



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
XXX.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT

**AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
APARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

José Geraldo de Melo Furtado *

Eduardo Torres Serra
CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL

RESUMO

A crescente produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) se constitui num atual grave problema ambiental, com negativos impactos socioeconômicos, em função da redução das áreas para a disposição destes resíduos. Assim, a possibilidade de aproveitamento dos RSU para a geração de energia elétrica representa a conjugação da valorização destes materiais residuais, da mitigação de problemas ambientais e do incremento da geração de energia.

Este trabalho tem por objetivo empreender uma avaliação tecnológica conceitual acerca da geração de energia elétrica a partir dos RSU, com o intuito de contribuir para a determinação da melhor forma técnica e econômica para o seu aproveitamento energético.

PALAVRAS-CHAVE

Resíduos Sólidos Urbanos, Energia Elétrica, Geração Térmica, Co-geração, Aproveitamento Energético

1.0 - INTRODUÇÃO

No atual cenário de contínuo agravamento dos problemas ambientais locais e globais, tanto pelas emissões de gases causadores do efeito estufa quanto pelas necessidades de disposição e tratamento de crescentes quantidades de resíduos sólidos urbanos (RSU), em função da intensificação da vida urbana e da ampliação das sociedades de consumo de massa, a valorização energética dos RSU mediante a sua conversão em energia elétrica tem sido enfatizada como uma ação em prol da sustentabilidade ambiental, apresentando ainda benefícios econômicos e sociais (1,2).

Contudo, a garantia da economicidade desta forma alternativa de geração de energia elétrica é fundamental para a sua adoção. Não se espera que a geração de energia elétrica a partir dos RSU seja solução global para os problemas energéticos, mas sim que ela possa se constituir em uma opção tecnológica de geração de energia e de destinação de RSU, para determinados nichos de mercado, mormente no âmbito da geração distribuída de energia elétrica, em função da atual tendência de procura por meios de geração de menor porte, com menores impactos ambientais e por elevadas eficiência, qualidade e confiabilidade. Neste sentido, a própria redução das emissões de metano (que tem um potencial de agravamento do efeito estufa cerca de 20 vezes maior do que o dióxido de carbono) (3,4), provenientes da decomposição dos resíduos orgânicos em lixões convencionais, mediante o aproveitamento dos resíduos, representa uma ação de mitigação de impactos ambientais.

De uma forma geral, as principais tecnologias que têm sido consideradas para o aproveitamento do conteúdo energético dos RSU na geração de energia elétrica dividem-se em dois grandes grupos: os processos que resultam na produção de misturas gasosas mediante a decomposição bioquímica anaeróbica da matéria orgânica

presente nos RSU e os processos termoquímicos de tratamento direto dos RSU ou de fração destes. Em função das características dos RSU, dos pré-tratamentos requeridos e, principalmente, das características construtivas dos sistemas e equipamentos que são empregados, os dois macro-grupos supracitados se dividem em diversas tecnologias específicas. Contudo, em ambos os casos, o que estes processos fazem é produzir misturas de gases e vapores, que podem apresentar composição química e conteúdo energético diversos, as quais podem ser empregadas em sistemas termelétricos convencionais de conversão de energia, com ou sem co-geração, ou mesmo em sistemas de geração com células a combustível, quando convenientemente purificadas (5). A escolha da tecnologia de geração depende de vários fatores e irá determinar a viabilidade do empreendimento, mediante o valor do custo da energia elétrica gerada e de seus benefícios secundários. Neste cenário, o presente trabalho tem por objetivo empreender uma avaliação tecnológica conceitual acerca da geração de energia elétrica a partir dos RSU, com o intuito de contribuir para a determinação da melhor forma técnica e econômica para o seu aproveitamento energético.

2.0 - AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS

A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático que mostra o panorama acerca do aproveitamento energético dos RSU em suas diversas opções de rotas tecnológicas e condicionantes. A completa descrição de cada uma das tecnologias consideradas exige considerável espaço, foge ao escopo do presente trabalho e pode ser encontrada nas referências bibliográficas.

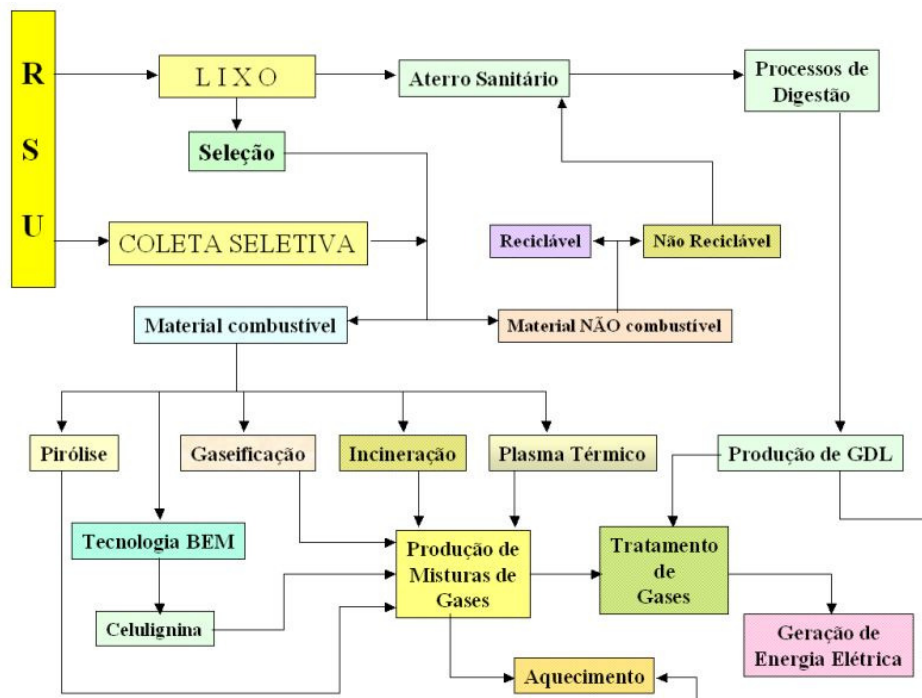


FIGURA 1 – Rotas tecnológicas para o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos.

Com base no diagrama da Figura 1 verifica-se que a tecnologia de produção de gás de lixo (GDL) – também conhecido como biogás de aterro ou simplesmente biogás, embora esta denominação seja mais adequada para o gás resultante da decomposição de resíduos específicos em biodigestores – é a tecnologia de base bioquímica, conforme anteriormente considerado, e as demais (Incineração, Pirólise, Gaseificação, Tecnologia BEM, Plasma Térmico) constituem o grande grupo das tecnologias baseadas em tratamentos térmicos dos RSU, as quais podem ainda assumir combinações com vários tipos de pré-processamento do resíduo e mesmo uma composição entre elas.

Uma análise comparativa global entre as tecnologias para aplicação em um caso específico requer uma avaliação das relações custo/benefício energético-econômico e socioambiental das alternativas disponíveis. Contudo, uma avaliação tecnológica conceitual pode ser feita a partir de uma análise comparativa acerca dos processos básicos,

equipamentos principais e macro-características intrínsecas a cada rota tecnológica considerada (6,7). Tal procedimento é justamente um estudo preliminar que visa contribuir para a elaboração de um estudo de viabilidade técnica e econômica de um empreendimento específico. No estudo conceitual ora considerado utiliza-se métodos de fatoração para estimação de investimentos com base na descrição básica da planta, seus equipamentos principais e sua complexidade tecnológica (6). No presente estudo, a tecnologia BEM (Biomassa-Energia-Materiais), uma variante da tecnologia de pirólise e gaseificação, que envolve a produção do intermediário químico celulignina para posterior aproveitamento energético, não será considerada na análise por se tratar de uma variante tecnológica, em desenvolvimento, específica intermediária aos processos de pirólise e gaseificação.

Conforme mostrado no diagrama da Figura 1 a produção de GDL envolve a decomposição anaeróbica dos RSU dispostos em aterros sanitários, sendo um processo que tem encontrado grande aceitação, principalmente nos países em desenvolvimento, em virtude de ser uma tecnologia que permite a estabilização dos RSU a custo relativamente baixo. Em linhas gerais, trata-se da disposição e compactação dos RSU em camadas estratificadas a partir das quais ocorre a lenta produção de GDL mediante a decomposição anaeróbica resultante da atividade microbiana. O GDL produzido é, essencialmente, composto por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), apresentando ainda outros gases, como nitrogênio, oxigênio e compostos sulfurados. Existem diversas formas construtivas do sistema de coleta para captura e transporte do GDL produzido, constituindo-se nas variantes da tecnologia; bem como detalhes construtivos que permitem maximizar a produção e coleta do GDL (como a utilização de cobertura impermeável), os quais, contudo, resultam em significativo incremento nos custos do sistema. O processo apresenta claros benefícios ambientais (uma vez que possibilita a captura e uso do metano – principal gás causador do “efeito estufa” – que de outra forma seria lançado na atmosfera), sendo, contudo, um processo de baixa eficiência quanto a o aproveitamento do GDL produzido, tanto devido às perdas no processo de coleta do gás, que, em geral, são elevadas (entre 10 e 40%) (2,4), quanto pelo fato de que o GDL é um combustível de baixo ou médio conteúdo energético. No entanto, o desenvolvimento de motores específicos para queimar o GDL tem possibilitado seu maior aproveitamento energético (2). Em se tratando do gás produzido em aterros sanitários o emprego mais comum é de turbinas a gás e, em grandes aterros, usa-se turbinas a vapor. A eficiência da geração elétrica varia de 20 a 50%, o que pode ser incrementado adotando-se sistemas de cogeração.

Henriques (8) efetuou um estudo acerca do investimento em sistemas de recuperação de GDL para geração de energia e concluiu que o investimento em equipamentos é o de maior peso, sendo que os compressores representam cerca de 42% do investimento total. Para este sistema, o custo médio de investimento está na faixa de 1.550 a 2.250 US\$/kWe de capacidade instalada. O referido estudo conclui que a questão de escala é fundamental para a viabilização da tecnologia, a qual se torna mais atrativa em se tratando de aterros de grande porte. Com efeito, para a produção de GDL é de fundamental importância a questão da escala, incluído-se a curva de produção ou vida útil do aterro sanitário, comportamento de variáveis climáticas locais, bem como as caracterizações físico-químicas dos RSU depositados e do conteúdo energético (p. ex. PCI – poder calorífico inferior) dos RSU em função do seu teor de umidade, o que impacta em seu rendimento como insumo energético e na necessidade de operações de secagem para condicioná-los. A Figura 2 apresenta, a título de exemplo, estas informações para a cidade de Belo Horizonte (2).

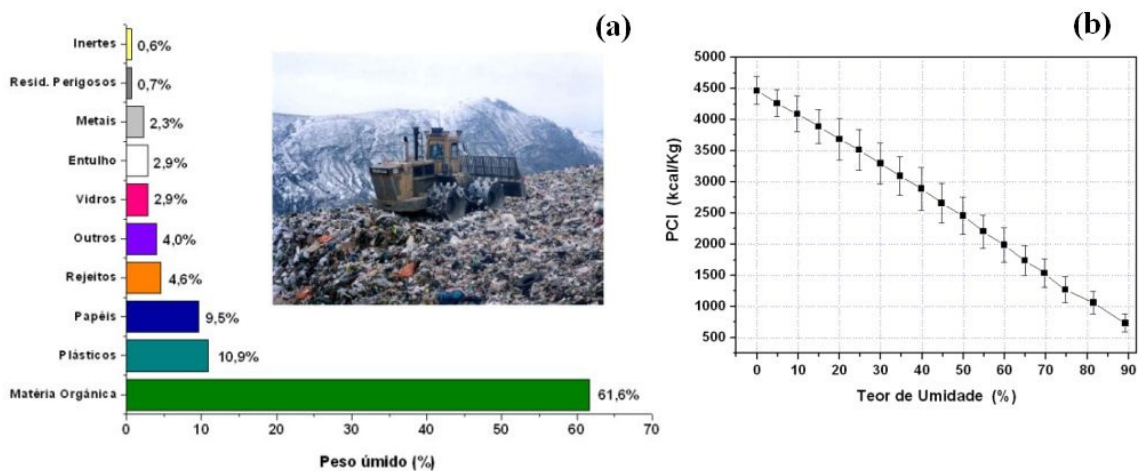


FIGURA 2 – (a) Composição dos RSU em Belo Horizonte; (b) Típica relação entre o PCI de RSU e o seu teor de umidade.

De uma forma geral, as tecnologias de incineração – empregando temperaturas elevadas que proporcionam a combustão dos resíduos, mediante sua queima direta – têm como principal vantagem a possibilidade de reduzir consideravelmente o volume total dos resíduos a serem destinados aos aterros sanitários, não gerando um passivo ambiental para as gerações futuras, apresentando ainda elevadas eficiências de conversão da energia dos RSU. Os resíduos do processo apresentam ainda elevado grau de inertização. Também os processos de incineração de RSU apresentam grande diversidade de opções tecnológicas em função, principalmente, dos tipos de resíduos processados e do tipo de forno empregado (rotativos, horizontais, leito fixo ou fluidizado). A principal forma de aproveitamento energético mediante a incineração de RSU é a utilização de sistemas à base de turbinas a vapor, características de centrais termoelétricas convencionais.

Em virtude de ocorrer a queima completa dos resíduos, resultando em grandes volumes de gases com amplo espectro de composição química, torna-se indispensável um sistema de tratamento dos gases de exaustão e, em função das crescentes preocupações ambientais, um rigoroso controle de emissões de poluentes extremamente nocivos, tais como monóxido de carbono (CO), CO₂, NO_x, SO_x, derivados halogenados, dioxinas, furanos e material particulado. Tais sistemas contribuem para a elevação do investimento e dos custos operacionais e de manutenção das plantas. Com a incineração controlada dos RSU é possível com 150 toneladas diárias gerar cerca de 3,3 MWh/dia (9).

Tanto as tecnologias de pirólise controlada e gaseificação quanto as tecnologias de plasma térmico podem ser consideradas no âmbito das tecnologias de incineração, em função de suas semelhanças com o processo clássico de incineração. No processo de gaseificação por pirólise, o gás produzido num reator passa por processos de troca térmica e limpeza para adequação de temperatura e composição química e pode ser alimentado a *boilers* ou mesmo turbinas a gás. A eficiência térmica global característica do processo de gaseificação (caracterizada por equipamentos mais compactos, dando maior flexibilidade de operação a planta) é superior àquela característica dos processos tradicionais de incineração (uma vez que se pode atingir temperaturas mais elevadas, sem comprometer a integridade da planta) e, principalmente, proporciona melhor controle da poluição. Tanto a pirólise quanto a gaseificação convertem os resíduos em materiais combustíveis ricos em energia aquecendo os resíduos sob condições controladas. Enquanto a incineração converte os resíduos totalmente em energia e cinzas, estes processos limitam deliberadamente a conversão, para que a combustão não aconteça diretamente.

Diferentemente dos processos tradicionais de incineração, na pirólise não há formação de cinzas, o material sólido resultante encontra-se vitrificado e, em geral, corresponde a cerca de 10% da massa original alimentada ao processo, podendo encontrar aplicação como insumo na área de construção civil. A pirólise é a degradação térmica de materiais carbonosos a temperaturas que oscilam entre 400 e 800°C, na ausência total de oxigênio ou com uma quantidade muito limitada deste gás. Este processo volatiliza e decompõe materiais orgânicos sólidos por meio do calor e não do fogo. Quando os resíduos são pirolisados (ao contrário de quando são queimados num incinerador), geram restos gasosos, líquidos e sólidos. Os resíduos sólidos são uma combinação de materiais não combustíveis e carbono. O gás de síntese produzido é uma mistura de gases, rica em monóxido de carbono e hidrogênio, apresentando ainda metano e uma vasta gama de outros compostos orgânicos voláteis. O gás de síntese tem um poder calorífico de 10 a 20 MJ/Nm³. A fração que se condensa pode ser recolhida e utilizada como combustível líquido.

No processo de gaseificação ocorre a conversão dos combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão) numa câmara ou reator de gaseificação. Existem vários tipos de gaseificadores, apresentando grandes diferenças operacionais quanto à temperatura e/ou pressão. Os mais comuns são os reatores de leito fixo e, principalmente, de leito fluidizado. O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo, particularmente se é ar ou oxigênio puro que está sendo usado na oxidação. Esse gás, depois de esfriado e tratado (limpo) pode, p. ex., ser alimentado a um motor de combustão acoplado a um gerador elétrico. A extração de máxima energia de um determinado combustível depende da eficiência da mistura deste com o oxigênio ou ar, e esta mistura é favorecida no caso de se utilizar combustíveis gasosos. Por isso a conversão dos RSU em combustíveis gasosos, mediante a operação de gaseificação, é considerada uma das melhores opções de geração de energia a partir dos RSU. O processo de gaseificação contorna os graves problemas de emissões de poluentes dos métodos ordinários de incineração. Este processo encontra-se entre a pirólise e a combustão (incineração convencional), posto que implica na oxidação parcial de uma substância. O oxigênio é acrescentado, mas não em quantidade suficiente para que produza uma combustão total. As temperaturas aplicadas são superiores a 750°C. Quanto aos custos envolvidos em plantas de pirólise e gaseificação, alguns autores (3,4,8) indicam que os custos operacionais são elevados, principalmente aqueles relacionados ao sistema de limpeza dos gases.

A tecnologia de plasma térmico utiliza sistemas de tocha a plasma térmico proporcionam a destruição dos RSU, produzindo gás de síntese, o qual pode ser empregado em sistemas de geração termelétrica convencional ou, após tratamento, até mesmo em sistemas de geração elétrica à base de células a combustível de alta

temperatura. Assim como nos processos clássicos de incineração, o resíduo produzido (material inertizado, essencialmente vitrificado, resultante da parte inorgânica dos RSU alimentados ao processo), representando um volume significativamente menor (em geral, cerca de 92-96% menor) do RSU original, também possui valor agregado e pode ser empregado na construção civil ou, dependendo dos tipos e homogeneidade dos RSU originais, podem também ser utilizados na recuperação de constituintes ou materiais industrialmente valiosos (10).

A tecnologia de plasma térmico baseia-se na formação de um plasma mediante o aquecimento de uma corrente gasosa, sendo, essencialmente, um processo de destruição térmica com cogeração. Com efeito, quando um gás é aquecido a cerca de 2000^oC, suas moléculas começam a se dissociar em átomos. A 3000^oC, os átomos são ionizados pela perda de parte dos elétrons. Este gás ionizado é chamado de plasma. O gás sob o estado de plasma apresenta boa condutividade elétrica e alta viscosidade quando comparado a um gás no estado normal. Esta tecnologia foi desenvolvida visando-se inicialmente a aplicação na destruição de resíduos perigosos; contudo, atualmente, tem ampliado o campo de aplicação para o tratamento de RSU de uma forma geral.

Apesar do elevado consumo de eletricidade na produção do plasma, a combustão dos gases resultantes do processo de gaseificação permite a produção de energia elétrica. O balanço energético final é positivo, da ordem dos 700 kW/ton de RSU (2,11). Os produtos retidos nos sistemas de lavagem (soda cáustica ou cal), podem ser introduzidos na câmara de tratamento sendo assim incorporados nas escórias vitrificadas, tornando possível ter-se apenas um único tipo de resíduo, a escória vitrificada. Uma instalação deste tipo, dado o elevado consumo de energia elétrica, faz sentido para o tratamento de grandes volumes de resíduos, tipicamente RSU em grandes cidades, acoplada a uma central termelétrica; trata-se portanto de uma solução alternativa às incineradoras de resíduos urbanos. A Figura 3(a) mostra a planta esquemática de uma estação de destruição de RSU por plasma térmico, identificando-se os principais equipamentos envolvidos, a qual guarda muita semelhança com as plantas de incineração convencional, embora seja mais compacta e apresente maior complexidade tecnológica (11). Na Figura 3(b) vê-se dois exemplos típicos de resíduos inertizados e vitrificados resultantes do processo de plasma térmico.

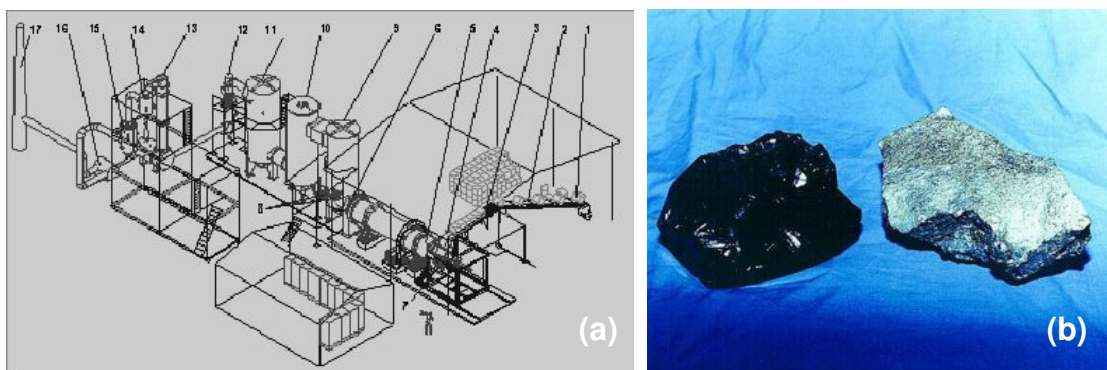


FIGURA 3 – (a) Representação esquemática de uma instalação de destruição de RSU por tocha de plasma térmico. Identificação dos componentes: 1. RSU embalados na entrada do processo; 2. esteira de transporte; 3. rolo do sistema de transporte; 4. alimentador (entrada) do processo; 5. forno rotatório; 6. câmara de descarga da escória; 7. e 8. tochas de plasma; 9. pós-queimador; 10. lavador de gases a seco; 11. câmara de extinção; 12. trocador de calor; 13. lavador de gases a úmido com venturi; 14. eliminador de névoa; 15. filtro; 16. soprador; 17. chaminé. (b) Típicos resíduos inertizados e vitrificados do processo de plasma térmico.

Conforme ressaltado na Figura 1, seja qual for a rota tecnológica de processamento dos RSU para geração de energia elétrica, é imprescindível o tratamento das misturas gasosas previamente a sua alimentação aos processos de geração propriamente ditos. Tal etapa pode representar uma parcela bastante significativa do investimento total da unidade, bem como dos custos de manutenção, em função da agressividade dos gases e misturas sólido-gás produzidas, as quais favorecem fortemente o desenvolvimento de processos corrosivos e erosivos.

Com base no conhecimento das principais características das plantas típicas de cada tecnologia considerada é possível identificar os tipos e quantidades de equipamentos principais para uma dada capacidade de produção. Essencialmente, tais plantas incluem: reatores de processo e caldeiras, fornos/fornalhas, tanques, compressores e bombas, motogeradores, turbinas e geradores elétricos acoplados, redes de trocadores de calor, torres de lavagem de gases, filtros e precipitadores, câmaras de poeira e coletores centrífugos. A estimação relativa desse conjunto básico de equipamentos é o requisito para o emprego de um método de fatoração para estimação de investimentos e custos com base na descrição básica da planta e sua complexidade tecnológica. No presente

trabalho utilizou-se uma adaptação do Método de Chilton (6), cuja representação básica em diagrama de blocos pode ser vista na Figura 4. Com base nessa metodologia foi possível estimar, através de um índice relativo de custo (adimensional), o valor relativo dos equipamentos em função de uma base normalizada (valores entre 0 e 5), bem como o valor normalizado relativo a toda a planta de processamento de RSU para cada tecnologia considerada. O gráfico apresentado na Figura 5 mostra os resultados obtidos nessa avaliação tecnológica.

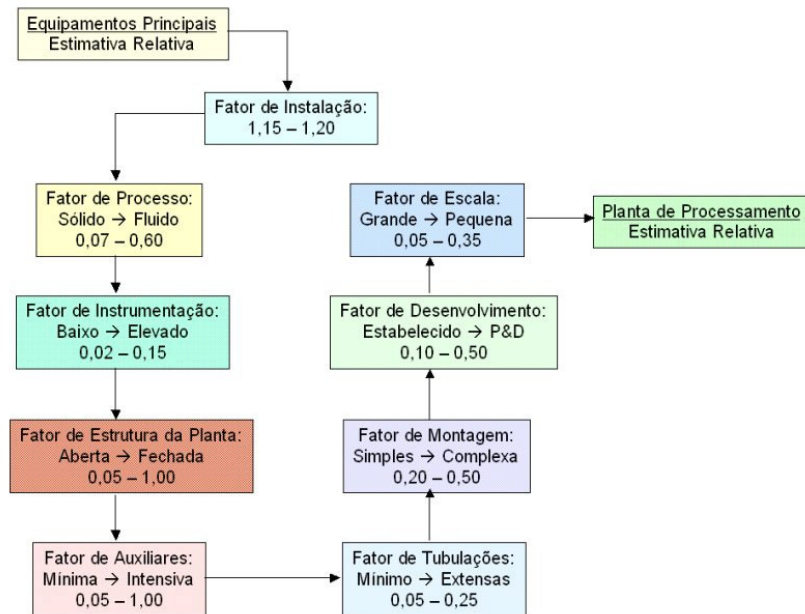


FIGURA 4 – Fluxograma básico em diagrama de blocos acerca do Método de Chilton adaptado para estimação de investimentos e custos de uma planta de processo.

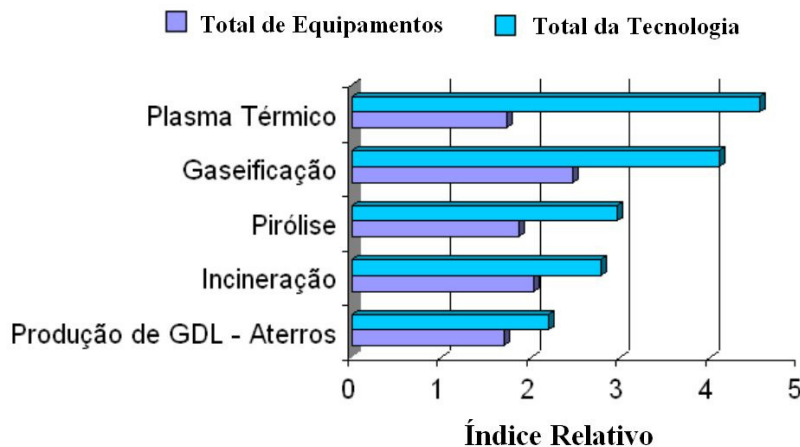


FIGURA 5 – Resultados da avaliação acerca do conjunto de equipamentos principais e do investimento relativo associados a plantas de processamento de RSU que empregam diferentes tecnologias de processamento.

A partir dos resultados apresentados na Figura 5 verifica-se que o maior investimento relativo associado aos equipamentos principais ocorre para as plantas de gaseificação e incineração. No primeiro caso o maior impacto está associado ao reator e ao sistema de trocas térmicas e integração energética que envolvem o processamento de grandes massas gasosas. Já no segundo caso os equipamentos intrínsecos de processo são mais convencionais, mas aqueles necessários ao sistema de limpeza e condicionamento dos gases de processo e exaustão são bastante significativos. Embora os equipamentos associados à tecnologia de plasma térmico sejam mais sofisticados e de maior custo, a elevada compacticidade da planta acaba favorecendo a obtenção de um menor índice relativo associado ao conjunto de equipamentos principais (2,11). Contudo, quando se trata da

avaliação da tecnologia como um todo, o maior índice de investimento/custo relativo é justamente da planta de plasma térmico, em função principalmente da complexidade de montagem e engenharia da planta, do elevado uso de instrumentação e controle, e do atual fator de desenvolvimento da tecnologia para processamento de RSU (2). Nota-se ainda que a planta de pirólise apresenta índices relativos intermediários entre as plantas de gaseificação e de incineração. Já o uso do GDL produzido em aterros sanitários apresenta os menores índices relativos nesta avaliação, refletindo principalmente o menor investimento associado aos equipamentos principais, sendo a maior parcela associada aos compressores (8). Contudo, deve-se notar que esta avaliação está restrita a abordagem comparativa dos aspectos intrínsecos das tecnologias consideradas, e não ao estudo dos efeitos de escala, logística, garantia de suprimentos, curva de produção e vida útil do aterro. Sendo que estes dois últimos aspectos são fundamentais para a avaliação da tecnologia de produção de GDL com vistas a um empreendimento específico.

De forma complementar, a Figura 6 apresenta os resultados obtidos numa análise simulada comparativa acerca do custo da energia elétrica gerada por uma planta hipotética, de capacidade de processamento igual a 1200 ton/dia de RSU nas condições apropriadas a cada tecnologia considerada. É importante ressaltar que a comparação entre a tecnologia de produção e uso de GDL e as tecnologias de base térmica é, além de relativa, tomada em bases diferentes, pois considerou-se que o aterro sanitário em questão encontra-se em condições ótimas de operação, com curva de produção de GDL estável, sem levar em conta efeitos de sazonalidade e condições climáticas, que são de difícil mensuração e que praticamente não produzem impacto sobre o desempenho das plantas que operam com as demais tecnologias. Ainda assim, estes resultados são condizentes com aqueles apresentados na Figura 5, mostrando essencialmente o peso do investimento em tecnologias novas de processamento de RSU (principalmente no caso da tecnologia de plasma térmico e de gaseificação) que na análise anterior apresentaram os maiores índices relativos de investimento/custo. De fato, programas governamentais de incentivo à geração de energia a partir de RSU, redução de emissões de metano, uso de benefícios do mercado de crédito de carbono e aumento da eficiência energética de geração podem alterar substancialmente o cenário em questão, proporcionando a redução do custo da energia elétrica gerada por estas tecnologias de processamento de RSU quando comparadas à geração termelétrica convencional. De fato, a título de comparação, pode-se p. ex. considerar os valores na faixa de 43 a 55 US\$/MWh característicos de usinas termelétricas a gás natural operando no Brasil (12). Dessa forma, os valores obtidos para o custo da energia elétrica gerada, para as tecnologias de produção e uso de GDL, incineração e pirólise mostram-se, de per si, competitivos.

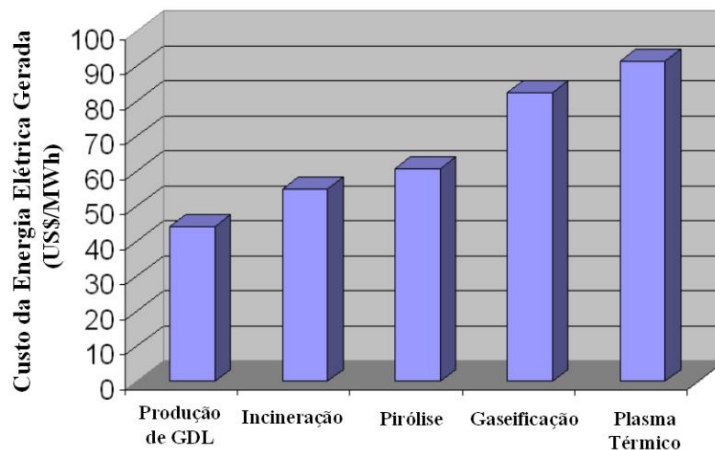


FIGURA 6 – Resultados da análise comparativa acerca do custo da energia elétrica gerada por plantas à base de processamento de RSU que empregam diferentes tecnologias de processamento (capacidade de 1200 ton/dia).

3.0 - CONCLUSÃO

A análise tecnológica empreendida permite concluir que no cenário atual os processos de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos tendem a ganhar importância. No que diz respeito à avaliação intrínseca das tecnologias de aproveitamento destes resíduos para geração de energia elétrica, infere-se que a maior complexidade tecnológica das plantas de gaseificação e plasma térmico, bem como pelo fato de se encontrarem em estágios não comerciais em grande escala, fazem com que estas opções apresentem os maiores índices de investimento/custo relativo, determinando os maiores custos da energia elétrica gerada. Contudo, pode-se depreender que num cenário regulatório mais favorável à geração alternativa de energia, tais tecnologias possam

sobressair em função das maiores eficiências de geração.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) RIBEIRO, L. A. Gestão de resíduos sólidos urbanos com geração de energia: O projeto Ecoparque de Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 2008.
- (2) Estudo de pré-viabilidade para aproveitamento de resíduos para geração de energia. Relatório de Estudo de Caso. Eletrobrás, CETEC, CEPEL, 3E-Engenharia Ecológica. Relatório interno depositado na Eletrobrás, 2006.
- (3) OLIVEIRA, L. B. Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- (4) OLIVEIRA, L. B., Reis, M. M., Pereira, A. S. Resíduos sólidos urbanos: lixo ou combustível?. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.
- (5) TROCCIOLA, J. C., LESIEUR, R. R., PRESTON, J. L., SEDERQUIST, R. A. Waste gas treatment system and method. U.S. Patent EP19960941461, 2002.
- (6) PETERS, M. S., TIMMERHAUS, K. D. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Mcgraw-Hill Book Co., Singapore, 1991.
- (7) DOUGLAS, J. M. Conceptual Design of Chemical Processes. Mcgraw-Hill Book Co., Singapore, 1988.
- (8) HENRIQUES, R. M. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- (9) LAGE, J. Usina no Rio produz energia a partir de lixo orgânico e plástico. Folha de São Paulo, pág. C4, 21 de março de 2009.
- (10) OOST, G. V., HRABOVSKY, M., KOPECKY, V., KONRAD, M., HLINA, M. Pyrolysis of waste using a hybrid argon–water stabilized torch, Vacuum, v. 80, p. 1132–1137, 2006.
- (11) OOST, G. V., HRABOVSKY, M., KOPECKY, V., KONRAD, M., HLINA, M. Pyrolysis/gasification of biomass for synthetic fuel production using a hybrid gas–water stabilized plasma torch, Vacuum, v. 83, p. 209–212, 2009.
- (12) HENRIQUES, R. M., OLIVEIRA, L. B., COSTA, A. O. Geração de Energia com Resíduos sólidos urbanos: Análise Custo Benefício. V Encontro Nacional da ECOECO, Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Caxias do Sul, 2003.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

José Geraldo de Melo Furtado

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 29 de março de 1974.

Doutorado (2005) e Mestrado (2001) em Engenharia de Materiais: COPPE/UFRJ. Graduação (1997) em Engenharia Química: UFRJ

Empresa: CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, desde julho de 2002

Pesquisador do Departamento de Tecnologias Especiais – DTE

Eduardo Torres Serra

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 12 de janeiro de 1948.

Doutorado (1980) e Mestrado (1975) em Engenharia Metalúrgica e de Materiais: COPPE/UFRJ. Graduação (1970) em Engenharia Metalúrgica: IME

Empresas: CBV – Indústria Mecânica (1970-1973), Companhia Telefônica Brasileira (1973-1975), CEPEL (1975-1986), TECMAT Tecnologia de Materiais (1987-1991), CEPEL desde 1992

Pesquisador Consultor – Diretoria Geral