

CLAUBER BARÃO LEITE

**Tratamento de Resíduos Sólidos com Aproveitamento Energético:
Avaliação Comparativa entre as Tecnologias de Biodigestão e Incineração**

SÃO PAULO

2014

CLAUBER BARÃO LEITE

**Tratamento de Resíduos Sólidos com Aproveitamento Energético:
Avaliação Comparativa entre as Tecnologias de Biodigestão e Incineração**

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para conclusão da especialização.

Orientadora: Profa. Dra. Virginia Parente

SÃO PAULO

2014

Leite, Clauber Barão

**Tratamento de resíduos sólidos com aproveitamento energético: avaliação comparativa entre tecnologias / C.B. Leite. – São Paulo, 2014.
43p.**

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Resíduos sólidos 2.Resíduos urbanos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

CLAUBER BARÃO LEITE

**Tratamento de Resíduos Sólidos com Aproveitamento Energético:
Avaliação Comparativa entre as Tecnologias de Biodigestão e Incineração**

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para conclusão da especialização.

SÃO PAULO

2014

Dedico este trabalho à minha esposa Gláucia e
minhas filhas Manuela, Lorena e Beatriz.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades que tem me proporcionado

À professora, Virginia Parente, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho

Ao PECE, e seu corpo docente, por tantos conhecimentos passados, e importante contribuição à minha formação

E todos que de forma direta ou indireta contribuíram na execução deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho visa a fazer uma avaliação econômica, ambiental e sócio-política das alternativas de tratamento de resíduos sólidos urbanos – incineração tipo *mass burn* e biodigestão – trazendo algumas experiências internacionais para o debate. Neste sentido, busca-se a análise dessas experiências no contexto do atendimento à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Quanto à disposição em aterros sanitários, essa não foi considerada como alternativa plausível, pois, segundo a PNRS, esta é uma rota de destinação final e não necessariamente de tratamento dos resíduos sólidos urbanos como as anteriormente mencionadas. Do ponto de vista metodológico, são utilizados procedimentos conhecidos, tais como: Fluxo de Caixa Descontado, Taxa Interna de Retorno e o Valor Presente Líquido, para se obter uma análise de custo/benefício. Adicionalmente, são mensurados os impactos de cada uma das tecnologias referidas. Ao final da avaliação, obteve-se a indicação de que a reciclagem, etapa presente em ambos os processos analisados, mostra-se um fator preponderante para a viabilidade do empreendimento, o que torna inviável a alternativa da incineração tipo *mass burn*, pois ela depende da queima do material reciclável. Já a alternativa da biodigestão (ou digestão anaeróbia) mostrou-se viável, desde que se considere em seu fluxo de caixa as receitas com o material reciclável. Nota-se, assim que a biodigestão é uma tecnologia que contribui para maiores taxas de reciclagem, pois ela depende exclusivamente da parte orgânica dos resíduos sólidos processados.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos; Avaliação Econômico-financeira; Incineração; Biodigestão.

ABSTRACT

The present work aims to make an environmental, economic and social assessment of alternative treatments of municipal solid waste – *mass burn incineration* and *biodigestion* – bringing some international experiences to this debate. In this sense, it analyses these alternatives in the context of the Brazilian Solid Waste Policy (PNRS, in Portuguese). The alternatives that are considered in this analysis includes *the mass burn incineration* plant type, and *anaerobic digestion*. Regarding the disposal in landfills, it will not be considered as an alternative, because according to PNRS, landfill disposal is an alternative of final destination and not necessarily of treatment. From the methodological point of view, well known procedures – such as *the discounted cash flow*; *internal rate of return*; and *the net present value* for a cost/benefit analysis– were applied. Additionally, the impacts of each of these technologies are measured. At the end of the evaluation, the results obtained indicated that recycling is a major procedure for the viability of the enterprise, and that therefore the alternative *mass burn incineration* becomes unfeasible, since it depends on the burning of the recyclable material, thus conflicting with recycling. On the other hand, the alternative of *anaerobic digestion* was viable as long as the revenues the recyclable material is considered in the cash net flow of the project. So, *anaerobic or biodigestion* contributes to higher rates of recycling, since it depends solely on the organic part of the solid waste.

Keywords: Municipal Solid Waste; Economic and financial evaluation; incineration; biodigestion

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Composição gravimétrica dos resíduos no Brasil

Tabela 02 – Poder Calorífico do Resíduo Sólido Urbano

Tabela 03 – Comparação dos custos de investimento e operacionais das alternativas de tratamento de RSU para uma capacidade de 1000 t /dia

Tabela 04 – Composição dos preços dos materiais recicláveis encontrados no RSU

Tabela 05 – Parâmetros alternativos para viabilização do incinerador

Tabela 06 – Alteração no Valor Presente Líquido com mudança do preço dos recicláveis

Tabela 07 – Resultados econômicos das alternativas propostas

Tabela 08 – Comparação das alternativas tecnológicas em relação a GEE.

Tabela 09 – Comparação das alternativas tecnológicas em relação a Conservação de Energia.

Tabela 10 – Geração de Energia das alternativas selecionadas

Tabela 11 - Análise qualitativa das alternativas de tratamento de RSU

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição das receitas Biodigestor

Figura 2 - Composição das receitas Incinerador

LISTA DE SIGLAS

ACB – Análise Custo Benefício

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CAPM – Capital Asset Pricing Model

CDR – Combustível Derivado de Resíduo

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

d – dia

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EMAE – Empresa Metropolitana de Águas e Energia

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente

GEE – Gases de Efeito Estufa

GWh – Giga watt hora

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

Kcal – Quilo Caloria

Kg – Quilograma

MJ – Mega Joule

MME – Ministério de Minas e Energia

ONU – Organização das Nações Unidas

PCI – Poder Calorífico Inferior

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

t – Tonelada

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMB – Tratamento Mecânico Biológico

URE – Unidade de Recuperação Energética

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REVISÃO DA LITERATURA APLICADA AO TEMA	12
3	ANÁLISE DA INCINERAÇÃO VERSUS A BIODIGESTÃO.....	17
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
5	BIBLIOGRAFIA.....	38

INTRODUÇÃO

A partir da regulamentação da Lei Federal 12.305/2010, por meio do Decreto 7.404/2010, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os municípios brasileiros passaram a ter prazos legalmente definidos para apresentação e implementação dos seus Planos Municipais de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Tais planos devem definir em curto e médio prazos, um sistema integrado de gerenciamento dos resíduos.

No início deste século XXI, a coleta regular de resíduos sólidos urbanos no Brasil alcançou uma taxa de aproximadamente 87% do total de domicílios urbanos (IBGE, 2010). Isto significa um montante superior a 180 mil toneladas de resíduos por dia. É de se esperar que esta taxa tenda a aumentar com a melhoria dos serviços de coleta e o aumento populacional. A PNRS mostra-se muito clara em seu artigo 3º quando traz algumas definições, primeiro define que uma destinação final ambientalmente adequada inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético. Segundo, define que disposição final ambientalmente adequada é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros. E, finalmente, define como rejeito todo o resíduo sólido que depois de esgotadas as possibilidades de tratamento, por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. (PNRS,2010)

Quando se busca alternativas para tratamento de resíduos sólidos verifica-se que a digestão anaeróbia e a incineração são rotas tecnológicas disponíveis, sobretudo no mundo. No entanto, além de serem processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, a PNRS, exige que os novos sistemas a serem implantados deverão respeitar uma ordenação básica de processos até o descarte final dos rejeitos. Tal ordenação é estabelecida no artigo

9º: “não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.” (PNRS, 2010)

Como objetivo desse trabalho pretende-se analisar duas tecnologias de tratamento de resíduos disponíveis, a digestão anaeróbia e a incineração e verificar se elas atendem ao requisito da PNRS sobre a viabilidade tecnológica e econômica, e como atendem a ordenação básica estabelecida.

As respostas às essas questões são importantes, pois os gestores públicos, a quem compete o prazo legal de adequação, deverão analisar as rotas tecnológicas disponíveis e adotar alguns critérios para eleger a mais adequada às peculiaridades locais.

Outra vertente da sociedade do século XXI é o crescente consumo energético, que por vezes causa também impactos à sociedade, sejam eles ambientais, sociais ou econômicos. A busca por alternativas que minimizem tais impactos vem mobilizando o setor público e privado no sentido de explorar soluções ainda não convencionais. Entre essas soluções está o aproveitamento energético dos resíduos, também previsto na PNRS.

São duas questões latentes na sociedade, a geração de resíduos sólidos e a crescente demanda por energia. Diante desta realidade é justificada uma avaliação, que busque a sinergia entre tais questões e, ao mesmo tempo oriente uma escolha de soluções técnicas que não conflitem com as políticas nacionais já estabelecidas.

Assim, a questão dos resíduos sólidos deixa de ser um desafio exclusivo do Poder Público e passa a ser também compartilhado por todos os agentes que participam da geração do RSU, desde sua fabricação, distribuição, consumo e destinação final.

1 REVISÃO DA LITERATURA APLICADA AO TEMA

Dentre as principais referências para esta revisão da literatura aplicada ao tema estão a tese de doutorado de Pavan (2010), e a dissertação de mestrado de Alves (2000). Em sua tese Pavan, avaliou duas rotas tecnológicas, a incineração e a digestão anaeróbia ocorrida nos aterros, enquanto Alves discutiu ações para viabilização de iniciativas que utilizam o biogás.

Segundo Pavan (2010), o tratamento dado aos resíduos sólidos ainda está aquém do que é praticado em países desenvolvidos, onde se destaca a União Europeia por se pioneira na implantação de políticas públicas na área de resíduos.

No Brasil, apesar da prática de utilização dos aterros serem a mais praticada dentre as opções no gerenciamento dos resíduos, ainda há uma carência muito grande em estudos precisos sobre as condições de operação dos aterros e lixões espalhados pelos territórios, principalmente os que estão localizados nas pequenas cidades e nas regiões mais remotas do estado (SANTOS, 2011).

A elevação do padrão de vida induz a um crescimento na geração de resíduos e que deve haver políticas de incentivo à redução de resíduos (ALVES, 2000). A composição dos resíduos sólidos urbanos varia bastante e está atrelada ao desenvolvimento do país, e esse

fator é importante a se considerar, pois as características dos resíduos altera diretamente o poder calorífico inferior dos resíduos, o que é determinante e altamente sensível, por exemplo, no caso da incineração (PAVAN, 2010).

A incineração de resíduos transforma os resíduos basicamente em três produtos: cinzas, gases da combustão e calor. As cinzas são em sua maioria formadas por constituintes inorgânicos que estavam presentes nos resíduos. Elas podem se aglomerar em nódulos sólidos (bottom ash), ou ser carregada diretamente pelos gases da combustão (fly ash). Os gases da combustão necessitam de um tratamento adequado para reduzir a concentração de alguns poluentes gasosos presentes e para reduzir a quantidade de material particulado antes de serem despejados na atmosfera. (SANTOS, 2011)

As tecnologias mais importantes de conversão de resíduos sólidos urbanos em energia são baseadas em métodos biológicos ou térmicos (PAVAN, 2010). Os trabalhos de Alves (2000) e Pavan (2010) não contemplaram a digestão anaeróbia acelerada de resíduos orgânicos, até porque esta é uma tecnologia não existente no Brasil. Para um aprofundamento nesta questão serão analisados os trabalhos de Baere e Mattheeuws (2012), que estudaram o status dessa tecnologia na Europa e tem um crescente aumento do uso desta tecnologia, sobretudo na Holanda, Suíça e Espanha.

A dissertação de Costa (2010), que além da avaliação da tecnologia fez uma avaliação sobre o impacto de recuperação de recicláveis. Ele conclui que a digestão anaeróbia ao potencializar a reciclagem de materiais e a redução da colocação de matéria orgânica nos aterros é seguramente uma potente ferramenta para a redução da emissão de gases de efeito de estufa.

Ainda segundo Costa (2010), que a eficiência da digestão anaeróbia não variará muito em função da região abrangida, mas sim em função dos equipamentos e processos de triagem instalados. De acordo com Jacobi (2011), as questões técnicas, econômicas e institucionais dificultam aos municípios realizar uma gestão integrada dos resíduos, sobretudo o não equacionamento da sustentabilidade financeira dos serviços. Ainda segundo Jacobi (2011), mais de 50% dos municípios brasileiros não cobram pelos serviços públicos de limpeza urbana, e, quando cobrados, esses valores são insuficientes para cobrir as despesas com a prestação dos serviços.

A PNRS determina a adoção de um sistema de logística reversa, onde o produto deve retornar, após seu uso pelos consumidores, aos respectivos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. Salientando-se dentre esses produtos os chamados resíduos especiais como os agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, eletroeletrônicos e seus componentes, além das embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão dos impactos que possam causar à saúde pública e ao Meio Ambiente. Nesse sentido, segundo Bonetto (2013), o gerador de resíduos sólidos só terá cessada sua responsabilidade, a partir do momento em que lhes der destinação final ambientalmente adequada.

Segundo Jacobi (2011), o aterramento deve ser efetuado como última alternativa e somente para a parcela que não apresenta condições de recuperação e reciclagem, como preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A incineração de resíduos não é uma solução sustentável, pois não contribui para a mudança de padrões de consumo, e com o envolvimento da população na gestão dos resíduos. E, paralelamente, os custos de aterramento, que incluem o transporte até o local de destino e o monitoramento ambiental,

tende a crescer significativamente com o crescimento populacional das grandes cidades (MENEZES,2000).

Segundo Brigdwater (1999), a biomassa pode ser usada em diferentes alternativas para prover energia. Portanto podemos aplicar os mesmos conceitos de biomassa para o RSU. A primeira e mais conhecida é a combustão direta, que no caso dos resíduos seria a incineração. A segunda seria a gaseificação, para prover gás combustível. Outra alternativa seria a pirólise rápida, que proveria um combustível líquido, que poderia ser usado para produzir uma gama de produtos químicos. De acordo com a FEAM (2012), as principais tecnologias de tratamento térmico de resíduos, com aproveitamento energético, são a incineração, a pirólise, a gaseificação, o plasma e o coprocessamento em forno de clínquer.

A gaseificação é o processo de reação de carbono com o vapor para produzir hidrogênio e monóxido de carbono. Nesse processo ocorre a conversão da matéria-prima sólida ou líquida em gás por meio de oxidação parcial, sob a aplicação de calor. (ENGEBIO, 2010). A gaseificação também ainda está em fase de estudos, havendo algumas plantas instaladas, geralmente de pequeno porte, que utilizam madeira, casca de arroz, palha e outros resíduos agrícolas. (FEAM,2012)

E ainda a tecnologia de tratamento químico de resíduos como a despolimerização catalítica, que converte a biomassa para líquido, através da despolimerização catalítica da biomassa, este processo é principalmente baseado na liquefação direta. Esta tecnologia pode fornecer uma maior produção de diesel devido à sua alta eficiência energética, 70%, enquanto o processo gaseificação da biomassa e síntese de Fischer-Tropsch tem uma eficiência de 33% a 50%. (LAOHALIDANOND, 2005)

Outra alternativa, já em escala comercial, é a compostagem. Ela tem se mostrado eficiente para o tratamento dos orgânicos, porém não há aproveitamento energético nessa tecnologia. Mas há outros benefícios decorrentes desta aplicação, que vai desde a redução do volume de rejeitos destinados aos aterros sanitários à contribuição em relação às emissões de gases de efeito estufa (GABIATTI, 2007).

1.1 METODOLOGIA ADOTADA CUSTO/BENEFÍCIO

Esse estudo foi feito através de levantamento de referências bibliográficas e artigos científicos relacionados ao assunto. Conforme definição dos limites de abrangência desse estudo foi utilizada a ferramenta de análise de custo benefício (ACB), para estudo de alternativas da gestão dos resíduos sólidos urbanos.

A ACB foi desenvolvida, com algumas adaptações, seguindo a metodologia da U.S ARMY (2013), que se divide da seguinte forma: 1. Definir o problema; 2. Definir escopo, Formular hipóteses e Identificar Restrições; 3. Definir e documentar as alternativas; 4. Desenvolver estimativas de custo para cada alternativa; 5. Identificar benefícios quantificáveis e não quantificáveis; 6. Definir critérios de seleção alternativos; 7. Comparar Alternativas; 8. Relatar os resultados e recomendações.

Na definição do projeto deve-se verificar quais são os recursos que serão aplicados bem como possíveis impactos do projeto. Os impactos podem ser divididos em, impactos econômicos, sociais e ambientais, que podem tanto ser negativos quanto positivos. O escopo de aplicação da análise define a faixa de cobertura englobados pela ACB ao longo

de dimensões específicas, tais como tempo, localização, organização, tecnologia ou função. (U.S ARMY, 2013).

2 ANÁLISE DA INCINERAÇÃO VERSUS A BIODIGESTÃO

Nesta etapa do trabalho são comparadas as rotas de incineração e biodigestão para o tratamento de RSU. Inicialmente é feita uma análise das alternativas existentes face ao problema de ordem econômica, social e ambiental que é o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. São levantadas as hipóteses e restrições e definidas as alternativas a serem aprofundadas. Por fim, é feita uma estimativa de custos, e outros benefícios de cada uma das tecnologias, desta maneira possibilitando fazer uma comparação entre elas.

2.1 ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

O objetivo da Análise Custo Benefício (ACB) é comparar custos e benefícios associados aos impactos das estratégias alternativas de políticas em termos de seus valores monetários. Dessa forma a ACB será sempre o expediente mais óbvio a ser adotado em muitas situações, desta maneira, o tomador de decisões procurará comparar, em cada opção, o custo de realizá-la versus o resultante benefício e decidir por aquela que acredita ter a relação custo-benefício menor. (SEROA DA MOTA, 1997).

No atual contexto de consciência da limitação de recursos, os tomadores de decisão buscam aproveitar de maneira prudente todo o recurso que lhes estar disponível. Neste contexto de tomada de decisão, uma boa alternativa é a utilização das ferramentas de ACB.

Para cada iniciativa que é apresentada – incineração ou biodigestão – é necessária a apresentação de um quadro preciso e completo das estimativas de custos e benefícios a serem obtidos.

A ACB deve fornecer aos tomadores de decisão fatos, dados e análises precisas para que de fato seja tomada a melhor decisão. A ACB é uma ferramenta de apoio para resolver um problema ou aproveitar uma oportunidade. Como resultado ela pode economizar e/ou evitar custos, melhorar as receitas e fluxo de caixa, melhorar o desempenho e reduzir ou eliminar gaps de conhecimento.

A ACB considera todos os benefícios, sendo eles financeiros ou não. Esta característica é importante, pois embora os requisitos financeiros possam favorecer uma decisão em detrimento de outra, pode haver situações que dados não financeiros são considerados mais importantes para os tomadores de decisão.

Por fim, podemos concluir que a ACB não é um substituto para a tomada de decisão, é sim uma ferramenta importante, com a qual o tomador de decisão tem todas as informações importantes disponíveis para que seja tomada a melhor decisão.

2.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Diversos aspectos de ordem econômica, social e ambiental, conferem ao tema gestão adequada de resíduos uma importância mundial. A consciência da população tem crescido, mesmo diante da crescente degradação dos ecossistemas, o que nos coloca diante de um grande paradigma, ou seja, de como a sociedade deve crescer de uma forma sustentável,

de maneira que todos usufruam dos benefícios do meio ambiente, sem que prejudique as gerações futuras (BRUNDTLAND, 1987).

Diante desta perspectiva é que muitos países iniciaram um processo de organização da gestão dos resíduos, desde a tradicional coleta, transporte e disposição final até as estratégias de associação de parcerias público-privada. Tal processo busca a valorização dos resíduos, estabelecendo assim a denominada gestão integrada dos resíduos sólidos. A gestão integrada dos resíduos sólidos caracteriza-se pelas diferentes formas de gestão, que basicamente iniciam-se pelo acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final (GÜNTHER, 2006).

O acondicionamento é o ato de embalar ou acomodar os resíduos em sacos plásticos ou embalagens, vasilhames ou demais recipientes, para fins de armazenamento, coleta e transporte. O ato de acondicionar o resíduo é uma etapa de suma importância para os processos seguintes, ele afeta diretamente a eficiência da operação. Um acondicionamento inadequado, além de acarretar uma menor eficiência e consequentemente um aumento de custos, impacta também na destinação final, uma vez que uma recuperação pode ser inviabilizada pela contaminação do resíduo.

A *coleta* e o transporte são serviços que consistem na remoção até o destino apropriado. O transporte deve ser feito de maneira responsável, em condições que garantam a segurança e preservação das pessoas e do meio ambiente, respeitando a legislação vigente.

O *tratamento* dos resíduos, apesar de ser uma etapa intermediária, talvez seja a etapa que mais pode contribuir com tecnologia para atender as exigências ambientais. Esta também é a etapa que mais necessita de investimento, pois é praticamente inexistente na maioria dos municípios brasileiros, pois a disposição em aterro não pode ser considerada como tratamento. Atualmente há alguns processos eficazes para o tratamento de RSU, tais como,

incineração, tratamento biológico, reciclagem, entre outros. O tratamento é essencial para reduzirmos a quantidade de resíduos para a disposição final, ampliando assim a vida útil de aterros em operação e reduzir a necessidade por novas áreas. Também o tratamento possibilita a redução da demanda sob recursos naturais, recuperando recursos existentes nos resíduos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos define como disposição final ambientalmente adequada a:

...Distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (PNRS, 2010).

E ainda diferenciou os rejeitos e resíduos sólidos no seu artigo 3º e incisos XV e XVI:

XV Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (PNRS,2010).

Portanto, esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, os rejeitos deverão ser dispostos em aterros ambientalmente adequados e licenciados de acordo com a PNRS. Todo o sistema de gerenciamento de resíduos deverá, assim, ser revisto, pois o que acontece na maioria das vezes é que os resíduos são dispostos em aterros sem qualquer tipo de tratamento. Os responsáveis pelo gerenciamento de tais resíduos podem até argumentar que não existem tecnologias para tratamento ou que essas não são

economicamente viáveis. Porém, antes de enviar os resíduos sem um tratamento adequado aos aterros, tais responsáveis passarão, após a entrada em vigência da PNRS, prevista para agosto de 2014, a ter que justificar esse procedimento.

A PNRS, também reconhece os resíduos como: “um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania” (PNRS, 2010). Entende-se que esta seja, de fato, a forma correta de os resíduos serem gerenciados para evitar-se o modo precário com que a disposição final vem ocorrendo. Evidentemente, sem se esquecer da ordem de prioridade estabelecida na referida PNRS de 2010: (1) não geração; (2) redução; (3) reutilização; (4) reciclagem; (5) tratamento; e (6) disposição final ambientalmente adequada.

Não há dúvidas que a disposição inadequada dos resíduos implica em uma série de riscos ambientais, entre os principais a contaminação do solo e águas e a emissão de gases de efeito estufa. Por outro lado um aterro em que só se recebe os rejeitos, terá sua vida útil prolongada e uma minimização dos riscos tanto à saúde pública quanto ao meio ambiente.

2.3 HIPÓTESES E RESTRIÇÕES

A *recuperação energética* é, neste início de século, uma realidade e uma alternativa concreta para a destinação dos resíduos sólidos urbanos em várias localidades. Essa recuperação transforma o resíduo urbano em energia elétrica e térmica por um processo amplamente utilizado ao redor do mundo, pois aproveita o alto poder calorífico contido nos resíduos sólidos para uso como combustível (ABRELPE, 2012).

Ainda segundo a ABRELPE (2012), a recuperação energética além de estar expressamente prevista nas disposições da PNRS como uma das alternativas de destinação

ambientalmente adequada de resíduos, a recuperação energética pode trazer alguns resultados adicionais quando colocada em prática:

- É uma das soluções para a destinação final dos resíduos urbanos não recicláveis recomendada pelo IPCC/ONU;
- Reduz a emissão de gases do efeito estufa (GEE) dos aterros sanitários.
- Possibilita a recuperação energética mais eficiente dos resíduos urbanos que estariam inutilizados ou subutilizados;
- Substitui fontes fósseis de energia, com vistas à otimização de recursos naturais;
- Exige menor área para sua implantação, pode ser instalada próxima aos centros urbanos, o que implica em redução dos custos de coleta e transporte dos resíduos. (ABRELPE, 2012)

Para efeitos deste cálculo, foi prevista a gravimetria média nacional, onde 31,9% dos resíduos sólidos secos são recicláveis. Na Tabela 01 verifica-se a composição gravimétrica dos resíduos no Brasil em 2012.

Tabela 01 – Composição gravimétrica dos resíduos no Brasil

	COMPOSIÇÃO (%)	QUANTIDADE (t)
Resíduos Secos	31,90%	319
Metais	2,90%	29
Papel/Papelão/Tetrapark	13,10%	131
Plástico Filme	8,90%	89
Plástico Rígido	4,60%	46
Vidro	2,40%	24
Mat. Orgânica	51,4%	514
Outros (Texteis e Couros, Borracha, madeira e inertes)	16,7%	167
TOTAL	100%	1.000

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, 2010.

2.4 DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS

INCINERAÇÃO

Segundo Gripp (1998) a incineração é definida como um processo de redução de peso e volume do lixo através de combustão controlada. Existem dois tipos de incineradores que processam resíduos sólidos domiciliares, classificados em função da existência ou não de tratamento prévio do resíduo. Assim, o incinerador de queima direta, ou Mass Burn, processa resíduos que não passam por nenhuma preparação prévia e são encaminhados diretamente para o fosso que alimenta a câmara de combustão. Já o incinerador tipo Combustível Derivado do Resíduo (CDR), requer uma preparação prévia dos resíduos a serem incinerados.

De acordo com Menezes (1999), houve uma evolução desse processo e podem ser divididos em quatro gerações das plantas de incineração, segundo o seu estágio de desenvolvimento. A primeira geração, 1950-1965, cuja função única das plantas era reduzir o volume do lixo, os gases eram lançados diretamente na atmosfera sem nenhum tratamento. A segunda geração, 1965-1975, quando apareceram os primeiros sistemas de proteção do meio ambiente, que reduziram as emissões. A terceira geração, 1975-1990, fase caracterizada pelo avanço das normas ambientais mais restritivas, e aumentam as os centros de tratamento com cogeração de energia. E finalmente a quarta geração, a partir de 1990 até os dias atuais, quando a pressão popular ganhou mais força, e o tratamento dos gases precisam ser mais sofisticados, com um foco maior em alguns poluentes, como as dioxinas e furanos, e o processo de geração de energia elétrica é utilizado em larga escala.

A incineração dos resíduos sólidos urbanos tem um processo de geração de energia elétrica semelhante às térmicas convencionas de ciclo Rankine, e sua capacidade de geração depende de dois fatores, a eficiência da transformação do calor em energia elétrica e do poder calorífico do resíduo.

Segundo World Bank (1999), o fator crucial na viabilidade de uma planta de incineração é o poder calorífico do resíduo sólido urbano, outro fator que também determina a viabilidade da planta é sua capacidade mínima de processamento. Ainda segundo World Bank (1999), o poder calorífico inferior médio durante o ano deve ser de 7MJ/kg, e nunca ser abaixo de 6 MJ/kg e ter uma capacidade mínima de processamento de 240 t/d em pelo menos duas unidades separadas. Plantas de incineração são de alto custo de implementação, operação e manutenção.

Segundo a EPE (2008), o rendimento da geração de energia elétrica em incineradores se limita a valores ao redor de 20%. A classificação dos resíduos sólidos urbanos, segundo seu PCI, pode determinar a destinação do RSU, conforme abaixo:

- para $PCI < 1.675 \text{ kcal/kg}$, a incineração não é tecnicamente viável (além de dificuldades técnicas, exige ainda a adição de combustível auxiliar);
- para $1.675 \text{ kcal/kg} < PCI < 2.000 \text{ kcal/kg}$, a viabilidade técnica da incineração ainda depende de algum tipo de pré-tratamento que eleve o poder calorífico;
- para $PCI > 2.000 \text{ kcal/kg}$, a queima bruta ("mass burning") é tecnicamente viável Usinas a incineração podem gerar entre 450 e 700 kWh por tonelada de RSU (EPE 2008).

Sendo o PCI do resíduo sólido urbano de fundamental importância na viabilidade técnica e econômica de um incinerador, podemos observar que o processo de incineração praticamente exclui a alternativa da reciclagem e reduz seus benefícios energéticos. Uma vez que a reciclagem tem ganhado importância pois possui um grande potencial de

benefício energético global, pois evita a geração de energia elétrica consumida na produção do material reciclável. Note-se que papel e plástico são os componentes que proporcionam o maior benefício na reciclagem. Por outro lado, são também os elementos de maior contribuição para o poder calorífico do RSU. Se separados para a reciclagem, reduzem o poder calorífico do RSU o que poderá inviabilizar tecnicamente a incineração, ou exigir a adição de elemento combustível.

Outro ponto sensível na incineração é a sua dependência de resíduos com alto poder calorífico. A composição gravimétrica atual do RSU brasileiro, somada à perspectiva de aumento da reciclagem dos seus componentes, impõe cautela ao planejamento do seu uso como combustível nesse processo. A composição gravimétrica adotada resultou num PCI de 2.353 kcal/kg, conforme Tabela 02. Esse PCI é formado, majoritariamente, pelos plásticos (37%), complementado pelo papel e papelão (22%) mais a matéria orgânica (29%).

Tabela 02 – Poder Calorífico do Resíduo Sólido Urbano

	COMPOSIÇÃO (%)	PCI do Material (kcal/kg)	PCI proporcional (kcal/kg)
Mat. Orgânica	51,40%	1.310	673
Plástico	13,70%	6.300	863
Papel e Papelão	13,10%	4.030	528
Têxteis e Couro	2,80%	3.630	102
Borracha	0,50%	6.780	34
Madeira	1,20%	2.520	30
Inertes	17,30%	0	0
TOTAL	100,00%		2.230

Fonte: Elaboração própria com base em dados do SNIS (2010) e EPE (2008).

BIODIGESTÃO

A biodigestão ou o Tratamento Mecânico Biológico (TMB) é um sistema de tratamento de resíduos indiferenciados. Este processo é dividido em duas fases, a mecânica, que são os meios de separação dos materiais recicláveis, e a biológica, que estabiliza a fração orgânica tornando o material útil para outra utilização (COSTA, 2010).

Não se trata de um processo de tecnologia única, mas uma combinação de processos tecnológicos que visa o alcance do objetivo pretendido. Os maiores objetivos quando da implantação de um sistema TMB são: Aumento da recuperação de materiais recicláveis, produção de composto e fertilizante para o solo, produção de material biologicamente estabilizado para aterro, produção de calor e/ou energia elétrica e produção de combustível CDR (Combustível Derivado de Resíduos) (COSTA, 2010).

As principais vantagens de um sistema TMB, são a redução do volume e umidade dos resíduos para a destinação final, redução da quantidade de orgânicos dispostos em aterro e consequentemente a redução do potencial de formação de GEE. Ainda, desta forma a digestão anaeróbia de resíduos é uma alternativa que se compõe muito bem com a reciclagem.

Quanto ao tratamento mecânico são envolvidas diversas técnicas, entre as quais, abertura de sacos de lixo, separação de materiais volumosos, separação dos materiais recicláveis, homogeneização e preparação dos materiais para o tratamento biológico. O Tratamento mecânico envolve técnicas de separação como: crivos/trommel, separador balístico, magnético, óptico, correntes de Foucault. (COSTA, 2010)

Quanto ao tratamento biológico pode ser realizado de duas formas, o método anaeróbio (digestão anaeróbia) ou aeróbio (compostagem ou vermi-compostagem). A digestão anaeróbia dá-se a produção de biogás, que pode ser utilizada como fonte de calor e energia elétrica. A fração orgânica que chega à fase biológica, seja digerida e estabilizada de forma aeróbia e assim formar composto. O composto poderá depois ser utilizado como fertilizante natural de solos (vinhas, pomares e recuperação de solos degradados).

2.5 ESTIMATIVAS DE CUSTO

As duas alternativas de tratamento de RSU para essa comparação – incineração e tratamento mecânico biológico – foram analisadas segundo a definição de um cenário compatível com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. O desempenho econômico-financeiro foi idealizado para atender a uma oferta de 1.000 (mil) toneladas diárias de RSU, para cada uma das alternativas propostas. A média de geração diária de resíduos do Brasil é de aproximadamente 1 kg de RSU por habitante, segundo o IBGE (2010), portanto esse empreendimento seria capaz de tratar o resíduo de 1 milhão de pessoas.

As alternativas foram analisadas por meio do cálculo de seu fluxo de caixa descontado, com taxa de desconto de 8% ao ano, para 30 anos de operação. A inflação incidente anualmente durante todo o período foi estimada em 4,5%(IPCA), meta central de inflação para o ano de 2016, segundo o Banco Central (2014). O valor do financiamento foi dividido igualmente nos dois primeiros anos, contando ainda com carência de dois anos correspondentes ao período de construção. A amortização do financiamento foi diluída em 10 anos em parcelas iguais, a partir do término do período de carência. Os valores de investimento e operação para o incinerador foram obtidos do EIA/RIMA URE Barueri e para o biodigestor foram obtidos do estudo da EMAE (2011), e são apresentados na Tabela 03 abaixo.

Tabela 03 – Comparação dos custos de investimento e operacionais das alternativas de tratamento de RSU para uma capacidade de 1000 t /dia.

Tecnologia	Investimento (R\$ milhões)	Custo operacional (R\$ milhões/ano)
Incinerador	R\$ 160	R\$ 44,6
Biodigestor	R\$ 140	R\$ 25

Fonte: Elaboração própria com dados do EIA/RIMA URE Barueri e EMAE(2011).

A proporção de capital próprio versus capital de terceiros foi estimada em 30%/70%, de acordo com a média de projetos em infraestrutura no Brasil. Também, do total de capital de terceiros, considerou-se que 57% seriam advindos do BNDES ao custo final de real de 8% ao ano, ou seja, sem inflação (incluindo custos de repasse e administrativos de bancos conveniados) e 43% ao custo médio de real de 10% ao ano, obtidos junto a bancos privados, totalizando uma média de 8,86%.

O *beta* no contexto da estimativa do custo de capital próprio no CAPM foi estimado em 0,8, de acordo com a média da reação de atividades de infraestrutura básica em relação ao índice de renda variável brasileiro. A taxa livre de risco ou risk free rate (R_f), no contexto do CAPM – que mede o custo básico de oportunidade em relação a aplicar os recursos do projeto em uma oportunidade de investimento livre de risco (ou de mais baixo risco disponível no país) – foi estimada em 2% ao ano em termos reais, ou seja, expurgada a inflação. A taxa referente ao retorno do mercado (R_m) no contexto do CAPM foi estimada em 9% ao ano em termos reais, ou seja, expurgada a inflação.

As receitas consideradas no fluxo de caixa são o custo de tratamento do RSU, que foi estimado em R\$ 65 por tonelada, e a receita obtida com a venda de energia elétrica gerada, que foi estimado em R\$ 91,25 /MWh, correspondente ao valor médio obtido no último Leilão conduzido pela EPE/MME de 2012, CCEE (2012). Ainda com relação às despesas, para o caso do biodigestor, foi considerada uma receita com o material reciclável (papel e plástico), que no caso do incinerador são tratados como combustível.

Para o preço de mercado dos recicláveis foram considerados os valores do CEMPRE (2013), para o Estado de São Paulo, e chegou-se ao valor de R\$ 144,78 por tonelada de resíduo, através de uma média ponderada de acordo com a composição gravimétrica adotada, como observado na Tabela 04.

Tabela 04 – Composição dos preços dos materiais recicláveis encontrados no RSU

Material	Composição (%)	Preço (R\$/kg)	Preço ponderado (R\$/t)
Papel/Papelão/Tetrapark	13,10%	R\$ 0,33	R\$ 43,23
Plástico Filme	8,90%	R\$ 0,65	R\$ 57,85
Plástico Rígido	4,60%	R\$ 0,95	R\$ 43,70
Total	26,6%		R\$ 144,78

Fonte: Elaboração própria com dados do CEMPRE 2013

No Apêndice I estão destacados os fluxos de caixa das alternativas selecionadas:

2.6 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO ALTERNATIVOS

Uma outra análise foi feita para que a alternativa da incineração fosse economicamente viável. Como foram consideradas como receita para a incineração dois fatores energia e os resíduos. Portanto para que o resultado fosse igual ao da biodigestão foram feitas duas

simulações um como o aumento das receitas com energia e outro com o aumento das receitas com o recebimento dos resíduos, conforme Tabela 05 abaixo.

Tabela 05 – Parâmetros alternativos para viabilização do incinerador

Parâmetros	VPL igual ao do Biodigestor	VPL igual zero
Energia (R\$/MWh)	R\$ 281,17	R\$ 244,02
Resíduos (R\$/t)	R\$ 141,35	R\$ 126,11

Fonte: Elaboração própria

Outro critério que deve ser avaliado, especificamente para o caso do da incineração, é o poder calorífico do resíduo. Como demonstrado anteriormente, grande parte do poder calorífico do resíduo vem da contribuição dos recicláveis, então por exemplo, uma redução da quantidade de plástico dos atuais 13,7% para 10,7% é suficiente para diminuir o PCI para 1.675 kcal/kg, valor que torna o empreendimento tecnicamente inviável, pois além das dificuldades técnicas exige a adição de combustível auxiliar.

No que diz respeito ao biodigestor, nota-se que ele também é altamente dependente das receitas, mas sobretudo das receitas dos recicláveis. Uma análise feita considerando que não haveria receitas com esses resíduos revelou que esta alternativa também não seria viável economicamente, conforme Tabela 06.

Tabela 06 – Alteração no Valor Presente Líquido com mudança do preço dos recicláveis

Preço do reciclável	Valor Presente Líquido (VPL)
R\$ 0 / t	- R\$ 95,7 MM
R\$ 82,19 / t	0

Fonte: Elaboração Própria

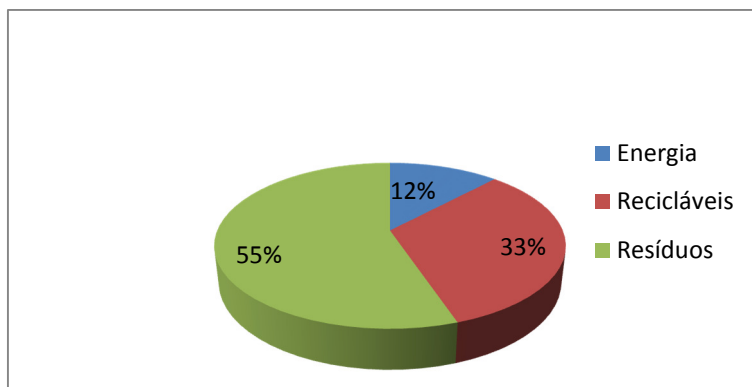
Para a identificação de outros benefícios, além dos econômicos financeiros mostrados anteriormente, é necessária a inclusão de outros parâmetros, que possam ser quantificáveis, como as contribuições para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), o aumento da eficiência energética e conservação de energia, e também a conformidade às exigências legais.

2.7 RESULTADOS E COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Para efeito de comparação das duas alternativas propostas foram selecionados os seguintes critérios, viabilidade econômico-financeira, risco da tecnologia, emissões de gases de efeito estufa, conservação de energia e atendimento aos requisitos legais.

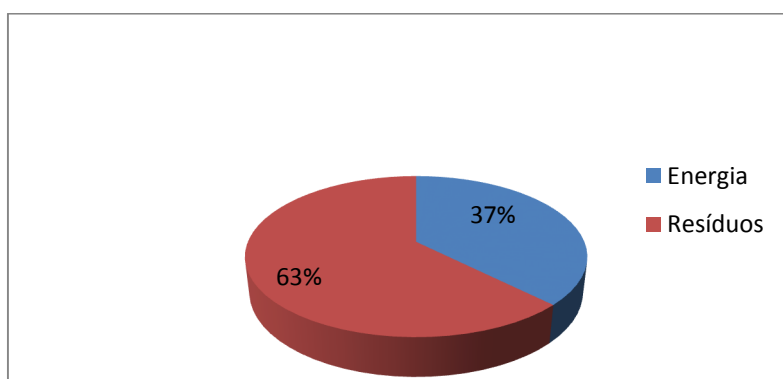
Quanto à viabilidade econômico financeira, o que se notou nos cenários propostos é que a alternativa da biodigestão demonstrou viabilidade quando consideradas as receitas com o material reciclável, enquanto a incineração demonstrou inviabilidade. Nos gráficos das Figuras 1 e 2 abaixo podemos verificar a composição das receitas de ambas alternativas, na qual verifica-se que ambas são altamente dependentes das receitas advindas dos resíduos, porém a alternativa da biodigestão tem uma menor dependência das receitas com energia e maior dos recicláveis. Enquanto a incineração tem apenas duas fontes de receita, com uma dependência grande das receitas com energia.

Figura 1 - Composição das receitas Biodigestor



Fonte: Elaboração Própria

Figura 2 - Composição das receitas Incinerador



Fonte: Elaboração Própria

A projeção dos resultados líquidos anuais com as premissas adotadas acima produziram o resultado apresentado na Tabela 07.

Tabela 07 – Resultados econômicos das alternativas propostas

	Biodigestor	Incinerador
Taxa Interna de Retorno (TIR)	13,9%	-26%
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 72,9 MM	- R\$ 243 MM

Fonte: Elaboração própria

A análise de Fluxo de Caixa Descontado da alternativa do biodigestor revela viabilidade econômico-financeira significativa no cenário macroeconômico atual do país, produzindo

uma TIR de 13,9 %, compatível com investimentos atrativos para o capital privado. No caso da alternativa da incineração a mesma análise revelou um prejuízo acumulado de R\$ 292 milhões.

No que diz respeito ao risco da tecnologia, percebe-se que embora a incineração seja um sistema já de tecnologia bem conhecida, ela se demonstra de alto risco, pois quando considerada a aplicação da legislação, que impõe uma mudança de cenário na constituição da gravimetria dos resíduos com o aumento das taxas de reciclagem, essa tecnologia pode se torna totalmente inviável. O que não acontece com a alternativa da biodigestão, que é beneficiada com o aumento da separação dos resíduos.

Tratando-se das emissões dos gases de efeito estufa, quando comparadas às alternativas atuais que são as emissões de aterro sanitário, ambas tecnologias levam vantagem, porém quando uma alternativa é comparada com a outra, a biodigestão leva vantagem, conforme verificamos na Tabela 08 abaixo.

Tabela 08 – Comparação das alternativas tecnológicas em relação a GEE.

Alternativa	Redução de emissões (tCO ₂ /tRSU)	Emissões evitadas pela reciclagem (tCO ₂)	Total (tCO ₂ /tRSU)
Incinerador	0,209	0,034	0,243
Biodigestor	1,064	0,084	1,148

Fonte: EPE 2008

Em relação à conservação de energia, a alternativa de biodigestão demonstrou uma maior conservação, pois considera-se que seriam recuperados papéis, plásticos, vidros e metais,

enquanto a alternativa da incineração considera apenas a recuperação de vidros e metais. A economia de energia pela reciclagem pode ser visto na Tabela 09 abaixo.

Tabela 09 – Comparação das alternativas tecnológicas em relação a Conservação de Energia.

Alternativa	Conservação de energia pela reciclagem (GWh/ano)	Materiais recuperados
Incinerador	10,3	Vidros e metais
Biodigestor	248,0	Papéis, plásticos, vidros e metais

Fonte: EPE 2008

Vale ressaltar que em termos de geração de energia, o incinerador gera mais que o biodigestor, quando não considerados os valores absolutos de conservação, conforme tabela 10 abaixo:

Tabela 10 – Geração de Energia das alternativas selecionadas

Alternativa	Geração (MWh/ano)
Incinerador	189.325
Biodigestor	54.525

Fonte: Elaboração própria

E finalmente, quanto ao atendimento a legislação, iremos focar apenas na PNRS, em seu artigo 7º, prevê a redução de do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos. É sabido que a incineração gera cinzas que dependendo da caracterização devem ser destinadas aos aterros classe I, enquanto a biodigestão não gera resíduos perigosos, apenas rejeitos para aterros classe IIA, caso seja inviável a comercialização do composto. O art. 9º diz respeito à ordem de prioridade dos processos de gestão e gerenciamento, portanto políticas de reutilização e reciclagem alteram a gravimetria e a quantidade de resíduos, o que inviabiliza a incineração, e a alternativa da biodigestão acompanha a ordem de prioridade pois uma maior separação dos recicláveis proporciona um maior desempenho

do processo. E concluindo, também o art.7º diz que a prestação de serviço público, que é o caso da gestão de resíduos sólidos urbanos, exige que seja comprovada a viabilidade econômica financeira, e como demonstrado acima a viabilidade da alternativa da incineração pode depender de subsídios nas receitas, enquanto a viabilidade da alternativa do biodigestor acontece nos parâmetros atuais de custo, sem necessidade de subsídios.

Sintetizando, foi elaborado a Tabela 11 de análise qualitativa, onde foram dadas algumas cores conforme avaliação do autor, sendo vermelho não atende, amarelo atende parcialmente e verde atende plenamente.

Tabela 11 – Análise qualitativa das alternativas de tratamento de RSU

CRITÉRIO	INCINERAÇÃO	BIODIGESTÃO
Viabilidade econômico-financeira		
Risco da tecnologia		
Emissões de gases de efeito estufa		
Conservação de energia		
Atendimento aos requisitos legais		

Fonte: Elaboração própria

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características diferenciadas dessas duas alternativas de tratamento de resíduos – *incineração e biodigestão* – e o seu alto custo de implementação nos induzem a um tipo de contrato que deve ser de longo prazo, sejam eles contratos privados financiamento ou contratos de concessão. Neste último tipo, ou seja, no contrato de concessão, o setor público ficará responsável por garantir uma alimentação continua de res ao processo.

Já a análise da alternativa via *incineração* demonstra que há dificuldades em se viabilizar empreendimentos baseados nesta tecnologia. Conforme visto, a incineração não é uma solução sustentável, pois vai no sentido contrário da ordem de prioridade estabelecida na legislação nova legislação de resíduos sólidos no Brasil, não contribuindo para a mudança dos padrões de consumo e geração de resíduo bem como para o envolvimento da população na gestão dos resíduos.

Ao analisar-se a realidade em outros países nos quais os incineradores são utilizados em grande escala, algumas hipóteses podem ser consideradas para justificar essa rota. Dentre elas destacam-se as restrições legais impostas à construção de novos aterros sanitários, que resultam em um alto volume de recepção do RSU, bem como o preço atrativo de venda de energia e o uso do vapor em calefação e aquecimento distritais. Tais fatores não se aplicam à realidade brasileira, logo não há incentivos para a utilização dessa tecnologia. Nesse contexto, as lições da Noruega, que para manter a viabilidade de seus incineradores precisa importar lixo de outros países não deve ser seguida.

Por outro lado, conforme depreende-se da revisão da literatura, a *tecnologia da biodigestão* tem crescido em vários países do mundo, embora não haja ainda nenhum empreendimento dessa natureza instalado no Brasil. Um dos fatores que podem estar contribuindo para essa não expansão dessa tecnologia, é o fato de o investimento inicial ser relativamente mais elevado, além das próprias dificuldades para a adoção de uma tecnologia ainda não testada no país. Contribui também para esse quadro a falta de incentivos para tecnologias mais limpas. Acredita-se que linhas de créditos e taxas diferenciadas poderão fazer com que empreendedores considerassem melhor o risco do pioneirismo.

Portanto, de acordo com o objetivo previamente proposto, foram avaliadas as duas rotas tecnológicas de tratamento de resíduos, quanto às suas a viabilidade econômica, técnica e ambiental, através da análise de custo-benefício. Pode-se concluir que, quando comparadas, a *rota da biodigestão* apresenta mais vantagens quando comparada à *rota de incineração*.

Como recomendação para trabalhos futuros sugere-se a análise de outras rotas tecnológicas como: a compostagem; a despolimerização catalítica; a gaseificação e outros resíduos. Da mesma forma, para a avaliação econômica-financeira também seria interessante a elaboração de mais cenários, principalmente com alterações nas principais entradas do fluxo, como valor da energia, valor do resíduo e o valor do investimento.

4 BIBLIOGRAFIA

ABRELPE [ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS]. CADERNO INFORMATIVO SOBRE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS, 2012. DISPONÍVEL EM <http://www.plastivida.org.br/2009/pdfs/2012_Caderno_Plastivida_Abrelpe.pdf>. ACESSO EM DEZEMBRO DE 2013.

ALVES, JOÃO WAGNER SILVA. “DIAGNÓSTICO TÉCNICO INSTITUCIONAL DA RECUPERAÇÃO E USO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO PELA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS”. (DISSERTAÇÃO MESTRADO), USP, 2000.

BAERE, LUC DE E MATTHEEUWS, BRUNO. “ANAEROBIC DIGESTION OF THE ORGANIC FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN EUROPE– STATUS, EXPERIENCE AND PROSPECTS”. DAKOFA CONFERENCE 2012, FEBRUARY 29TH – COPENHAGEN.

BANCO CENTRAL DO BRASIL - REGIME DE METAS PARA A INFLAÇÃO NO BRASIL. DISPONÍVEL EM <<http://www4.bcb.gov.br/pec/gci/port/focus/faq%2010-regime%20de%20metas%20para%20a%20infla%C3%A7%C3%A3o%20no%20brasil.pdf>> ACESSO AGOSTO DE 2014

BONETTO, MILENA RUPIANI.” RESPONSABILIDADE COMPARTILHADA PELO CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS”. DISPONÍVEL EM <[HTTP://SUSTENTABILIDADE.COM/PORTAL/RESPONSABILIDADE-COMPARTILHADA-PELO-CICLO-DE-VIDA-DOS-PRODUTOS](http://sustentabilidade.com/portal/responsabilidade-compartilhada-pelo-ciclo-de-vida-dos-produtos)> ACESSO EM DEZEMBRO DE 2013.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. MPOG/ IBGE, Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL (2010). Lei Nº 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em outubro de 2013.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). NOTA TÉCNICA DEN 06/08 Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. EPE, Rio de Janeiro, 2008.

BRIDGWATER A.V., MEIER D., RADLEIN D., An overview of fast pyrolysis of biomass, Bio-Energy Research Group, Chemical Engineering and Applied Chemistry Department, Aston University, Birmingham, UK, 1999

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: FGV, 1987.

CCEE, 15º Leilão de Energia Nova (A-5), disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/wcm/idc/groups/bibpublic_precos/documents/conteudoccee/cee_072146.pdf> Acesso em dezembro 2013

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. Preço do material reciclável. Disponível em< http://www.cempre.org.br/servicos_mercado.php >, Acesso em dezembro 2013.

COSTA, JOÃO PEDRO FIDALGO DA. TRATAMENTO MECÂNICO E BIOLÓGICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL PARA A RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS, LISBOA: UNL, 2010. DISPONÍVEL EM <<http://run.unl.pt/bitstream/10362/5816/1/Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio%20de%20Mestrado%20cd.pdf>> ACESSO EM DEZEMBRO 2013.

EMAE. EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA. RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV) COMPARATIVA ENTRE TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. PROJETO P&D EMAE/ANELL 0393-00611, 2011

ENGEBIO ENGENHARIA S/S LTDA. ESTADO DA ARTE DO TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.2. ED. PORTO ALEGRE: ENGEBIO, 2010

FEAM, FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: GUIA DE ORIENTAÇÕES PARA GOVERNOS MUNICIPAIS DE MINAS GERAIS. DISPONÍVEL EM <[HTTP://WWW.EM.UFOP.BR/CEAMB/PETAMB/CARIBOOST_FILES/APROVEITAMENTO_20ENERG_C3_A9TICO.PDF](http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/aproveitamento_20ENERG_C3_A9TICO.PDF)>, ACESSO EM MAIO 214. BELO HORIZONTE, 2012

FOLHA DE SÃO PAULO - "Noruega importa lixo para produzir energia". São Paulo, 18 de Junho de 2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2013/06/1296446-noruega-importa-lixo-para-produzir-energia.shtml>> Acesso em dezembro de 2013.

GABIATTI N.C.; SILVA F.P.; WARTCHOW D.; MENEGUZZI A.- COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL E CONTRIBUIÇÃO AMBIENTAL. UERGS, Rio Grande do Sul, 2007.

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

GÜNTHER, W. M. R.; GRIMBERG, E. Directrices para la gestión integrada y sostenible de residuos sólidos urbanos en America Latina y el Caribe. 1. ed. São Paulo: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitária y Ambiental-AIDIS, 2006. p.118

IBGE, 2010 BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. MPOG/ IBGE, RIO DE JANEIRO, 2010.

JACOBI, PEDRO ROBERTO AND BESEN, GINA RIZPAH. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM SÃO PAULO: DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE. ESTUD. AV. [ONLINE]. 2011, VOL.25, N.71, PP. 135-158. ISSN 0103-4014. DISPONÍVEL EM <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1590/S0103-40142011000100010](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142011000100010)>. ACESSO EM JANEIRO DE 2014.

LAOHALIDANOND, KRONGKAEW; HEIL, JÜRGEN; WIRTGEN, CHRISTAIN. THE PRODUCTION OF SYNTHETIC DIESEL FROM BIOMASS. RWTH Aachen University, Germany 2005.

LEMOIS LUÍS TEIXEIRA. INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: QUAL A MELHOR OPÇÃO DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO? REVISTA MILLENIUM, RE - NÚMERO 07 - JULHO DE 1997.

MACCARINI, ADELINO CARLOS; SCHALCH, VALDIR. "BALANÇO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, A PARTIR DA COLETA SELETIVA EFETUADA POR CATADORES" (DISSERTAÇÃO MESTRADO), EESC - ESC ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, 1998.

MENEZES, RICARDO A. AMARAL; GERLACH, JOSÉ LUIZ; MENEZES, MARCO ANTÔNIO. ESTÁGIO ATUAL DA INCINERAÇÃO NO BRASIL. IN: VII SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, CURITIBA, 2000 – SITE: [HTTP://WWW.RESOL.COM.BR/TEXTOS/ESTADO%20ATUAL%20DA%20INCINERACAO%20NO%20BRASIL.HTM](http://www.resol.com.br/textos/ESTADO%20ATUAL%20DA%20INCINERACAO%20NO%20BRASIL.HTM)

PAVAN, MARGARETH DE CASSIA OLIVEIRA. "GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: AVALIAÇÃO E DIRETRIZES PARA TECNOLOGIAS POTENCIALMENTE APLICÁVEIS NO BRASIL". (TESE DE DOUTORADO), SÃO PAULO: USP, 2010.

SANTOS, GUILHERME GARCIA DIAS DOS." ANÁLISE E PERSPECTIVAS DE ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DA INCINERAÇÃO E DA DISPOSIÇÃO EM ATERROS". (DISSERTAÇÃO MESTRADO), RIO DE JANEIRO: UFRJ/COPPE, 2011.

SEROA DA MOTTA, R. DA. MANUAL PARA VALORAÇÃO ECONÔMICA DE RECURSOS AMBIENTAIS. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL. IPEA/MMA/PNUD/CNPQ. RIO DE JANEIRO, 1997

SGW SERVICES ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA - ANDRÉA BARBIN ALUANI - ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL DA USINA DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA – URE BARUERI.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR DE SANEAMENTO: DIAGNÓSTICO DA GESTÃO E MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS - 2008. BRASÍLIA: MCIDADES, SNSA, 2010.

U.S ARMY, COST BENEFIT ANALYSIS GUIDE, 3RD EDITION V 3.1.2013.DISPONIVEL EM < <http://asafm.army.mil/Documents/OfficeDocuments/CostEconomics/guidances/cba-gd.pdf>>, ACESSO EM NOVEMBRO DE 2013.

WORLD BANK. MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION: TECHNICAL GUIDANCE REPORT. WORLD BANK, WASHINGTON, DC, AUGUST 1999. DISPONÍVEL EM: < HTTP://WWW.WORLDBANK.ORG/URBAN/SOLID_WM/ERM/CWG%20FOLDER/WASTE%20INCINERATION.PDF >, ACESSO EM OUTUBRO 2013.

APÊNDICE I – Fluxo de caixa das alternativas selecionadas

Fluxo de Caixa Incinerador

	Ano 00	Ano 01	Ano 02	Ano 03	Ano 04	Ano 05	Ano 06	Ano 07	Ano 08	Ano 09	Ano 10
INVESTIMENTO	(80.000)	(80.000)									
FINANCIAMENTO (BNDES)	32.000	32.000									
FINANCIAMENTO (PRIVADO)	24.000	24.000									
RECEITA BRUTA			56.938	59.500	62.177	64.975	67.899	70.955	74.148	77.484	80.971
IMPOSTOS DIRETOS			(5.267)	(5.504)	(5.751)	(6.010)	(6.281)	(6.563)	(6.859)	(7.167)	(7.490)
CUSTO OPERACIONAL			(46.607)	(48.704)	(50.896)	(53.186)	(55.580)	(58.081)	(60.694)	(63.426)	(66.280)
DESPESAS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEPRECIÇÃO			(12.800)	(12.800)	(12.800)	(12.800)	(12.800)	(12.800)	(12.800)	(12.800)	(12.800)
DESPESAS FINANCEIRAS			(9.920)	(9.265)	(8.552)	(7.776)	(6.930)	(6.008)	(5.003)	(3.909)	(2.716)
LAIR	(24.000)	(24.000)	(17.656)	(16.774)	(15.822)	(14.797)	(13.691)	(12.497)	(11.209)	(9.818)	(8.315)
IR + CSSL	-	-							3.811	3.338	1.979
LUCRO LÍQUIDO	(24.000)	(24.000)	(17.656)	(16.774)	(15.822)	(14.797)	(13.691)	(12.497)	(7.398)	(6.480)	(6.336)
DEPRECIÇÃO	-	-	12.800	12.800	12.800	12.800	12.800	12.800	12.800	12.800	12.800
AMORTIZAÇÃO FINANCIAMENT	-	-	(7.430)	(8.084)	(8.797)	(9.574)	(10.420)	(11.342)	(12.346)	(13.441)	(14.633)
FCL ACIONISTA	(24.000)	(24.000)	(12.940)	(11.403)	(11.107)	(10.794)	(10.465)	(10.117)	(5.940)	(6.026)	(6.977)

	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20	Ano 21	Ano 22
	84.615	88.423	92.402	96.560	100.905	105.446	110.191	115.149	120.331	125.746	131.404	137.318
	(7.827)	(8.179)	(8.547)	(8.932)	(9.334)	(9.754)	(10.193)	(10.651)	(11.131)	(11.631)	(12.155)	(12.702)
	(69.262)	(72.379)	(75.636)	(79.040)	(82.597)	(86.314)	(90.198)	(94.257)	(98.498)	(102.931)	(107.562)	(112.403)
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(12.800)	(12.800)	(12.800)	(12.800)								
	(1.417)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(6.691)	(4.936)	(4.582)	(4.212)	8.974	9.378	9.800	10.241	10.702	11.184	11.687	12.213
	1.592	1.175	1.090	1.002	(2.136)	(3.189)	(3.332)	(3.482)	(3.639)	(3.802)	(3.974)	(4.152)
	(5.099)	(3.761)	(3.491)	(3.210)	6.838	6.190	6.468	6.759	7.063	7.381	7.713	8.061
	12.800	12.800	12.800	12.800	-	-	-	-	-	-	-	-
	(15.933)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(6.932)	(6.894)	9.309	9.590	6.838	6.190	6.468	6.759	7.063	7.381	7.713	8.061

Ano 23	Ano 24	Ano 25	Ano 26	Ano 27	Ano 28	Ano 29	Ano 30	Ano 31	Ano 32
143.497	149.954	156.702	163.754	171.123	178.823	186.870	195.279	204.067	213.250
(13.273)	(13.871)	(14.495)	(15.147)	(15.829)	(16.541)	(17.285)	(18.063)	(18.876)	(19.726)
(117.461)	(122.747)	(128.270)	(134.042)	(140.074)	(146.378)	(152.965)	(159.848)	(167.041)	(174.558)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.762	13.337	13.937	14.564	15.220	15.904	16.620	17.368	18.150	18.966
(4.339)	(4.535)	(4.739)	(4.952)	(5.175)	(5.407)	(5.651)	(5.905)	(6.171)	(6.449)
8.423	8.802	9.198	9.612	10.045	10.497	10.969	11.463	11.979	12.518
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.423	8.802	9.198	9.612	10.045	10.497	10.969	11.463	11.979	12.518

Fluxo de Caixa Biodigestor

	Ano 00	Ano 01	Ano 02	Ano 03	Ano 04	Ano 05	Ano 06	Ano 07	Ano 08	Ano 09	Ano 10	Ano 11
INVESTIMENTO	(69.620)	(69.620)										
FINANCIAMENTO (BNDES)	27.848	27.848										
FINANCIAMENTO (PRIVADO)	20.886	20.886										
RECEITA BRUTA			43.594	45.556	47.606	49.748	51.987	54.326	56.771	59.326	61.995	64.785
IMPOSTOS DIRETOS			(4.032)	(4.214)	(4.404)	(4.602)	(4.809)	(5.025)	(5.251)	(5.488)	(5.735)	(5.993)
CUSTO OPERACIONAL			(26.125)	(27.301)	(28.529)	(29.813)	(31.155)	(32.557)	(34.022)	(35.553)	(37.152)	(38.824)
DESPESAS			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEPRECIACÃO			(11.139)	(11.139)	(11.139)	(11.139)	(11.139)	(11.139)	(11.139)	(11.139)	(11.139)	(11.139)
DESPESAS FINANCEIRAS			(8.633)	(8.063)	(7.443)	(6.767)	(6.031)	(5.228)	(4.354)	(3.402)	(2.364)	(1.233)
LAIR	(20.886)	(20.886)	(6.335)	(5.161)	(3.909)	(2.573)	(1.146)	377	2.005	3.744	5.605	7.596
IR + CSSL	-	-	2.154	1.755	1.329	875	390	(128)	(682)	(1.273)	(1.906)	(2.583)
LUCRO LÍQUIDO	(20.886)	(20.886)	(4.181)	(3.406)	(2.580)	(1.698)	(757)	249	1.323	2.471	3.699	5.013
DEPRECIACÃO	-	-	11.139	11.139	11.139	11.139	11.139	11.139	11.139	11.139	11.139	11.139
AMORTIZAÇÃO FINANCIAMENTO	-	-	(6.466)	(7.035)	(7.656)	(8.332)	(9.068)	(9.870)	(10.744)	(11.697)	(12.735)	(13.866)
FCL ACIONISTA	(20.886)	(20.886)	(78)	1.267	1.524	1.785	2.051	2.320	2.592	2.866	3.142	3.418

Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20	Ano 21	Ano 22
67.700	70.747	73.930	77.257	80.734	84.367	88.163	92.131	96.277	100.609	105.137
(6.262)	(6.544)	(6.839)	(7.146)	(7.468)	(7.804)	(8.155)	(8.522)	(8.906)	(9.306)	(9.725)
(40.571)	(42.397)	(44.305)	(46.299)	(48.382)	(50.559)	(52.834)	(55.212)	(57.697)	(60.293)	(63.006)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11.139)	(11.139)	(11.139)								
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.728	10.667	11.648	23.812	24.884	26.004	27.174	28.397	29.675	31.010	32.405
(3.307)	(3.627)	(3.960)	(5.667)	(5.922)	(6.189)	(6.467)	(6.758)	(7.063)	(7.380)	(7.712)
6.420	7.040	7.688	18.145	18.962	19.815	20.707	21.638	22.612	23.630	24.693
11.139	11.139	11.139	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.694	18.179	18.827	18.145	18.962	19.815	20.707	21.638	22.612	23.630	24.693

Ano 23	Ano 24	Ano 25	Ano 26	Ano 27	Ano 28	Ano 29	Ano 30	Ano 31	Ano 32
109.868	114.812	119.978	125.377	131.019	136.915	143.076	149.515	156.243	163.274
(10.163)	(10.620)	(11.098)	(11.597)	(12.119)	(12.665)	(13.235)	(13.830)	(14.452)	(15.103)
(65.841)	(68.804)	(71.900)	(75.136)	(78.517)	(82.050)	(85.742)	(89.601)	(93.633)	(97.846)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33.864	35.387	36.980	38.644	40.383	42.200	44.099	46.084	48.157	50.325
(8.060)	(8.422)	(8.801)	(9.197)	(9.611)	(10.044)	(10.496)	(10.968)	(11.461)	(11.977)
25.804	26.965	28.179	29.447	30.772	32.157	33.604	35.116	36.696	38.347
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.804	26.965	28.179	29.447	30.772	32.157	33.604	35.116	36.696	38.347