



## Projeto PIBIC

### Projeto: Avaliação Econômica da Produção de Biogás na Região Administrativa de Campinas: Geração de Eletricidade versus Produção de Biometano para Injeção na Rede

Bolsista: **Nicolas Henrique dos Santos Retamal – RA 185.146 – Agosto 2019 – Agosto 2020**

Graduando em Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Orientador: **Dr. Mauro Donizeti Berni – Matrícula 297.738**

Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético - NIPE

COCEN/REITORIA

## 1. Introdução

No Brasil, a matriz de geração de energia elétrica ainda está fortemente ligada ao aproveitamento hídrico (Figura 1). No entanto, a exploração do potencial hidroelétrico remanescente no Brasil está cada vez mais difícil, pois grande parte dele está localizado em regiões próximas a unidades de conservação ou terras indígenas.

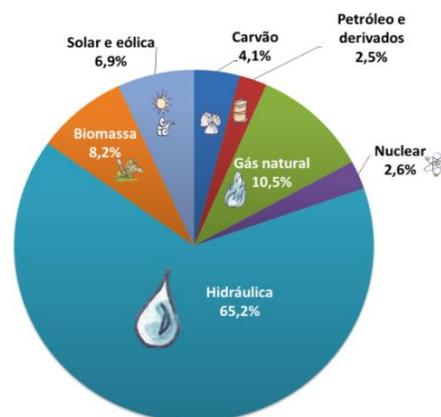


Figura 1: Matriz Elétrica Brasileira 2017, Fonte: EPE, 2020

A Figura 1, mostra as principais fontes utilizadas em 2017 para a geração de energia elétrica. Como pode-se observar a biomassa onde está incluído o RSU, ainda apresenta baixa participação (8,2%) no total da oferta interna de energia elétrica por fonte primária.

A expansão do consumo de energia nos próximos anos tem sido motivo de preocupação para o governo e as dificuldades para explorar o potencial hidrelétrico têm estimulado a busca pela diversificação da matriz elétrica brasileira e, por soluções de aumento da eficiência de geração, redução de perdas e oferta de outras fontes de primárias de geração, entre elas, uma opção é o uso de resíduos sólidos urbanos (RSU) como substrato orgânico para produção de biogás na geração de energia elétrica e/ou biometano para injeção na rede de gás natural (GN).

Corroborando com o incremento da produção de biogás de RSU e *upgrading* para o biometano, o fato de que a concentração de CO<sub>2</sub> no gás natural (GN) dos reservatórios do Pré-sal, estão acima dos limites estipulados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Para o GN a ser comercializado deve ter no máximo 3% de CO<sub>2</sub>. A elevada concentração de CO<sub>2</sub> nos reservatórios do Pré-Sal traz importantes desafios tecnológicos para a separação e o armazenamento seguro do CO<sub>2</sub>. O GN com alta concentração de CO<sub>2</sub> não pode ser transportado até a costa sem a prévia separação do contaminante (ANP, 2008).



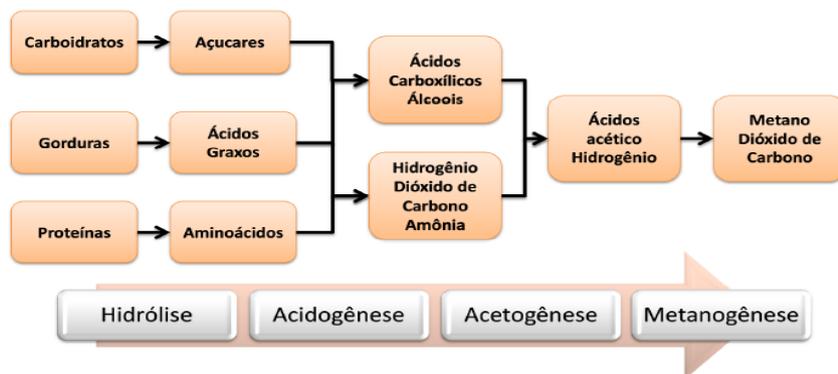
## 2. Plataforma Tecnológica da Digestão Anaeróbia

O biogás gerado a partir da tecnologia da Digestão Anaeróbia (DA) é um combustível renovável limpo e ecológico, podendo ser utilizado em usos finais como na geração da eletricidade e como biometano, com maior valor agregado, substituindo o GN em transportes e produzindo calor e vapor em equipamentos que originalmente utilizam GN.

Uma das tecnologias para aproveitamento da energia contida nos RSU envolve o processo: aeróbio ou anaeróbio, sendo que em ambos tem-se a decomposição do material orgânico em biodigestores.

O processo anaeróbio (ambientes sem oxigênio), com metano gerado como subproduto e este podendo ser capturado e levado à combustão para gerar energia. O substrato orgânico resultante é chamado de digestato, diferente do composto orgânico gerado em processos aeróbios. Neste projeto foca-se o uso da tecnologia anaeróbia com utilização de biodigestor *Upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) para os resíduos orgânicos do RSU.

O processo de produção de biogás com a tecnologia da digestão anaeróbia é dividido em quatro (4) etapas, a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (*Figura 3*).



*Figura 2: Fluxograma do processo de DA, EMBRAPA, 2019*

Cada etapa é realizada por diferentes grupos de microrganismos, requerendo diferentes condições ambientais. Com base em EMBRAPA (2019), apresenta-se abaixo as descrições sumarizadas das quatro (4) etapas.

## 3. Composição do Biogás

Uma composição típica de biogás é mostrada na *Tabela 1*. A existência de impurezas no biogás pode causar problemas. As impurezas normalmente são: Alta concentração de  $O_2$  é explosiva. O  $H_2S$  é corrosivo para o aço em reatores e motores quando o biogás é usado na produção de eletricidade. Os cloros são tóxicos, formando dioxinas poli-halogenadas. Os siloxanos podem levar à formação de quartzo microcristalino, que pode se depositar nas superfícies e causar problemas de entupimento (Yang, 2020).

**Tabela 1:** Composição típica do biogás

Elemento	Unidade	Biogás de DA	Biogás de Aterro	Gás Natural
$CH_4$	Vol %	53 – 70	30 – 65	81 - 89
$CO_2$	Vol %	30 – 50	25 - 47	0,67 - 1
$N_2$	Vol %	2 – 6	< 1 - 17	0,28 - 14
$O_2$	Vol %	0 – 5	< 1 – 3	0
$O_2$ + hidrocarbonetos	Vol %	0	0	3,5 – 9,4



H <sub>2</sub>	Vol %	0	0 – 3	NA
H <sub>2</sub> S	ppm	0 – 2000	30 – 500	0 – 2,9
NH <sub>3</sub>	Ppm	<100	0 – 5	0
Cloro	Mg/Nm <sup>3</sup>	<0,25	0,3 – 225	NA
Siloxanos	µg/g-DW	<0,08 – 0,5	<0,3 - 36	NA

Fonte: Yang, 2020

A maioria dos usos exige que o biogás purificado tenha mais de 97% de CH<sub>4</sub>. Para o bio-CH<sub>4</sub> liquefeito, o biogás deve ser purificado até que contenha menos de 25 ppm, 4 ppm e 1 ppm de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e H<sub>2</sub>O, respectivamente, para evitar a formação de gelo seco e a corrosão (Johansson, 2008). Portanto, a necessidade de limpeza e atualização do biogás depende do uso final.

A remoção de impurezas de biogás que não sejam o CO<sub>2</sub> é chamada de limpeza do biogás, enquanto a separação do CO<sub>2</sub> do biogás é conhecida como *upgrading* do biogás

#### 4. Materiais e Métodos

A área de estudo escolhida foi a Região Administrativa de Campinas (RAC), sendo considerado o universo de municípios com mais de 100 mil habitantes. A metodologia contemplou a pesquisa aos arquivos públicos e análise dos documentos e revisão bibliográfica sobre o tema saneamento básico, meio ambiente, tecnologias de geração de energia e o aproveitamento energético dos RSU.

O projeto foi desenvolvido em três (3) etapas, sendo fundamentadas em dados disponíveis em sites oficiais de entidades públicas e privadas, que direta e/ou indiretamente estão envolvidas no saneamento e na gestão de RSU, e em iniciativas de aproveitamento energético do biogás na forma de biocombustível, com possibilidades de inserção na matriz energética com o deslocamento de fontes fósseis de energia.

Como principais resultados, destacam-se: o potencial técnico de geração de biogás e biometano no cluster de 18 municípios com mais de 100 mil habitantes da RAC; análise comprada de preços de equilíbrio e o cálculo de emissões evitadas. Finalmente, ilustra-se uma possível arquitetura de DA para o RSU do cluster18, como também algumas recomendações de ações para políticas públicas. As equações para cálculo dos potenciais técnicos, análises de preço e emissões evitadas, são apresentadas no tópico Resultados e Discussões.

#### 5. Resultados e Discussões

##### 5.1. RSU na RAC e Cluster18

A RAC em 2018 teve uma geração 2,2 milhões de toneladas de RSU, enquanto o Cluster18, participou respectivamente, com 72,3% e 10,8%, da RAC e do Estado de São Paulo (**Tabela 2**).

Tabela 2: Geração diária e anual de RSU: Cluster18, RAC e Est. São Paulo, 2018

	RSU	
	(ton/dia)	(ton/ano)
Cluster 18	4.419	1.590.840
RAC	6.106	2.198.160
Estado de São Paulo	40.800	14.669.000

De acordo com a PNRS necessário observar a seguinte ordem de prioridade: não geração (evitar a criação de RSU), redução (menor uso de recursos nos processos produtivos e de consumo e aumento da vida útil dos bens), reutilização (reparo, limpeza ou restauro de bens existentes), reciclagem



(reaproveitamento do material para uso em outros processos produtivos), tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequado dos rejeitos em aterros sanitário.

## 5.2. Potencial Técnico da Produção Biogás, Eletricidade e Biometano no Cluster18

### 5.2.1. Potencial Técnico de produção de biogás com geração de energia elétrica (PTBIOGÁS)

Em 2018, foram geradas 1.590.840 toneladas de RSU, no Cluster18 (**Tabela 2**). Deste total, assume-se que 4% é segregado e reciclado a partir da coleta seletiva, restando 1.527.206 toneladas para o aproveitamento energético através do processo de incineração.

No caso do processo de digestão anaeróbia em reator UASB, adota-se que 48% deste montante, ou seja, 733.059 toneladas, é constituído por uma fração orgânica (FORSU) passível de produzir biogás através da tecnologia de DA. Para a estimativa do PTBIOGÁS, adota-se dados da **Tabela 3**.

**Tabela 3:** Propriedades do biogás

Composição do biogás	60% Metano – 40% Gás carbônico
PCI (kcal/kg)	4.230,00
Densidade (kg/Nm <sup>3</sup> )	1,2143

Fonte: Zilotti, 2012

Considera-se como coeficiente específico da produção (CEB) de biogás igual a 120 Nm<sup>3</sup> por tonelada de FORSU para um biogás desenvolvido em biodigestores (EPE, 2008).

Assim, utilizando a equação (1), abaixo, chega-se ao PTBIOGÁS de geração energia do biogás a partir dos RSU do Cluster18 (**Tabela 2**).

$$PTBIOGÁS = PCI * FORSU * CEB * D \quad (1)$$

Em termos energéticos o potencial técnico do biogás (**Tabela 4**).

**Tabela 4:** PTBIOGÁS

PTBIOGÁS	
4,52 x 10 <sup>11</sup>	kcal
4,52 x 10 <sup>4</sup>	tep
5,25 x 10 <sup>8</sup>	MWh

### 5.2.2. Potencial Técnico de produção de biometano (PTBIOMETANO)

A qualidade do biometano é regulamentada por meio da Resolução ANP n° 8/2015 e da Resolução ANP n° 685/2017. A primeira, trata da especificação do biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais; a outra, trata da especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto (ANP, 2020).

Para o cálculo do volume de biometano, considera-se que dos 60% da porcentagem em volume de metano no biogás, aproximadamente 50% em volume de biogás purificado, seja biometano, adotado conforme Illi (2020). Portanto, do volume total de biogás (VTB) gerado no Cluster18, dado por VTB = [FORSU (ton) \* CEB (m<sup>3</sup>/ton)], chega-se em 87,97 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, significando um volume total de biometano (VTBM) de 43,98 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Considerando o poder calorífico inferior (PCI) de 10,6 kWh/m<sup>3</sup> para o biometano (Illi, 2020), calcula-se em termos energéticos o potencial técnico da produção de biometano (PTBIOMETANO) (**Tabela 5**)



Tabela 5: PTBIOMETANO

PCI		PTBIOMETANO	
8.904	kcal/m <sup>3</sup>	3,92 x 10 <sup>11</sup>	kcal
91,2 x 10 <sup>-5</sup>	tep/m <sup>3</sup>	4,01 x 10 <sup>4</sup>	tep
10,6	kWh/m <sup>3</sup>	4,66 x 10 <sup>5</sup>	MWh

### 5.3. Emissões Evitadas e Análise Comparada Preços de Equilíbrio: Eletricidade e Biometano

#### 5.3.1. Emissões Evitadas Comparadas

O cálculo das emissões evitadas é baseado na parametrização do CO<sub>2</sub>, portanto o biogás tem uma grande importância na mitigação de emissões de GEE pois no processo de DA a matéria orgânica perde carbono na forma de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. A pegada de carbono do biometano é uma das menores entre os combustíveis disponíveis.

Considerando que o ciclo de vida do GN é 80 g CO<sub>2</sub>/MJ e a do biometano é -20 g CO<sub>2</sub>/MJ (ABIOGAS, 2020), bem como 1 kcal é equivalente a 4.187J (BEN, 2020) e o PTBIOMETANO da Tabela 5 (1,64 \* 10<sup>9</sup> MJ), calcula-se as emissões comparadas de CO<sub>2</sub> para o GN e o Biometano.

Para um volume de energia de 1,64 \* 10<sup>9</sup> MJ na hipótese:

- i) Consumindo GN produziria um volume de emissões de 131 \* 10<sup>9</sup> g CO<sub>2</sub>
- ii) Consumindo Biometano ter-se-ia um abatimento de emissões de 32,8 \* 10<sup>9</sup> g CO<sub>2</sub>

De forma comparada o uso do biometano ocupando parcela de mercado do GN nos municípios denominado de Cluster18, significaria 98,2 \* 10<sup>9</sup> g CO<sub>2</sub> de emissões de GEE evitada por ano.

#### 5.3.2. Preço de Equilíbrio Comparado

##### a) Hipótese 1

Para uma produção de 5,25 x 10<sup>8</sup> MWh utilizando o biogás do cluster 18 (Tabela 2), ter-se-ia um faturamento de 9,2 bilhões de reais por ano da venda de eletricidade. Base o preço médio em 2019 de R\$ 176,00 por MWh de fornecimento (Canal Energia, 2020)

##### b) Hipótese 2

Para uma produção total de energia de 1,64 \* 10<sup>9</sup> MJ (Biometano ou GN) e tendo-se por preço base do GN praticado pela Petrobras para as distribuidoras que variam entre 0,91 R\$/m<sup>3</sup> até 1,12 R\$/m<sup>3</sup> (MME, 2020). Para a análise comparação adota-se 1,12 R\$/m<sup>3</sup> e PCI do biometano de 38,2 MJ/m<sup>3</sup>, chega-se a 0,03 R\$/MJ. Desta forma, o faturamento esperado com a produção de biometano e substituir parcela do mercado de GN, gera um faturamento de 49 milhões de reais por ano.

Sob a ótica econômica, a produção de eletricidade através do biogás é mais vantajosa comparativamente à produção de biometano e substituição de GN nos municípios do cluster 18.

## 6. Considerações Finais

O aproveitamento de RSU prescinde de políticas públicas envolvendo as três esferas de governo: municipal, estadual e federal. Neste sentido, cabe destacar o PLANARES, cujos objetivos para a gestão de resíduos sólidos são a universalização da coleta, a maximização da recuperação de materiais, com aproveitamento energético dos resíduos, a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos e o encerramento e recuperação dos lixões em todos os municípios brasileiros. Também prevê reduzir a geração dos resíduos. Neste caso, a plataforma tecnológica de DA apresenta uma forte tendência de se expandir no País.