



Encontro Internacional sobre Gestão  
Empresarial e Meio Ambiente

## **Resíduos sólidos como fonte de energia nos centros urbanos**

**PRISCILA DE AZEVEDO MACHADO MOTA.**

IFBA - Instituto Federal da Bahia  
priscilmota@gmail.com

**SAMARONNE NASCIMENTO DO CARMO**

IFBA - Instituto Federal da Bahia  
samaronne.carmo@gmail.com

## **Resíduos sólidos como fonte de energia nos centros urbanos.**

**Resumo:** *O presente artigo mostra como a implementação de usinas de biodigestor anaeróbico e incineração podem combater problemas atuais das grandes cidades. Principalmente, na produção de energia para abastecimento dos domicílios domésticos a partir do lixo produzido diariamente. Um estudo quantitativo e qualitativo é desenvolvido abordando o potencial de produção energética, a quantidade de domicílios atendidos, os custos de operação e manutenção, custo de combustível e o valor do investimento inicial para implantação das usinas. A disponibilidade energética traz progresso para a economia, sendo assim um elemento indispensável na vida da humanidade. Portanto, a geração de energia para suprir necessidades de consumo é uma questão importante para todos os governos, logo existe interesse desses por meios alternativos de obtenção energética. Em contrapartida, a quantidade de resíduos sólidos vem crescendo substancialmente, principalmente nas grandes metrópoles, e o destino final desse lixo é geralmente aterros e lixões. Em 1990 estudos alertavam sobre efeitos da deterioração do meio ambiente e o aquecimento global que despertou a preocupação pública e culminou com o surgimento em 2006 do termo economia de baixo carbono que descreve ações que empresas e países devem assumir com objetivo de melhoria em seus processos produtivos visando reduzir impacto ao meio ambiente.*

**Palavras chave:** energia, resíduos sólidos, biomassa.

## **Solid waste as an energy source in urban centers.**

**Abstract:** *This article presents how the implementation of anaerobic digester and incineration plants can tackle current problems of big cities. Mainly in energy production to supply domestic households from the waste produced daily. A quantitative and qualitative study is developed addressing the energy production potential, the number of households served, operating and maintenance costs, fuel cost and the value of the initial investment for deployment of the plants. Energy availability brings progress to the economy, thus an indispensable element in the life of humanity. Therefore, the generation of energy to meet consumer needs is an important issue for all governments, so there is interest by these alternative means of obtaining energy. In contrast, the amount of solid waste has increased substantially, especially in large cities, and the final destination of this waste is usually landfills and dumps. In 1990 studies warned about the effects of environmental degradation and global warming that aroused public concern and led to the emergence in 2006 of the term low-carbon economy that describes actions that companies and countries should take to improve goal in their production processes to reduce impact on the environment.*

**Keywords:** energy, solid waste, biomass.

## Introdução

A disponibilidade energética traz progresso para a economia, bem como bem-estar social, sendo assim um insumo indispensável na vida da humanidade. Portanto, a geração de energia para suprir necessidades de consumo é uma questão importante para todos os governos e a diversificação na matriz energética se faz fundamental nesse cenário. As fontes de produção energética podem ser renováveis – por exemplo, a partir da força das águas, dos ventos e energia solar – ou não renováveis – como aquelas oriundas de matéria prima dos recursos fósseis (carvão, petróleo, etc.) essas em quantidade finita no planeta. Contudo, um elevado uso de matrizes térmicas convencionais (carvão, derivados de petróleo e gás natural) para produção de energia, vem provocando elevação nos percentuais de gases de efeito estufa (GEE) – subprodutos da queima dos combustíveis fósseis. De acordo com a Convenção sobre Mudança do Clima isso tem influência direta no atual desequilíbrio ambiental do planeta e do que resultou em mudanças climáticas observadas no globo.

Desde o início de 1990 estudos alertavam sobre efeitos da deterioração do meio ambiente e o aquecimento global despertando a interesse e preocupação da sociedade. Os registros de elevadas temperaturas no mundo apontam que esse possui relação direta como o elevado volume de emissões dos gases causadores do efeito estufa (GEE) especialmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é resultado nos processos de queima a partir dos combustíveis fósseis. (ANEEL, 2008).

Com essa preocupação pública, surgiu em 2006 o termo economia de baixo carbono que descreve ações que empresas e países devem assumir com objetivo de melhoria em seus processos produtivos visando reduzir impacto ao meio ambiente, com diminuição de emissão dos gases de efeito estufa e impulsionar à sustentabilidade. (VIOLA; FRANCHINI, 2012).

Atualmente, as fontes renováveis são opções viáveis para geração de energia mais limpa. Uma delas é a matriz da biomassa, que se refere geração de energia a partir de matéria orgânica (animal ou vegetal). Em escala nacional, pela grande extensão territorial e por um clima favorável (tropical e chuvosa), os investimentos na matriz de biomassa oferecem grande potencial e condições para geração de energia elétrica no país. (CCEE, 2015).

Foram realizadas, no item 3. Apresentação e Análise de Resultados, estudos de custo benefício a partir das tecnologias das usinas de incineração e usinas de biodigestão anaeróbicas, estas onde há canalização do biogás produzido pela biomassa, e aquelas onde realizam processo de queima da biomassa.

Esse artigo propõe um modelo mais abrangente e moderno de utilização da biomassa que é através da utilização de resíduos sólidos oriundos do consumo urbano para geração de energia. Uma destinação correta do lixo sólido gerado pelas cidades atenua drasticamente difíceis questões enfrentadas pela sociedade e pela administração pública. Assim sendo, elas viram matéria prima para usinas ao invés do descarte em aterros sanitários e/ou lixões o que resulta em uma diminuição do impacto socioambiental devido redução da poluição. Além disso, a inserção do lixo na cadeia produtiva com finalidade de dividendos significativos para sociedade.

### 1. Metodologia

Este artigo foi elaborado a partir de pesquisa exploratória. O mesmo ainda apresenta um caráter interpretativo e de natureza qualitativa e quantitativa, pelo método indutivo com exposição de dados empíricos em casos de geração energética alternativa como ênfase em biomassa oriunda de resíduos sólidos urbanos.

Conforme enunciado por Gil (2002) apud Selltiz et all (1967, p.63), a pesquisa exploratória tem por objetivo publicar o problema com finalidade a torná-lo mais explícito ou até mesmo a compor hipóteses.

No trabalho em questão foram realizadas revisão bibliográfica quanto fontes de geração de energia no mundo, economia de baixo carbono, e biomassa como combustível. Ainda foram realizados análise de exemplos que “estimulem a compreensão” fazendo referência ao potencial que os resíduos sólidos podem apresentar em contrapartida a atual situação (considerados como “aquilo que já não tem utilidade e assim deve ser descartado”).

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Geração de Energia

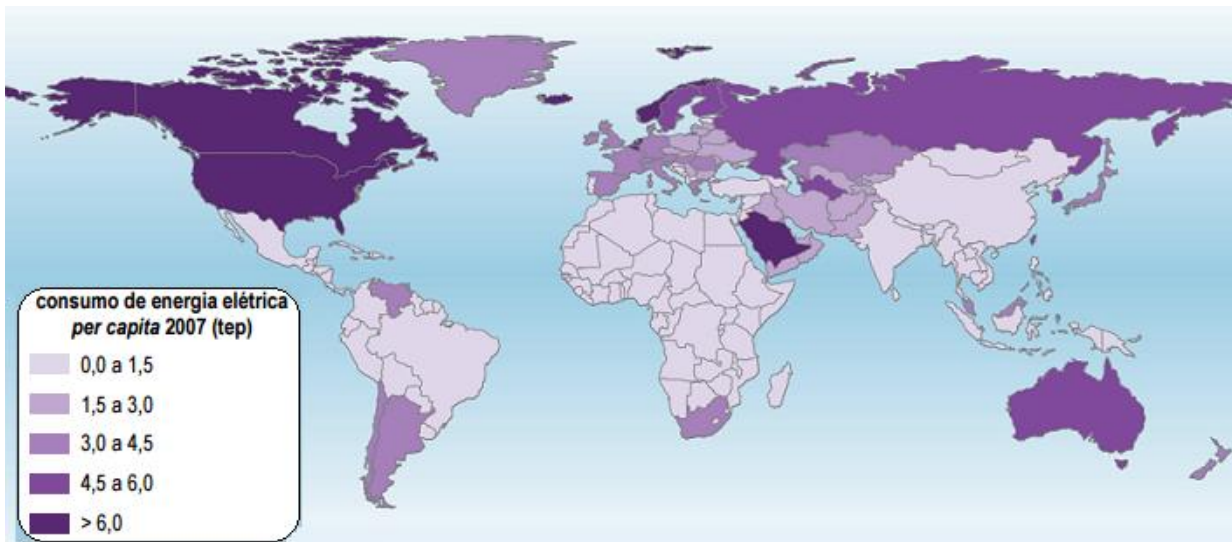
A disponibilidade energética traz progresso para a economia, tal como bem-estar social, sendo assim um insumo indispensável na vida da humanidade. Posto isso, imaginar a interrupção no abastecimento de eletricidade local pode trazer muito desconforto à população, porém nada se equivale a uma possível interrupção em amplitude nacional. Ou seja, o cessar de energia para um Estado equivale a uma catástrofe em sua economia, pois significa a impossibilidade de operação de suas indústrias e conseqüentemente uma crise financeira. Assim, a geração de energia para suprir necessidades de consumo é uma questão importante para todos os governos, desta forma existe interesse desses por meios alternativos de obtenção de energia.

Indicadores de desenvolvimento econômico e qualidade de vida estão diretamente ligados ao consumo de energia, e por isso que há um acentuado crescimento no consumo mundial de energia. Estes índices exprimem o ritmo de atividade dos setores da indústria, comércio e serviços, além do consumo populacional quanto a aquisição de bens e serviços tecnológicos avançados. São exemplos a demanda de combustível para automóveis, e dispêndio de energia elétrica para uso de eletrodomésticos e eletroeletrônicos. (ANEEL, 2008)

Na figura 1 é possível visualizar que os países desenvolvidos, participantes da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), são os que mais consomem energia em relação a renda *per capita* no ano de 2007. Isso diz respeito ao fato desses apresentarem elevada frequência no uso de equipamentos com alto consumo energético, por exemplo nas siderúrgicas. Além disso caracterizam-se por terem uma economia relativamente estável (situação adquirida ao longo do século XX). Em contrapartida, os países em desenvolvimento estão suscetíveis a instabilidade econômica (quer por questões políticas, quer por dependência de capital internacional) e, por exemplo, costumam apresentar demanda reprimida por eletrodomésticos, eletroeletrônicos e automóveis, dentre outros. (ANEEL, 2008).

Desta maneira, como os países necessitam de energia para manter sua economia forte – para funcionamento de indústrias e conseqüente manutenção do seu *status* econômico – os gestores públicos buscam meios alternativos de geração energética para atender suas demandas. As fontes de produção energética podem ser renováveis – por exemplo, a partir da força das águas, dos ventos e energia solar – ou não renováveis – como aquelas oriundas de matéria-prima dos recursos fósseis (carvão, petróleo, etc.) e essas em quantidade limitada no planeta. São exemplos de matrizes geradoras de energia por fontes renováveis: hidráulica, biomassa, geotérmica, marítima, eólica, solar e biogás; e aquelas proveniente de fontes não renováveis: nuclear, gás natural, petróleo e carvão.

**Figura 1 – Consumo de energia *per capita* em 2007**



Fonte: ANEEL 2008

No ano de 2010, a título de exemplificação, foram gerados 20.225 TWh (Terawatt-hora) no mundo, sendo que 66,5% provenientes de matrizes térmicas convencionais; 16,8% de hidroelétricas; 12,9% nuclear; 1,7% eólica; 1,5% biomassa; 0,3% geotérmica; e finalmente 0,2% solar; conforme dados do EPE (2013). Isso demonstra que as fontes de geração elétrica de maior uso mundial ainda são provenientes de recursos não renováveis.

Contudo, um elevado uso de matrizes térmicas convencionais (carvão, derivados de petróleo e gás natural) para produção de energia, vem provocando elevação nos percentuais de gases de efeito estufa (GEE) – subprodutos da queima dos combustíveis fósseis. De acordo com a Convenção sobre Mudança do Clima isso tem influência direta no atual desequilíbrio ambiental do planeta e do que resultou em mudanças climáticas observadas no globo.

## 2.2 Economia de Baixo Carbono

Diante das evidências científicas quanto as mudanças climáticas no planeta algumas conferências internacionais foram convocadas a fim de determinar ações que visam a minimização do desequilíbrio ambiental, de modo a zelar pela “saúde e futuro” do planeta. Tal desarmonia ecologia relaciona-se com as atividades exploratórias humana, provocando tanto prejuízos financeiros – pragas na agricultura, e.g. – quanto impactos negativos na qualidade de vida da humanidade.

Desde o início de 1990 estudos alertavam sobre efeitos da deterioração do meio ambiente e o aquecimento global, assim despertando a preocupação pública. Os registros de elevadas temperaturas no mundo apontam que esse possui relação direta como o elevado volume de emissões dos gases causadores do efeito estufa (GEE), especialmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é resultado nos processos de queima a partir dos combustíveis fósseis. (ANEEL, 2008)

Com essa preocupação pública surgiu em 2006 o termo economia de baixo carbono que descreve ações que empresas e países devem assumir com objetivo de melhoria em seus processos produtivos visando reduzir impacto ao meio ambiente, com diminuição de emissão dos gases de efeito estufa (GEE) e impulsionar à sustentabilidade. (VIOLA; FRANCHINI, 2012)

No contexto atual onde a sustentabilidade é um item com bastante relevância, os autores Viola e Franchini (2012) citam o termo economia verde de baixo carbono (EVBC) e descreve que a prática dessa visa:

(1) redução da intensidade de carbono do PIB; (2) redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) *per capita*; (3) uso eficiente das matérias-primas, alto nível de reciclagem no ciclo produtivo com progressivo abandono da obsolescência planejada no modelo de negócios; (4) uso eficiente da água: redução da intensidade de água por unidade de PIB e uso racional múltiplo dos recursos hídricos; (5) proteção da biodiversidade, utilização racional desses recursos na atividade econômica; (6) diminuição do uso de fertilizantes na agricultura; (7) maximização das energias renováveis na matriz energética; (8) *smart grid*<sup>1</sup> de energia que permita interligar eficientemente as diferentes formas de energia; (9) estímulo ao transporte coletivo e à intermodalidade, privilegiando o abandono progressivo do transporte rodoviário; (10) igualdade republicana de oportunidades com promoção da redução do índice de Gini<sup>2</sup>; (11) estrutura tributária com crescente ênfase na tributação ao carbono, à poluição e ao desperdício de água, em substituição aos clássicos impostos ao capital e trabalho. (VIOLA; FRANCHINI, 2012)

Os países industrializados têm, historicamente, uma grande parcela na responsabilidade pelos elevados percentuais de lançamento de gases de efeito estufa no planeta. Contudo, na atualidade, os países em desenvolvimento, tais como China, Índia, Rússia e Brasil, assumem posições de destaque desse *ranking*. (IPAM, 2009)

Como demonstrado na tabela 1, a União Europeia e Estados Unidos, em 2013, assumiram as 2ª e 3ª posições dos países emissores de gases de efeito estufa na geração de eletricidade, respectivamente, e a China em 1º no *ranking* mundial com 7.311 Mt.CO<sub>2</sub> (milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>). Isso diz respeito ao *boom* econômico vivido pela China, e que em 2006 ultrapassou os Estados Unidos e conquistou a primeira colocação. (EMBRAPA, 2009).

Contudo, com relação a base *per capita*, ou seja, o cálculo do total de emissão de um país dividido pela quantidade de habitantes, os Estados Unidos ganham em disparada dos demais. Ou seja, apesar da China ser o país que mais emite gases de efeito estufa, pois encontra-se em uma situação de desenvolvimento econômico com pesados investimentos em indústrias e construções, ainda sim cada americano polui quase 4 vezes mais que um chinês (mesmo a China tendo população, aproximadamente 325% maior que dos EUA).

Neste contexto, os países sofrem pressão dos órgãos internacionais por uma otimização de seus processos com o propósito de reduzir a emissão de gases de efeito estufa no meio ambiente, da mesma maneira que existe uma preocupação mundial quanto a exploração de fontes energéticas não renováveis, por serem finitas e mais poluentes. Portanto, o mundo busca pela geração sustentável de energia objetivando um baixo impacto ambiental.

---

<sup>1</sup> Com significado do inglês “redes inteligentes”.

<sup>2</sup> O índice de Gini calcula a desigualdade de distribuição de renda de um país, por exemplo, e foi desenvolvido pelo estatístico italiano Corrado Gini em 1912. Para maiores informações acesse <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/Entendendo\\_Indice\\_GINI.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/Entendendo_Indice_GINI.pdf)>.

**Tabela 1: Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) na geração elétrica em 2013**

País	Emissão Mt.CO <sub>2</sub>	Emissão per capita tCO <sub>2</sub> /hab
China	7.311	5,4
União Européia	5.987	7,3
Estados Unidos	5.369	17,3
Rússia	1.581	11,2
Índia	1.626	1,4
Japão	1.143	9
Alemanha	762	9,3
Austrália	383	17
Reino Unido	484	7,8
Coréia do Sul	563	11,5
Brasil	36	0,19

Fonte: EPE, 2013

### 2.3 Biomassa

Na atualidade, as fontes renováveis são opções viáveis para geração de energia mais limpa. Uma delas é a matriz da biomassa, que se refere geração de energia a partir de matéria orgânica (animal ou vegetal). Assim, além de apresentar potencial energético, o uso dessa pode ser vista como um processo que auxilia na redução de impactos socioambiental (fazendo referência ao lixo que por definição também é biomassa).

O planeta está coberto por biomassa (tais como galhos e folhas secas, dejetos de animais, etc.) e esse pode ser aproveitado para gerar energia. Em escala nacional, pela grande extensão territorial e por um clima favorável (tropical e chuvosa), os investimentos na matriz de biomassa oferecem grande potencial e condições para geração de energia elétrica. (CCEE, 2015)

Vários são os resíduos encontrados com condições de transformação em combustível, e.g. insumos agrícolas no país, o de maior potencial refere-se ao bagaço da cana-de-açúcar, por sua larga escala de plantações. Tal situação tange pela grande quantidade de resíduos que o setor sucroalcooleiro gera (bagaço, palha, vinhoto, etc.) e como pode ser aproveitado para a geração de eletricidade em sistemas de cogeração, ou seja, um processo – quase que simultâneo – de produção e consumo energético. Para exemplificar pode ser citado que para o processamento da cana são requeridos cerca de 12 kWh (quilowatt-hora), em média, os quais pode ser gerado pelos próprios resíduos do processo. (CCEE, 2015)

Conforme ANEEL (2005) nove são os possíveis processo de conversão energética da biomassa. São as principais, por exemplos: 1. Conversão por combustão direta que ocorre em fogões, fornos e caldeiras onde gera vapor (calor); 2. Gaseificação que se refere a conversão de combustíveis sólidos em gasosos por meio de reações termoquímicas; 3. Pirólise que é o processo de conversão de um combustível em outro de melhor qualidade e conteúdo energético – a exemplo a conversão de lenha em carvão; 4. Digestão anaeróbica que consiste em um processo na decomposição do material pela ação de bactérias, contudo, ocorre na ausência de ar; 5. Fermentação que é um processo biológico anaeróbico onde os açúcares de plantas são convertidos em álcool por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras); e 6. Transesterificação que

é um processo químico que consiste na reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo, oriundo de reação entre álcoois e uma base. (ANEEL, 2005).

O lixo acumulado nos aterros e lixões, por razão natural de decomposição, liberam gases de efeito estufa. O metano (CH<sub>4</sub>) é um desses gases e ele tem elevado potencial explosivo além de se inalado pode causar asfixia e perda de consciência, parada cardíaca, e podendo causar danos no sistema nervoso central. Uma alternativa para aproveitamento deste gás é a queima com finalidade de uso energético. (ECYCLE, 2015)

Desta maneira, os resíduos sólidos – referente ao consumo urbano – podem ser uma alternativa de matéria-prima para as usinas da biomassa. Os impactos socioambientais que esses geram e a alternativa no uso desses como produção de energia serão discutidos no item a seguir.

### **3. Apresentação e Análise de Resultados**

#### **3.1 Lixo e os impactos sócio ambientais**

O lixo é um material indesejado gerado a partir de atividades humanas, e este quando descartado de forma inadequada traz problemas. As consequências, por exemplo, são quanto a poluição ambiental (poluição de lençóis freáticos, do solo, os rios, etc.), entupimento de esgotos gerando inundações e alagamentos em vias urbanas, transtornos quanto ao acúmulo de dejetos em aterros e/ou lixões, etc.

Do lixo gerado até o início do século 20, em sua maioria, se reintegrava ao ciclo natural (putrefação de material orgânico por microrganismos decompositores resultando em devolução de nutrientes ao solo) e voltavam como adubo na agricultura. Contudo, com a intensificação da industrialização e pela concentração populacional em grandes metrópoles o lixo tornou-se um problema. (MMA, 2005)

Nos centros urbanos os gestores públicos enfrentam desafios dos tipos espacial e econômico, ou seja, quanto mais é descartado mais espaço é necessário para comportar esse e menor é o tempo de vida útil do aterro sanitário, além do elevado investimento financeiro por meio das prefeituras para a manutenção da limpeza urbana. (LAMAS, 2014).

Em relação ao lixo doméstico cerca de 25% desse refere-se a embalagens, e aproximadamente 80% dessas são descartados após primeiro uso. Como nem tudo será reciclado, essas serão encaminhado a aterros, lixões e transfigurarão em “montanhas de lixo”. Desta maneira os desafios já mencionados quanto ao espaço para comportar este lixo e custo na manutenção da limpeza estarão presentes. (MMA, 2015).

Uma alternativa – infeliz - é o despejo dos resíduos no mar - oriundos de barcos, plataformas petrolíferas bem como lixo vinda do continente. Uma elevada parte desse lixo é composta por embalagens e sacolas plásticas o que provoca sérios problemas para o ecossistema marinho. Estima-se que anualmente mais de um milhão de aves e 100 mil mamíferos marinhos morram em virtude dos resíduos plásticos. (MMA, 2015).

Desta maneira, o elevado volume de resíduos sólidos ocasiona várias consequências negativas como:

"...custos cada vez mais altos para coleta e tratamento do lixo; dificuldade para encontrar áreas disponíveis para sua disposição final; grande desperdício de matérias-primas. Por isso, os resíduos deveriam ser integrados como matérias primas nos ciclos produtivos ou na natureza. Outras consequências do enorme volume de lixo gerado pelas sociedades modernas, quando o lixo é depositado em locais inadequados ou a



coleta é deficitária, são: contaminação do solo, ar e água; proliferação de vetores transmissores de doenças; entupimento de redes de drenagem urbana; enchentes; degradação do ambiente e depreciação imobiliária; doenças. (MMA, 2005).

Por fim de exemplificação dos impactos, mas não menos importante, a decomposição dos materiais orgânicos em lixões ou aterros são responsáveis pela geração de biogás (mistura gasosa com composição, em sua maioria, por gás causador do efeito estufa – metano e CO<sub>2</sub>). Este caso, esses gases lançados na atmosfera são os que colaboram para o aquecimento global, e o maior agravante é que apesar do dióxido de carbono ser um conhecido gás de efeito estufa e por apresentar grandes emissões na atmosfera, esse não eleva substancialmente as concentrações dos gases de efeito estufa. Contudo, o metano, por apresentar poder de aquecimento global de 21 vezes maior do que o primeiro, apresenta significativa representatividade negativa. (ALVES, 2014).

À vista disso, o lixo é descartado de qualquer maneira por grande parte das pessoas, por ser enxergado como sendo de não mais utilidade, além do fato de ser percebido como algo que remete, por exemplo, a sujeira, nojeira, mau cheiro, imundície. Em síntese, grande parte da população trata o lixo como sendo materiais sem mais valor, o que não é verdade.

### 3.2 Geração de energia a partir do lixo

A utilização e gerenciamento do lixo é muito inferior ao potencial que ele apresenta. Todo o lixo pode ser aproveitado de alguma maneira. Um potencial uso desse, por exemplo, refere-se à transformação dos resíduos do lixo em combustível para a matriz de bioenergia (energia obtida a partir da biomassa).

Segundo o engenheiro Nelson Domingues, presidente da Ecourbis Ambiental<sup>3</sup>, é possível analisar a riqueza de uma população pelo lixo. Sendo assim, por exemplo, é possível constatar que houve um enriquecimento da população da cidade de São Paulo (maior metrópole da América do Sul e 10ª mais rica do planeta), pois são geradas 18.300 toneladas de resíduos todos os dias (12 mil toneladas oriundas de domicílios, 871 de feiras livres e o demais de entulhos recolhidos em vias públicas). (LAMAS, 2014).

Para Ricardo Abramovay, economista da USP, “Lixo é riqueza, não pode ser desperdiçado”. Segundo estimativa do Ipea, poderia ser inserido na economia R\$ 8 bilhões anuais (em valores do ano 2007) via a reciclagem e a reutilização de aço, alumínio, papel (celulose) e vidro. Além disso, segundo cálculos preliminares por Tasso Azevedo entre 2005 e 2011 houve um aumento de 14% de emissão de gases de efeito estufa decorrentes da administração inadequada dos resíduos. (ABRAMOVAY, 2013).

Utilizando a análise de custo benefício proposta por HENRIQUES et al (2003) existem três tecnologias de obtenção de energia do lixo, mas nesse estudo somente duas delas são abordadas: incineração e gás de lixo. A tabela 2 a seguir apresenta informações como custo de combustível, custo de manutenção e operação, investimento inicial, prazo de instalação e vida útil de cada uma das alternativas.

---

<sup>3</sup> Ecourbis Ambiental é uma das concessionárias responsável pela coleta de lixo na cidade de São Paulo.

**Tabela 2: Informações das tecnologias de gás de lixo e incineração**

	Gás de Lixo	Incineração
Rendimento (MW/Tonelada)	0,01	0,032
Investimento (U\$S/MW)	1000	1500
Vida Útil (Anos)	15	30
Prazo de Instalação (Meses)	12	18
Custo de Combustível (U\$S/MW)	0	-8,18
Custo de Operação e Manutenção (U\$S/MW)	7,13	7,67

Fonte: HENRIQUES et al (2003)

Aplicando o modelo proposto por HENRIQUES et al (2003) em algumas capitais brasileiras a produção de energia a partir do lixo apresenta valores significativos. Utilizando dados do IBGE (2010) sobre a coleta de lixo diário das grandes cidades brasileiras e quantidade de domicílios por cidade, foi calculado pelos autores o potencial de energia produzido. O primeiro estudo de caso a seguir projeta a geração de energia utilizando a tecnologia de gás de lixo – ou biodigestores anaeróbicos - e pode ser visto na tabela 3 abaixo:

**Tabela 3: Potencial de produção gás de lixo versus residências**

Cidade	Lixo (Milhares de Toneladas)	Potencial de Produção Gás de Lixo (MW)	Projeção de Residências Abastecidas (Milhões)	Residências por cidade (Milhões)	Percentual
São Paulo	20,15	201,50	0,605	3,933	15,37%
Rio de Janeiro	9	90,00	0,270	2,409	11,21%
Belo Horizonte	4,92	49,20	0,148	0,847	17,43%
Brasília	2,57	25,70	0,077	0,857	9,00%
Salvador	2,49	24,90	0,075	0,963	7,76%
Manaus	2,4	24,00	0,072	0,516	13,95%
Fortaleza	2,38	23,80	0,071	0,78	9,15%
Porto Alegre	1,61	16,10	0,048	0,575	8,40%
Curitiba	1,55	15,50	0,047	0,635	7,32%
Recife	1,38	13,80	0,041	0,515	8,04%
<b>Total</b>	<b>48,45</b>	<b>484,5</b>	<b>1,4535</b>	<b>12,03</b>	<b>12,08%</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Caso o projeto fosse desenvolvido baseado nos dados de HENRIQUES et al (2003) em capitais brasileiras, a quantidade de energia gerada poderia suprir em média 12,08% dos domicílios, com base nos dados oferecidos pelo IBGE (2010) referentes a quantidade de lixo produzida por cada uma dessas cidades. Evidentemente que para cada cidade o projeto deveria sofrer adequações dado o ambiente e as condições de logística e instalação, mas pode-se constatar que a geração de energia a partir dos resíduos sólidos é uma ótima alternativa energética para as grandes cidades. Por outro lado, gerando energia utilizando o método da incineração (tabela 4), os valores do MegaWatt produzido para a mesma quantidade de lixo são bastante superiores.

Utilizando o método da incineração no mesmo cenário do estudo anterior, os valores de produção de energia elétrica são significativamente maiores. É interessante ressaltar que nos casos de Belo Horizonte e São Paulo essa produção de energia elétrica poderia abastecer parcialmente essas metrópoles, principalmente em um cenário de crise hídrica que atenua a produção hidráulica da região. Esses dados justificam os enormes investimentos feitos por ambas cidades na produção de energia do lixo com plantas com elevada potência instalada e em funcionamento.

**Tabela 4: Potencial de produção incineração versus residências**

Cidade	Lixo (Milhares de Toneladas)	Potencial de Produção Incineração (MW)	Projeção de Residências Abastecidas (Milhões)	Residências por cidade (Milhões)	Percentual
São Paulo	20,15	644,8	1,934	3,933	49,18%
Rio de Janeiro	9	288	0,864	2,409	35,87%
Belo Horizonte	4,92	157,44	0,472	0,847	55,76%
Brasília	2,57	82,24	0,247	0,857	28,79%
Salvador	2,49	79,68	0,239	0,963	24,82%
Manaus	2,4	76,8	0,230	0,516	44,65%
Fortaleza	2,38	76,16	0,228	0,78	29,29%
Porto Alegre	1,61	51,52	0,155	0,575	26,88%
Curitiba	1,55	49,6	0,149	0,635	23,43%
Recife	1,38	44,16	0,132	0,515	25,72%
<b>Total</b>	<b>48,45</b>	<b>1550,4</b>	<b>4,6512</b>	<b>12,03</b>	<b>38,66%</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Portanto, a viabilidade de geração de energia a partir do lixo é real. Na figura 2 é possível visualizar os processos de produção de maneira resumida das usinas de biodigestão anaeróbica e das usinas de incineração. Como pode ser observado ambas tecnologias realizam previamente a separação dos resíduos orgânicos. Posteriormente, os processos se diferenciam, mas como mesmo propósito: aproveitamento do potencial energético do lixo. Como traçado por Carvalho (2011) as usinas de biodigestão anaeróbica canalizam o biogás produzido pela biomassa além de tratar o subproduto e vendê-lo como fertilizantes; já nas usinas de incineração é realizado o processo de queima da biomassa que resulta em produção de energia.

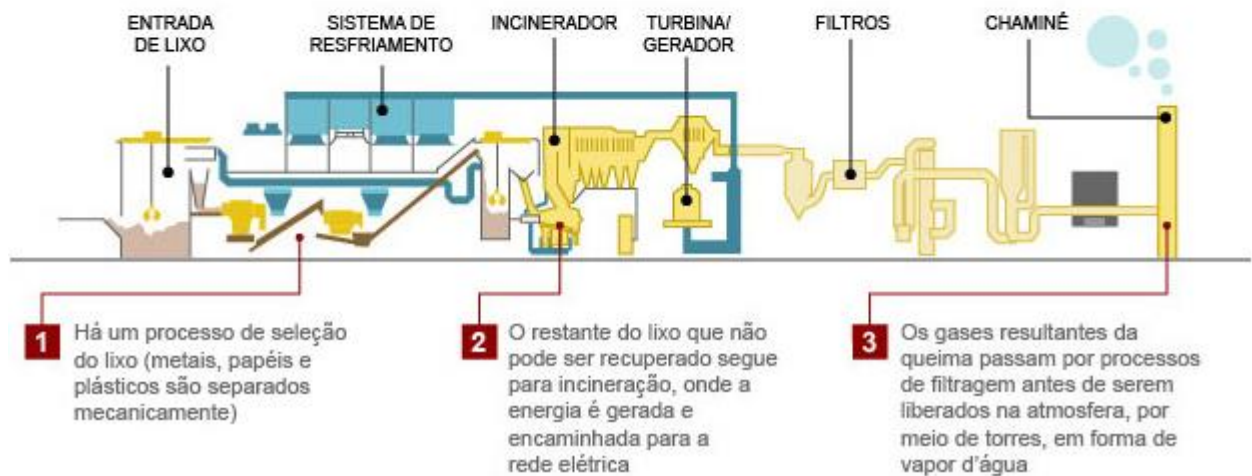
A tabela 5 apresenta importantes informações referente ao investimento, custo do combustível, custo de operação e manutenção para uma usina de biodigestor anaeróbico durante um ano de funcionamento. Caso um investimento de U\$S 484,5 milhões fossem aplicados em geração de energias alternativas ao menos dez usinas seriam construídas nas dez maiores capitais do país. É interessante constatar com o custo de combustível é nulo, pois se trata do aproveitamento de um gás que já se faz presente nos aterros sanitários e lixões. O papel da usina de biodigestores é basicamente por canalizar todo esse gás para o beneficiamento e geração de energia.

**Figura 2: Usina de biodigestão anaeróbica e Usina de incineração**

**Usina de biodigestão anaeróbica**



**Usina de incineração**



Fonte: CARVALHO, 2011

Quanto as projeções de custo da usina de incineração, tecnologia de geração de energia aproveita de maneira mais eficiente os resíduos sólidos gerados, apresenta um custo de implantação mais elevado que o modelo anteriormente citado. Contudo, a análise da tabela 7 traz um dado interessante em relação ao custo de combustível, o valor é negativo, ou seja, a receita oriunda do produto final gerado da incineração é maior que o custo com a aquisição do material bruto.

**Tabela 5: Projeção de custos da usina de Biodigestor Anaeróbico**

Cidade	Potencial de Produção Gás de Lixo (MW)	Investimento (Milhões)	Geração de Energia em um ano (MWh)	Custo de Combustível (US\$)	Custo de Operação e Manutenção (US\$ Milhões)
São Paulo	201,50	\$201,50	1.740.960	\$0,00	\$12,41
Rio de Janeiro	90,00	\$90,00	777.600	\$0,00	\$5,54
Belo Horizonte	49,20	\$49,20	425.088	\$0,00	\$3,03
Brasília	25,70	\$25,70	222.048	\$0,00	\$1,58
Salvador	24,90	\$24,90	215.136	\$0,00	\$1,53
Manaus	24,00	\$24,00	207.360	\$0,00	\$1,48
Fortaleza	23,80	\$23,80	205.632	\$0,00	\$1,47
Porto Alegre	16,10	\$16,10	139.104	\$0,00	\$0,99
Curitiba	15,50	\$15,50	133.920	\$0,00	\$0,95
Recife	13,80	\$13,80	119.232	\$0,00	\$0,85
<b>Total</b>	<b>484,50</b>	<b>\$484,50</b>	<b>4.186.080</b>	<b>\$0,00</b>	<b>\$29,85</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

**Tabela 7: Projeção de custos da usina de Incineração**

Cidade	Potencial de Produção Incineração (MW)	Investimento (US\$ Milhões)	Geração de Energia em um ano (MWh)	Custo de Combustível (US\$ Milhões)	Custo de Operação e Manutenção (US\$ Milhões)	Lucro Anual (US\$ Milhões)
São Paulo	644,8	\$967,20	5.571.072	-\$45,57	\$42,73	\$2,84
Rio de Janeiro	288	\$432,00	2.488.320	-\$20,35	\$19,09	\$1,27
Belo Horizonte	157,44	\$236,16	1.360.282	-\$11,13	\$10,43	\$0,69
Brasília	82,24	\$123,36	710.554	-\$5,81	\$5,45	\$0,36
Salvador	79,68	\$119,52	688.435	-\$5,63	\$5,28	\$0,35
Manaus	76,8	\$115,20	663.552	-\$5,43	\$5,09	\$0,34
Fortaleza	76,16	\$114,24	658.022	-\$5,38	\$5,05	\$0,34
Porto Alegre	51,52	\$77,28	445.133	-\$3,64	\$3,41	\$0,23
Curitiba	49,6	\$74,40	428.544	-\$3,51	\$3,29	\$0,22
Recife	44,16	\$66,24	381.542	-\$3,12	\$2,93	\$0,19
<b>Total</b>	<b>1550,4</b>	<b>\$2.325,60</b>	<b>13.395.456</b>	<b>-\$109,57</b>	<b>\$102,74</b>	<b>\$6,83</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Muito embora, o investimento inicial para implantação desse sistema esteja orçado na casa dos US\$ 2,325 bilhões essa tecnologia mostra-se viável quando é levado em consideração o lucro obtido da utilização da usina e a longevidade da planta (em torno de 30 anos). (HENRIQUES et al, 2003).

#### 4. Considerações finais

Através deste estudo foi possível uma revisão sobre a necessidade energética mundial, as fontes de geração mais utilizadas na atualidade, a economia de baixo carbono, e como a utilização

da biomassa pode ser uma alternativa energética viável. Partindo desses conceitos foram expostos argumentos demonstrando como esses se entrelaçam no cenário contemporâneo.

Diante da dependência mundial por energia a necessidade pela geração dessa é constante. Os Estados necessitam de energia para manter seu desenvolvimento econômico, pois para o funcionamento e manutenção das atividades industriais há uma elevada demanda de fontes energéticas.

Visto que existe uma crescente demanda por energia em contraposição a uma limitada oferta, muitos projetos são desenvolvidos buscando alternativas. Contudo, esses projetos devem estrategicamente alinhar baixo impactos socioambientais a viabilidade econômica. Tendo como exemplo a utilização de biomassa como fonte para geração de energia mais limpa.

No caso do lixo gerando nas cidades, esses são vistos como não mais úteis, porém essa é uma visão ultrapassada, pois os dejetos orgânicos quando em processo de decomposição produzem gases com potencial energético. Além de problemas gerados nos centros urbanos, como uma melhor destinação dos resíduos sólidos as contas públicas em relação a gastos em limpeza urbana e manutenção de aterros e/ou lixões são diminuídos.

Como estimado pelas análises realizadas a partir de dados quantitativos de lixo produzido pelas residências localizadas em perímetro urbano e quando esses podem gerar energia utilizando tecnologias de incineração e de usinas de biodigestão anaeróbica torna-se viável os investimentos nesses.

Foi constatado que pelo método da incineração os valores de produção de energia elétrica são significativamente altos. Sendo que nos casos de Belo Horizonte e São Paulo, por exemplo, com essa produção alternativa poderia abastecer parcialmente as respectivas metrópoles, principalmente em um cenário de crise hídrica que atenua a produção hidráulica da região.

Muito embora, o investimento inicial para implantação da tecnologia citado acima seja aproximadamente de U\$S 2,325 bilhões, ainda sim mostra-se viável quando é levado em consideração o lucro obtido da utilização da usina e a longevidade da planta (em torno de 30 anos).

Portanto, o artigo consegue atingir ao objetivo de propor um modelo alternativo para geração de energia através da inserção da biomassa (mais especificamente de resíduos sólidos urbanos) na cadeia produtiva. Já que este lixo gerado pelas cidades trazem vários problemas socioambientais e econômicos. São exemplos desses: morte de animais marinhos em razão de embalagens jogadas no mar; acúmulo e proliferação de vetores de doenças (ratos, baratas, mosquitos, etc.); enchentes; elevados custos aos cofres públicos quanto a manutenção de aterros e lixões, bem como manutenção da limpeza urbana; etc.

Como sugestão de ações para incentivo a coleta seletiva correta e conseqüentemente melhor aproveitamento desses, nos centros urbanos os gestores públicos deveriam pensar em programas que repassassem incentivo financeiro aos indivíduos que realizarem uma coleta seletiva correta - desde a separação dos resíduos até a destinação final - a fim de aproveitá-los como matéria prima para matrizes energéticas. Ou seja, todos estariam ganhando com a conscientização no descarte correto do lixo, pois segundo Abramovay (2011) “Lixo é riqueza, não pode ser desperdiçado”.

## Referências

ABRAMOVAY, Ricardo; SPERANZA, Juliana Simões; PETITGAND, Cécile. **Lixo Zero: Gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera.** São Paulo: Planeta Sustentável: Instituto Ethos, 2013. ISBN 978-85-364-1615-1.

ALVES, João Wagner. **O lixo e as mudanças climáticas.** Edição Especial Lixo. Nacional Geographic Brasil. Editora Abril, edição 165-A, 2014.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 3ª edição, 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 01/07/2015.

\_\_\_\_\_. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 2ª edição – Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/index.html>>. Acesso em: 01/07/2015.

CARVALHO, Eduardo. **SP vai licitar primeira termelétrica movida a lixo.** 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2011/06/sp-vai-licitar-primeira-termeletrica-movida-lixo-do-brasil.html>>. Acesso em: 22/08/2015.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Fontes.** 2015. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/portal>>. Acesso em: 20/07/2015.

ECYCLE. **Metano: o gás-estufa pode ser um biogás para a geração de energia.** 2015. Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/63/2426-metano-composicao-o-que-e-pra-que-serve-hidrocarboneto-ch4-incolor-inodoro-fontes-digestao-lixo-organico-reservatorios-hidreletricas-efeitos-aquecimento-global-gas-estufa-controlar-biogas-gas-natural-aterro-sanitario-lixao-compostagem-domestica.html>>. Acesso em: 27/08/2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Quais os países que mais emitem gases de efeito estufa?** 2009. Disponível em: <[http://www.aquecimento.cnpemembrapa.br/conteudo/historico\\_aq\\_paises.htm](http://www.aquecimento.cnpemembrapa.br/conteudo/historico_aq_paises.htm)>. Acesso em: 07/07/2015.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013.** Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf)>. Acesso em: 01/07/2015.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4 ed, São Paulo: Atlas, 2002.

HENRIQUES, Rachel; OLIVEIRA, Luciano; COSTA, Ângela. **Geração de Energia com resíduos Sólidos Urbanos: Análise Custo Benefício.** V Encontro Nacional da ECOECO – Caxias do Sul, 2003. Disponível em: <[http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/v\\_en/Mesa4/10.pdf](http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/v_en/Mesa4/10.pdf)>. Acesso em: 18/09/2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. ISSN 0104-3145. 2010. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/97/cd\\_2010\\_familias\\_domicilios\\_amostra.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/97/cd_2010_familias_domicilios_amostra.pdf)>. Acesso em: 29/08/2015.

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **Quem são os grandes emissores de gases de efeito estufa?** 2009. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/saiba-mais/abc/mudancaspergunta/Quem-sao-os-grandes-emissores-de-gases-de-efeito-estufa-/16/7>>. Acesso em: 01/07/2015.

LAMAS, Júlio. **Uma montanha que só cresce**. Edição Especial Lixo. Nacional Geographic Brasil. Editora Abril, edição 165-A, 2014.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Consumo sustentável: Manual de educação**. Brasília: *Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC*, 2005, 160p. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>>. Acesso em: 01/07/2015.

\_\_\_\_\_. **Impacto das embalagens no meio ambiente**. 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente>>. Acesso em: 01/07/2015.

VIOLA, Eduardo; FRANCHINI, Matías. **Os limiares planetários, a Rio +20 e o papel do Brasil**. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1679-39512012000300002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-39512012000300002)>. Acesso em: 07/07/2015.