

INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

PAULA CASTELLO BRANCO

**PLANEJAMENTO TÉCNICO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UTE'S A LIXO EM
REGIÕES METROPOLITANAS**

TECNOLOGIA DE LEITO FLUIDIZADO

São Paulo

2010

PAULA CASTELLO BRANCO

**PLANEJAMENTO TÉCNICO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UTE'S A LIXO EM
REGIÕES METROPOLITANAS**

TECNOLOGIA DE LEITO FLUIDIZADO

*Monografia apresentada ao Instituto de
Eletrotécnica e Energia para obtenção
do título de Especialista em Gestão de
Usina Térmica.*

*Área de Concentração: Geração de
Energia.*

*Orientador: Prof. Dr. Miguel Edgar
Morales Udaeta.*

São Paulo

2010

OS AUTORES AUTORIZAM 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.

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Paula Castello Branco e

Planejamento Técnico da Implementação de UTE's a lixo em Regiões Metropolitanas – Tecnologia de Leito Fluidizado / Paula Castello Branco e Silva – São Paulo, 2010

Monografia (MBA) – Instituto de Eletrotécnica e Energia.

1. Geração de Energia Elétrica 2. UTE à Lixo 3. CDR 4. Lixo urbano

DEDICATÓRIA

Aos pais Cesar Augusto S. Castello Branco e Regina L. Castello Branco pelos esforços para que eu pudesse estudar...

...Ao meu marido Marlos F. F. e Silva, que com seu amor, carinho e paciência aguardou a finalização deste trabalho....

... e ao meu filho Guilherme Castello Branco e Silva que permitiu que eu tivesse saúde para concluir este curso no final da minha gestação.

Paula Castello Branco

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos de profissão pelas orientações, pessoais e profissionais, Miguel E. M. Udaeta, Ivan G. S. Falleiros, Otávio F. Affonso, André L. V. Gimenes, Ricardo J. Fujji, Paulo H. Kanayama, Mário Cesar E. S. Ramos, Briene Camargo, Luiz A.M. Amoroso e Hugo R. Yamaguchi.

Dedicação e amizade de Celeste M. G. e Silva, Licia M. Campello e Miriam Machion.

A minha família em reconhecimento ao apoio e estrutura dada até o momento, cito meus pais Cesar Augusto S. Castello Branco, Regina L. Castello Branco, meu irmão Alexandre L. Castello Branco, meu marido Marlos F. F. e Silva e ao meu filho Guilherme Castello Branco e Silva.

A todos que de alguma forma contribuíram direto ou indiretamente para a conclusão do meu trabalho.

Paula Castello Branco

RESUMO

O objetivo do trabalho é desenvolver a estrutura técnica para o aproveitamento térmico do lixo a partir do Combustível Derivado do Resíduo Sólido Urbano (CDRSU) através de Usinas Termoelétricas utilizando a tecnologia de gaseificação por leito fluidizado, resultando na caracterização técnica para produção de energia elétrica e aproveitamento dos subprodutos de queima, com os respectivos custos, vantagens técnicas e dificuldades com implementação.

ABSTRACT

The objective is to develop the technical framework for the utilization of waste heat from the Fuel Derived from Urban Solid Residue (CDRSU) by thermal plants using the gasification technology for fluidized bed, resulting in the characterization technique for producing electricity and utilization of by-products of burning, with costs, technical advantages and difficulties of implementation.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
1.1. O Problema da Destinação Final dos Resíduos.....	1
1.2. Os Resíduos Sólidos Urbanos como Recurso Energético	3
2. Objetivos.....	5
2.1. Objetivos Gerais.....	5
2.2. Objetivos Específicos	5
3. O Resíduo Sólido Urbano	6
3.1. O Resíduo Sólido Urbano como combustível	8
3.1.1. Os resíduos urbanos	9
3.1.2. Os Resíduos Especiais.....	11
3.1.3. Propriedades dos RSUs	11
3.2. Processamento Térmico dos RSU	13
3.3. W2E – Perspectiva geral.....	15
3.3.1. Formas de Geração de Energia a partir do RSU	16
4. Tecnologia de Gaseificação por Leito Fluidizado	19
4.1. Princípios da gaseificação	22
4.2. Vapor do processo.....	27
4.3. Detritos finais inertes e sua destinação	28
4.3.1. Dioxinas e Furanos	28

4.3.2.	Limites de Emissões de Efluentes Gasosos e seu Controle	29
4.3.3.	SOx, NOx e Material Particulado	31
4.4.	Aproveitamento das Cinzas	34
4.4.1.	Gases de Escape.....	34
4.4.2.	Escórias e Brita Vítrea	36
4.5.	Custos de Implantação	37
4.6.	Custos de Operação	37
5.	Geração de Energia elétrica	38
5.1.	Geração	38
5.2.	Cogeração	38
5.3.	O Sistema de Geração	40
5.3.1.	Geradores	40
5.3.2.	Tipos de Geradores de Energia Elétrica para CDRSU	41
5.3.3.	Máquina Primária.....	42
5.3.4.	Geradores	42
5.3.5.	Transformadores.....	42
5.3.6.	Controle, Comando e Proteção	43
5.3.7.	Geração a partir do Vapor	44
6.	Conclusões	47
7.	Referências bibliográficas.....	49

1. Introdução

1.1. O Problema da Destinação Final dos Resíduos

A geração de lixo pela sociedade é inerente à forma de consumo humano e está intrinsecamente ligada aos hábitos e cultura de uma sociedade. Apesar de não ser possível evitar a sua formação, seja por seleção de alimentos impróprios para o consumo, de partes não aproveitáveis de processos produtivos ou de embalagens de produtos industrializados, algumas culturas aprenderam a se aproveitar destes subprodutos da sociedade de formas mais ou menos eficiente, seja para realizar compostagem e posterior utilização como fertilizante, seja como gerador de biogás para cocção, ou as mais diversas utilizações. Contudo em uma sociedade urbanizada e com hábitos de consumo exacerbados, além da despreocupação pela destinação deste lixo gerado, causado pelo tratamento político e social a que se dá ao problema, causam não só um aumento na quantidade global gerada de resíduos, mas um aumento per capita na geração deste resíduo.

¹“O lixo sempre acompanhou a história do homem. Na Idade Média acumulava-se pelas ruas e imediações das cidades, provocando sérias epidemias e causando a morte de milhões de pessoas. A partir da Revolução Industrial iniciou-se o processo de urbanização, provocando um êxodo do homem do campo para as cidades. Observou-se assim um vertiginoso crescimento populacional, favorecido também pelo avanço da medicina e conseqüente aumento da expectativa de vida. A partir de então, os impactos ambientais passaram a ter um grau de magnitude alto, devido aos mais diversos tipos de

¹ “Lixo, Desafios e Compromissos” – Pedro Sergio Fadini e Almerinda Anzonia B. Fadini

poluição, dentre eles a poluição gerada pelo lixo. O fato é que o lixo passou a ser encarado como um problema, o qual deveria ser combatido e escondido da população.

A solução para o lixo naquele momento não foi encarada como algo complexo, pois bastava simplesmente afastá-lo, descartando-o em áreas mais distantes dos centros urbanos, denominados 'lixões'.

Nos dias atuais, com a maioria das pessoas vivendo nas cidades e com o avanço mundial da indústria provocando mudanças nos hábitos de consumo da população, vem-se gerando um lixo diferente em quantidade e diversidade. Até mesmo nas zonas rurais encontram-se frascos e sacos plásticos acumulando-se de forma inadequada.”

A motivação do trabalho surgiu ao observar as dificuldades existentes nos municípios brasileiros em dar a destinação ao RSU, tendo em vista os custos inerentes, as restrições ambientais impostas, bem como a escassez de áreas públicas e privadas disponíveis para a construção de novos aterros sanitários. Cerca de 30% de todo o lixo gerado no Brasil, 228.413 toneladas diariamente (IBGE 2000), tem destino final em lixões a céu aberto, sujeitos a contaminação do solo, mananciais, lençol freático além da degradação social causada e da proliferação de pragas e animais que se alimentam do lixo, desequilibrando a fauna e a flora local. O restante do lixo produzido, apesar da destinação adequada em aterros controlados ou sanitários, se concentra em grandes aglomerados urbanos e a sua destinação final, inclusive por motivos de mitigação dos impactos decorrente do transporte deste lixo, deve se localizar em locais próximos. O que gera ainda impactos sociais de degradação do entorno.

A atividade humana produz cerca de 2.000.000 de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) por ano. A maior parte em peso destes resíduos são depositados em aterros sanitários, pois diz respeito à maioria dos grandes centros urbanos, porém a maior parte da população mundial não têm acesso a

disposição adequada em localidades rurais e comunidades isoladas. Normalmente essa prática provoca problemas de saúde e socioeconômicos para a população periférica, além de gerar um desconforto político para os representantes dos municípios em que tais aterros são sediados.

1.2. Os Resíduos Sólidos Urbanos como Recurso Energético

O RSU como um valioso recurso energético não tem uma utilização difundida, principalmente por falta de conhecimento. Seja de suas propriedades químicas, físicas, de decomposição ou simplesmente por falta de tecnologia disponível para seu aproveitamento de forma que os impactos da deposição do lixo sejam mitigados com geração de energia, seja a partir do biogás gerado, seja pela incineração comum ou pela tecnologia que será tratada neste trabalho, que se utiliza de um fluxo de areia superaquecida borbulhando em uma câmara quente através do fluxo de ar superaquecido para desintegrar a matéria orgânica introduzida e realizar a queima muito mais eficiente e com baixa geração de poluentes ou subprodutos, reduzindo os RSU a 3% do peso inicial e sem a necessidade de desidratação do material a ser gaseificado.

A Suécia é pioneira no mundo pela busca à deposição de resíduos da atividade humana próximos de zero. Neste país, esses resíduos são transformados em diferentes produtos entre energia, materiais subprodutos da geração de energia e materiais reciclados, trazendo de volta, de uma forma ou de outra, todo o descarte gerado pela sociedade.

No Brasil, experiências malsucedidas de incineração de RSU realizadas sem qualquer tipo de controle que causaram problemas graves de poluição e, conseqüentemente, diversos problemas de saúde na população do entorno destes locais de incineração devido aos altos índices de dioxinas, furanos NOx, SOx e material particulado liberados nesta queima de resíduos, geram grande preconceito em relação ao processo de incineração do RSU, mesmo quando relacionado a outras tecnologias

As toxinas geradas na incineração que merecem mais atenção são as dioxinas e furanos, que hoje em dia, podem ser minimizados com a utilização de filtros e lavadores de gás e de cinzas gerados na combustão.

A principal vantagem da utilização desta tecnologia é redução de cerca de 95% do volume original. O subproduto resultante da queima a partir da tecnologia de gaseificação por leito fluidizado se constitui de material inerte, de composição, textura e resistência próximo aos da brita comum utilizada em construção civil, podendo ser utilizada em projetos de casas populares e asfalto.

Nesse cenário a alternativa que tem se mostrado mais acertada no mundo, e em alguns países obrigatória, permitindo a disposição final adequada, é o tratamento térmico do lixo. Como outra alternativa, seria o aterro sanitário, que comprovadamente polui mais, a energia gerada nas usinas térmicas lixo-energia (“Waste-to-Energy” ou WTE),tem impacto ambiental positivo.

2. Objetivos

2.1. Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como objetivo a apresentação das condições técnicas para viabilizar o processo térmico para queima do combustível derivado do Resíduo Sólido Urbano (CDRSU), que é um tratamento prévio do RSU, para gerar energia elétrica.

O processo de eliminação RSU que será apresentado consiste na transformação dos detritos em energia elétrica e resíduo inerte (brita), através da tecnologia do Leito Fluidizado.

O RSU deve ser preparado para entrar na Câmara de Leito Fluidizado. Portanto, se faz necessário o planejamento de uma Usina de Processamento de Detritos para produzir o CDRSU.

2.2. Objetivos Específicos

Traçar as características técnicas de aproveitamento dos RSU quanto à disponibilidade;

Levantar a cadeia de coleta, seleção e distribuição dos RSU com os respectivos custos e o custo final, por tonelada, de material destinado à incineração.

Levantar a cadeia tecnológica e os respectivos custos da geração de Energia Elétrica através da queima de RSU em gaseificadores por leito fluidizado, desde a aquisição dos resíduos até a venda da energia gerada.

3. O Resíduo Sólido Urbano

A coleta, tratamento e disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ainda é um problema na maioria das cidades do Brasil. Os problemas de higiene, poluição das águas subterrâneas pela lixiviação, contaminação pelo resíduo biológico é uma preocupação constante quando a disposição final do RSU é feita em aterros não controlados.

A queima controlada dos RSU quando realizada em instalações com dispositivos adequados de controle da poluição do ar, permite uma solução definitiva ao problema, com baixo impacto ambiental, se realizada com critérios técnicos adequados. A composição do RSU é influenciada por vários fatores, número de habitantes, poder aquisitivo, nível educacional, hábitos e costumes da população, condições climáticas e sazonais, e mudanças na política econômica de um país.

Segundo Oliveira (2001) a composição física dos RSU de algumas cidades paulistas, com características semelhantes às de Bauru, está demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição Física do RSU

Cidade	Matéria Orgânica	Papel e Papelão	Plástico	Vidro	Metal	Outros
Botucatu	74,1	7,6	8,4	2,0	3,9	4,0
São Carlos	56,7	21,3	8,5	1,4	5,4	6,7
Rio Claro	62,8	15,2	5,5	2,1	3,5	10,9
São Paulo	37,8	29,6	9,0	4,9	5,4	10,3

Fonte: Oliveira, 2001

Segundo o IPT (2001) na Ilustração 1 encontra-se a composição média do RSU no Brasil.

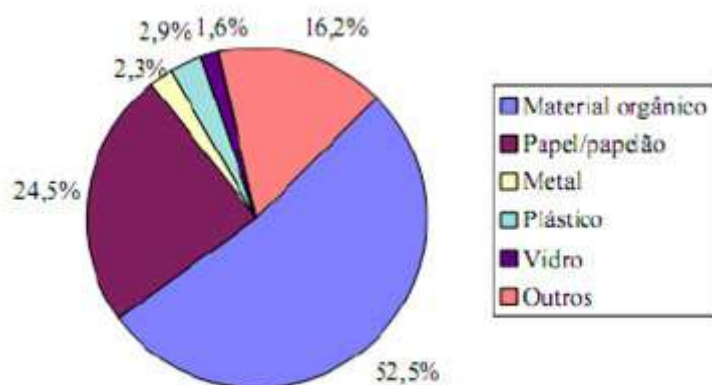


Ilustração 1: Composição média do RSU no Brasil

Fonte: IPT, 2001

A reciclagem energética tem estreita relação com a incineração de RSU. Ela é feita a partir de uma instalação de combustão de RSU que difere da usina de incineração porque gera um produto, a energia (eletricidade), que pode ser vendida, resultando em receita para o município.

Segundo dados da Agência de Proteção Ambiental americana – EPA – quando a incineração dos RSU tem como objetivo a recuperação de energia deve-se conhecer a composição dos RSU, diretamente relacionada à quantidade de energia a ser recuperada. A umidade e a redução de percentagem de plásticos, por exemplo, diminuem a energia gerada na maioria das tecnologias utilizadas para este fim, elevando o custo da tonelada incinerada e conseqüentemente da energia vendida.

Ainda de acordo com a EPA (1989) nos Estados Unidos estima-se que 75% (em peso) dos RSU são combustíveis; e no Brasil, a parte combustível dos RSU, varia em torno de 40% (Lima, 1995). Segundo Barbosa (1995) o valor médio do PCI para os RSU, no Brasil, é de 1.300 kcal/kg (5,44MJ/kg). Segundo Lima (1.979) o valor do PCS do RSU no Brasil é de 4.267 kcal/kg (17,86 MJ/kg) e do PCI é 1.285 kcal/kg (5,38 MJ/kg).

3.1. O Resíduo Sólido Urbano como combustível

Resíduos sólidos ou semi-sólidos são aqueles que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível”, segundo a norma brasileira (ABNT/NBR 10.004/2004).

A geração de resíduos sólidos vem apresentando números crescentes nas várias regiões do país e traz consigo um grande desafio às autoridades municipais, desde a promoção da coleta dos resíduos gerados, até a determinação de áreas adequadas à disposição. Os resíduos domiciliares e urbanos são dispostos de três maneiras, na forma de lixões, aterros controlados e aterros sanitários. No primeiro caso, trata-se da simples descarga de resíduos sobre o solo a céu aberto. Como conseqüências, têm-se a proliferação de vetores de doenças, geração de odores, e a poluição do solo, das águas subterrâneas e superficiais pelo percolado, líquido de elevado potencial poluente.

O aterro controlado consiste no confinamento dos resíduos sólidos através da cobertura com uma camada inerte, geralmente por solo com certa predominância de argila. Embora minimize alguns dos impactos normalmente gerados pelos lixões, não apresenta sistemas adequados de impermeabilização de base, o que compromete a qualidade das águas subterrâneas e superficiais, já que não há nenhum tratamento do percolado ou dispersão dos gases gerados pelos resíduos. A norma brasileira (ABNT/NBR8849/1985) fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros controlados de RSU.

3.1.1. Os resíduos urbanos

Normalmente são aqueles gerados nas residências, no comércio ou em outras atividades desenvolvidas nas cidades. Incluem-se neles os resíduos dos logradouros públicos. Nestes resíduos encontram-se: papel, papelão, vidro, latas, plásticos, trapos, folhas, galhos e terra, restos de alimentos, madeira e todos os outros detritos apresentados à coleta nas portas das casas pelos habitantes das cidades ou lançados nas ruas.

Com a atual tendência da segregação de materiais que tem algum valor de mercado, encontrados no RSU, surge a questão da variação no Poder Calorífico em função do tipo e qualidade do material segregado.

Reciclagem é um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os detritos e reutilizá-los no ciclo de produção de que saíram. É o resultado de uma série de atividades pelas quais materiais que se tornariam lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos.

Este procedimento pode influenciar o rendimento de uma usina de recuperação de energia, por exemplo, a redução na quantidade de plásticos presentes no RSU pode elevar o custo da produção de energia, pois diminui o seu poder calorífico.

As características de alguns materiais recicláveis podem ser reunidas na Tabela 2, conforme Wells (1996/1998).

Tabela 2: Característica de Materiais Recicláveis

Material	Peso no RSU (%)	Reciclagem (%)	Preço de Mercado (R\$/ton)	Poder Calorífico (kcal/kg)
Papel Corrugado	4,1	60	R\$ 120,00	1775
Papel e Papelão	24	37	R\$ 200,00	1814
PEBD	5 a 10	15	R\$ 210,00	4712
Plástico Rígido	15	15	R\$ 150,00	4712
PET	1,4	33	R\$ 280,00	5039

Fonte: Adaptado de Wells (1998)

O valor médio do Poder Calorífico Inferior (PCI) de alguns materiais encontrados no RSU está reunido na Tabela 3, conforme Conesa (2005).

Tabela 3: Valor médio do PCI de alguns componentes do RSU

Material	PCI (kcal/kg)
Resíduo Alimentar	700
Papelão	2500
Têxtil	3400
Madeira	4300
Plástico	5000

Fonte: Conesa, 2005

A determinação da quantidade de RSU produzido em uma cidade e seus diversos componentes não é simples, dependendo de uma série de fatores, mantendo uma relação direta com o número de habitantes e com os hábitos de consumo geral e sazonal de cada região. Conforme os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2000), a geração de RSU pode ser estimada de acordo com a população. Na Tabela 4 encontra-se a produção de RSU por pessoa baseado no número de habitantes de uma determinada região brasileira.

Tabela 4: Índice de produção de RSU per capita em relação à população

População (mil hab)	Produção de RSU (kg/Hab.dia)
até 100	0,4
de 100 a 200	0,5
de 200 a 500	0,6
maior que 500	0,7

Fonte: IBGE, 2000

3.1.2. Os Resíduos Especiais

Resíduos Especiais são aqueles gerados em indústrias ou em serviços de saúde, como hospitais, ambulatorios, farmácias, clínicas que, pelo perigo que representam à saúde pública e ao meio ambiente, exigem maiores cuidados no seu acondicionamento, manipulação, transporte, tratamento e destino final.

Também se incluem nesta categoria os materiais radioativos, alimentos ou medicamentos fora da validade ou deteriorados, resíduos de matadouros, inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e dos restos de embalagem de inseticida e herbicida empregados na área rural.

3.1.3. Propriedades dos RSUs

A composição física dos resíduos sólidos, os tipos de materiais que os constituem, sua heterogeneidade e as proporções de diferentes compostos e elementos químicos, dependem basicamente das condições de geração, do modo de coleta, da construção e da operação do aterro. As características dos resíduos podem variar também em função dos aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos.

Granulometria.

A variação granulométrica dos resíduos sólidos urbanos que chegam nos aterros é muito grande. Encontram-se tanto partículas de grandes dimensões (blocos de rocha, madeiras, metais, tecidos e plástico) como de pequenas dimensões. Com o passar do tempo o material resultante da decomposição tende a se tornar mais granular.

Massa específica

É uma propriedade que varia conforme o aterro. A variabilidade na composição dos resíduos, o volume, a umidade, os métodos e o grau de compactação, além das condições meteorológicas tornam difícil a padronização de valores.

Várias técnicas são usadas para determinar a massa específica in situ e dentre elas destacam-se os ensaios em poços escavados (2 a 4m de profundidade) ou trincheira e aqueles empregando radiação gama. Os ensaios em poços consistem na pesagem do material e na determinação do volume a partir do preenchimento da cava devidamente impermeabilizada com manta sintética. A composição, principalmente o conteúdo orgânico, controla o processo bioquímico, especialmente a geração de gases e lixiviados. O conteúdo orgânico, também afeta os parâmetros de resistência e a deformabilidade dos resíduos.

Teor de umidade

Os fatores que influenciam o teor de umidade de um aterro incluem o teor de umidade inicial do resíduo, normalmente associado ao percentual de matéria orgânica, o tipo de sistema de tratamento de chorume, as condições climáticas locais, através da precipitação, da temperatura e das estações do ano, a profundidade, o tipo de cobertura e o tipo de base do aterro.

O valor médio do teor de umidade inicial dos resíduos domiciliares é da ordem de 60%(Lima, 1995). Segundo (Tchobanoglous et al. 1993), o teor de umidade dos resíduos sólidos urbanos aterrados, usualmente, varia entre 15 a 40%, com um valor típico de aproximadamente 25%, onde a evapotranspiração excede a precipitação. De acordo com Carvalho (2006), os valores do teor de umidade para os resíduos se encontram numa gama bastante ampla, de 15 a 130%. Os componentes inorgânicos, tais como, papéis e produtos plásticos, geralmente, têm um teor de umidade abaixo de 10% (Knochenmus et al.,1998 apud Calle, 2007). A fração orgânica constitui a maior parcela dos resíduos sólidos urbanos gerados pelos municípios brasileiros. Em sua pesquisa, Calle (2007)cita que os resíduos domiciliares brasileiros têm se apresentado com taxas de matéria orgânica da ordem de 50 a 60%, típicas de países em desenvolvimento, e maiores que os encontrados em países desenvolvidos. A composição média dos resíduos apresentada em Castilhos et al. (2003), a

partir de resultados de análises em diversas cidades brasileiras, revela que a matéria orgânica e o agregado fino correspondem a aproximadamente 59% do total dos resíduos com um teor de umidade de 65%.

Chorume: é o líquido que escoar de locais de disposição final de lixo. É resultado da umidade presente nos resíduos, da água gerada durante a decomposição dos mesmos e também das chuvas que percolam através da massa do material descartado. É um líquido com alto teor de matéria orgânica e que pode apresentar metais pesados provenientes da decomposição de embalagens metálicas e pilhas. A composição final do chorume é fruto do tipo de lixo depositado e do seu estado de degradação. Historicamente, os lixões têm sido construídos em vales, nas proximidades ou dentro de leitos de cursos d'água, o que torna o chorume um agente de comprometimento de recursos hídricos. Os lixões, por serem na verdade uma mera disposição de resíduos a céu aberto são construídos, sobre terrenos que permitem não apenas o escoamento do chorume, mas também a sua infiltração no solo, levando à contaminação das águas subterrâneas. Ao contrário dos lixões, os aterros sanitários, que recebem resíduo sólido municipal urbano (o lixo gerado em nossas casas), e os aterros industriais, que recebem resíduo sólido industrial, têm as suas construções pautadas em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que prevê impermeabilização do terreno e o tratamento do chorume gerado. Poços de monitoração abertos nas proximidades do aterro permitem a avaliação constante da qualidade das águas subterrâneas e a tomada de decisões em caso de eventuais infiltrações.

3.2. Processamento Térmico dos RSU

Segundo Tolmasquim (2003) com a incineração controlada dos resíduos urbanos é possível com 500 toneladas diárias, abastecer uma usina termelétrica com potência de 16 MW (MegaWatt), o que representa um potencial energético de cerca 0,7 MWh/t (MegaWatt x hora/tonelada).

Não obstante, as desvantagens são mais acentuadas quando a tecnologia utilizada não é a correta, indicando: inviabilidade com resíduos clorados e de menor poder calorífico; umidade excessiva prejudica a combustão; necessidade de equipamento auxiliar para manter a combustão; possibilidade de concentração de metais tóxicos nas cinzas; emissão de dioxinas e furanos e altos custos de investimento, operação e manutenção.

Para solucionar praticamente todos os problemas anteriores, a tecnologia de gaseificação por leito fluidizado se apresenta como a melhor tecnologia disponível comercialmente para que se aproveitem, os gases de queima do CDRSU gerados na gaseificação como forma de geração de energia. Nesta tecnologia, os compostos de baixa volatilidade são desintegrados rapidamente, a separação e filtragem de material perigoso, como dioxinas, furanos e metais pesados são destruídos pelas altas temperaturas e velocidades de desintegração ou são recolhidos durante o processo de forma mais barata que outros processos de separação, sendo viável até o recolhimento do CO₂ gerado, através de arraste da corrente gasosa na água, com 96% de eficácia.

A tecnologia de geração de energia elétrica através dos RSU por gaseificação por leito fluidizado tem sua eficácia dependente do teor de umidade do lixo utilizado, apesar de a gaseificação e queima não ser afetados por esse teor, fazendo com que o processo seja independente de um combustível externo para a manutenção do processo, é necessário utilizar parte da energia da queima para que essa água seja transformada em vapor. Esse inconveniente pode ser resolvido com a peletização prévia do RSU, compactando o material ao mesmo tempo que se aplica baixo aquecimento controlado. A peletização, além da melhora dos teores de umidade, reduzindo-o em até 95%, deixa o material mais fluido para a entrada na câmara de combustão, possibilitando o controle do fluxo contínuo do material no processo e também o controle do tamanho e forma dos resíduos sólidos posteriores à combustão na forma de brita vitrificada.

3.3. W2E – Perspectiva geral

A produção de energia a partir de qualquer tipo de biomassa, que neste caso se inclui o RSU por se tratar tanto de produto de atividade humana como por ser composto em sua maioria por material orgânico, evita emissões ao longo de todo processo de conversão de energia quando comparada à produção de quantidade de energia similar a partir de fontes de energia por queima de combustíveis fósseis usuais. Concomitantemente, os impactos ambientais associados com a queima e emissão são mitigados, além do ganho associado aos destinos alternativos para a eliminação dos resíduos que, de outra forma não seriam utilizados como combustíveis, tais como os lixões, aterros ou incineração livre, constituindo-se na fonte mais importante dos benefícios ambientais atrelados à produção de energia proveniente de CDRSU

As principais categorias de alternativas (não-energéticas) de eliminação de resíduos de biomassa são:

Queima de resíduos agrícolas e florestais;

Eliminação de resíduos de madeira em aterros;

Compostagem e aplicação de resíduos no solo;

Propagação de lascas de madeira e casca como cobertura morta e cobertura de terreno em florestas de remanejamento, como material orgânico de adubagem.

A simples queima dos resíduos produz a emissão de poluentes atmosféricos altamente nocivos à saúde humana, gerando problemas, talvez mais graves, adjacentes a solução da deposição do RSU. Aterros controlados não resolvem totalmente o problema dos lixões em evitar a contaminação do solo, lençóis freáticos e mananciais próximos ao local da instalação e ainda pode ter um esgotamento acelerado se o processo de coleta seletiva não for qualificado.

A compostagem é um processo de digestão aeróbia com intuito de se obter um produto final inerte, inodoro durante todo o processo e ainda rico em húmus e minerais nutrientes que podem ser utilizados como fertilizantes naturais. Contudo, o processo de compostagem necessita de uma área muito maior que um aterro comum, o tempo para digestão de uma batelada de resíduos é bastante grande, com relação à necessidade de ocupação do solo e os mercados para o produto final são limitados, não absorvendo toda a produção em curto prazo. Além de um potencial de geração de gases de efeito estufa muito maior do que um aterro comum, em que a previsão de captação e queima de gases oriundos da biodigestão, como o metano, já estão presentes em projeto e licenciamento ambiental.

Deposição de resíduos de biomassa em florestas de remanejamento, muito comuns para a produção de papel e celulose, bem como madeira para construção civil, pode trazer problemas ambientais ligados à taxa de pluviosidade alta no Brasil. A água da chuva pode lavar os resíduos contaminando as bacias hidrográficas próximas e o solo como um todo. E ainda há uma enorme elevação no risco de incêndios nestas florestas, pela combinação de gases formados pela biodigestão aliados à presença de madeira altamente inflamável das árvores utilizadas nestas florestas.

A deposição de resíduos de madeira em aterro é uma opção indesejável, pois tem uma taxa mais lenta de decomposição em outros tipos de biomassas, sendo sua estabilização, prejudicial ao ambiente do aterro. Contudo, utiliza-se de 15% a 20% do espaço de um aterro típico com a deposição deste tipo de material.

3.3.1. Formas de Geração de Energia a partir do RSU

Incineradores

Incineradores geralmente operam a médias temperaturas e pressão atmosférica, fazendo com que os minerais e as cinzas formadas nos resíduos

da queima não sejam totalmente fundidos, como escória, durante os processos de incineração. Sólidos de cinzas sairão ao final do processo como partículas depositadas no fundo das câmaras de combustão ou poderão sair livremente como partículas arrastadas pelo fluxo de gases quentes que escapam do processo por chaminés de respiro.

No processo de incineração do RSU, resíduos de gases de combustão perigosos devem ser sempre processados em uma série de operações de tratamento para remover partículas arrastadas, metais pesados e gases ácidos, como o HCl, e precursores de outros ácidos inorgânicos, como NO_x e SO_x.

Os sistemas que processam as cinzas e os resíduos líquidos não podem exigir quaisquer controles de processo a jusante. No entanto, uma das configurações mais comuns para a limpeza do gás utilizadas em instalações de incineração de resíduos é uma supressão de gás (utilizado como gás de refrigeração), seguido por um depurador de venturi para remoção de partículas em uma torre borbulhadora para adsorção de gases ácidos além de precipitadores eletrostáticos e purificadores ionizantes úmidos. Sistemas de filtro de malha também são usados para remoção de partículas em algumas aplicações.

A Tabela 5 apresenta um comparativo entre o método de incineração e gaseificação do RSU.

Tabela 5: Comparativo entre método de Incineração e gaseificação do RSU

Comparação entre incineração e Gaseificação		
	Incineração	Gaseificação
Câmara de Combustão	Feita para maximizar a conversão de combustível em CO ₂ e H ₂ O	Feita para maximizar a conversão de combustível em CO e H ₂ (gás de síntese)
	excesso de ar	Quantidade controlada de oxigênio
	Ambiente altamente oxidante	Ambiente Redutor
	Operação a temperaturas abaixo do ponto de fusão das cinzas	Operação a temperaturas acima do ponto de fusão das cinzas com conversão de matéria mineral em brita vitrificada e matéria orgânica em fuligem
gases de escape	Fluxo de gás para limpeza à pressão atmosférica	Limpeza do gás de síntese a alta pressão
	fluxo de gás de escape dispersado na atmosfera	Gás de síntese tratado e utilizado para produção de subprodutos químicos ou geração de energia, com a subsequente dispersão de gases inertes
	precursores ácidos sulfúricos convertidos em SO ₃ e descarregado na atmosfera	recuperação do enxofre reduzido para produção industrial de ácido sulfúrico como subproduto
Resíduos, cinzas e escória	Cinzas depositadas no fundo e cinzas dispersas nos gases de escape são recolhidas e dispostas como material perigoso/contaminante	cinzas/escórias impassíveis de lixiviação, inertes e não perigosas, com possibilidade de utilização em construção civil. Fuligem possível de ser reciclada no gaseificador como recuperador de metais

Fonte: Própria

4. Tecnologia de Gaseificação por Leito Fluidizado

Atualmente o grande problema para a adoção destas usinas em países em desenvolvimento é o seu alto custo. As mais modernas usinas utilizam grande quantidade de gás natural e empregam caldeiras de níquel, tornando muito elevados os custos de capital e de operação.

Na modalidade aqui apresentada, a gaseificação emprega o Leito Fluidizado, que é um leito de areia aquecida e mantida em ebulição por injeção de ar aquecido. O Leito Fluidizado, através da abrasão, potencializa a eficiência de destruição de muitos tipos e classes de detritos sólidos, inclusive com elevado índice de umidade. A ação do atrito da areia nas partículas dos detritos tem o efeito de desfragmentar as camadas de dióxido de carbono que normalmente são formadas entorno das partículas dos detritos. Isto permite que o oxigênio alcance o material combustível dos detritos de forma mais ágil aumentando a taxa e a eficiência do processo de destruição.

A camada de areia do Leito Fluidizado, de cerca de 50 a 60 cm de profundidade, é mantida em ebulição por um jato de ar aquecido, que é injetado à velocidade de 165 a 231 cm por segundo. Uma vez que a areia é aquecida à temperatura operacional, os detritos sólidos são introduzidos na câmara e desintegrados imediatamente. A alta turbulência e a resultante mistura de detritos, ar e gases permitem que o Leito Fluidizado realize uma excelente combustão interna enquanto a operação é feita a temperaturas que variam de 760Cº a 927Cº. Estas altas temperaturas minimizam a formação de gases NOx, SOx, dioxinas e furanos, e produzem como resultado final, detritos inertes e estéreis que podem ser aproveitados na construção civil, equivalentes a 3% em peso do total de detritos processados.

As Usinas de Processamento de Detritos não causam qualquer tipo de poluição ambiental, podendo ser instaladas próximas às áreas urbanas, ou até mesmo, dentro delas.

Um leito fluidizado consiste em uma câmara de combustão fechada contendo um leito de partículas sólidas formado, em geral, por areia inerte. O ar é bombeado através do leito sólido resultando em uma força de flutuação nas partículas sólidas, que começam a flutuar junto à corrente de ar. Esse movimento das partículas forma um borbulho similar ao que ocorre em um recipiente com água fervente.

A ação do borbulhar dentro da câmara gera uma enorme turbulência e abrasão que, quando combinados com a presença do combustível e o próprio ar bombeado para movimentar essas partículas, geram um ambiente altamente propício para a uma combustão ou gaseificação eficiente e completa do material inserido. O comportamento do material inserido na câmara dependerá de suas dimensões e densidade, pois ele irá flutuar junto com as partículas na corrente fluida e se desintegrará, formando gases de combustão ou mesmo já realizando a combustão no momento da inserção. Ou, se tratar-se de material muito denso, irá se depositar no fundo da câmara, longe da saída da corrente de ar e posteriormente recolhido, evitando assim boa parte da emissão de metais pesados a que a incineração está sujeita.

O leito fluidizado pode ser formado por areia comum, negro-de-fumo, uma fuligem bastante fina e inerte ou mesmo uma combinação dos dois materiais. Já a corrente gasosa depende da utilização final do processo, das possibilidades de aproveitamento e aspectos econômicos relativos a custos de operação, podendo ser ar para utilização de um processo combinado de gaseificação/combustão para baratear os custos de operação da unidade, vapor para processos exclusivamente de gaseificação ou oxigênio puro em processo que demandam uma alta temperatura e alta eficiência na combustão. E o combustível pode ser depositado junto ao leito fluidizado, antes do início do processo ou mesmo durante o processo, atirando-o no fluxo fluido em qualquer direção ou momento.

Durante a operação, a câmara de combustão pode ser mantida entre 540°C e 980°C, pois quando a partícula de combustível atinge a corrente fluida, ela é rapidamente gaseificada em temperaturas relativamente baixas e a matéria carbonizada restante é imediatamente oxidada pela ação conjunta do calor, do oxigênio contido na corrente e da remoção de CO₂, cinzas, bolsões gasosos e fuligem superficial resultante da combustão imediatamente anterior em uma velocidade extremamente rápida e ainda fornecendo o calor suficiente para que o processo se realimente com a entrada de mais combustível na câmara.

Nesses sistemas usando material inerte na corrente fluida, as partículas de combustíveis sofrem essa ação de abrasão intensa pela areia fluida e a partícula expõe uma superfície limpa para reação com os gases da corrente. Como resultado, o tempo de permanência de uma partícula neste sistema é de apenas alguns minutos, em vez de horas em outros tipos de gaseificadores ou incineradores.

A grande capacidade térmica do material fluido movimentando-se na câmara, somada à mistura intensa no leito fluido permitem que este sistema possa processar uma quantidade muito maior e, normalmente, uma qualidade muito inferior do combustível, tanto em termos de poder calorífico quanto em termos de umidade do combustível inserido na câmara de gaseificação.

Experiências com um gaseificador do tipo EPIS indicou a capacidade de utilizar combustíveis com até 55% de umidade e alto conteúdo de cinzas, excedendo cerca de 25%. Isso se deve às temperaturas de funcionamento inferiores em um gaseificador de leito fluidizado quando comparada a outros gaseificadores, reduzindo o potencial para formação de escória e reduzindo a temperatura de fusão de cinzas

As densidades de energia em um gaseificador de leito fluidizado dependem das características do combustível, quanto menos úmido for, maior será densidade de energia e melhor a qualidade da queima de gás será produzida. Contudo, a transformação dos materiais voláteis que compõem os

combustíveis, principalmente quando se refere ao CDRSU, em uma câmara separada da câmara de combustão possibilita uma captura desta umidade em forma de vapor antes da entrada na câmara de combustão, possibilitando o aumento na produção de energia e o conseqüente aumento da eficiência de geração.

4.1. Princípios da gaseificação

A gaseificação é a decomposição térmica de matéria orgânica numa atmosfera deficiente de oxigênio produzindo uma composição de gases contendo combustíveis, líquidos e alcatrões, matéria carbonizada e ar ou gases inertes da corrente fluida. Normalmente, o termo "gaseificação" se refere à produção de componentes gasosos, considerando que pirólise, é utilizado para descrever a produção de resíduos líquidos e carvão vegetal. Este último, normalmente, ocorre na ausência total de oxigênio, enquanto a maioria das reações de gaseificação realiza em um ambiente pobre em oxigênio.

Em um gaseificador, as partículas de resíduos orgânicos estão expostas a altas temperaturas geradas a partir da oxidação parcial do carbono, principalmente. Como a partícula é aquecida, a umidade é um fator de perda de eficiência no processo. Podendo variar de 10% a mais de 50% em peso na entrada de combustível, quando se trata de CDRSU não peletizado.

Um maior aquecimento da partícula começa a expulsar os gases voláteis em sua composição que, no caso de resíduos orgânicos varia de 75 a 80% do peso seco total. Descargas destes materiais voláteis irão gerar um amplo espectro de carbonetos que variam de CO e metano a hidrocarbonetos de cadeia longa, compreendendo alcatrões, creosoto e óleos pesados.

Acima de 500°C, as partículas são reduzidas a cinzas e fuligem que, na maioria dos processos de queima, são os subprodutos desejados. Na geração de gás, no entanto, a fuligem fornece a energia necessária para o aquecimento e a

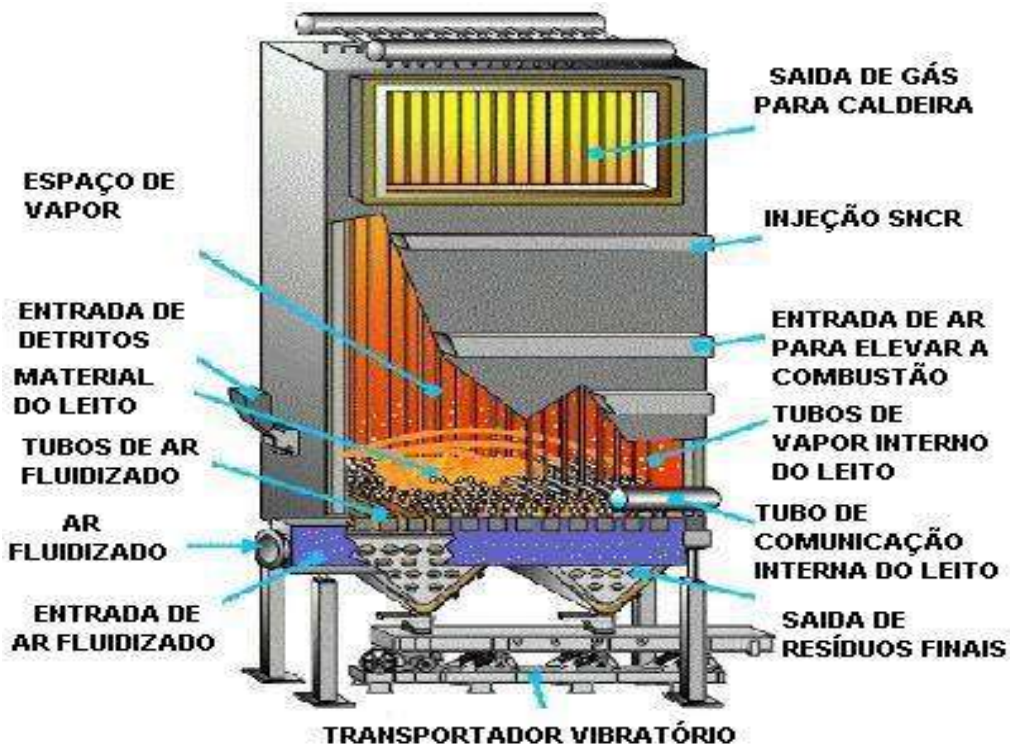
secagem de efeito anteriormente citados. E, normalmente, a fuligem entra em contato com ar ou oxigênio e vapor de água para gerar CO, CO₂ e calor.

A qualidade do gás gerado em um sistema é influenciada pelas características do combustível, configuração do gaseificador e a quantidade de ar, de oxigênio ou de vapor introduzidas. A saída e a qualidade do gás produzido são determinadas pelo equilíbrio estabelecido quando o calor de oxidação (combustão) equilibra o calor de vaporização e volatilização além do aumento da temperatura dos gases de escape.

A densidade de energia do gás, medida em BTU/ft.³, é determinada pela quantidade de gases voláteis (H₂, CO, CH₄, C₂, etc.) no fluxo de gás de combustão. Tendo em conta o equilíbrio do sistema, pode-se facilmente observar como o teor de umidade do combustível pode afetar a qualidade do gás com o calor libertado pelo material carbonizado, a uma quantidade fixa, supondo um fluxo constante de ar, somada a umidade no combustível e o calor consumido por evaporação.

Com este entendimento dos processos de fluidização e gaseificação, é possível compreender melhor os processos combinados dentro de um sistema de gaseificação de leito fluidizado, que pode ser observado na Ilustração 2 como ocorre dentro da câmara de gaseificação e na Ilustração 3, para um sistema de gaseificação por leito fluidizado com objetivo de geração de vapor para energia elétrica.

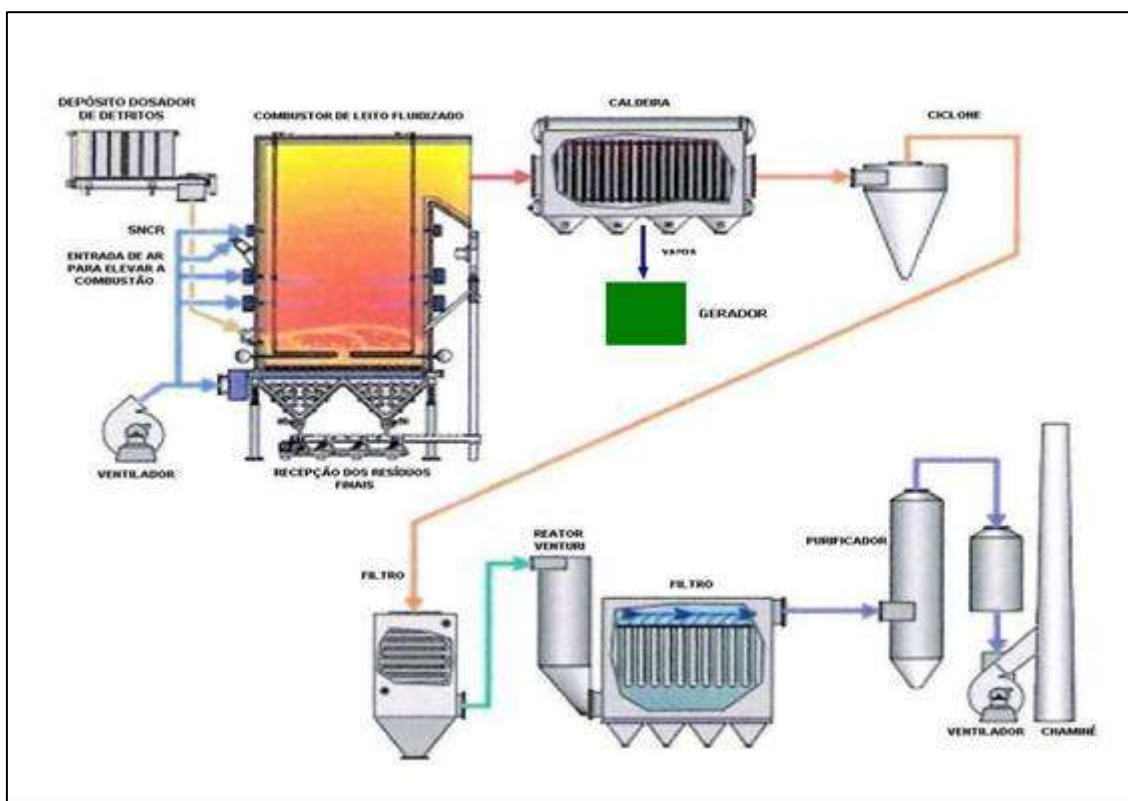
Ilustração 2: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA CÂMARA DO LEITO FLUIDIZADO



Fonte: Interport, 2010

A primeira consideração de design é a velocidade da corrente fluida, sendo determinado pelo tamanho médio do leito utilizado e estabelece a necessidade do fluxo de ar para o sistema. Os fluxos superiores de ar são limitados pelas velocidades de arrasto das partículas na corrente fluida. Já os fluxos inferiores são determinados pela mínima velocidade em que a mistura gás/partículas/combustíveis pode ocorrer de maneira eficiente.

Ilustração 3: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA USINA



Fonte: Interport, 2010

Sistema de distribuição de ar o ar, necessário para fluidização e gaseificação, entra na câmara de leito fluido através do plenum da corrente fluida, sendo o plenum uma pré câmara para mistura dos gases, ar, combustível e da corrente de partículas fluida. O ar é distribuído no plenum através de tubos de distribuição de ar individuais que estendem o diâmetro do combustor. Os tubos de distribuição são dimensionados para permitir o fluxo de ar e pressão adequados para os bocais da corrente fluida e ser autoportantes em toda a extensão do tubo. Estes tubos de distribuição de ar são equipados com mecanismos de expansão de manga deslizantes e portas de despejo na extremidade oposta da cúpula de ar e são espaçados para permitir o fluxo fluido e a corrente de combustível entre eles.

Os tubos de distribuição possuem cavidades de ar para reduzir a temperatura do material fluido e combustível projetando-os para fora do sistema de

arrefecimento. Este recurso permite o uso de equipamentos de limpeza e reciclagem gasosa em temperaturas mais baixas.

O ar é distribuído através do leito fluido pelos tubos de distribuição que são espaçados de forma a prover um fluxo de ar uniforme através do material do leito. Este fluxo é mantido por orifícios nos tubos que são customizados de acordo com cada projeto de gaseificador para atender os seus requisitos exclusivos.

Material do Leito: O material de cama é uma argila cozida, refratária, especificamente dimensionada para a aplicação. O material refratário deve ser selecionado por sua resistência ao choque térmico e abrasão.

Combustíveis: Os mais variados tipos de detritos podem ser processados, como domiciliares, hospitalares, industriais classificados, tóxicos classificados, patogênicos, pneus, plásticos, hidrocarbonetos, lodos domésticos, dejetos de animais, carvão, madeira, podas de árvore, capinagem e outros. Mais de 250 tipos de detritos já foram ou são processados em usinas implantadas ou em experiências piloto.

Subprodutos da gaseificação: A liberação de alcatrão em relação à temperatura de gaseificação de celulose tem sido estudada (Shafizadeh, 1982), pois é o principal material para formar, a partir da liberação de compostos de massa molecular pesados na região de temperatura de 300-500 ° C, além de H₂O, ácidos e hidrocarbonetos mais leves. Outros estudos têm se dedicado à caracterização dos principais componentes presentes na gaseificação de líquidos e de alcatrão (Williams, 1995, Horne e Williams, 1996, Brage et al. 1996, Kinoshita et al. 1994, Milne et al ., 1998).

Alguns dos subprodutos e emissões do processo de gaseificação são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Subprodutos e Fontes de Emissões na Gaseificação

Subprodutos e Fontes de Emissões na Gaseificação			
subprodutos			
Etapa do processo	Gasoso	Líquido	Sólido
Gaseificador	vapor	-	Escória/Brita vitrificada
Escape de gás	Gás de síntese limpo	enxofre altamente puro	resíduos do sistema de recuperação de enxofre / Resíduos dos filtros de escape
Resíduos e Escória	Gases pesados do incinerador advindos do sistema de recuperação de enxofre	Água de processo tratada	material particulado/ Brita vitrificada
Usos finais	Combustão em turbina aeroderivativa/ geração de vapor para calor de processo ou geração elétrica	Enxofre altamente puro para indústria química	reciclagem do material particulado para produção de CO e energia / utilização da brita vitrificada em construção civil ou em processos químicos de base

Fonte: Própria

4.2. Vapor do processo

Os efluentes gasosos aquecidos no combustor são direcionados à caldeira que imediatamente aquece a água em seu interior e a transforma em vapor, que pode ser utilizado para geração de energia elétrica ou uso industrial.

O vapor aquecido a alta temperatura (440°C) e submetido à alta pressão impulsiona a turbina que faz girar o gerador criando um campo magnético e conseqüentemente gerando energia elétrica.

Em um projeto típico processando 1.000 TPD (toneladas por dia) de detritos domésticos há condições de gerar aproximadamente 30 MWh de energia elétrica total, sendo que aproximadamente 10% deste total são utilizados na própria planta. Este rendimento é superior ao de métodos mais comuns, como a incineração de resíduos, cuja adoção é cada dia mais restrita, ou a simples queima dos gases resultantes de sua decomposição, adotada em alguns aterros sanitários.

4.3. Detritos finais inertes e sua destinação

Os detritos finais dos detritos são completamente estéreis, inertes e apresentam características similares às da brita e representam uma quantidade aproximada de 3% do peso original dos detritos.

Este material tem propriedades semelhantes à brita utilizada para a construção civil em misturas de concreto, e podem ser empregados para este fim ao final do processamento do CDRSU. Entretanto, caso seja necessária a estocagem, ou mesmo a deposição final deste material por falta de mercado – um risco possível – o processo não necessita de maiores cuidados como a construção de aterros especiais.

4.3.1. Dioxinas e Furanos

Vários materiais, quando queimados, podem levar à formação de dioxinas. Mesmo quando realizados em incineradores liberam no meio ambiente, várias substâncias congêneres da dioxina. Tais compostos são produzidos em baixas concentrações, como resíduos da queima de matéria orgânica em presença de produtos que contenham cloro. A produção de dioxinas pode ser evitada ou minimizada se forem empregadas altas temperaturas na incineração, visando assegurar a combustão completa dos resíduos. Como consequência de seu amplo espalhamento no meio ambiente, bem como de seu comportamento lipofílico (tendência em se dissolver em gorduras e não em meio aquoso), as dioxinas são biomagnificadas ao longo da cadeia alimentar, ou seja, como a

eliminação de materiais lipossolúveis é mais lenta do que a dos hidrossolúveis, ocorre uma bioacumulação de dioxinas em cada organismo. Como os organismos do início da cadeia alimentar são presas dos organismos do topo (dentre eles o homem), tem-se um aumento da concentração do contaminante nos organismos predadores, que representam o topo da cadeia alimentar. Mais de 90% da exposição humana às dioxinas é atribuída aos alimentos que ingerimos particularmente a carne, peixe e produtos lácteos. Dioxinas e Furanos, que são compostos que lembram a dioxina em termos de estrutura e que também provém da queima de resíduos orgânicos, estão presentes em peixes e carnes, exibindo concentrações da ordem de dezenas a centenas de picogramas por grama de alimento. Sendo que quantidades bem menores do que 1 grama e a exposição crônica a tais contaminantes podem causar sérios efeitos deletérios.

Em estudos envolvendo animais, uma dose diária de 1 nanograma de alguma dioxina por quilograma de massa corpórea por dia tem sido suficiente para ocasionar o surgimento de câncer. Com base nesses estudos, o governo canadense fixou como limite máximo de exposição às Dioxinas e Furanos o valor de 0,010 ng/kg/dia, estabelecendo assim um fator de segurança de 100 vezes em relação ao estudo realizado.

Embora os Furanos não sejam compostos tão estudados quanto às Dioxinas, acredita-se que ambas as classes exibam os mesmos padrões de toxicidade.

4.3.2. Limites de Emissões de Efluentes Gasosos e seu Controle

A câmara do Leito Fluidizado é um gaseificador que funciona de forma similar ao motor de combustão interna de um carro, exceto em relação às emissões que são extremamente limpas.

Todos os aspectos do projeto da Usina são direcionados a conseguir os mais baixos níveis possíveis de emissões. A redução dos efluentes gasosos

começam dentro do combustor onde as altas temperaturas, o tempo de residência, a turbulência e a mistura de ar e gás otimizam e asseguram os níveis mínimos dos produtos da combustão dos gases, incluindo-se VOCs (Volatile Organic Compounds) e emissões de Dioxinas.

A redução dos gases sulfurosos é iniciada através da adição de *limestone*, um tipo de pedra calcária, dentro do combustor. Esta adição também inibe a cinza resultante da formação eutética pela baixa temperatura no combustor. O limestone reagindo com o óxido de enxofre (SO), forma Sulfato de Cálcio que é removido pelo fluxo dos gases.

Mesmo com as temperaturas de combustão relativamente baixas e os níveis de oxigênio moderados pelo controle da combustão controlada, os níveis de NOx são calculados para se manterem inferiores aos limites permitidos.

A redução de todo o NOx restante é obtida através da pulverização de amônia aquosa dentro da região superior do combustor. A amônia aquosa pulverizada reage com o NOx formando vapor de água (H₂O) e Nitrogênio (N).

O cloro é removido através do tratamento dos efluentes gasosos adicionando-se cal ao processo.

As Dioxinas e o Mercúrio são eliminados adicionando-se carbono ativado aos efluentes gasosos.

Na finalização do tratamento dos efluentes gasosos, utiliza-se um filtro que retém 99.9% dos gases na forma particulada, obtendo-se detritos estéreis e inertes.

A Tabela 7 apresenta um comparativo de valores de emissões de gases nocivos exigidos e valores obtidos utilizando a técnica do leito fluidizado.

Tabela 7: Comparativo de valores de emissões de gases nocivos exigidos e valores obtidos para leito fluidizado

TIPOS	VALORES EXIGIDOS	VALORES OBTIDOS
MATERIAL PARTICULADO (MP)	70 mg/Nm ³	< 0,5 mg/Nm ³
SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS forma particulada		
Classe I - CD, Hg, TL	0,28 mg/Nm ³	0.05 mg/Nm ³
Classe II - As, Co, Ni, Te, Se	1,4 mg/Nm ³	0,5 mg/Nm ³
Classe III – Sb, Pb, Cr, Cn, Cu, Sn, F, Mn, Pt, Pd, Rh, V	7 mg/Nm ³	0,5 mg/Nm ³
GASES:		
Sox	280 mg/ Nm ³	0,1 mg/Nm ³
NOx	570 mg/Nm ³	191 mg/Nm ³
CO	100 ppm/Nm ³	< 1 mg/Nm ³
HCL	80mg/Nm ³ até 1,8kg/h	2 mg/Nm ³
HF + HBr	5mg/Nm ³	< 0,1mg/Nm ³
PCDD_PCDF (TEF) TCDD	0,50 ng/Nm ³	0,034 ng/Nm ³

Fonte: Própria a partir de dados do Conama

4.3.3. SOx, NOx e Material Particulado

Para um determinado material secundário, níveis de emissões de SOx, NOx e partículas provenientes de sistemas de gaseificação são reduzidos significativamente em comparação com sistemas de incineração. Em um ambiente de incineração oxidativa, compostos de enxofre e de azoto (ácidos nitrogenados) na alimentação são convertidos para SOx e NOx. Em contraste, sistemas de limpeza do gás de síntese – syngas - para gaseificadores modernos sistemas são projetados para recuperar 95 a 99% de enxofre no combustível como um subproduto de enxofre de elevada pureza. Da mesma

forma, azoto na alimentação é convertido em nitrogênio gasoso (N_2) e amoníaco no syngas, que é posteriormente é removido em sistemas de limpeza à jusante, e utilizado para depuração de partículas e gases refrigeração, além de poder ser utilizado em indústrias químicas como base de produção de fertilizantes.

Assim, quando o syngas limpo de precursores ácidos é queimado em uma turbina a gás para gerar eletricidade, a produção de SO_x e NO_x é reduzida significativamente. Se o syngas for usado como matéria-prima nos processos de fabricação de produtos químicos a jusante, estes compostos não são formados.

Usos típicos para o syngas limpo, como por exemplo, a produção de eletricidade em uma turbina a gás, queima em caldeira para produção de vapor e subsequente geração de eletricidade, geração com ciclo combinado, ou como matéria prima para indústria química exigem um syngas de produto com muito baixo teor de material particulado. Estes níveis são reduzidos ao serem processados por vários sistemas de limpeza de gás utilizados nos sistemas de gaseificação, tais como sistemas de filtração a seco ou purificadores de partículas são utilizados para levantamento primário deste material particulado. Esse material particulado capturado é formado basicamente por fuligem de matéria carbonizada e se compõe de carbono puro, podendo ser reciclada como combustível e/ou material de leito para a corrente fluida no gaseificador.

A remoção de possíveis partículas adicionais ocorrerá nos gases de refrigeração e nos sistemas de remoção de gases ácidos utilizados para recondicionar e recuperar enxofre no syngas cru. Como resultado, as emissões de partículas medidas em sistemas de gaseificação de carvão, onde o syngas limpo é queimado em uma turbina são de duas ordens de grandeza inferiores a existente em sistemas padrão para incineradores de resíduos perigosos (limite = 180 mg/dscm) e uma ordem de magnitude abaixo do limite para o padrão

MACT recentemente finalizado para incineradores de resíduos perigosos novos e existentes (limite MACT = 34 mg/dscm).

Emissões de compostos orgânicos provenientes de sistemas de incineração de resíduos são o principal constituinte de materiais orgânicos perigosos (POHC) na alimentação de resíduos e produtos de combustão incompleta (PICs).

As emissões destes compostos devem ser caracterizadas, extensivamente para incineradores de resíduos perigosos dos compostos orgânicos presentes nos resíduos de alimentos que devem ser destruídos com mais de 99,99% de eficiência, o que resulta em 99.9999% dos resíduos de dioxina listados.

Em geral, compostos orgânicos voláteis, como benzeno, tolueno e xileno, quando detectada, apresentam níveis de concentração de partes por bilhões, além de SVOCs, incluindo HAP, também podem ser detectados no syngas e/ou chaminé de escape de gás do incinerador em casos particulares, sendo que os SVOCs estão geralmente presentes em níveis extremamente baixos, da ordem de partes por trilhão de concentração.

Compostos de Dioxinas e de Furano (PCDD/PCDF) dificilmente estarão presentes no syngas do sistema de gaseificação por duas razões: em primeiro lugar, as elevadas temperaturas no processo de gasificação efetivamente destroem qualquer PCDD/PCDF, sejam materiais compostos ou precursores de formação destas substâncias presentes no combustível de um gaseificador de CDRSU. Em segundo lugar, a falta de oxigênio no ambiente do gás reduz, ou mesmo impede, a formação do precursor de cloro livre de HCl, limitando assim a cloração de qualquer precursores no syngas e assim evitando a formação destes compostos.

4.4. Aproveitamento das Cinzas

4.4.1. Gases de Escape

Cinzas geralmente são resfriadas com água ou ar resfriado na saída da Câmara de combustão são acumuladas em tanques de armazenamento antes de serem eliminadas em aterros para resíduos perigosos, podendo ser desidratadas ou sujeita a fixação química antes de serem eliminadas.

Resíduos também são gerados a partir dos sistemas de escape de gases de combustão durante o resfriamento de gás, a remoção de partículas e a absorção de gases ácidos. Esses processos de limpeza normalmente geram fluxos de cinza sólido ou fluxos aquosos contendo partículas finas que capturam e absorvem gases ácidos. Ainda alguns contaminantes orgânicos e sólidos residuais também podem estar presentes ao longo do processo e serão manipulados com as cinzas da Câmara de combustão.

Fluxos aquosos normalmente são neutralizados e descarregados para tanques de decantação ou processados para realizar precipitação química ou outra operação de tratamento de águas residuais padrão. Porém, alguns contaminantes concentrados (sólidos liquidados, lamas de tratamento, etc.) podem se acumular em tanques, filtros e intermédios de processos para impedir a emissão de poluentes perigosos, sendo finalmente eliminados em aterros especiais em volumes bastante reduzidos. A água tratada pode ser reciclada para os processos de limpeza de gás ou descarregada para a rede de tratamento de esgoto.

Fluxos residuais da unidade de operações nos sistemas de limpeza de gás de síntese e de gaseificação dependem da configuração da instalação. Em geral, no entanto, fluxos de água residual de processo contendo gases dissolvidos, minerais dissolvidos e partículas finas, são gerados na depuração do sistema.

Sistemas de filtragem a seco oferecem a vantagem da complexidade reduzida de manipulação e tratamento de sistemas de água de processo e normalmente

são processados rapidamente em uma câmara sob vácuo para remover os gases dissolvidos. Os sólidos finos são liquidados e filtrados da água que então é clarificada e reciclada no processo e os sólidos coletados podem ser eliminados com a escória, reciclados no sistema de preparação de combustível com o intuito de recuperar o valor energético no gaseificador, transformados ainda mais para transformação de metais, ou dispostos como um material separado, dependendo das características das matérias sólidas fino.

Para gaseificação de valores residuais pesados de refinaria e de coque de petróleo, sistemas de recuperação de metais especializados são freqüentemente usados para recuperar metais como níquel e vanádio que estão presentes nas matérias-primas em concentrações elevadas.

Em geral, estes sistemas são projetados para concentrar e coletar os metais pesados, as partículas em suspensão (ou seja, cinzas e carbono não queimado) removidas do syngas cru. Os processos normalmente envolvem a filtração de partículas de água de processo de fluxo para obter um bolo enriquecido em metais como níquel e vanádio.

O filtrado é reciclado para o processo de gaseificação, contendo carbono ativado, pode então ser oxidado num forno para recuperar o conteúdo de energia e produzir cinzas valiosas enriquecida em óxidos elementares como pentóxido de vanádio que podem ser vendidas para uso na indústria metalúrgica.

Condensado aquoso, fluxos dos gases de refrigeração de seção e menores fluxos aquosos adicionais provenientes dos sistemas de eliminação e recuperação de enxofre são normalmente processados em um separador de água para remoção de gases dissolvidos (principalmente sulfureto de hidrogênio, amoníaco e dióxido de carbono).

Sistemas de tratamento de águas residuais convencionais ou salmoura também são usados em algumas instalações para tratamento adicional de

fluxos residuais aquosos. A água tratada é então descarregada ou reciclada para o processo.

Um separador de água ácida saturada de vapor e gases de condensação podem ser reciclados de volta para a unidade de recuperação de enxofre ou encaminhadas para um incinerador para destruição.

4.4.2. Escórias e Brita Vítrea

Escórias e Brita Vítrea são os principais subprodutos sólidos da gaseificação. As escórias contêm os minerais associados ao CDRSU em uma forma vitrificada, uma substância dura, semelhante á brita comum. Este é o resultado da operação de gaseificador a temperaturas acima da fusão da matéria mineral. Nestas condições, metais não-voláteis estão ligados a esta forma fundida até ser resfriado em água, ou pela perda de natural calor na parte inferior de um gaseificador de leito fluidizado.

Metais voláteis, como o mercúrio, se presentes no CDRSU, normalmente não são recuperados nas escórias, mas são removidos do syngas bruto durante a limpeza.

A produção de escórias é função de quanta e quais minerais estão presentes no gaseificador de alimentação. Materiais como o carvão, quando utilizados como material de corrente fluida, produzem muito mais escórias asfálticas, independentemente dos combustíveis utilizados, enquanto a temperatura permaneça acima da temperatura de fusão das cinzas. Sua estrutura física é sensível às variações de temperatura e pressão de funcionamento e, em alguns casos, o exame físico da aparência da escória pode fornecer uma boa indicação de conversão de carbono no gaseificador.

4.5. Custos de Implantação

A tecnologia de queima do RSU por leito fluidizado apresenta um custo de implementação de cerca de US\$4.500,00 por kW instalado já considerando que o processo exige uma instalação de processamento e a instalação de queima e geração de energia propriamente dita.

Uma unidade de processamento com capacidade de 700 Toneladas/dia teria custo aproximado de 115 milhões de reais para uma capacidade entre 20 e 22 MW

4.6. Custos de Operação

A operação da unidade deve contabilizar os custos e receitas de manuseio do RSU, já que este é de responsabilidade municipal e, para regiões metropolitanas, são firmados contratos de gerenciamento destes resíduos em que são pagos por tonelada à empresa concessionária para realização da coleta, triagem, transporte e destinação final. Compreendendo os resíduos orgânicos, descartes de construção/demolição e material reciclável, a unidade de triagem e o aterro sanitário.

A receita com o Lixo, para a unidade é de cerca de R\$ 45,00 por tonelada e de R\$160,00/MWh gerado. Podendo ainda ser contabilizados créditos carbono e outros ganhos em passivos ambientais.

A operação tecnológica, considerando serviços de engenharia, troca de peças e equipamentos, e treinamento de pessoal especializado, além de outros insumos, devem ser contabilizados para os custos de operação e manutenção.

Para a mesma unidade de processamento de 700 Toneladas os custos de operação e manutenção são de aproximadamente R\$ 8,00 /MWh.

5. Geração de Energia elétrica

5.1. Geração

A geração de energia elétrica é a transformação de qualquer tipo de energia em energia elétrica. Esse processo ocorre em duas etapas. Na 1ª etapa uma máquina primária transforma qualquer tipo de energia, normalmente hidráulica ou térmica, em energia cinética de rotação. No caso da gaseificação por leito fluidizado, é utilizado o calor da queima do syngas para geração de vapor de alta pressão e este vapor impulsiona turbinas que, acoplada a um gerador elétrico transforma a energia de rotação em energia elétrica.

5.2. Cogeração

De acordo com a ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica), “Cogeração de energia é definida como o processo de produção combinada de calor e energia elétrica (ou mecânica), a partir de um mesmo combustível, capaz de produzir benefícios sociais, econômicos e ambientais. A atividade de cogeração contribui efetivamente para a racionalização energética, uma vez que possibilita maior produção de energia elétrica e térmica a partir da mesma quantidade de combustível.” Como pode ser observado na Ilustração 4.

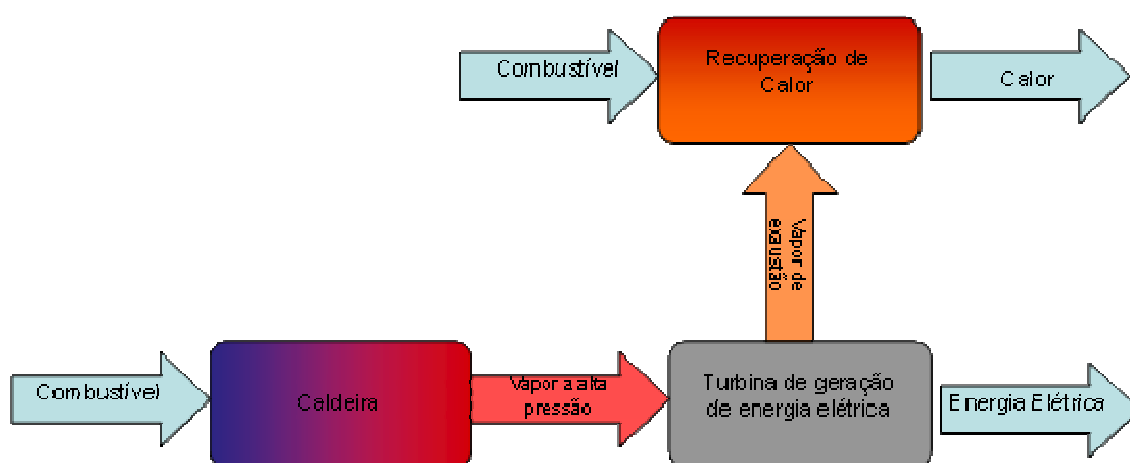


Ilustração 4: Esquemático de cogeração de energia elétrica e calor, com prioridade para a energia elétrica

Fonte: Própria

Diferentemente da geração, na cogeração a energia térmica, ou outro tipo de energia, é utilizado diretamente nos processos de manufatura, tais como fornos, caldeiras, entre outros. A cogeração é o reaproveitamento dos “resíduos” de energia dessas fontes para a geração de energia elétrica diminuindo, assim, as perdas e, conseqüentemente, aumentando o rendimento e o aproveitamento das fontes de energia.

A cogeração é a forma mais eficiente de gerar calor e energia elétrica a partir de uma mesma fonte de energia. Comparando a utilização de combustível fóssil com a quantidade de calor que é normalmente gasta no processo de geração de energia, a cogeração normalmente alcança níveis de eficiência 3 vezes maior, podendo chegar a 4 vezes, do que no processo convencional de geração. No entanto a cogeração passou a ser utilizada faz pouco tempo, em meados da década de 80, tornando-se uma alternativa atrativa como uma nova forma de geração de energia elétrica.

De fato, a cogeração é um dos maiores responsáveis pela grande diminuição da construção de usinas hidrelétricas e term nucleares ocorrida na década de 80 e hoje corresponde a mais da metade da capacidade das novas usinas instaladas na América do Norte na última década. Podendo ser uma ótima alternativa para instalação em uma unidade geradora de energia através do CDRSU, pois os vapores descartados ao final do processo de geração elétrica ainda apresenta altas temperaturas para utilização como calor de processo. Contudo para aproveitamento deste calor em unidades fabris e processos industriais é necessário que essas unidades estejam bastante próximas para que a perda do calor seja mínima no transporte através de dutos.

Os equipamentos de cogeração podem utilizar outros combustíveis além do syngas, podendo utilizar gás natural, madeira, bagaço de cana-de-açúcar, e outros combustíveis dependendo do local e disponibilidade, ou mesmo da necessidade de geração versus a própria disponibilidade de CDRSU para formação do syngas.

As implicações ambientais da cogeração são bem menores quando comparadas às do processo convencional de geração, não apenas pela sua inerente eficiência, mas também pelo seu caráter descentralizador. Isto se deve ao fato de ser impraticável o transporte de calor (energia térmica) a grandes distâncias, e os equipamentos de cogeração são localizados fisicamente próximos aos processos que utilizam calor. Desta forma a energia elétrica tende a ser gerada próxima aos centros consumidores, reduzindo as perdas pela transmissão e a necessidade de equipamentos para a distribuição. Um número significativo de conseqüências positivas para o meio ambiente, decorrem deste fato. As plantas de cogeração tendem a ser pequenas por isso podem pertencer e serem operadas por companhias menores e afastadas de um centro industrial. Como regra geral, elas também são construídas próximas a áreas populacionais, o que significa que devem ser mantidas no mais alto padrão ambiental. Como por exemplo, na Europa e cada vez mais, na América do Norte, a cogeração é o coração do sistema de calefação da cidade. Calefação distrital e cogeração combinados podem reduzir as emissões de gases poluentes mais do que qualquer outra tecnologia.

5.3. O Sistema de Geração

5.3.1. Geradores

O gerador elementar foi inventado na Inglaterra em 1831 por MICHAEL FARADAY, e nos Estados Unidos, mais ou menos na mesma época, por JOSEPH HENRY.

Este gerador consistia basicamente de um ímã que se movimentava dentro de uma espira, ou vice-versa, provocando o aparecimento de uma F.E.M. registrado num galvanômetro, como pode ser observado na Ilustração 6.

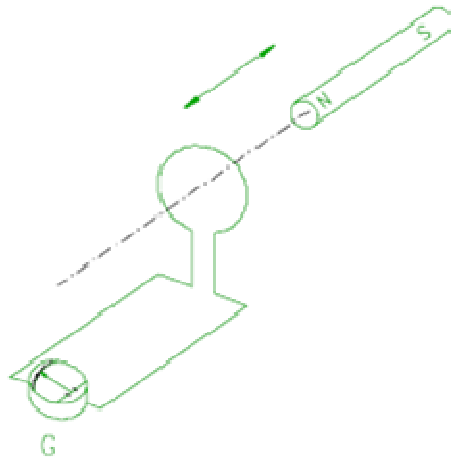


Ilustração 5: O galvanômetro "G" indica a passagem de uma corrente quando o ímã se move em relação a bobina.

Fonte: WEG, 2009

Geradores síncronos são máquinas destinadas a transformar energia cinética em energia elétrica, sendo praticamente toda a energia consumida nas indústrias, residências, cidades, etc..., são provenientes da eletricidade.

5.3.2. Tipos de Geradores de Energia Elétrica para CDRSU

Turbogeradores

São geradores acionados por Turbinas a Vapor;

Potência: até 20.000 kVA

Rotação: 1800 rpm (IV pólos)

Tensão: 220 a 13.800 V

O sistema de geração é formado pelos seguintes componentes: Máquina primária, geradores, transformador e sistema de controle, comando e proteção.

5.3.3. Máquina Primária

Máquina Primária que faz a transformação de qualquer tipo de energia em energia cinética de rotação para ser aproveitada pelo gerador. Por exemplo, a máquina que transforma a energia liberada pela combustão do syngas em energia é a turbina a vapor, que utiliza o calor da combustão para transformação de água em vapor de alta pressão e captura a sua energia cinética por meio desta turbina.

As principais máquinas primárias utilizadas hoje são motores Diesel, turbinas hidráulicas, a vapor, a gás e eólicas. Normalmente as centrais elétricas onde as máquinas primárias são turbinas a vapor, as centrais são classificadas em relação ao combustível utilizado para aquecer o vapor. Onde ocorre o processo de combustão as centrais são chamadas de termelétricas e onde ocorre o processo de fissão nuclear são chamadas de termonucleares.

5.3.4. Geradores

São os geradores que transformam a energia cinética de rotação das máquinas primárias em energia elétrica.

Os geradores são dimensionados de acordo com a potência que a máquina primária pode fornecer. Além da potência, o tipo de máquina primária (eólica, hídrica, térmica, etc...) define também a velocidade de rotação que irá ser transmitida ao gerador e, em função dessa velocidade é definido o número de pólos do gerador.

5.3.5. Transformadores

Uma vez gerada a energia elétrica, existe a necessidade de se compatibilizar o nível da tensão de saída com a tensão do sistema ao qual o grupo gerador será ligado. O equipamento utilizado para elevar ou rebaixar o nível de tensão é o transformador. Desta forma um grupo gerador que gera energia a uma

tensão de 13.8 kV pode ser ligado a uma linha de transmissão de 69kV desde que um transformador de 13,8/69 kV faça o ajuste da tensão

5.3.6. Controle, Comando e Proteção

Para interligar um grupo gerador a uma rede de transmissão ou distribuição são necessários vários requisitos. Em primeiro lugar, a tensão de saída do gerador não pode variar mais que 10% para cima ou para baixo. O controle da tensão é feito através da excitatriz do próprio gerador. No entanto, não basta apenas compatibilizar a tensão. É necessário que se faça o sincronismo com a rede antes de comandar o fechamento da linha. Para que estas medidas sejam tomadas, são necessários vários equipamentos de manobra e proteção, tais como TC's, TP's, relés e disjuntores. O quadro de comando e proteção reúne todos estes equipamentos, e permite ao operador supervisionar o funcionamento do sistema e atuar imediatamente caso se faça necessário.

A freqüência do sistema elétrico é a variável mais importante e a mais difícil de ser controlada. Para que o sistema de geração funcione corretamente, é necessário que a freqüência de tensão de saída do gerador seja constante e de acordo com o sistema elétrico da região em que se encontra. Por exemplo, no Brasil a freqüência de operação do sistema elétrico é de 60 Hz, e o sistema de geração de energia elétrica do Paraguai é de 50 Hz. Esta freqüência é função da rotação do gerador, portanto o gerador deve funcionar sempre em uma rotação fixa, que é aplicada pela máquina primária. Portanto ela depende da velocidade de rotação da máquina primária. Cabe ao sistema de controle atuar nos reguladores de velocidade das máquinas primárias e assim garantir uma freqüência fixa da tensão na saída do gerador.

A potência elétrica de saída do gerador é diretamente proporcional a potência mecânica transmitida pela máquina primária através do eixo. Sabemos que a potência mecânica na ponta do eixo de uma máquina girante é diretamente proporcional ao produto da velocidade de rotação e o torque na ponta de eixo:

$$P = k \cdot C \cdot n$$

onde k é uma constante de proporcionalidade.

Portanto, se o gerador precisar entregar mais potência para o sistema devido a um aumento súbito de carga, a máquina primária precisa aumentar o torque transferido ao gerador, uma vez que a rotação deve-se manter constante.

Algumas das principais diferenças entre os turbogeradores e os hidrogeradores é a velocidade de rotação e o momento de inércia da parte girante. Nos hidrogeradores a velocidade de rotação é normalmente bem mais baixa e o momento de inércia bem maior do que nos turbogeradores, uma das conseqüências desta diferença é a de que os turbogeradores necessitam de sistemas de controle de corrente de campo e controle da velocidade de rotação da máquina primária mais confiáveis e mais rápidos do que os hidrogeradores, pois uma perturbação na carga requer uma adaptação rápida e precisa do sistema de geração.

5.3.7. Geração a partir do Vapor

As máquinas a vapor foram as primeiras máquinas a produzirem energia mecânica aproveitável para processos industriais. Por isto essas máquinas foram fundamentais para o acontecimento da revolução industrial. Com o aparecimento da eletricidade, as máquinas a vapor se tornaram peças fundamentais para a geração de energia elétrica, uma vez que já existia o domínio dessa tecnologia.

As instalações de potência com turbinas a vapor podem visar apenas a obtenção de energia elétrica ou mecânica ou simultaneamente elétrica ou mecânica e vapor para o processo. Essas centrais podem trabalhar em circuito aberto ou fechado, sendo o circuito aberto muito utilizado quando se pretende utilizar calor para o processo, como pode ser observado na Ilustração 6.

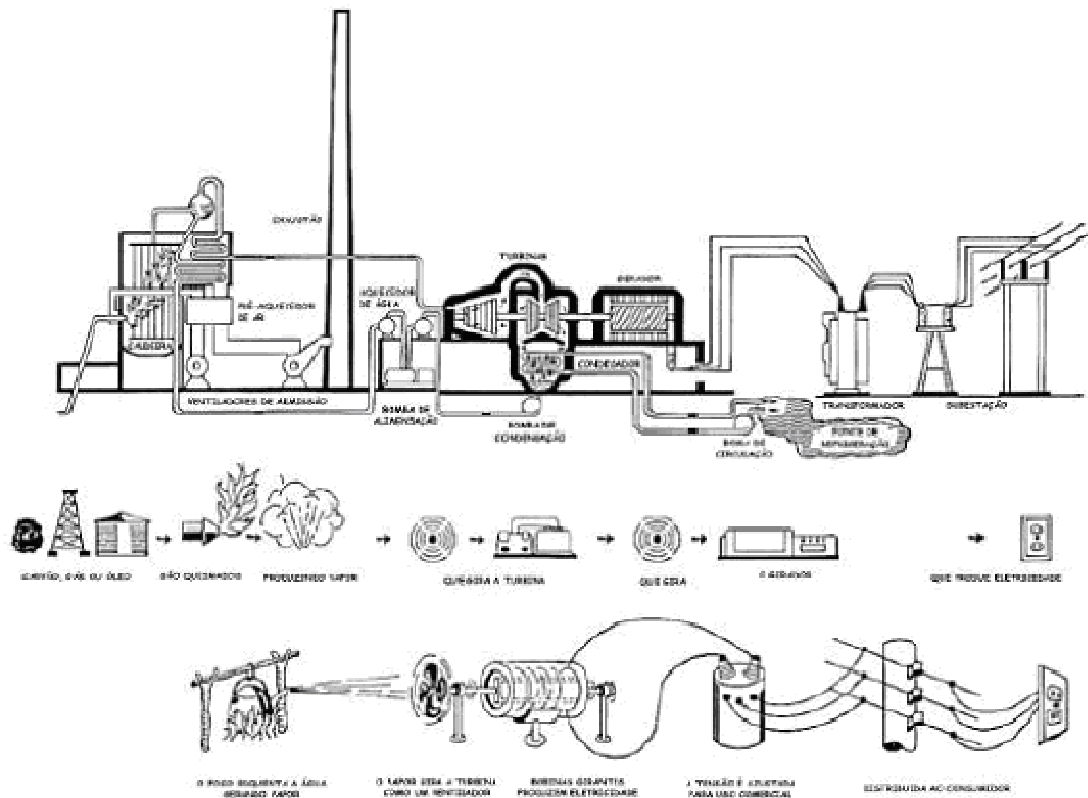


Ilustração 6: Esquemático da geração elétrica a partir do vapor

Fonte: WEG, 2009

O aquecimento da água é feito através da queima de algum combustível. De um modo geral denomina-se combustível, qualquer corpo cuja combinação química com outro seja exotérmica. Entretanto, condições de baixo preço, existência na natureza ou processo de fabricação em grande quantidade limitam o número de combustíveis usados tecnicamente. Tendo em vista seu estado físico, os combustíveis podem ser classificados em sólidos, líquidos ou gasosos. Os combustíveis sólidos são formados de C, H₂, O₂, S, H₂O e cinzas. Sendo combustíveis apenas os quatro primeiros elementos. Entre os combustíveis sólidos temos os minerais como turfas linhitas e carvão, e os não-minerais como lenha, serragem, bagaço de cana, de pinho etc. Os combustíveis líquidos também podem ser minerais ou não minerais. Os minerais são obtidos pela refinação do petróleo, destilação do xisto betuminoso ou hidrogenação do carvão. Os mais usados são a gasolina, o óleo diesel e o

óleo combustível. Os combustíveis líquidos não minerais são os álcoois e os óleos vegetais. Os combustíveis gasosos são divididos em naturais e artificiais. Entre os naturais destacam-se o gás dos pântanos CH_4 e os gases de petróleo. Entre os artificiais temos o gasogênio, gás de alto-forno e gás de esgoto.

Basicamente, uma instalação a vapor é composta de bomba, caldeira, turbina e condensador. Tendo em vista a pressão na saída da turbina, temos as instalações a vapor de condensação e de contrapressão. Nas primeiras, a pressão do vapor na saída da turbina é menor que a atmosférica, nas segundas maiores.

A combustão ocorre na caldeira, dentro da câmara de combustão onde são injetados o combustível e o comburente (ar). Após a combustão são retirados, como produto do processo, gases e cinzas constituídos de produtos não queimados. A liberação de energia térmica devido ao processo de combustão aquece a água na caldeira até evaporar. Uma vez na tubulação um superaquecedor eleva a temperatura do vapor aumentando assim a pressão para entrar na turbina. Ao passar pela turbina o vapor perde pressão e vai para o condensador onde volta ao estado líquido e é bombeado de volta para a caldeira.

A turbina é a máquina que transforma a energia da pressão do vapor em energia cinética de rotação e, através de um eixo de acoplamento, transmite essa energia para o gerador.

6. Conclusões

A viabilidade do sistema de geração de energia a partir da gaseificação e queima de CDRSU em leito fluidizado se mostra interessante do ponto de vista técnico, ambiental e socioeconômico, pois permite a utilização de um recurso renovável em uma tecnologia de aproveitamento de combustíveis com elevado grau de umidade como o RSU. Além de redução drástica no espaço ocupado para sua disposição final e a despreocupação com os cuidados inerentes aos problemas ambientais e sociais que a instalação de lixões e aterros trazem consigo, já que estes não serão necessários e o produto final é inerte e passível de utilização como matéria prima da construção civil.

A gaseificação de CDRSU para geração de energia elétrica através do leito fluidizado permite, não só a redução drástica no volume e no peso destes materiais para deposição, mas também que esses materiais sejam, ao final do processo, inertes e passíveis de reutilização em outros processos, como fabricação de concreto utilizando a brita vitrificada proveniente da queima do CDRSU.

Ainda há a vantagem com relação a outros procedimentos de geração de energia elétrica a partir dos RSU, tais como incineração e geração a partir do biogás, como, com relação ao primeiro método, a quase total eliminação de resíduos tóxicos sólidos, líquidos ou gasosos nos gases de escape ou nos vapores do processo, ainda permitindo a utilização de enxofre capturado na queima como subproduto para a indústria química. Impedindo assim a formação de dioxinas e furanos, altamente tóxicos que são formados na queima de resíduos alimentares orgânicos, fuligem e ainda aumentando consideravelmente o rendimento global do processo, já que não necessita de secagem do combustível para a incineração completa.

Já com relação ao método de formação de biogás para geração de eletricidade, apesar de benéfica como um todo, não pode sequer ser

comparada com o método aqui avaliado, já que ainda necessita que o RSU esteja depositado nos aterros para que haja a formação deste material, não resolvendo então o problema de espaços para a destinação final do lixo urbano, tampouco os problemas ambientais e socioeconômicos do entorno.

7. Referências bibliográficas

- [1] CETESB - Destinação Final de Resíduos Urbanos - Geração de Energia Renovável com Combustível Derivado dos Resíduos – CDR – Menezes, Ricardo - http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/recife_energia.pdf - Out/09
- [2] Bauer, J., Kölsch, F., & Borgatto, A. (2008). Vacuum-Heat-Drying for residual waste and biomasses . *6th International Conference ORBIT 2008 Wageningen, proceedings, Weimar* .
- [3] Bauer, J., Münnich, K., & Fricke, K. (2009). Large triaxial compression cell for the de-termination of meaningful shear strength parameters of MBT residues. *3rd International Workshop "Hydro-Physico-Mechanics of Landfills", Braunschweig, Germany* .
- [4] Bauer, J., Münnich, K., & Fricke, K. (2009). Response of MBT residues in large scale triaxial compression tests. *12th International Waste Management and Landfill Symposium Cagliari, Italia* .
- [5] Borba, S. M. (setembro de 2006). Análise de Modelos de Geração de Gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso. *Dissertação de Mestrado* . Rio de Janeiro , Brasil: COPPE/UFRJ.
- [6] Borgatto, A. V. (Fevereiro de 2006). Estudo do Efeito Fibra e da Morfologia na Estabilidade de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. *Dissertação de Mestrado* . Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ.
- [7] CTR- Itaboraí. (2009). Transcrição de Audiência Pública EIA/RIMA. *Centro de Tratamento de Resíduos CTR*. Itaboraí.
- [8] Ferreira, M. A. (setembro de 2006). Aplicação de Modelos de Avaliação Qualitativa e Quantitativa dos Percolados Gerados em um Aterro Sanitário. *Dissertação de Mestrado* . Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ.
- [9] Gotteland, P., Lemaréchal, D., & Richard, P. (1995). Analysis and Monitoring of the Stability of a Domestic Waste Landfill. *Fifth International Landfill Symposium, Cagliari, Italy* , 777-787.
- [10] Guedes, V. P. (dezembro de 2007). Estudo do Fluxo de Gases Através do Solo de Cobertura de Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos. *Dissertação de Mestrado* . Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ.

- [11] Izzo, R. L. (Agosto de 2008). Comportamento de Resíduos Sólidos Inertizados em Barreira Capilar. *Tese de Doutorado*. Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ.
- [12] Kölsch, F., Fricke, K., & Müller, W. .. (2008). Carbon Trade Project "Biological Waste Treatment for Gaobeidian (China). *Clean 2007, 35 (5)*, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, ISSN 1863-0650 .
- [13] Lima, L. M. (1995). Resíduos - tratamento e biorremediação, 3ª ed. São Paulo: Hemus.
- [14] Mahler, C. F., & Dantas, K. M. (2001). Deployment of an environmental management system in a company that co-processes waste in cement kilns . *Eighth International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliari* (pp. 559-568). Sardenha: CISA.
- [15] Nunes, A. K., Mahler, F., Valle, C. R., & Neves, C. (2006). Evaluation of investments in recycling centres for construction and demolition wastes in Brazilian municipalities. *Elsevier Waste Management* , 1016-1026.
- [16] Nunes, K. R. (Fevereiro de 2004). Avaliação de Investimento e de Desempenho de Centrais de Reciclagem para Resíduos Sólidos de Construção e Demolição. *Tese de Doutorado*. Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ.
- [17] Real, J. L. (março de 2005). Riscos Ambientais em Aterros de Resíduos Sólidos com Ênfase na Emissão de Gases. *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ.
- [18] Silva, A. T. (Setembro de 2008). Aspectos Meteorológicos e Balanço Hídrico em um Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos. *Dissertação de mestrado*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: COPPE/UFRJ.
- [19] Silveira, A. M. (março de 2004). Estudo do Peso Específico de Resíduos Sólidos Urbanos. *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ.
- [20] Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill.