



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO DO POTENCIAL DA GASEIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO PLANALTO CATARINENSE

William Gouvêa Buratto, williamburatto@gmail.com¹
Eduardo Esmerio da Silva, eduardo.esmerio@ifsc.edu.br²
Felipe Laurindo Ribeiro, felipe_laurindo@ig.com.br³
Flávio José Simioni, flavio.simioni@udesc.br¹
Valdeci José Costa, valdeci.costa@udesc.br¹
Rafael Ninno Muniz, rafael.muniz@itec.ufpa.br⁴

¹Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, Lages, SC, CEP 88520-000

²Instituto Federal de Santa Catarina, Rua Heitor Vila Lobos, 222, Lages, SC, CEP 88506-400

³Universidade do Planalto Catarinense, Av. Castelo Branco, 170, Lages, SC, CEP 88509-900

⁴Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa, 1, Belém, PA, CEP 66075-110

Resumo: A gaseificação é uma tecnologia de tratamento térmico que pode ser utilizada para transformação de resíduos sólidos urbanos (RSU) em gás de síntese com posterior utilização deste na geração de energia térmica. A correta destinação dos RSU requer, por parte da administração pública, custos com manejo, transporte e disposição em aterros. O aproveitamento energético destes resíduos na geração distribuída de eletricidade a partir de uma planta de gaseificação gerando empregos e economia para o município pode ser uma alternativa viável e econômica para a municipalidade e para a população em geral. O Planalto Catarinense é representado majoritariamente por municípios de pequeno porte, no entanto a partir do plano intermunicipal elaborado em 2014, o qual estabeleceu uma parceria entre 17 municípios cuja população é estimada em aproximadamente 131 mil habitantes, viabiliza a implantação de um gaseificador na região serrana e colaborando com a sustentabilidade regional. O presente trabalho faz uma estimativa do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos do Planalto Catarinense através da tecnologia de gaseificação de leito fixo, mostrando as vantagens e desvantagens do uso dessa tecnologia em comparação com os tradicionais aterros e demais tecnologias de tratamento térmico de resíduos.

Palavras-chave: Gaseificação, Resíduos sólidos, Potencial energético.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos são caracterizados como um custo para a iniciativa pública devido ao seu manejo, transporte e disposição. No entanto, estudos recentes mostram que estes recursos podem tornar-se economicamente atrativos se houver seu aproveitamento para produção de combustível e geração de eletricidade.

A gaseificação se destaca como uma tecnologia térmica que pode viabilizar projetos de aproveitamento energético destes resíduos, reduzindo a disposição em aterros, trazendo ganhos econômicos a partir da geração distribuída de eletricidade, tendo vantagens devido à proximidade local com centros produtores, desse modo, possuindo menores custos de implantação com linhas de transmissão e distribuição para o centro consumidor de energia elétrica.

A matriz energética brasileira tem como importante fator o consumo de combustíveis fósseis para geração de energia quando há a redução no potencial hidrelétrico, o que provoca elevada taxa de emissões de gases de efeito estufa (GEE), os quais ocasionam o aquecimento global. Além disto, possuem altas concentrações de dióxido de enxofre, um dos precursores na formação de chuva ácida. Nesta perspectiva a conversão de resíduos sólidos em vetores energéticos a partir da gaseificação tem se mostrado alternativa viável e de cunho estratégico do ponto de vista do desenvolvimento tecnológico (Luz, 2013).

O desperdício de resíduos sólidos urbanos de alto poder calorífico, depositados em aterros, poderiam ser segregados a partir de centros de triagem formando os combustíveis derivados de resíduos (CDR), que são representados principalmente por papel, plásticos, madeiras e podas que, depois de aquecidos e fragmentados poderiam ser transformados em pellets que facilitam o armazenamento e transporte, além de reduzir a umidade aumentando o poder calorífico.

Os planos de gestão integrada de resíduos sólidos dos municípios podem considerar este modelo de aproveitamento energético dos resíduos, de modo que possam ser elevadas as taxas de eficiência de redução na disposição em aterros minimizando custos e potencializando a geração de eletricidade local, aumentando a oferta de empregos na região.

O processo de gaseificação pode tornar-se um mecanismo de desenvolvimento limpo definido pelo artigo 12 do Protocolo de Kyoto, quando evita a emissão de gases de efeito estufa (GEE) pela decomposição dos resíduos em aterros que não possuem sistema de recuperação do metano, desse modo a implementação de um gaseificador pode gerar receita a partir das reduções certificadas de emissões de GEE que também é conhecido como crédito de carbono. Para isto, devem ser monitoradas as emissões e ser comprovada a redução de produção de gases do efeito estufa.

O Planalto Catarinense possui uma ampla variedade de resíduos, destacando-se os florestais provenientes das serrarias da região e das indústrias de papel e celulose. Estes são aproveitados energeticamente por caldeiras gerando energia as atividades industriais da região. Além destes pode-se avaliar também, o lodo de estações de tratamento de esgoto e o bagaço de malte como potenciais recursos energéticos renováveis da região, no entanto, os resíduos sólidos urbanos do Planalto Catarinense ainda não são aproveitados para geração de eletricidade ou combustíveis, sendo destinados a aterros sanitários.

2. TRATAMENTOS TÉRMICOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Há diversos tratamentos térmicos que podem ser aplicados para os resíduos sólidos urbanos, estes apresentando suas particularidades, podendo ser avaliado a aplicação local destes, de acordo com os parâmetros custos x benefícios e eficiência ambiental.

As tecnologias térmicas que tratam RSU que se destacam e pode provir geração de eletricidade são a, combustão do gás de aterro, incineração, pirólise e gaseificação. Estes tratamentos que estão elevando a sua participação energética em diferentes países, podem promover ganhos ambientais em relação a disposição de resíduos em aterros sanitários, mas para que ocorra isto, deve haver eficácia na operação destes reatores térmicos de modo a reduzir o impacto ambiental tendo o adequado tratamento dos efluentes gerados nos processos de transformação de resíduos em energia elétrica.

Além disto, estas tecnologias podem proporcionar ganhos econômicos com a geração de eletricidade e gás combustível promovendo geração de empregos e aumentando o produto interno bruto do município a ser instalado este sistema de geração de energia, visto que a geração de resíduos é uma prática constante, tornando-se uma fonte alternativa de energia renovável.

Dentre estes tratamentos térmicos apresenta-se um quadro comparativo o qual pode ser utilizado para avaliar a tecnologia que se enquadra aos requisitos necessários á serem escolhidos para a implantação do sistema de tratamento térmico:

Tabela 1. Comparação entre tratamentos térmicos (ANGONESE *et al.*,2006; CHAMON, CARDOSO E BARROS ,2013; FAAJ *et al.*,2005; REICHERT ,2012)

Tecnologias térmicas		Gás de aterro	Incineração	Pirólise	Gaseificação
Parâmetros	Balanco energético (kwh/Trsu)	66	417	500/1000	n.d/600
	Custo do equipamento	Alto	Alto	Médio	Médio
	Flexibilidade de combustível	Alto	Médio	Alto	Médio
	Necessidade de pré tratamento de RSU	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
	Área ocupada	Alto	Médio	Baixo	Baixo
	Consumo de água	Baixo	Alto	Médio	Baixo
	Emissões atmosféricas	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
	Sustentabilidade do sistema	Baixo	Baixo	Alto	Alto

Segundo Ferreira (2015), em comparação a incineração, o processo de gaseificação apresenta aproveitamento energético muito superior, com rendimento elétrico de até 50%, enquanto a incineração possui aproximadamente 18% de eficiência no ciclo Rankine. Outra desvantagem é que há uma elevada emissão de gases na incineração, sendo necessários filtros que geralmente inviabilizam a operação. Os gases provenientes do processo de gaseificação possuem diversas finalidades energéticas e são inertes. O autor também analisa que a digestão anaeróbia pode se tornar desnecessária com uma planta de gaseificação, pois trata termicamente compostos orgânicos e inorgânicos.

2.1 Gaseificação

A gaseificação consiste em uma tecnologia de conversão térmica que transforma combustíveis sólidos em gás de síntese que pode ser utilizado para geração de energia a partir de turbinas a gás com potências acima de 1 MW e motores de cogeração com potência entre 600 a 1000 kW, também podendo ser utilizado para produção de metanol e amônia. A eficiência na geração de eletricidade depende do sistema empregado, podendo variar entre 26 e 46%. (Ferreira, 2015)

A tecnologia de gaseificação se divide em três etapas: secagem, pirólise e gaseificação. A secagem consiste em evaporar a umidade do material a fim de elevar o seu poder calorífico, sendo após feita a pirólise a qual é a decomposição térmica na ausência de oxigênio com temperatura entre 300 a 500° C em que são desprendidos os componentes voláteis para posteriormente ocorrer a oxidação parcial do carbono a partir da gaseificação com temperatura situada entre 600 a 1100°C (Lopes, 2014)

No processo podem ser utilizados diferentes agentes oxidantes como ar, oxigênio e vapor de água para manter a temperatura estável. No entanto, deve-se verificar qual o poder calorífico do gás o qual a planta de gaseificação quer atingir, visto que quando esta tecnologia utiliza o ar como agente de gaseificação produz um gás com baixo poder calorífico superior (PCS), entre 950 a 1600 kcal/Nm³, o emprego do oxigênio gera um gás de melhor qualidade situando seu poder calorífico entre 2400 a 4300 kcal/Nm³ (Ferreira, 2015).

O reator em que ocorre o processo de gaseificação é denominado gaseificador, sendo classificado de acordo com o seu leito, podendo ser fixo ou fluidizado. Ambos apresentam vantagens e desvantagens no modo de operação e aplicações na geração de eletricidade (Luz, 2013).

De acordo com Luz (2013), existem 274 plantas térmicas em operação no mundo, sendo que 52 destas estão localizados nos Estados Unidos da América e as outras unidades existentes estão em diferentes países da Europa. No continente asiático há predominância no Japão.

As principais unidades de gaseificação de RSU existentes no mundo são localizadas no Japão por este país ter uma menor área para aplicação de aterros. Lá existem incentivos para tecnologias que tratam resíduos, em função da necessidade de soluções para o resíduo urbano em menores espaços, além de gerar altas receitas pelo volume produzido e pela alta densidade populacional. Apesar de o país tratar os resíduos sólidos a partir da incineração, o ganho econômico gerado pelo gás de síntese e avanços tecnológicos, estão alterando a constituição da matriz energética no Japão (FEAM, 2012).

2.2 Tipos De Gaseificadores

Os gaseificadores de leito fixo têm como vantagem apresentar tecnologia simples, entretanto, é limitada a sua operação em plantas de pequeno porte tendo limites de dimensionamento de 10 a 15 toneladas por hora com uma temperatura de 1000 °C. São mais eficientes quando utilizam combustíveis com grande peso específico, que pode ser obtido a partir da compactação do material (Luz, 2013).

Devido a esta tecnologia simples, em municípios de menor porte pode-se considerar mais viável para adaptação a implantação de gaseificadores de leito fixo, pois sua capacidade garante a alimentação contínua de resíduos, reduzindo os custos de investimento, de manutenção e operação, tornando o processo com melhor taxa de retorno de investimento.

Há diferentes modelos de gaseificadores de leito fixo, cada um com suas particularidades, tendo suas vantagens e desvantagens e sendo escolhido de acordo com a análise de estudo local.

Os gaseificadores de leito fixo são classificados de acordo com o movimento relativo de gás no reator, sendo subdivididos em fluxo contracorrente, co-corrente e cruzado.

Tabela 2. Tipos de gaseificadores de leito fixo (CENBIO, 2002; KINTO, 2011).

Tipos de Gaseificadores (Leito fixo)	Contracorrente	Co-Corrente	Cruzado
Vantagens	Simplicidade na operação e possibilidade de gaseificar materiais com elevado teor de umidade e material inorgânico.	No processo de gaseificação, é consumida quase a totalidade produzida de alcatrão, desse modo o gás de síntese necessita de menor limpeza, podendo ser transportado mais facilmente em tubulações.	Simplicidade de construção e peso reduzido, possuindo um tempo de inicialização rápido.
	Pode ser operado com temperaturas extremamente elevadas na região da grelha.	Retêm os materiais inorgânicos, reduzindo a necessidade de sistemas de tratamento como ciclones e filtros a quente.	Melhor tempo de resposta dentre os gaseificadores de leito fixo para menores massas térmicas, também apresentando resposta rápida a variações de carga

Desvantagens	Devido a baixa temperatura de operação, o gás de síntese gerado contém alta quantidade de alcatrão na ordem de 100 g/Nm ³ .	O combustível deve apresentar baixo teor de umidade.	Devido à variação na composição, são geralmente utilizados para carvão vegetal, não sendo recomendado para resíduos sólidos urbanos.
	Por consequência deste teor de alcatrão no gás, faz-se necessário a remoção deste poluente para aplicação em turbinas e motores de combustão interna.	O gás é produzido somente em temperaturas elevadas, desse modo a energia produzida é perdida.	Igual ao gaseificador co-corrente, o combustível deve apresentar um baixo teor de umidade.
	Há a necessidade de uniformidade na granulometria do combustível, a fim de evitar a perda de carga quando utiliza o ar como agente de gaseificação.	Há dificuldade no manuseio das cinzas em gaseificadores de pequeno porte deste modelo.	Devido ao peso reduzido, é recomendado apenas para pequenos volumes de combustível.

A operação com gaseificadores de leito fluidizado torna-se mais complexa pois deve-se permitir a fluidização do sistema que possui o leito composto por partículas inertes como areia, cinzas ou alumina, devendo ser alimentado por materiais de menores dimensões a fim de favorecer a fluidização, além de possuir alta taxa de produção e troca de calor atingindo temperaturas de operação rapidamente, o qual justifica seu uso em plantas de maior capacidade. Estes modelos de reatores têm alta eficiência térmica e são amplamente estudados, porém, não são produzidos comercialmente devido ao alto custo da tecnologia (Luz, 2014; Lopes, 2013).

2.3 Tecnologias Auxiliadoras Da Eficiência Da Gaseificação

Há diferentes tecnologias que em conjunto podem auxiliar na eficiência do processo de gaseificação por fazer um pré tratamento de resíduos elevando o poder calorífico e colaborando na maior geração de eletricidade, dentre elas se destaca a segregação dos CDRs (Combustível derivado de resíduos) e Tecnologia B.E.M (Biomassa-Energia-Materiais).

Os resíduos sólidos urbanos podem ser segregados com a finalidade de aumentar a eficiência da gaseificação, a separação da fração orgânica dos resíduos os quais possuem alto poder calorífico geram um produto denominado combustível derivado de resíduos (CDR). Estes resíduos são principalmente papel, plásticos, madeiras e podas que após aquecidos e fragmentados podem ser transformados e pellets que facilitam o armazenamento e transporte além de reduzir a umidade aumentando o poder calorífico (Godecke, 2010).

Por meio de estudo realizado por FEAM (2010), no qual foi estabelecido uma média da composição gravimétrica em 47 municípios do Estado de Santa Catarina, foi estimado que a fração de matéria orgânica é de 45,4%, portanto pode ser obtida alta taxa de CDRs nos municípios do Estado. Mas, como avaliado pela AMPLA Consultoria e Planejamento, há a necessidade de uma ampliação na coleta seletiva em Lages, além de implantação de centros de triagem.

A segregação da fração orgânica de resíduos pode também favorecer a aplicação de tecnologias nacionais como a biomassa-energia-materiais ou também denominada tecnologia B.E.M, desenvolvida no grupo Peixoto de Castro em Lorena no Estado de São Paulo, a qual consiste, por meio da pré-hidrólise ácida em reator a vácuo, transformar os resíduos orgânicos em produtos como a celulignina catalítica e compostos derivados de biomassa como furfural, etanol ou xylitol (Pinatti, 2003).

A celulignina catalítica pode ser utilizada como combustível sólido devido, principalmente, ao seu alto poder calorífico situado na faixa de 4500 kcal/kg, podendo substituir óleo combustível e gás natural em caldeiras, fornos e turbinas de geração de energia. A cinza produzida no processo de combustão ou gaseificação pode ser estabilizada e utilizada na produção de materiais cerâmicos (Nogueira, 2015; Pinatti, 2003).

De acordo com Lopes (2014) os processos físicos de segregação são eficientes principalmente na redução de umidade colaborando com o rendimento térmico, pois o alto calor específico da água consome a energia térmica da pirólise e gaseificação, também reduzindo o poder calorífico do gás de síntese. No entanto, esta segregação acrescenta custos que podem inviabilizar a implantação de um sistema de gaseificação. Portanto, deve-se avaliar a complementação desta separação dos materiais, podendo-se optar por atingir menores eficiências, mas garantindo a viabilidade econômica.

Na Tab. 2 temos as vantagens e desvantagens de aplicação das tecnologias auxiliadoras da eficiência da gaseificação.

Tabela 3. Tecnologias auxiliadoras da gaseificação (SAMPAIO, 2014; DIAS *et al*, 2006).

	Aplicação de CDRs	Aplicação da Tecnologia B.E.M
Vantagens	Média de poder calorífico inferior bom para aplicação na geração de vapor e eletricidade.	Não depende da umidade inicial das biomassas utilizadas.
	A transformação dos RSU em CDR homogeneiza o teor de umidade e a granulometria do material.	Os componentes da cinza alcalina são removidos no início do processo pela diluição com o ácido.
	Por meio da segregação são reduzidos o teor de substâncias químicas nocivas como cloro e sódio presentes no material.	Aproveitamento dos resíduos orgânicos municipais para finalidade energética. Há a reciclagem da água em ciclo fechado tornando este processo ambientalmente sustentável.
	Gaseificadores em operação na Itália operam 200 toneladas de CDR por dia apresentando viabilidade na operação.	O produto químico furfural é amplamente utilizado na indústria petroquímica, sendo importado e apresentando alto custo.
Desvantagens	Para promover a viabilidade de projetos com combustão de CDRs faz-se necessário a mistura com outros combustíveis como o carvão ou biomassa.	Equipamento com alto custo, podendo inviabilizar o projeto de gaseificador.
	Custo associado à esta segregação pode aumentar o tempo de retorno do investimento, tendo como consequência a inviabilização do projeto.	Há a necessidade de contratação de mão de obra especializada para operação do equipamento.
	São recomendados em municípios com baixa densidade populacional.	Processo complexo e de difícil implementação.

2.4. Avaliação Do Processo De Gaseificação No Planalto Catarinense

O município de Lages possui o próprio plano de gestão de resíduos sólidos, o qual avalia as estratégias para mitigar os impactos proporcionados por estes resíduos, determinando os locais que serão dispostos estes materiais. Segundo a AMPLA Consultoria e Planejamento, empresa responsável por fornecer diagnóstico que sustente a implantação de um plano de coleta seletiva de Lages, a média quantitativa mensal de resíduos em Lages é de 2545 toneladas. Por meio de uma análise termogravimétrica, a empresa estabeleceu que 34% deste montante é composto por material orgânico, o que representa aproximadamente 865 toneladas. Esta porcentagem é inferior à média nacional de 50%. Acredita-se que esta redução foi obtida pela implementação de projetos como o “lixo orgânico zero”, o que reduziu significativamente a disposição do material orgânico em aterros sanitários em função de sua substituição pela compostagem.

Por meio de ferramentas de geoprocessamento verificou-se que a coleta seletiva abrange 65% da área urbana. A triagem dos materiais recicláveis, ou seja, a segregação destes é realizada pela COOPERCICLA e ALAM (Associação Lageana de Amparo ao Menor). Há também a atuação expressiva dos catadores autônomos que realizam a coleta e separação destes materiais recicláveis para posterior comercialização com empresas de reciclagem. Segundo a Secretaria Municipal do Meio Ambiente, existem 227 catadores em Lages, os quais contribuem com a redução de resíduos que estariam dispostos em aterro sanitário (AMPLA, 2013).

Os municípios de menor porte, devido à sua menor geração de resíduos, realizaram um consórcio, o qual colabora em iniciativa para fomentar projetos em conjunto, implementando o Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico, Meio Ambiente, Atenção à Sanidade dos Produtos de Origem Agropecuária e Segurança Alimentar (CISAMA), tendo o apoio do curso de Engenharia Ambiental do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC) e a Associação dos Municípios da Região Serrana (AMURES), na elaboração de estratégias de mitigação de impactos dos resíduos sólidos urbanos a partir de um plano intermunicipal de gestão de resíduos sólidos, o qual visa avaliar a implementação de cinco centrais de gerenciamento de resíduos e construção de aterros sanitários de pequeno porte. O consórcio CISAMA é representado por 17 municípios do Planalto Catarinense que possuem uma população estimada em 131 mil habitantes, gerando aproximadamente um total de 19676 toneladas anuais, o que corresponde a aproximadamente 1640 toneladas mensais (Neto, 2014; Leite, 2015).

A partir de uma avaliação técnico-econômica, Luz (2013) concluiu que municípios com população superior a 60000 habitantes apresentam viabilidade econômica de implantação de usina de tratamento de resíduos sólidos urbanos, podendo suprir até 20% da eletricidade da população correspondida pela instalação da unidade de gaseificação. No entanto, ao se aplicar tecnologias de gaseificação a oxigênio, o investimento torna-se mais elevado, tornando-se viável apenas em municípios que possuem população igual ou superior a 250 mil habitantes, visto que há a necessidade de obtenção deste oxigênio que terá como finalidade melhorar a qualidade do gás produzido, porquanto apresentará custos superiores a gaseificação que tem o ar como agente oxidante (Ferreira, 2015).

Portanto, este consórcio realizado entre os municípios colabora com a inserção de um gaseificador no planejamento dos municípios de pequeno porte, que pode ser montado em conjunto com o município de Lages, avaliando um ponto estratégico para a implantação deste equipamento. A operação deste reator pode ser auxiliada pelos centros de triagem que serão construídos de acordo com o plano intermunicipal, atuando na segregação dos CDRs, por conseguinte aumentando a vida útil dos aterros que serão construídos, minimizar a disposição de resíduos no solo e proporcionando créditos aos municípios na geração de eletricidade.

3. METODOLOGIA

No presente estudo realizou-se o levantamento bibliográfico de caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos sólidos urbanos do Planalto Catarinense, avaliou-se a estimativa populacional de acordo com dados do IBGE, calculou-se posteriormente o volume de RSU gerado em 2016 por meio de equações estabelecidas em normas e estudos científicos.

Para avaliação do potencial elétrico da gaseificação do Planalto Catarinense utilizou-se a metodologia da ANEEL (2002) que estima a geração de eletricidade a partir de parâmetros físico-químicos como o poder calorífico e a partir da estimativa de resíduos produzidos no município, por meio das equações:

$$E_g = \frac{Q_t * PCI * E_f}{860} \quad (1)$$

$$P_i = \frac{E_g}{8760 * FU} \quad (2)$$

Onde:

E_g = Energia gerada no ano (MWh/ano);

Q_t = Quantidade de resíduos (toneladas);

PCI = Poder Calorífico Inferior (kcal/kg);

E_f = Eficiência média do processo;

P_i = Potência instalada (MW);

FU = Fator de Utilização.

O fator de utilização é o parâmetro que classifica o equipamento, que no presente estudo é o gaseificador, avaliou-se a fração utilizada deste comparando a quantidade processada no equipamento e a capacidade de processamento deste e determinou-se a produtividade da planta á classificando como operante ou ocioso, avaliou-se que a operação do gaseificador é de 0,80, pois a capacidade deste está praticamente limitada ao volume de resíduos sólidos urbanos gerados no município.

Estipulou-se a quantidade de toneladas a partir de levantamento bibliográfico, por meio de dados da AMPLA Consultoria e Planejamento, a qual realizou a caracterização quantitativa de resíduos, e por meio de equações, obteve-se a estimativa do volume de resíduos produzidos no ano de 2015 no município de Lages sendo somados aos RSU produzidos nos municípios do Planalto Catarinense da AMURES, para se obter a quantidade de toneladas total utilizada na equação de energia gerada estabelecida pela ANEEL e por conseguinte estimar a potência instalada do sistema de gaseificação. Genon, Durante *et al* (2010) avaliaram que a eficiência na geração elétrica a partir de motores de combustão interna pode alcançar a eficiência de 27%, portanto atribuiu-se para o cálculo de energia gerada a eficiência de 24%, para a gaseificação de RSU. Por ser uma estimativa, pode ser que esta eficiência energética aumente se forem utilizadas técnicas para aumento do poder calorífico dos combustíveis utilizados no sistema de gaseificação.

As reduções certificadas de emissão podem constituir um importante complemento de renda para que torne o investimento de um sistema de tratamento térmico de resíduos viável. De modo a avaliar os benefícios proporcionados por ser um mecanismo de desenvolvimento limpo, no qual estes créditos de carbono (CC) são divididos em CC de gaseificação e CC de transferência o qual este é adquirido após a geração de eletricidade. Para obtenção dos ganhos com este recurso empregou-se as seguintes equações, adaptadas de Luz (2013):

$$CC^g = \sum RSU_{tratado} * 0,0786 \quad (3)$$

$$CC^t = \sum (PE_{líquida} * 0,6753) * \sum RSU_{tratado} \quad (4)$$

Onde:

CC^g = Crédito de carbono de gaseificação;

CC^t = Créditos de carbono de transferência;

$RSU_{tratado}$ = Quantidade de resíduos sólidos urbanos tratados (toneladas);

$PE_{líquida}$ = Potência elétrica líquida (MW).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implantação de um gaseificador de leito fixo colabora para que o investimento tenha maior facilidade de retorno para os financiadores, devido a maior simplicidade do processo e equipamento. Analisando que a produção de resíduos sólidos é de 65 toneladas por dia na região do Planalto Catarinense, a capacidade de suporte deste gaseificador torna-se adequada a instalação deste modelo de gaseificador.

Analisou-se que a média do poder calorífico inferior dos resíduos sólidos urbanos é de aproximadamente 1900 kcal/kg (LOPES, 2014), utilizando-se a metodologia de ANEEL, estima-se que o potencial mínimo de 2,15 MW em Lages e 1,4 MW nos municípios do Planalto Catarinense se ocorrer a gaseificação não tendo auxílio de pré tratamentos, caso haja a segregação dos resíduos em CDRs e via pré-tratamento para redução de umidade, elevando o poder calorífico, aprimorando a qualidade do gás e a geração de eletricidade e outras finalidades energéticas do gás de síntese. pode haver a potência instalada de 4,4 MW no município de Lages e de 2.9 MW para os municípios do Planalto Catarinense, ou seja, pode ser dobrada a capacidade energética regional.

O projeto lixo orgânico zero, idealizado pelo Professor Germano Guttler (CAV-UDESC), utiliza os resíduos orgânicos provenientes de escolas e tratam estes por meio de compostagem, em que o fertilizante produzido pelos resíduos é utilizado nas hortas das escolas, apropriando um resíduo a uma utilização benéfica para a sociedade envolvida, além de reduzir a disposição em aterros. A partir deste projeto verifica-se que o município de Lages começa a possuir aderência para participação em projetos de segregação de lixo orgânico e que pode ser provida finalidade energética a estes resíduos a partir da transformação em celulignina, o qual pode se tornar um importante combustível em caldeiras e gaseificador na geração de eletricidade do Planalto Catarinense.

Os centros de triagem que serão construídos podem colaborar na segregação de resíduos de alto poder calorífico para obtenção dos combustíveis derivados de resíduos e também separando os resíduos orgânicos que serão destinados exclusivamente para estações de compostagem, verifica-se a viabilidade de dividir o volume de resíduos orgânicos para produção de celulignina catalítica, atuando na parceria para elevar a eficiência do gaseificador, sendo implementado um auxílio do centro gerenciador de gaseificação com a energia produzida e auxílio econômico para estes centros de segregação de resíduos.

As reduções certificadas de emissão gerados pela eletricidade obtida foram de 328 toneladas créditos de carbono, o que rende aproximadamente R\$ 7.304,56, os créditos de carbono gerado na transferência foram de 20820 toneladas o qual apresenta uma renda pela gaseificação alcançaram um valor de R\$ 463.696,74 que pode auxiliar no incentivo aos colaboradores de centros de triagem, beneficiando aspecto social e ambiental, também podendo ser avaliado para outras atividades do processo, de qualquer modo este é um benefício que colabora com a implementação e operação do processo de mecanismo de desenvolvimento limpo. A cotação do crédito de carbono foi tomada o valor de 22,31 reais/toneladas de crédito carbono.

5. CONCLUSÃO

Devido ao elevado investimento que deve ser aplicado para a instalação e operação do gaseificador, os municípios do Planalto Catarinense podem avaliar a parceria público-privada, a qual pode colaborar para reduzir a disposição em aterros, avaliando-se a divisão de receita da geração de eletricidade e créditos de carbono, proporcionado pela produção de gás de síntese, reduzindo-se o custo com transporte para a administração municipal. Caso este gaseificador seja instalado próximo à área urbana, além de colaborar com o desenvolvimento econômico, de colaborar com a geração de empregos diretos e indiretos e mitigar impactos ambientais como a redução da geração de metano.

Avalia-se que o gaseificador de leito fixo seja o modelo mais viável economicamente, principalmente pelo volume de resíduos sólidos urbanos disponíveis para gaseificação e a facilidade de operação visto que para auxiliar no processo pode-se compactar o material, desse modo, aumentando o peso específico, colaborando com o transporte e armazenamento deste material, reduzindo a umidade e elevando o poder calorífico, favorecendo na melhoria da qualidade do gás de síntese produzido.

A fase de concepção de uma usina termelétrica baseada na tecnologia de gaseificação deve ser precedida por diversos critérios os quais se pode destacar a logística, de modo que os centros de triagem estejam incorporados, integração com o sistema elétrico, disponibilidade de mão de obra técnica para realização de treinamentos para operação de gaseificador, topografia local, área disponível, aceitação da população do município e acordo com a população próxima ao empreendimento para que sejam efetuadas regularmente, evitando paralisações por questões econômicas e/ou jurídicas.

Por meio do presente estudo identificou-se o potencial de gaseificação de resíduos sólidos urbanos no Planalto Catarinense, avaliando-se o modelo de gaseificador de leito fixo co-corrente como opção de maior viabilidade devido ao seu modo de operação simples, justifica-se que o potencial de eletricidade é adequado a uma planta de pequeno porte, e também pela capacidade do reator atender a demanda dos municípios, demonstra-se que pode haver uma disposição adequada dos resíduos regionais, aliado a maior capacidade de geração elétrica que pode ser obtida, gerando economia aos municípios e por meio de um mecanismo de desenvolvimento limpo reduzir o impacto ao meio ambiente e proporcionar emprego no Planalto Catarinense.

6. AGRADECIMENTOS

Este grupo de autores agradece ao auxílio financeiro e suporte a pesquisa da UDESC, do IFSC e da UNIPLAC.

7. REFERÊNCIAS

- ANGONESE, A. R. et al. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamentos dos resíduos em biodigestor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.
- CARVALHAES, V. Análise do Potencial Energético de Resíduo Sólido Urbano Para Conversão em Processos Termoquímicos de Gaseificação. Dissertação de Mestrado, Universidade Nacional de Brasília, 117 pp. 2014.
- CENBIO, Centro Nacional de Referência em Biomassa. Estado da Arte da Gaseificação. São Paulo, 2002.
- CHAMON, R. C.; CARDOSO, R.; BARROS, C. F. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos - Introduzindo uma nova tecnologia para o cenário brasileiro: Pirólise Lenta a Tambor Rotativo. Congresso Fluminense de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente. Niterói: UFF. 2013.
- DIAS, S. M.; SILVA, R. B.; BARREIRO, F.; COSTA, M. Avaliação do Potencial de Produção e Utilização de CDR em Portugal Continental. Estudos Base. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2006.
- FAAJ, A. et al. Novas Tecnologias para os Vetores Modernos de Energia da Biomassa. In: *Uso da Biomassa para produção de Energia na Indústria Brasileira*. Campinas: UNICAMP, 2005.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais/Fundação Estadual do Meio Ambiente, Belo Horizonte: FEAM, 2012. 163 p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica/Engbio; Fundação Estadual do Meio Ambiente, Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.
- FERREIRA, R.L. Gaseificação por oxigênio: Uma alternativa para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos no Rio Grande do Sul, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 62 pp. 2015.
- GODECKE, M.V. Estudo das Alternativas de Valorização Econômica Para a Sustentabilidade da Gestão de Resíduos Urbanos no Brasil. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 185 pp., 2010.
- KINTO, O. T.; MARUYAMA, F. M.; UDAETA, M. E. M.; GRIMONI, J. A. B. Análise da Geração Energética da Biomassa com base nos Procedimentos do Planejamento Integrado de Recursos Energéticos. Anais 9º.Congresso Latino-americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica – CLAGTEE, Mar del Plata, Argentina, 6 a 9 de novembro de 2011.
- LEITE, D.P; NETTO, S.L.R; BIFFI, L.J; VIEIRA, A.N; SIQUEIRA, L. e BECEGATO, V.A. Sistema de Informação Geográfico para Gestão de Resíduos Sólidos da Região da Serra Catarinense – GEORES. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa, Paraíba, 25 a 29 de abril de 2015.
- LORA, E.E.S; ANDRADE, R.V; ÁNGEL, J.D.M; LEITE, M.A.K; ROCHA, M.H; SALES, C.A.V.B; MENDOZA, M.A.G; CORAL, D.S.O. Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. Biocombustíveis, v.1, Editora Interciência, pp. 411-698, 2012.
- LOPES, E.J. Desenvolvimento de Sistema de Gaseificação Via Análise de Emissões Atmosféricas. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, 145 pp., 2014.
- LUZ, F.C. Avaliação técnico econômica de plantas de gaseificação do lixo urbano para geração distribuída de eletricidade. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá, 275 pp., 2013.
- NOGUEIRA, J.L. Estudo da Viabilidade do Uso da Celulignina Como Combustível de Propulsores Híbridos. *Revista Gestão e Tecnologia – UNISAL*, v.3, n.2, pp. 36-47, 2015.
- NASCIMENTO, F.S; CORREA, N.A. Desenvolvimento de Protótipo de Gaseificador de Resíduos Combustíveis em Leito Horizontal. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. III Conferência Internacional de Resíduos Sólidos, 2015
- NETTO, S.L.R; BIFFI, L.J; BUCK, A.L.B; LEITE, D.P; SKORONSKI e BECEGATO, V.A. Sistema de Informação Geográfico para Gestão de Resíduos Sólidos da Região da Serra Catarinense – GEORES. Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - GEONORDESTE 2014, Aracaju, Brasil, 18-21 novembro de 2014.
- Programa BEM (Biomassa, Energia e Materiais). Publicação RM (Materiais Refratários Ltda.), Lorena/SP, Março, 2000.
- REICHERT, F. R. Relatório Tecnologias para Aproveitamento Energético dos Resíduos. INNOVA Energias Renováveis. Rio de Janeiro, RJ. 2012.
- SAMPAIO, R. P. Estudo de caso dos possíveis efeitos deletérios causados pelo combustível derivado de resíduos (CDR) em caldeiras voltadas a produção de energia elétrica queimando principalmente bagaço de cana. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 130 pp., São Carlos, 2014.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores citados a seguir são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

GASIFICATION POTENTIAL OF SOLID WASTES IN CATARINENSE PLATEAU

William Gouvêa Buratto, williamburatto@gmail.com¹
Eduardo Esmério da Silva, eduardo.esmerio@ifsc.edu.br²
Felipe Laurindo Ribeiro, felipe_laurindo@ig.com.br³
Flávio José Simioni, flavio.simioni@udesc.br¹
Valdeci José Costa, valdeci.costa@udesc.br¹
Rafael Ninno Muniz, rafael.muniz@itec.ufpa.br⁴

¹State University of Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, Lages, SC, CEP 88520-000

²Federal Institute of Santa Catarina, street Heitor Vila Lobos , 222, Lages, SC, CEP 88506-400

³University of Santa Catarina Plateau, Av. Castelo Branco, 170, Lages, SC, CEP 88509-900

⁴Federal University of Para, Rua Augusto Correa, 1, Belém, PA, CEP 66075-110

Abstract: Gasification is a thermal-treatment technology that can be used for transformation of municipal solid waste (MSW) to synthesis gas with subsequent use of the thermal power generation. The proper disposal of MSW requires, on the part of public administration, management costs, transport and land filling. The energy use of this waste in the generation of electricity distributed from a gasification plant generating jobs and savings to the municipality may be a viable and economic alternative to the municipality and the general population. The Plateau of Santa Catarina is represented mostly by small municipalities, however from the intermunicipal plan drawn up in 2014, which established a partnership between 17 municipalities whose population is estimated at approximately 131,000 inhabitants, enables the deployment of a gasifier in the mountain region and collaborating with regional sustainability. This study estimates the energy potential of municipal solid waste in the Plateau of Santa Catarina through the fixed bed gasification technology, showing the advantages and disadvantages of using this technology compared to traditional landfills and other thermal waste treatment technologies.

Keywords: *Gasification, solid waste, economic viability.*