

ESTUDO DE VIABILIDADE DA EXPLORAÇÃO DE BIOGÁS EM UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE

FERNANDO HENRIQUE RIBEIRO HOLANDA; JOSE CAPELO-NETO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
zecapelo@hotmail.com

Resumo - A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010 estimula a valorização da reciclagem, da organização e do fim da informalidade dos catadores, além de incentivar o aproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários. Entretanto, a literatura atual pouco explora os aspectos econômicos da operação de pequenos aterros através de cooperativa de catadores. Fundamentado nesses princípios, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica do aproveitamento do biogás de um pequeno aterro sanitário no processamento de polietileno de alta densidade (PEAD) por uma cooperativa de catadores e confronta-la com a viabilidade de um modelo convencional. Modelou-se uma vazão de base de biogás de $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, produzindo uma quantidade constante de energia elétrica da ordem de $700 \text{ kW} \cdot \text{h}^{-1}$ de 2015 até 2022. A partir daí, analisou-se a viabilidade econômica de dois ambientes distintos, operação através de uma cooperativa de catadores e de uma empresa de reciclagem. Para cada um desses dois ambientes, foram desenvolvidos três cenários de aquisição do material plástico (100% comprado, 50% comprado e 50% doado, 100% doado). Foi possível constatar que a sustentabilidade econômica de um sistema deste porte foi atingida apenas operando-se através de cooperativa e com recebimento gratuito da matéria prima. O estudo mostrou ainda que, sem considerar os ganhos ambientais e os sociais, a viabilização e a sustentabilidade da cadeia produtiva proposta ficam fragilizadas.

Palavras-chave: *Aproveitamento de Biogás. Reciclagem. Cooperativa.*

Abstract - The National Solid Waste Policy (PNRS) 2010 stimulates recovery of recyclables, the organization and the formalization of waste pickers work, and encourage the energy use of biogas generated in landfills. Based on these principles, the present work used first order equation to simulate biogas generation and economic studies for the implementation of a plastic recycling system using the energy produced by the biogas in a landfill small. Current literature little explores the economics of this niche and, therefore, grounds for a successful implementation of PNRS are scarce. It was modelled up a biogas base flow of $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, producing a constant amount of electricity of $700 \text{ kW} \cdot \text{h}^{-1}$ from 2015 until 2022. From there, we analysed the economic feasibility of two different environments, operating through a waste pickers cooperative and a through recycling company. For each of these two environments it was developed three scenarios of acquisition of plastic material (purchased 100% purchased, 50% purchased and 50% donated, and 100%

donated). The economic sustainability of a system of this size was reached only if operated through cooperative and 100% donated raw material. The study also showed that, without considering the environmental and social gains, the viability and sustainability of this production chain are made vulnerable.

Keywords: *Biogas. Recycling. Cooperative Environment. National Solid Waste Policy.*

I. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos é uma consequência natural do desenvolvimento das cidades, do modelo econômico existente e previsto em qualquer atividade humana. Considerando a necessidade de conviver com esse impacto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei federal nº. 12.305 de 2 de agosto de 2010, foi sancionada e estabeleceu diversas diretrizes para o correto manejo e destinação dos resíduos sólidos no Brasil.

A PNRS incentiva, dentre outras coisas, a necessidade de estabelecer organização de catadores de resíduos sólidos em cooperativas, estimulando assim o fim da informalidade da classe e possibilitando condições mais dignas de trabalho. Além destes, a mesma lei incentiva a criação de aterros sanitários com recuperação energética do biogás e a reciclagem de resíduos. O estímulo à associação de catadores em cooperativas agrega o benefício social à reciclagem do lixo, sendo uma alternativa viável para a redução do desemprego e para a melhoria da qualidade de vida destes trabalhadores. Além disso, pode evitar a informalidade, facilitar o acesso aos benefícios sociais e diminuir marginalização do profissional frente a sociedade (MONTEIRO; DA SILVA; DIFANTE, 2013).

Apesar do aterro sanitário não ser considerado a opção ambientalmente mais adequada, é notório que, nas condições econômicas brasileiras, a efetiva implantação dessa técnica em todos os municípios já seria um grande avanço já que as seguintes medidas de proteção ambiental devem estar presentes (BARROS, 2012): sistemas de proteção de aquíferos, drenagem de águas pluviais, sistemas de drenagem e tratamento de lixiviado, monitoramento do aterro com recobrimento diário dos resíduos, acompanhamento após o encerramento e drenagem de gases (biogás).

O biogás é produzido por bactérias através de processos bioquímicos de decomposição anaeróbia da matéria orgânica, produzindo essencialmente o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂), compondo em média 55% e 45% do biogás, respectivamente. O biogás é incolor, possui um odor desagradável, geralmente composto de traços de gás sulfídrico (H₂S) e é inflamável, principalmente, devido à presença do metano que possui um poder calorífico em torno de 5.000 a 7.000 kcal.m⁻³ (TEIXEIRA, 2010). Em contrapartida, a geração de biogás em aterros sanitários pode ser abordada não como um problema ambiental, mas como fonte de energia e transformada em energia elétrica ou térmica, dependendo da finalidade a que se propõe.

Segundo Cardoso *et al.* (2014), a realização de estudos de viabilidade econômica de equipamentos direcionados ao beneficiamento de resíduos, como qualquer outro investimento, é de fundamental importância se a sustentabilidade do processo é desejada. Apesar disso, estudos que abordem este contexto são escassos na literatura brasileira dificultando sobremaneira a aproximação de investidores e governos. Neste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar a viabilidade econômica do aproveitamento do biogás gerado em um aterro sanitário de pequeno porte no beneficiamento do PEAD segregado a partir dos resíduos sólidos domiciliares produzidos na região considerada neste estudo de caso.

II. METODOLOGIA

O Aterro Sanitário Metropolitano Sul está localizado no município de Maracanaú, estado do Ceará, a cerca de 22 km da capital, Fortaleza (Figura 1). Teve suas atividades iniciadas em 1997 recebendo em média 9.500 toneladas mês de resíduos sólidos classe II A (ABNT NBR 10004) dos municípios de Maracanaú, Maranguape e de empresas particulares. Até o ano de 2015, apenas o setor S2 do aterro deve receber RSD, atingindo uma altura útil de 20 metros, sendo aproximadamente 5 metros abaixo e 15 acima do nível do terreno (PMM, 2008).

Dessa forma, este estudo restringiu-se ao setor S2 para estimar o volume de biogás gerado. Para o cálculo da taxa de produção de biogás, utilizou-se um modelo Matemático da USEPA, EPA (2005), que utiliza na modelagem uma equação de primeira ordem a qual leva em consideração, principalmente, as condições climáticas e as características dos resíduos depositados (Equação 1).

$$G_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1} kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (1)$$

Onde:

G_{CH₄} = Geração anual de metano (m³.ano⁻¹)

i = 1- tempo em ano.

n = Ano de cálculo - (iniciado a partir do recebimento de resíduos)

j = 0,1

k = Taxa de geração de metano (ano⁻¹)

L₀ = Capacidade potencial de geração de metano (m³.t⁻¹)

M_i = massa de resíduos recebida no i^o ano (t)

t_{ij} = ano da j^o sessão de resíduos de massa M_i, aceito no i^o ano (frações de ano)

Utilizou-se o valor de k = 0,05, sugerido para aterros em áreas que recebem mais de 630 mm/ano de precipitação fatores (USEPA, 2005). A precipitação média de Maracanaú é de 1.400 mm (IPECE, 2012). O valor de L₀ está relacionado à composição dos resíduos que são depositados no aterro. O valor usado foi baseado na composição gravimétrica dos resíduos na região em estudo (Santos e Mota, 2010), correspondendo a 170 m³.kg⁻¹ (USEPA, 2005).

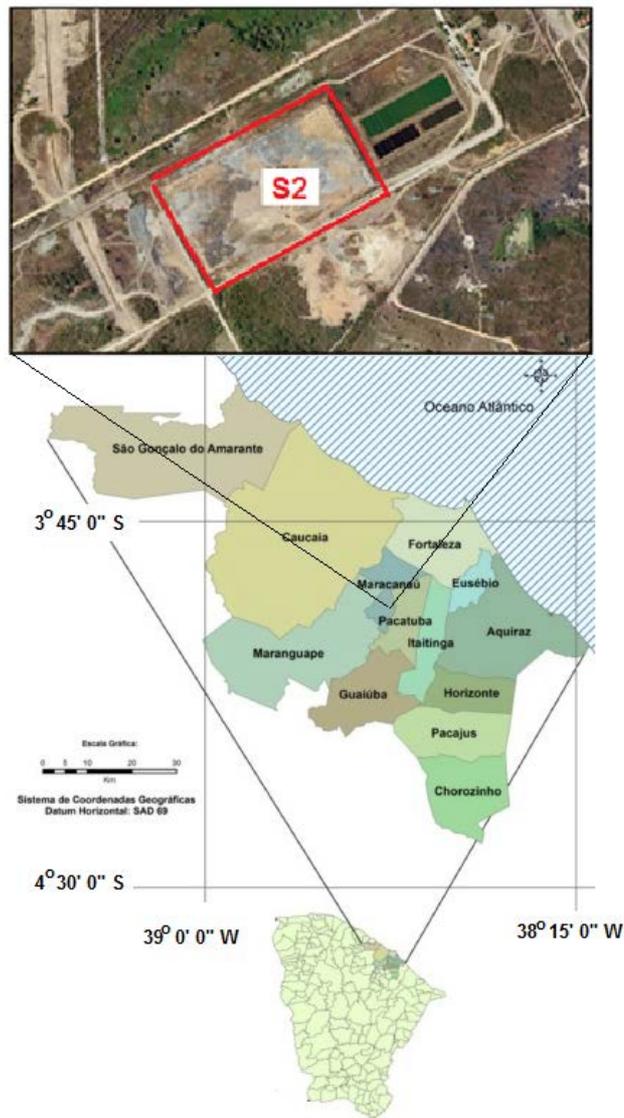


Figura 1 – Localização do Aterro Sanitário Metropolitano Sul e Fotografia aérea do setor S2 reservado para implantação do sistema de coleta de biogás

A geração de energia elétrica, a partir do biogás disponível, foi estimada através da Equação 2 (ICLEI, 2009).

$$PE = \frac{Q \times Pc \times \eta}{f} \quad (2)$$

Onde:

PE= Potencial Elétrico (MW.h⁻¹);

Pc= Poder calorífico do metano (kcal.m³CH₄⁻¹)

Q_{gás} = Fluxo de Biogás (m³CH₄.h⁻¹);

η_{coleta} = Eficiência do equipamento adotado (30%);

f = Fator de correção de kcal para MW (admitido valor de 860.000).

Breve descrição do sistema: O sistema de coleta e drenagem do biogás dimensionado para o setor S2 do aterro é formado por tubulações, conectores, condensador de umidade, purificador de gás e soprador. Inclui-se ainda para a geração de energia, um motor de combustão interna e um gerador de energia elétrica através da queima de biogás. Vale ressaltar que detalhes sobre o projeto executivo do sistema de biogás não são apresentados neste artigo. Com base nos cálculos do potencial de geração de biogás, de geração de energia elétrica, nos projetos do sistema de coleta e drenagem (Figura 2) e no projeto da planta de processamento de plástico, foi avaliada a viabilidade econômica do beneficiamento de um tipo de plástico reciclável, o polietileno de alta densidade (PEAD). A ideia é que o PEAD coletado pelos catadores seja submetido a um processo de limpeza, trituração e peletização para então ser vendido, a um maior custo, às indústrias de reciclagem do município

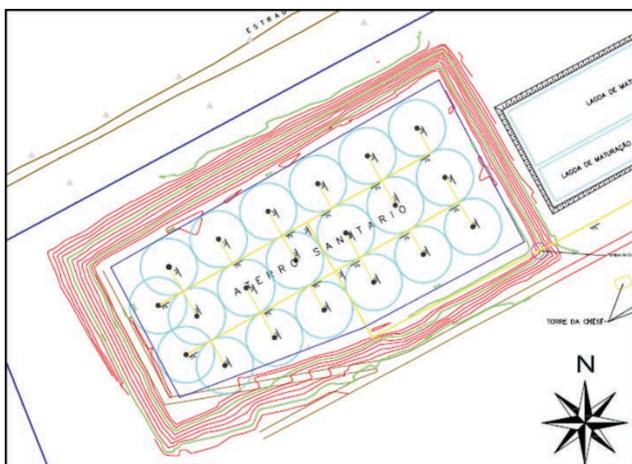


Figura 2 - Poços de coleta de biogás e suas áreas de influência e sistema de drenagem

O PEAD é utilizado na confecção de engradados para bebidas, garrafas de álcool e de produtos químicos, baldes, tambores, tubulações para líquidos e gás, tanques de combustível, embalagens de leites, de sucos, de óleos lubrificantes, de agrotóxicos, etc. Trata-se de um dos tipos de plásticos mais importantes para a indústria de reciclagem por sua propriedade rígida e sua disponibilidade junto aos RSD (CANDIAN, 2007).

Para a estimativa da quantidade de pessoal e materiais necessários para o beneficiamento do plástico, foram consultadas a Cooperativa de Produção do Conjunto Vida Nova de Maracanaú – COOMVIDA e o Comitê Metano Verde de Maracanaú. Os materiais foram divididos em máquinas e equipamentos e equipamentos de proteção individual (EPI). Foram levantados também os custos fixos com pessoal para cada ambiente de execução, energia elétrica, água e telefone. Para cada material, foi avaliada a vida útil e o valor mensal de depreciação, a partir do método da Linha Reta (IBAPE, 2007). Para máquinas e equipamentos, foram estimados valores mensais de manutenção entre 1,5% a 10% do capital, dependendo das características e usos do equipamento. Além desse, adotou-

se ainda um acréscimo de 12% sobre o valor investido relativo ao custo capital, conforme apresentado na tabela 1.

Foram desenvolvidos dois ambientes distintos para cada um dos cenários. Um considerando a operação deste sistema por uma empresa privada de reciclagem do plástico, e outro por uma cooperativa de catadores. O beneficiamento do plástico compõe-se basicamente da segregação, identificação do material utilizável, trituração, lavagem e aglutinação do material plástico produzindo *pellets*.

No ambiente empresa, além dos custos de instalação, a operação torna-se diferenciada devido aos custos fixos agregados ao regime de tributação trabalhista ditados pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Nesse contexto, de acordo com Liber Consultoria (2009), os custos adicionais dos seus funcionários, incluindo os encargos sociais, somam 122,24% do valor do respectivo salário, incluindo o INSS, SESI/SENAI, férias, repouso semanal, aviso prévio, 13º salário, custos rescisórios, dentre outros.

No ambiente Cooperativa, a relação entre seus associados independe do regime trabalhista imposto pela CLT, de forma que, aos cooperados, apenas faz-se necessária uma contribuição de 15% dos valores recebido (MTE, 2001). O Ministério do Trabalho em seu Manual das Cooperativas (2001), afirma: “os cooperados, por sua vez, como pessoas físicas, são considerados autônomos perante a previdência social (ROCSS, Decreto nº 2.173/97, art. 10, IV, “c”, 4) e assim recolhem suas contribuições sobre o salário-base, por meio de carnê.”

Foram simulados ainda, três cenários distintos para o beneficiamento do PEAD, com objetivo de se definir o ponto de equilíbrio econômico-financeiro em função da forma de aquisição da matéria prima. Para o primeiro cenário (Cenário 1), todo o material beneficiado seria adquirido através da compra a agentes externos (outras cooperativas ou empresas), sendo necessário o investimento na aquisição da matéria prima, além dos custos de instalação e operação. Utilizou-se a Equação 3 para estimar a quantidade de matéria prima a partir da qual obtém-se o ponto de equilíbrio.

No segundo cenário (Cenário 2), metade do material beneficiado seria obtido de forma gratuita, através de doação ou coleta seletiva da própria cooperativa e o restante seria adquirido através da compra. Portanto, a Equação 4 foi utilizada para estimar a quantidade de material necessário para atingir o ponto de equilíbrio.

No terceiro cenário (Cenário 3), todo o material beneficiado seria adquirido de forma gratuita, através da doação, ou seja, todo o material trabalhado estaria livre de custos de aquisição, chegando-se a Equação 5.

$$L = (Dm + Vc \times P) - (Vv \times P) \quad (3)$$

$$L = (Dm + \frac{Vc \times P}{2}) - (Vv \times P) \quad (4)$$

$$L = (Dm) - (Vv \times P) \quad (5)$$

Onde:

L= Volume de matéria prima para ponto de equilíbrio (kg);

Dm = Despesas mensais (R\$);

Vc = Valor de compra do plástico – adotado R\$ 0,75/kg. (CEMPRE,2014);
P = Quantidade de plástico utilizado (Kg);
Vv = Valor de plástico para a venda - adotado R\$ 1,25/kg (CEMPRE,2014).

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estimou-se para o aterro de Maracanaú, quando encerrada a disposição de resíduos nas células do setor S2, uma massa de 2.725.000 toneladas de resíduos sólidos e considerou-se que em torno de 50% desta massa seriam resíduos orgânicos de fácil decomposição (BARROS, 2012; SANTOS & MOTA, 2010). Assumindo uma eficiência de drenagem e coleta do biogás de 60% (USEPA, 2005), obtêm-se para o ano de encerramento (2015), 1.171 m³.h⁻¹ de gás drenado. Para o primeiro ano após o encerramento, chega-se a uma vazão máxima de 1.232 m³.h⁻¹ e assim sucessivamente (Figura 3).

Considerando que a porcentagem de metano contida no biogás é de aproximadamente 50% (FERNANDES,2009; SANTOS, 2009), que a eficiência do equipamento gerador de energia elétrica é de 30% – baseado no valor médio de rendimento dos equipamentos (SANTOS, 2009) – e que o sistema de drenagem seja dimensionado para uma vazão de base de 500 m³.h⁻¹, obtêm-se uma quantidade constante de energia elétrica de 700 kW. h⁻¹ de 2015 até 2022. Comparado com o potencial de 13 MW podendo chegar a 33 MW em 2024 no aterro de Caieiras, encontrado por Figueiredo (2010), verifica-se que a geração de energia nos aterros de Maracanaú e pequena, o que pode inviabilizar um projeto para venda desta energia ao mercado e justificando o uso no empreendimento proposto.

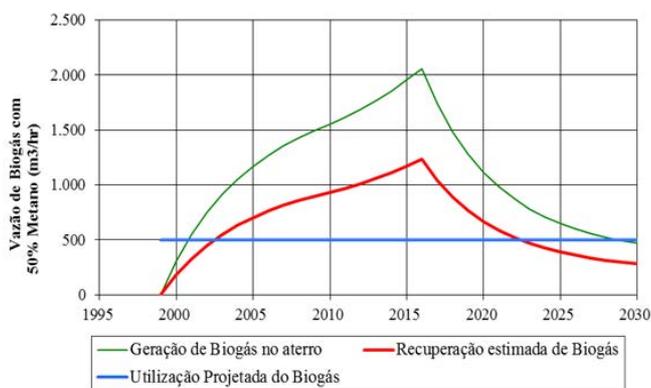


Figura 3 - Geração, recuperação e vazão de projeto de Biogás no ASMS entre 1997 e 2030

A tabela 1

| Descrição | Total mensal (R\$) |
|--|--------------------|
| Equipamentos para processamento do plástico | 6.527,5 |
| Gerador - 330KVA | 10.133,33 |
| Obra Civil, Elétrica Hidráulica Galpão | 17.907,42 |
| Sistema de captação de Biogás | 12.261,85 |
| Custos fixos de pessoal - Ambiente Empresa | 113.915,78 |
| Custos fixos de pessoal – Ambiente Cooperativa | 63.873,28 |

apresenta o custo presente mensal do empreendimento incluindo depreciação, custo de capital, custos de manutenção além dos custos com pessoal para o ambiente empresa e cooperativa. Os equipamentos de beneficiamento do plástico citados nesta tabela correspondem ao moinho de trituração, lavadora e tanques de lavagem, secadoras, máquina tiradora de tampa e rótulos de garrafas e o silo para armazenamento do material produzido. As obras civis para a construção do galpão de beneficiamento foram dimensionadas para uma área de 490 m², incluindo áreas de administrativas, vestiário, cozinha, área de triagem e armazenamento de material além da área de produção. Como pode ser observado, o sistema de captação de biogás e as Obras Civil, Elétrica e Hidráulica do Galpão correspondem a cerca de 65 % do custo de capital do empreendimento (R\$ 30.169,27).

Para o beneficiamento do plástico, estimou-se a necessidade de 54 colaboradores em serviços operacionais e três em serviços de gestão e administrativo. Baseado nesse número, foram dimensionados os custos de aquisição de EPI (óculos de proteção, luvas de proteção, botas e fardamentos), considerando a vida útil e os custos mensais de reposição. Os custos fixos com pessoal no ambiente empresa, considerando o adicional de encargos sociais de 122% sobre o salário dos funcionários são apresentados na Tabela 1. Para o ambiente cooperativa as contribuições dos encargos sociais são de 15% do total pago em participação, gerando um custo mensal de R\$ 63.873,28, conforme mostra a Tabela 1.

Partindo desses valores, os três cenários foram desenvolvidos de forma a identificar qual a quantidade mínima de PEAD a ser processada de forma a repor os gastos do empreendimento. Foram considerados os valores de compra de R\$ 0,75/kg para o plástico na forma bruta (resíduo) e de venda de R\$ 1,25/kg para o plástico beneficiado, vendido diretamente ao mercado. Esses valores foram determinados pela tabela de preço de material reciclável disponível no site do CEMPRE (CEMPRE, 2014).

- No ambiente Cooperativa:

No Cenário 1, a quantidade mínima necessária de plástico beneficiada para obtenção do ponto de equilíbrio foi de 227 toneladas / mês. Já no Cenário 2, onde metade do plástico beneficiado seria comprado e a outra metade adquirida na forma de doação, observou-se que a quantidade mínima de material plástico necessária para custear as despesas mensais seria de 130 toneladas. No cenário 3, situação onde todo o resíduo plástico beneficiado seria oriundo de doações voluntárias ou recuperado pela catação, sem que haja, para tanto, custos de aquisição. A quantidade de material vendido para custear o projeto seria de 91 toneladas por mês.

- No ambiente Empresa:

Para o Cenário 1, 330 toneladas são necessárias para atingir o ponto de equilíbrio. Já para o cenário 2, a quantidade mínima é de 188 toneladas, enquanto no terceiro cenário a quantidade mínima é de 132 toneladas de material plástico beneficiado. Observa-se, portanto, que a diferença entre as quantidades mínimas de resíduos necessárias para atingir o ponto de equilíbrio nos ambientes empresa e cooperativa, para cada cenário, fica em torno de 30%.

observou que o ponto de equilíbrio seria apenas atingido com um preço de venda R\$ 147/MWh. Levando-se em consideração que em 2014 um preço médio para fonte eólica de R\$129,89/MWh foram contratados, verifica-se que mesmo em grandes empreendimentos, o aproveitamento rentável de energia de aterros sanitários não é uma matéria trivial (REGHARGE BRASIL, 2015).

IV. CONCLUSÕES

A utilização de biogás do Aterro Sanitário Metropolitano Sul considerando apenas o setor S1 possui um significativo potencial energético da ordem de 700 kW. h⁻¹ até o ano de 2022 o qual pode ser aproveitado para fins econômicos, sociais e ambientais.

O ambiente cooperativa mostrou-se em torno 30% mais viável no ponto de vista econômico do que o ambiente empresa, devido às menores obrigações trabalhistas. Quando se analisa a capacidade produtiva da planta de processamento (109,2 ton.), somente o cenário de obtenção gratuita de 91 toneladas de PEAD no ambiente cooperativa mostrou-se viável. Isso reforça a importância da coleta seletiva implantada pelo município já que, neste caso, o PEAD seria recebido gratuitamente pela cooperativa e viabilizaria economicamente o empreendimento.

Observa-se ainda que um dos maiores custos de capital (o sistema de captação de biogás) é uma infraestrutura exigida em aterros sanitários e cujos custos poderiam ser alocados não na cadeia produtiva da reciclagem de PEAD, mas nos custos de destinação final dos resíduos, ou seja nos custos do aterro sanitário.

Pode-se inferir também com esta avaliação simplificada que, se analisado somente do ponto de vista econômico/financeiro, o espaço para a viabilização econômica deste empreendimento é bem limitado até para ambientes com menores obrigações trabalhistas (Cooperativa). A conjuntura proposta, que não considera ganhos ambientais e sociais, demonstra que a viabilização econômica e a sustentabilidade desta nova cadeia produtiva dependem fortemente da gestão integrada dos resíduos (coleta seletiva) e de um forte apoio financeiro e principalmente institucional do poder público (financiamentos e subsídios).

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. **Elementos de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte. Tessitura, 2012. ISBN: 978-85-99745-36-6.
- CANDIAN, L. M. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais**. 2007. 153 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007. Disponível online em: http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2007ME_LiviaMatheusCandian.pdf. Acesso em 29/01/2014
- Afrodite da Conceição Fabiana Cardoso, Sérgio Luciano Galatto, Mario Ricardo Guadagnin (2014) Estimativa de Geração de Resíduos da Construção Civil e Estudo de Viabilidade de Usina de Triagem e Reciclagem Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 31. 1-10.

Tabela 1- Custos de implantação de material e equipamentos para beneficiamento do plástico Custos fixos de pessoal - Ambiente Empresa Custos fixos de pessoal - Ambiente Empresa

| Descrição | Total mensal (R\$) |
|--|--------------------|
| Equipamentos para processamento do plástico | 6.527,5 |
| Gerador - 330KVA | 10.133,33 |
| Obra Civil, Elétrica Hidráulica Galpão | 17.907,42 |
| Sistema de captação de Biogás | 12.261,85 |
| Custos fixos de pessoal - Ambiente Empresa | 113.915,78 |
| Custos fixos de pessoal – Ambiente Cooperativa | 63.873,28 |

Considerando então as quantidades necessárias para atingir o ponto de equilíbrio nos cenários do ambiente empresa, seria possível a obtenção de custos de processamento do plástico significativamente mais competitivos que no ambiente empresa se essas mesmas quantidades fossem processadas, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Custo do beneficiamento do plástico em relação às quantidades processadas em função do cenário no ambiente cooperativa.

| Qtd (ton.) | Valor do kg plástico cen. 1 | Valor do kg plástico cen. 2 | Valor do kg plástico cen. 3 |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 330.000 | R\$ 1,09 | R\$ 0,72 | R\$ 0,34 |
| 188.300 | R\$ 1,35 | R\$ 0,98 | R\$ 0,60 |
| 132.000 | R\$ 1,61 | R\$ 1,23 | R\$ 0,86 |

Por fim, foi elaborado um estudo do potencial de produção a partir da capacidade dos equipamentos projetados. O equipamento para o processamento do plástico tem a capacidade média de 350kg/h e todos os sistemas de coleta biogás e geração de energia elétrica foram dimensionados para atender à esta demanda energética. Foi considerado, para tanto, uma jornada de trabalho de 12 horas em dois turnos de 6 horas, cuja produção diária 4,2 toneladas por dia, atingindo então uma produção mensal de 109,2 toneladas de plástico beneficiado por mês.

Para a realidade do ambiente empresa, nenhum dos três cenários atingiu a viabilidade econômica utilizando apenas equipamento de processamento. Para mais de um equipamento, o processo necessitaria ser reavaliado, uma vez que seria imprescindível o redimensionamento de todos os custos. Para o ambiente cooperativa, apenas o cenário 3, onde todo o material utilizado seria doado, houve viabilidade econômica do empreendimento. Em outra avaliação neste mesmo ambiente, seria necessário que pelo menos 72% do material processado fosse obtido sem custos para atingir-se o ponto de equilíbrio. Figueiredo (2010), avaliando a viabilidade econômica do aproveitamento de biogás para geração de energia elétrica no aterro de Caieiras,

- CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Preço de Materiais Recicláveis**. Disponível em: <http://www.cempre.org.br>. Acesso em 22/11/2013.
- FERNANDES, J. G. **Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário Experimental**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2009.
- FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Verdi de (2011) Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica – Estudo de caso. Dissertação de mestrado 147f. Programa de pós graduação em energia da universidade de São Paulo. São Paulo
- IBAPE, Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. **Novos Conceitos de Depreciações para Máquinas e Equipamentos**. Engenharia de Avaliações. Editora PINI. São Paulo, SP. 2007. Disponível on line em: <http://www.ibape-sp.org.br>. Acesso em: 16/11/2013
- ICLEI, **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários**. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.
- IPECE. Perfil Básico Municipal - Maracanaú. 2012. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Maracanau.pdf. Acesso em: 16/04/2014.
- LIBER CONSULTORIA, **Circular 001**. Belo Horizonte. Dezembro. 2009. Disponível on line: http://www.liberconsultoria.com/novosite/gerenciador/www/anexos/2009-12-23_0045.pdf. Acesso em: 05/12/2013
- MONTEIRO, Tatiêlé Cardoso; da Silva, Maria Beatriz Oliveira; Difante, Jaqueline. **A lei da nova política nacional dos resíduos sólidos face ao sistema de coleta seletiva do município de Santa Maria**. Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 208-220, 2013. Disponível em: <http://bdjur.stj.jus.br/dspace/handle/2011/61136>. Acessado em: 28/01/2014
- MTE, Ministério do Trabalho. **Manual de cooperativas**. Coord. Ruth Beatriz V. Vilela. – Brasília: MTE, SIT, 2001. 69 p. Disponível on line: <http://www3.mte.gov.br/geral/publicacoes.asp>. Acesso em: 23/01/2014
- PMM, Prefeitura Municipal de Maracanaú. **Agenda 21 de Maracanaú**. Comissão do Fórum da Agenda 21 de Maracanaú. Maracanaú. 2008
- Recharge Brasil, 2015, <http://www.rechargenews.com/brasil/article1378600.ece> acesso: 19/02/2015
- SANTOS, G. O.; MOTA, S. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares de Fortaleza/CE dispostos no Aterro Sanitário de Caucaia/CE**. Revista Tecnologia (UNIFOR), v. 31, p. 39-50, 2010.
- SANTOS, N. S. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na Estação de Tratamento de Esgotos de Madre de Deus**. Dissertação de Mestrado. Rede FTC - Faculdade de Tecnologia e Ciências. Mestrado profissionalizante em Tecnologias Aplicáveis à Bioenergia, 2009.
- TEIXEIRA, Constantino Dias - **Valorização energética do biogás produzido nos aterros sanitários de resíduos urbanos**. Lisboa: ISCTE-IUL, 2010. Dissertação de mestrado. [Acesso: 19/04/2013] Disponível em <<http://hdl.handle.net/10071/2770>>.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Landfill off-gas collection and treatment system**. 2008. Disponível on line em: <http://www.usace.army.mil>. Acesso em 27/05/2013
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. (2005) Landfill gas emissions model, version 3.02 user's guide – LandGEM. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttnca1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em abril de 2014.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. (2005) Landfill gas emissions model, version 3.02 user's guide – LandGEM. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttnca1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em abril de 2014.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.