8,75%	1.925,00	372,25	1.132,35
TÊXTIL	10,00%	2.200,00	386,07	1.294,12
TÊXTIL DE SAUDE (FRALDAS, ETC)	12,30%	2.706,00	472,36	1.591,76
PLASTICOS	8,80%	1.936,00	595,24	1.138,82
NÃO CLASSIFICADOS	1,30%	286,00	47,27	168,24
VIDRO	1,40%	308,00	0,00	0,00
METAIS	5,20%	1.144,00	0,00	0,00
NÃO CLASSIFICADOS	0,50%	110,00	0,00	0,00
OUTROS	1,10%	242,00	39,30	142,35
TOTAL	100%	22.000,00	3.770,00	12.022,35

Fonte: autoria própria

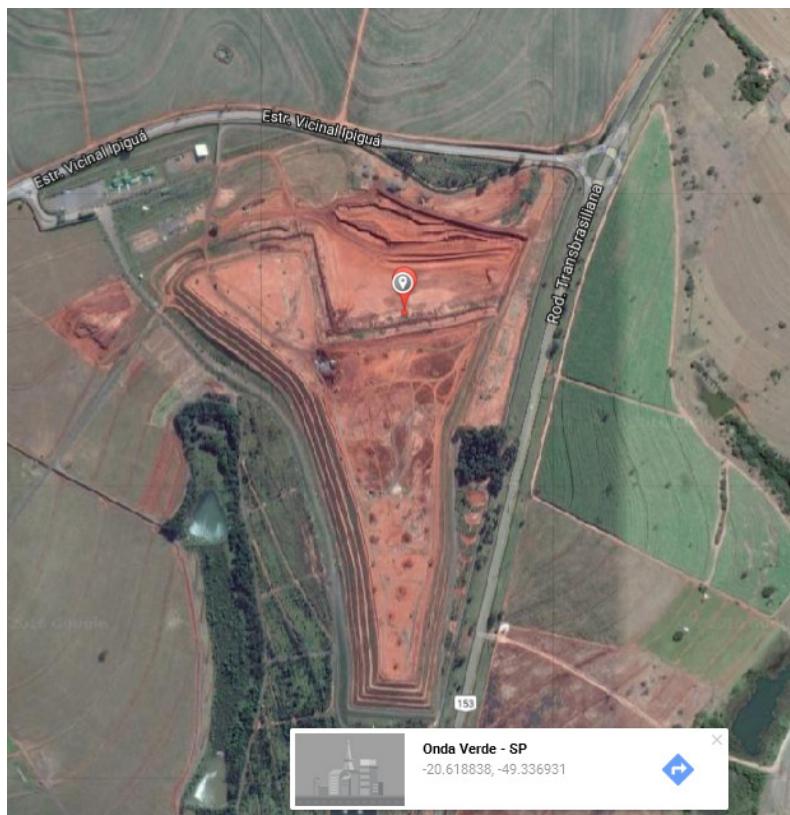


Figura 23: Local de implantação da URE - Onda Verde

Fonte: Google maps(2016)

Processamento e preparação do CDR:

Com o processamento dos resíduos teremos uma produção de 12.022,4kg/h de CDR que deverá ser embalado e armazenado em fardos de aproximadamente 1,9m³ de volume e com aproximadamente 1.600 kg de peso. Prevendo uma falha de logística ou até mesmo na planta de produção do CDR, deverá ser realizado um estoque inicial de 4.500 toneladas de CDR que representa cerca de 2.800 fardos para caso necessário operar a planta de gaseificação por um período de 15(quinze) dias. Este volume armazenado deverá ocupar uma área de 2.000 m² com empilhamento máximo de 5 (cinco) fardos. O transporte até as esteiras de alimentação das válvulas será realizado por empilhadeiras.

Tabela 10: Balanço de massa e energia:

BALANÇO ENERGÉTICO E MASSA		
Recebimento diário de RSU	528	ton/dia
Para processamento do CDR	22000	Kg/h
Quantidade de Água deposta	1602,98	Kg/h
Energia consumida pelo secador	1,465	Gcal/h
Volume de gás requerido no Secador	1132,32	Nm ³ /h
Fluxo de combustível seco	12022,35	Kg/h
Energia entregue	45,32	Gcal/h
Rendimento da Gaseificação	70	%
Total de energia entregue	33,99	Gcal/h
Total de energia entregue	39,5	MWth
Fluxo de massa CDR	12022,4	Kg/h
Massa Carbonatada	11902,1	Kg/h
Massa não gaseificada	120,2	Kg/h
Cinzas	1190,2	Kg/h
Massa de enxofre	13,22	Kg/h
Quantidade de calcário	41,33	Kg/h
Fator de segurança	1,4	-
Quantidade total de calcário	57,86	Kg/h
Massa de produto + calcário	12080,2	Kg/h
Taxa de fluxo volumétrico da mistura	48,089	m ³ /h
Conteúdo de água	1803,4	kg/h
Densidade da mistura	251,2	kg/m ³
Massa de carbono	6784,2	Kg/h
O ₂ quantidade(Oxidação do carbono)	18091,2	Kg/h
O ₂ quantidade (Hidrogénio Oxidação)	6665,2	Kg/h
O ₂ quantidade em MP	4165,7	Kg/h
Quant. Total necessária de O ₂	20590,7	Kg/h
Quantidade de Ar	88334,03	kg/h
Gaseificação relativa do Ar	0,23	-
Quantidade de Ar (gaseificação)	20184,1	Kg/h
Volume de Ar (gaseificação)	15610,3	Nm ³ /h

Fonte: autoria própria, baseado em informações técnicas da Carbogas(2016)

O CDR, após passar pelas válvulas alimentadoras, será alimentado no gaseificador por meio de uma rosca “sem fim”. A dosagem de CDR no reator é realizada por “software”, que compilam as leituras dos instrumentos online (termopares, transdutores de pressão e medidores de vazão) instalados ao longo do reator, que resulta em movimento rotativo da esteira extratora do silo de alimentação, aumentando ou diminuindo a quantidade mássica de produto a ser inserido no reator.

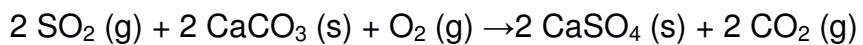
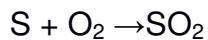
Dentro do reator, o CDR em contato com o leito fluidizado circulante, composto de sílica a 850°C juntamente com o ar de processo proveniente dos sopradores, transforma-se em um gás combustível.

Assim para a gaseificação de 22.000 kg/h resíduos, são necessários o consumo de 20.184 kg/h de ar, ou seja, 23% da quantidade de ar necessária para uma combustão estequiométrica.

Os produtos não gaseificados no CDR, como produtos inertes e cinzas, serão extraídos pelo fundo do leito fluidizado, o qual está sendo sustentado por uma grelha. Este rejeito é extraído por rosca “sem fim” a qual está posicionada abaixo do *plenum* (câmara de equalização de pressão). Esta extração de cinza é realizada por meio de “software”, que compilam as leituras dos instrumentos online (termopares, transdutores de pressão e medidores de vazão) instalados no reator e resultam em movimento rotativo da rosca “sem fim”, aumentando ou diminuindo a quantidade mássica de produto a ser retirado no reator.

Juntamente com as cinzas, há a extração do sulfato de cálcio, pois durante o processo de gaseificação é necessário a adição de calcário que permita o abatimento do enxofre desprendido no processo, evitando assim a formação de H₂S com posterior geração de SO₂ na fase de combustão.

A absorção dos óxidos de enxofre pode ser representada pela reação a seguir:



Assim,

- $\text{CaCO}_3 = 40\text{Ca} + 12\text{C} + 48\text{O} = 100 \text{ g/mol}$
- $\text{SO}_2 = 32\text{S} + 32\text{O} = 64 \text{ g/mol}$
- $\text{O}_2 = 16 \text{ g/mol}$
- $\text{CaSO}_4 = 40\text{Ca} + 32\text{S} + 32\text{O} = 72 \text{ g/mol}$
- $\text{CO}_2 = 12\text{C} + 32\text{O} = 44 \text{ g/mol}$

Deste modo, analisando-se os reagentes, conclui-se que para se abater 32g de enxofre são necessários 100g de calcário.

Adotando-se para o cálculo, uma base de 1 kg de CDR, temos:

Quantidade de enxofre: 0,3 % = 3 g

Deste modo, para a vazão calculada de 22.000 kg/h de resíduos, será necessário de 57,6 kg/h de calcário.

Como a pureza do calcário utilizado é de 96% e devido ao meio, é necessário um excesso de calcário para garantir uma absorção de enxofre satisfatória, desta forma, utilizou-se um fator de segurança na dosagem sendo: $57,6 \times 1,1 = 63,36 \text{ kg/h}$.

Para controle do range (de 70 a 100%) de produção do gaseificador, há a necessidade de um “flare” antes da entrada na caldeira. Seu controle é realizado através de uma válvula controladora de pressão, que se abre quando o consumo de gás na caldeira está abaixo dos 70% da produção.

Desta forma, o gás é desviado ao “flare” para que possa ser queimado totalmente em condições estequiométricas.

O gás gerado no processo de gaseificação possui um poder calorífico inferior entre 1.160 kcal/Nm³ a 1.260 kcal/Nm³ com volume e composição média.

Tabela 11: Composição do gás

Volume dos gases	26269,86	Nm ³ /h
Massa de gases	30896	Kg/h
Cinza + Particulado + Calcário	1368,29	Kg/h

Fonte: autoria própria, baseado projeto da Carbogas(2016)

Viabilidade econômica:

Seguem as premissas consideradas para a elaboração do modelo econômico financeiro, o empreendimento será avaliado por meio do cálculo de seu Fluxo de Caixa Descontado, segundo taxas de desconto de 12% ao ano, para 15 anos de operação.

Os impostos utilizados para a avaliação financeira são aqueles informados pela Receita Federal. No caso do ISS – Imposto Sobre Serviço foi previsto 5%, visto que a taxa varia tipicamente entre 0% a 5%. Para as outras alíquotas foram utilizados os valores informados pela Receita Federal como se seguem abaixo:

- COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social): 7,6%
- PIS (Programa de Integração Social): 1,65%
- IR + CSLL (Imposto de Renda e Contribuição Social sobre Lucro Líquido): 34%

Os valores dos impostos refletem o regime de tributação pelo Lucro Real. Foi também considerado que a maior parte dos investimentos em CAPEX, se depreciaria em 5 anos, ou seja, os ativos se depreciam 20% ao ano na presente avaliação. Metodologia de financiamento Tabela Price. Os valores de investimento e manutenção foram descritos na Tabela 12.

Tabela 12: Investimentos

INVESTIMENTO NA LINHA DE CDR		
Investimentos	R\$ 20.835.816,00	R\$
Tempo de construção	2	Anos
Custos indiretos	4,21	R\$/ton
Opex	R\$ 3.366.330,68	R\$/ano
Processamento anual de RSU	190.080	Ton
Receita de RSU+ metais	R\$ 13.645.922,00	R\$/ano
Depreciação	5	Anos
Quantidade de financiamento	80	%
Juros Financiamento	9,25	%
Período Financiamento	20	Anos
Custo do RSU	R\$ 80,00	Ton
INVESTIMENTO SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO		
Investimentos	51.500.000,00	R\$
Tempo de construção	2	Anos
Custos indiretos	622.335,09	R\$/ton
Opex	2.812.818,77	R\$/ano
Produção Anual de Energia	2.715,80	MWh/ano
Fator de capacidade	95	%
Preço energia elétrica	R\$ 240,00	MWh
Receita da venda energia elétrica	651.801,60	R\$/ano
Depreciação	5	Anos
Quantidade de financiamento	80	%
Juros Financiamento	9,25	%
Período Financiamento	20	Anos
VPL - Valor Presente Líquido	30.575.915,00	
TIR - taxa interna de retorno	28,30%	

Fonte: autoria própria, baseado projeto da Carbogas(2016)

Abaixo segue a demonstração do fluxo de caixa do empreendimento, incluindo a fase pré-operacional e a fase operacional. Os investimentos serão realizados em duas fases Ano 1-2 e Ano 8-9, ou seja, primeiramente será concebido a linha de CDR e posterior a implementação do gaseificação e geração de energia elétrica.

Esta metodologia será empregada para mitigar o risco do investimento e proporcionar caixa positivo com recebimento do resíduo para que a mesma sirva de aporte inicial para a segunda fase – Gaseificação e Geração. Neste período o CDR produzido será estocado em fardos hermeticamente fechados.

Este estoque proporcionará segurança na oferta de combustível, visto que no Brasil existem períodos de greve e sazonalidades na geração de resíduos na região. O excedente da produção CDR será comercializado até a conclusão da segunda fase, como combustível substituto nos fornos de clínquer conforme CONAMA nº 264. Este crédito na venda do CDR não está sendo considerado no fluxo de caixa.

Acima na tabela 12, segue o descriptivo do fluxo de caixa do empreendimento, considerando impostos, amortização, Opex da linha de CDR, Opex da unidade de gaseificação discriminada na tabela 12, recebimento pela disposição do resíduo sólido urbano, receita na venda da energia elétrica e depreciação.

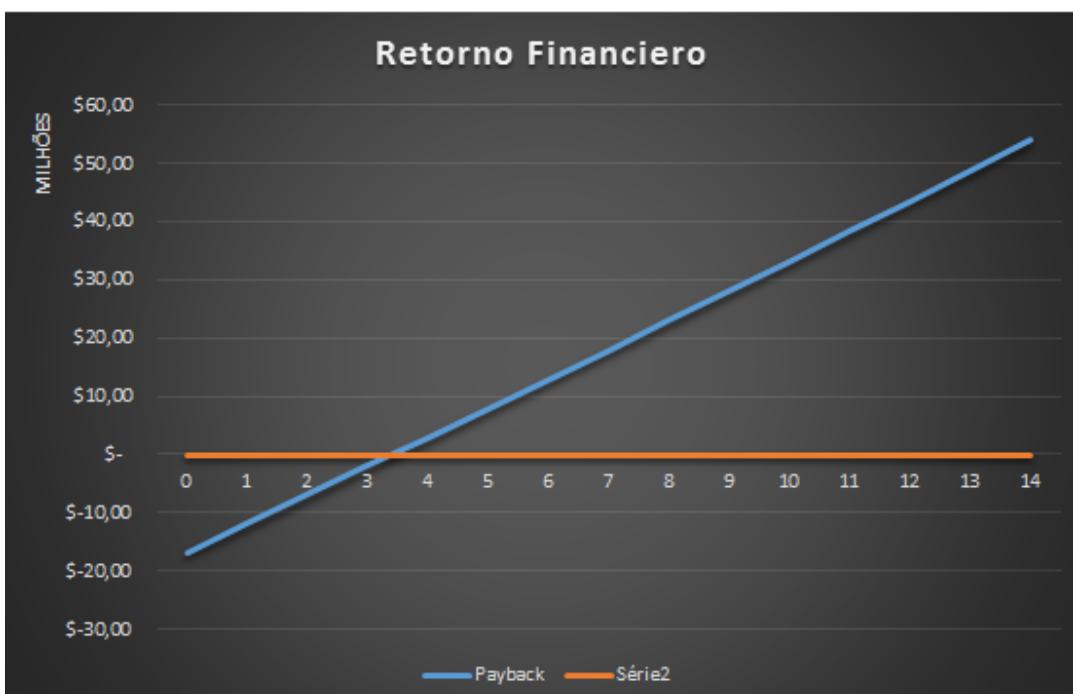


Figura 24: Retorno financeiro

Fonte: autoria própria, baseado projeto da Carbogas(2016)

4.7.3 Estudo de Caso: URE - ITAPUÍ

Após a elaboração do projeto da URE de Onda Verde que compreende municípios com maior capacidade de geração, o outro extremo, neste projeto a proposta é o consórcio de dois pequenos municípios com geração de RSU

menor que 12t/dia, que são os municípios de Itapuí e Bocaina, ambos localizados na regional de Bauru (Cetesb).

Atualmente Bocaina dispõe seus resíduos no aterro particular de Piratininga a uma distância de 95km, sendo que o aterro de Itapuí fica a cerca de 32Km (38 minutos) do centro do município de Bocaina. Os dois municípios possuem uma geração em conjunto diária de 16,5t/dia de RSU.

Como Itapuí já possui uma área licenciada para a disposição, mas ainda dispõe em valas, neste estudo foi utilizada a mesma localização para implantação da URE com produção de CDR local.

No anexo II, apresentamos a planta e fluxo do processo desta URE com os números em cada setor.

Tabela 16: Geração de RSU - URE Itapuí

URE ITAPUÍ	MUNICÍPIO	RSU(t/dia)
	Itapuí	8,91
	Bocaina	7,62
	TOTAL	16,53

Fonte: autoria própria

Tabela 13: Composição Gravimétrica do RSU e volume de CDR

COMPOSIÇÃO DO LIXO	kg/h com umidade de	PCI com umidade de	CDR kg/h
	50,0%	15,0%	
MATÉRIA ORGÂNICA	35,20%	242,00	1.352,68
FINOS	3,00%	20,63	115,29
PAPEL	6,45%	44,34	196,00
PAPELÃO	6,00%	41,25	193,55
COMPLEX	8,75%	60,16	372,25
TÊXTIL	10,00%	68,75	386,07
TÊXTIL DE SAÚDE (FRALDAS, ETC)	12,30%	84,56	472,36
PLÁSTICOS	8,80%	60,50	595,24
NÃO CLASSIFICADOS	1,30%	8,94	47,27
VIDRO	1,40%	9,63	0,00
METAIS	5,20%	35,75	0,00
NÃO CLASSIFICADOS	0,50%	3,44	0,00
OUTROS	1,10%	7,56	39,30
TOTAL	100%	4.435,29	3.770,00
			375,7

Fonte: autoria própria

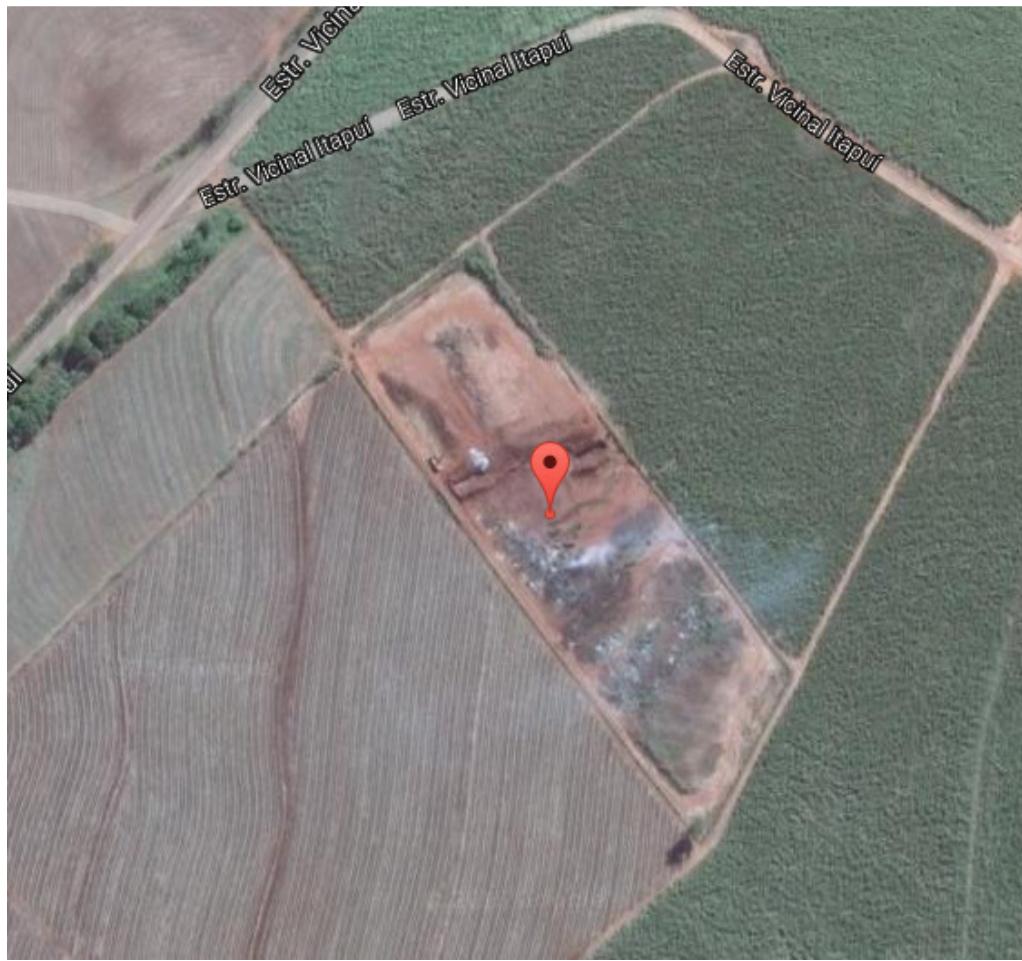


Figura 25: Local de instalação da URE Itapuí

Fonte: GoogleMaps(2016)

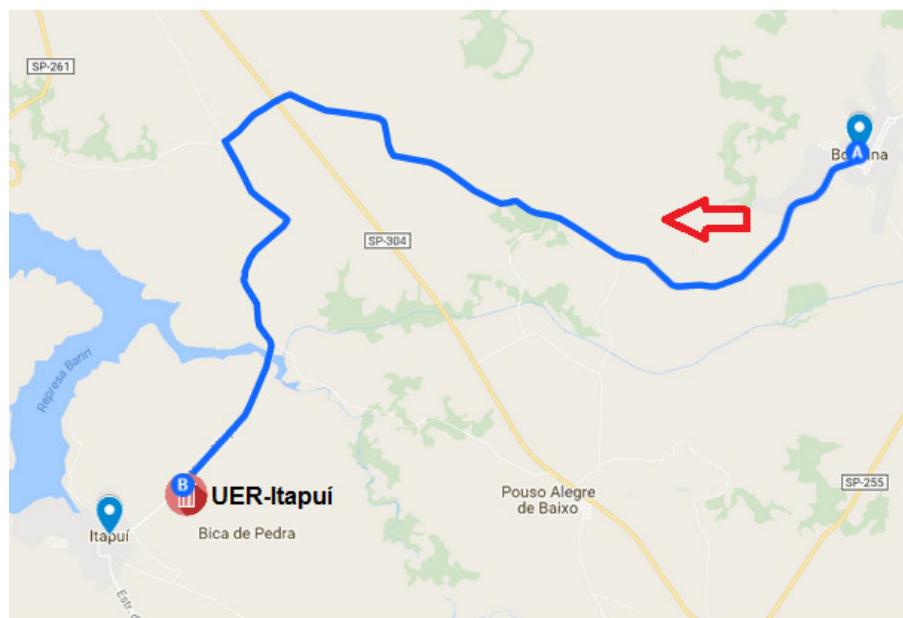


Figura 26: Rota entre Bocaina e Itapuí - 32Km

Fonte: GoogleMaps(2016)

Tabela 14: Balanço de massa e energia

BALANÇO ENERGÉTICO E MASSA		
Recebimento diário de RSU	16,5	ton/dia
Após processamento - CDR	688,75	Kg/h
Quantidade de Agua deposta	50,18	Kg/h
Energia consumida pelo secador	0,046	Gcal/h
Volume de gás requerido no Secador	35,45	Nm ³ /h
Fluxo de combustível seco	376,38	Kg/h
Energia entregue	1,42	Gcal/h
Rendimento da Gaseificação	75	%
Total de energia entregue	1,06	Gcal/h
Total de energia entregue	1,2	MWth
Fluxo de massa CDR	376,4	Kg/h
Massa Carbonatada	372,6	Kg/h
Massa não gaseificada	3,8	Kg/h
Cinzas	37,3	Kg/h
Massa de enxofre	0,41	Kg/h
Quantidade de calcário	1,29	Kg/h
Fator de segurança	1,4	-
Quantidade total de calcário	1,81	Kg/h
Massa de produto + calcário	378,2	Kg/h
Taxa de fluxo volumétrico da mistura	1,506	m ³ /h
Conteúdo de água	56,5	kg/h
Densidade da mistura	251,2	kg/m ³
Massa de carbono	212,4	Kg/h
O2 quantidade(Oxidação do carbono)	566,4	Kg/h
O2 quantidade (Hidrogénio Oxidação)	208,7	Kg/h
O2 quantidade em MP	130,4	Kg/h
Quant. Total necessária de O2	644,6	Kg/h
Quantidade de Ar	2765,46	kg/h
Gaseificação relativa do Ar	0,23	-
Quantidade de Ar (gaseificação)	631,9	Kg/h
Volume de Ar (gaseificação)	488,7	Nm ³ /h

Fonte: autoria própria, baseado projeto da Carbogas(2016)

Tabela 15: Custos de Investimentos

INVESTIMENTO NA LINHA DE CDR		
Investimentos	R\$ 1.280.661,00	R\$
Tempo de construção	2	Anos
Custos indiretos	4,20	R\$/ton
Opex	R\$ 2.716.443,2	R\$/ano
Processamento anual de RSU	5.591	Ton
Receita de RSU+ metais	R\$ 518.956,6	R\$/ano
Depreciação	5	Anos
Quantidade de financiamento	80	%

Juros Financiamento	9,25	%
Período Financiamento	20	Anos
Custo do RSU	R\$ 90,00	Ton

INVESTIMENTO SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO

Investimentos	R\$ 1.610.008,00	R\$
Tempo de construção	2	Anos
Custos indiretos	425.000,00	R\$/ton
Opex	2.254.647,86	R\$/ano
Produção Anual de Energia	86,14	MWh/ano
Fator de capacidade	95	%
Preço energia elétrica	R\$ 240,00	MWh
Receita da venda energia elétrica	20.673,6	R\$/ano
Depreciação	5	Anos
Quantidade de financiamento	80	%
Juros Financiamento	9,25	%
Período Financiamento	5	Anos
VPL - Valor Presente Líquido	-16.697.161,00	
TIR - taxa interna de retorno		#

Fonte: autoria própria, baseado projeto da Carbogas(2016)

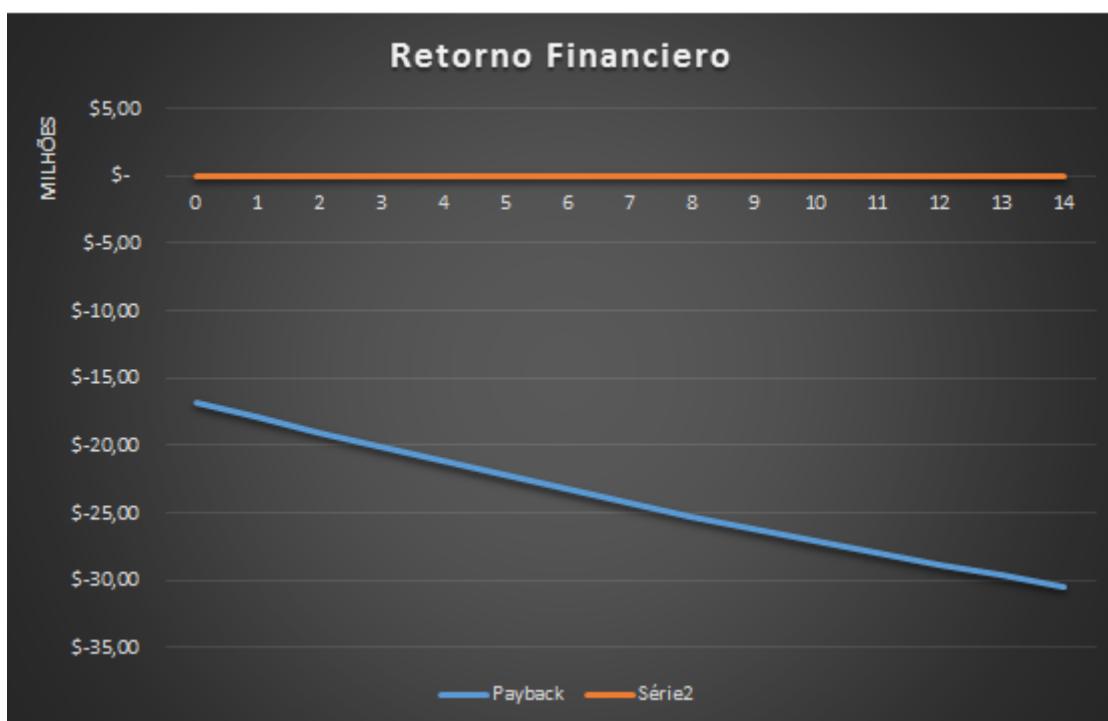


Figura 27: Retorno de Investimento

Fonte: autoria própria, baseado projeto da Carbogas(2016)

Para este projeto de implantação da URE com uma baixa geração de energia elétrica a partir de um baixo processamento de RSU/dia, não foi possível obter uma taxa de retorno de investimentos, sendo assim, para estas situações devemos levar em consideração o foco principal que é a disposição correta dos resíduos produzidos e buscar recursos em programas de financiamento do governo federal.

5.0 Geração Distribuída

Atualmente uma das vantagens das unidades geradoras de energia próximas aos pontos de consumo, que é a Geração Distribuída são as facilidades de conexão com as redes, reduzindo a necessidade da construção de grandes linhas de transmissão.

Geração distribuída ou descentralizada é a produção de energia elétrica próxima ao ponto de consumo, podendo ser este ponto de consumo um usuário isolado ou grupo de usuários. A característica principal da geração distribuída é a utilização de micro ou mini geradores acionados a partir de fontes alternativas, ou mais conhecidas como energia limpa ou renovável. Isso significa que, para uma geração de 1kg/hab dia de RSU, 600t/dia são gerados em municípios considerados grandes e com uma população de 600.000 habitantes.

A geração local distribuída representa uma possibilidade concreta para a redução da curva de carga atualmente crescente, reduzindo o consumo em horários de demanda máxima, diminuindo a necessidade de investimentos na geração, transmissão e distribuição do sistema elétrico integrado brasileiro. A pequena geração contribui para sanar a preocupação com o consumo de eletricidade local, principalmente nos aspectos do uso eficiente. Assim, se espera que adotando tal tecnologia, diminua o consumo específico, sem prejuízo da qualidade dos serviços, do bem-estar e do conforto do consumidor.

Ou seja, ter um consumo de energia menor para o mesmo serviço. A descentralização de fontes na matriz elétrica, pode contribuir para diminuição da necessidade de construção de novas usinas de base térmicas e hidrelétricas e obviamente, diminuir o impacto ambiental local e regional.

A ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, através de Resoluções Normativas e de instruções próprias regulamentou tais processos, determinando, inclusive às distribuidoras, a publicação ao público um manual de instrução, que contenha informações suficientes para que os interessados possam ingressar nestes projetos. Conforme a própria ANEEL, o país terá que dobrar sua capacidade instalada nos próximos quinze anos para sustentar o ritmo do crescimento da demanda por energia, previsto em cerca de 4,5% a.a.

6.0 Avaliação econômica – financeira.

Dentre as três tecnologias de tratamento do RSU para geração de energia elétrica – baseadas em incinerador, biogás de aterro e gaseificação, será analisada somente a gaseificação tendo em vista as dificuldades de implantação. Devido aos altos custos das plantas de incineração que viabilizam a partir de 15MW(e) a sua não competitividade para pequenos e médios municípios.

Visando a implantação futura da PNRS que não permitirá a disposição do lixo em mais nos aterros iremos adotar esta opção neste estudo. Com um cenário idealizado, compatível com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, serão analisados a performance econômico-financeira, as contribuições para a redução das emissões de GEE – Gases de Efeito Estufa e o aumento da eficiência energética, os empregos diretos gerados e a conformidade às exigências legais.

A análise econômico-financeira será realizada para empreendimentos visando atender a oferta em toneladas diárias de RSU. Os empreendimentos serão avaliados por meio do cálculo de seu fluxo de caixa descontado, segundo taxas de desconto de 12% ao ano, para 20 anos de operação.

Os impostos utilizados para a avaliação financeira são aqueles informados pela Receita Federal. Não há muitas premissas para serem elaboradas neste aspecto do estudo. Porém, no caso do ISS – Imposto Sobre Serviço foi necessário utilizar uma hipótese: como o ISS é uma taxa municipal, e o município que irá abrigar a infraestrutura de tratamento de RSU ainda não foi

definido, o ISS foi considerado como sendo 5%. Como a taxa varia tipicamente entre 0% a 5%, foi considerado o maior valor para que a contrapartida fosse superestimada nesse aspecto. Para as outras alíquotas foram utilizados os valores informados pela Receita Federal.

Os valores dos impostos refletem o regime de tributação pelo Lucro Real. Foi também considerado que a maior parte dos investimentos em CAPEX – Capital Expenditure, ou seja, despesas de capital ou investimento em bens de capital, se depreciaria em 10 anos, ou seja, os ativos se depreciam 10% ao ano na presente avaliação.

Considerando a composição gravimétrica atual média do RSU brasileiro indicado na tabela 6, somada à perspectiva de aumento da reciclagem dos seus 64 componentes, adotaremos como premissa para esse estudo o RSU com PCI de 1.980 kcal/kg. O fluxo de destinação do RSU será conforme a figura 13, onde será adotada a gaseificação de CDR.

Tabela 16 – Poder Calorífico do RSU

COMPONENTE	COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA (%)	PCI INDIVIDUAL (kcal/kg)	CONTRIBUIÇÃO AO PCI TOTAL (kcal/kg)	% DO PCI TOTAL
MATÉRIA ORGÂNICA	51,4%	712	366	19,0%
PLÁSTICOS	13,7%	8.193	1.122	57,0%
PAPEL E PAPELÃO	13,1%	2.729	434	22,0%
TÊXTEIS E COURO	2,8%	1.921	23	1,0%
MADEIRA	1,2%	2.490	30	1,0%
BORRACHA	0,5%	8.633	5	0,0%
INERTES	17,3%	0	0	0,0%
SOMA	100%		1.980	100%

Fonte: CEMIG/FEAM 2011.

6.1 Custos de Investimentos em Gaseificação - exemplo.

Para esta metodologia de recuperação energético do RSU para gaseificação, os valores de CAPEX e OPEX – Operational Expenditure, ou seja, despesas operacionais, para uma usina de gaseificação, foram baseados em orçamentos enviados pela empresa Carbogas Ltda. Para atendimento do volume de RSU no estudo de caso, serão necessários a implementação de 1 (um) módulo independente de 2.000t/dia. Isso se faz necessário, para evitar o efeito escala

de reatores de grandes potências, mitigação de riscos e aumento do range de operação.

O valor apresentado na tabela 7, contempla o CAPEX como exemplo para uma unidade de 2.000 ton/dia, bem como os valores de OPEX respectivos.

Tabela17 - Projeção de fluxo de caixa para planta de 2.000t/dia

ITEM	UNIDADE	VALOR
VOLUME DIARIO PROCESSADO	t/dia	2.000
DIAS DE OPERAÇÃO POR ANO	dia/ano	365
PODER CALORÍFICO INFERIOR- GÁS SÍNTSESE	kcal/Nm ³	1.160
GERAÇÃO DE GÁS SÍNTSESE	Nm ³ /ano	844.913.793
GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	kWh/Nm ³	0,348*
INVESTIMENTO USINA - CAPEX (4 UNID.)	R\$ milhões	354,24*
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (4 UNID.)	R\$ milhões/ano	20,5*
VALOR COBRADO NA RECEPÇÃO DO RSU	R\$/t	65
PREÇO DE VENDA DA ELETRICIDADE	R\$/MWh	180
TAXA DE DESCONTO	%a.a.	12
TAXA DE ALAVANCAGEM	%	20 80
TAXA DE JUTOS	%a.a.	6,5

* Fonte- CARBOGÁS LTDA (2015)

VPL - VALOR PRESENTE LÍQUIDO	R\$ 141.182.717,82
TIR - TAXA INTERNA DE RETORNO ALAVANCADA	R\$ 0,30

Fonte: Infiesta, Luciano - monografia gaseificação de resíduos sólidos urbanos - projeto CIVAP

Baseado no que foi apresentado nos valores financeiros, podemos concluir que as tecnologias de utilização de biogás em aterro sanitário e gaseificação, apresentam bons resultados de VPL – Valor Presente Líquido e TIR – Taxa Interna de Retorno, para tomada de decisão.

Entretanto é necessário ressaltar, que a indisponibilidade de novas áreas licenciadas para abertura de novos aterros e as novas diretrizes da lei nº 12.305, de agosto de 2010 – Política nacional de Resíduos Sólidos converge para o melhor aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos eliminando o volume de resíduos aterrados. Desta forma, podemos concluir

que a tecnologia de gaseificação surge como uma forte vertente neste quesito, baseado nas vantagens já apresentadas.

Assim o objetivo desta etapa é apresentar alguns estudos de caso, como uma usina de beneficiamento e recuperação energética de resíduos sólidos urbanos, para processamento de 528 ton/dia de RSU com geração energética de 1.000 GW(e) por meio da gaseificação em leito fluidizado circulante, de resíduos sólidos urbanos, utilizando como base os equipamentos desenvolvidos pela empresa Carbogas Ltda.

7.0- Considerações finais

O aumento na geração de resíduos, em função do crescimento populacional, somado aos prazos estabelecidos pelo Programa Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - que limitam a liberação de novas áreas para instalação de aterros - agravam o problema de destinação de RSU no Brasil. Na busca de uma alternativa viável para o enfrentamento deste problema, este trabalho investigou o potencial de geração de energia a partir da gaseificação do RSU em plantas de gaseificação local com posterior utilização da energia elétrica produzida, usando como amostragem os municípios do estado de São Paulo.

A inviabilidade do uso da incineração do RSU para geração de energia elétrica está bem descrita na literatura, como alternativa foram adotadas plantas de gaseificação cuja tecnologia está disponível no país. Estas plantas tem sua viabilidade técnica atingida a partir de 12t/dia e sua viabilidade econômica só é justificada quando comparada às demais tecnologias de destinação de RSU que necessitam um maior investimento e volumes acima de 500t/dia de processamento de RSU.

Após a etapa de coleta de dados de quantidade de RSU gerado em cada um dos municípios e da destinação final dos mesmos conforme apresentado no Anexo III, verificou-se que em 40,2% dos municípios do estado de São Paulo, a implantação de usinas de recuperação de energia a partir de uma planta de gaseificação local e posterior utilização da energia elétrica produzida é viável econômica e tecnicamente. Nos demais municípios do estado a geração de

RSU ainda está abaixo de 12t/dia; o que inviabiliza o uso da planta de gaseificação individualmente, conforme demonstrado neste trabalho. Para estes casos a melhor opção é trabalhar em consórcio de municípios até a obtenção do volume de RSU necessário, ou seja, acima de 12t/dia para viabilização técnica da planta de gaseificação.

Utilizando os dados de volume gerado de RSU no estado de São Paulo, foi demonstrado que é possível e viável chegar a uma produção de aproximadamente 1.000GW(e) por mês, o que representaria um acréscimo de 19,8% na produção de energia elétrica atual do estado e 9,7% do total consumido de energia elétrica no estado.

Porém para que seja possível a implantação desta tecnologia em pequenos municípios, é preciso ter como foco principal a destinação correta dos resíduos gerados e consequentemente a geração de energia elétrica como benefício secundário. Um possível caminho seria a utilização deste potencial energético pelo próprio poder público através da geração de créditos conforme Resolução Normativa 482/2012 da Aneel.

A implantação de pequenas plantas para geração em torno de 12t/dia, devido ao alto custo de investimento e baixo retorno não deve atrair investidores por não apresentar Taxa Interna de Retorno (TIR), no entanto a variável a ser observada neste caso não é a obtenção do lucro e sim o atendimento ao PNRS bem como os demais benefícios para a saúde e a área social, o que justificaria o investimento a “fundo perdido”.

No estudo de caso da URE – Onda Verde, foi possível observar que pelo fato do consórcio de municípios obter uma geração acima de 500t/dia, o projeto apresenta excelente viabilidade técnica e econômica, diferente do estudo de caso da URE – Itapuí que mesmo tendo sua viabilidade técnica garantida em virtude da quantidade de RSU, a viabilidade econômica não pode ser verificada através do cálculo da TIR.

Como sugestão para trabalhos futuros apontamos o aprimoramento das tecnologias conhecidas de gaseificação para aplicação em volumes menores que 12t/dia a fim de proporcionar uma solução mais efetiva para o problema

dos pequenos municípios do Estado de São Paulo e consequentemente do Brasil.

8.0 Referências Bibliográficas:

Barbosa, Rildo Pereira, Resíduos sólidos urbanos: Impactos, manejo e gestão ambiental - São Paulo - Érica, 2014.

Perlingeiro, Carlos Augusto, **BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL**, Fundamentos, Aplicações e Perspectivas -

Cetesb - Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2015 [recurso eletrônico]

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais: Relatório 1. 2. ed. Belo Horizonte – Minas Gerais, 2010

GOLDEMBERG, J. ; NIGRO, F. e. B. ; COELHO, S. T. . *Bioenergia no estado de São Paulo : situação atual, perspectivas, barreiras e propostas.* São Paulo : Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008.

Infiesta, Luciano, Gaseificação de Resíduos sólidos urbanos RSU no Vale do Paranapanema - Projeto CIVAP./L.INFIESTA, São Paulo - 2015. Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - PECE - Programa de Educação Continuada em Engenharia.

Junior, Rudinei T; Saiani, Carlos C. Santejo; Dourado, Juscelino. Resíduos Sólidos Urbanos: Oportunidades E Desafios Da Lei Federal Nº 12.305 (lei De Resíduos Sólidos). Editora: Manole. 456 p. 2013.

LAR – Laboratório de Análises de Resíduo. Tecnologia de Plasma. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

Fundação Estadual do Meio Ambiente. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais. FEAM. Belo Horizonte, 2012

Miranda, Luiz Henrique Targa Gonçalvez, APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ITANHAÉM-SP, São Paulo - 2014. Monografia apresentada à Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

NOGUEIRA, L.H.A. Biodigestão, a alternativa energética, editora Novel, São Paulo, 1986

Pecora, Vanessa, Implementação de uma unidade demonstrativa de Geração de Energia elétrica a partir do Biogás de tratamento de esgoto residencial da USP: estudo de caso/. Vanessa Pecora ; Orientador José Roberto Moreira. São Paulo 2006 - Dissertação (Mestrado - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia) - EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo.

Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo [recurso eletrônico] / Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, CETESB ; Autores André Luiz Fernandes Simas ... [et al.] ; Organizadores André Luiz Fernandes Simas, Zuleica Maria de Lisboa Perez. – 1a ed. – São Paulo : SMA, 2014. 1 arquivo de texto (350 p.) : il. color., PDF; 160 MB

Resíduos Sólidos Urbanos - Recuperação energética -Comitê de valorização energética - organização - **Abrelpe e Plastivida.**- 2012.