



## FACULDADE METROPOLITANA DO ESTADO DE SÃO PAULO

### GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

#### ESTUDO SOBRE A ENERGIA ELÉTRICA GERADA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA CTVA DE CAIEIRAS

Aluna: Jessica Cristina Costa Carvalho

Orientador: Afonso de Faria Coimbra Lichtenfels

#### RESUMO

Considerando o volume expressivo de geração de Resíduos Sólidos Urbanos em nível Brasil e, principalmente, a perspectiva de seu reaproveitamento para a produção de energia elétrica, é que se realizou esta pesquisa que tem por objetivo analisar o processo de produção do biogás sob a perspectiva de seu potencial econômico. Por tratar-se de uma fonte de energia limpa e sustentável, foram analisados dados provenientes da CTVA de Caieiras, na grande São Paulo, no intuito de apresentar uma abordagem acerca do aproveitamento energético de resíduos com vistas a sua aplicação no setor de saneamento ambiental. No âmbito dessa pesquisa, é apresentado todo o processo realizado através de biodigestores, com a transformação da biomassa em energia elétrica, apontando para a viabilidade econômica e sustentável dessa tecnologia para todo o país.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos Urbanos, Biogás, Aterros Sanitários.

#### ABSTRACT

Considering the significant volume of urban solid waste generation in Brazil and, mainly, the perspective of its reuse for the production of electric energy, this research was carried out, which aims to analyze the biogas production process from the perspective of its economic potential. As it is a clean and sustainable energy source, data from the CTVA of Caieiras, in greater São Paulo, were analyzed in order to present an approach to the use of energy from waste with a view to its application in the environmental sanitation sector. Within the scope of this research, the entire process carried out using biodigesters is presented, with the transformation of biomass into electricity, pointing to the economic and sustainable viability of this technology for the entire country.

**Keywords:** Urban Solid Waste, Biogas, Sanitary Landfill.

## INTRODUÇÃO

O biogás é uma fonte de energia renovável e limpa que se apresenta como resposta para o aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos que, na maioria das vezes, são descartados sem o tratamento correto gerando alto nível de poluição ao meio ambiente. Na recuperação do biogás em aterros sanitários, temos como vantagens a redução dos gases de efeito estufa (GEE), baixo custo para o descarte dos resíduos e energia com redução significativa de custos (CETESB, 2006).

O setor elétrico é composto em sua maioria por usinas hidrelétricas de forma centralizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Quando há escassez de chuvas, a entidade demanda menos das usinas hidrelétricas e aumenta a utilização da geração através das termelétricas (CCEE, 2018).

Com a estiagem ocorrida principalmente nos anos de 2014 e 2015, houve déficit de geração hídrica que reduziu o nível dos reservatórios, sendo necessário o aumento da geração termelétrica para atender a demanda e garantir o suprimento e a segurança do Sistema Nacional Interligado - SIN (CCEE, 2018).

Esse fato evidencia que, a tendência a longo prazo para a produção de energia convencional apresenta um quadro de esgotamento progressivo das fontes tradicionais, como, a hidroeletricidade, o carvão e o petróleo, e com isso, a emergência de novas fontes com destaque para as renováveis (MILANEZ et al, 2018).

O Brasil já possui algumas usinas termoelétricas, como na cidade de São Paulo que direciona seus RSU's aos três aterros sanitários, entre eles o Aterro Sanitário de Caieras, através da usina Termoverde, sendo essa a maior termelétrica movida a biogás do Brasil e uma das maiores do mundo. De acordo com dados da prefeitura, a cidade gera 18 mil toneladas diárias de resíduos sólidos, sendo que os domiciliares somam quase 10 mil toneladas (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019).

Além disso, o Brasil foi destaque no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um instrumento do Protocolo de Quioto criado para auxiliar os países desenvolvidos e os em desenvolvimento a cumprirem suas metas para redução emissões poluentes. A participação brasileira ocupou o terceiro lugar em número de projetos via MDL (13%), para a redução volume de gases, em especial o metano - CH<sub>4</sub> (OCDE, 2015).

O objetivo desse estudo é analisar os processos e tecnologias utilizadas no aproveitamento energético gerado a partir RSU's destinados a aterros sanitários e

evidenciar a sua viabilidade econômica e ambiental. Para tanto, este trabalho valeu-se da consulta e apresentação de dados financeiros e operacionais obtidos junto a Usina Termoverde, assim como, por meio da consulta a títulos de diversos autores e publicações relacionadas com o intuito de fundamentar os resultados apresentados e contribuir com a propagação dessa tecnologia e de todos os benefícios decorrentes, no âmbito econômico, social e ambiental.

## REFERENCIAL TEÓRICO

A relutância apresentada por potenciais investidores para considerar projetos de gás de aterros é indubitavelmente devida à falta de dados precisos, seja para produção de gás, seja para estudos de mercado para a energia a ser produzida (USEPA, 2000).

Afirmção dada pela Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental a United States Environmental Protection Agency - USEPA, na 2nd International Methane Mitigation Conference realizada em Novosibirsk, Rússia, em junho de 2000.

A partir desse cenário, desenvolveu-se inúmeras pesquisas para o desenvolvimento de energia através do biogás em aterros sanitários.

Como evidência desse movimento, a Abiogás em 2018 publicou em seu site:

O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019, publicado pela ABRELPE, mostra que foram gerados cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no país em 2018. Esse volume tem potencial de gerar 14.500 gigawatts-hora (GWh) anuais de energia elétrica - cerca de 3% do consumo nacional de eletricidade - por processos de tratamento térmico. Tal carga seria suficiente para abastecer todo o estado de Pernambuco ou os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Alagoas juntos. Além disso, a implantação de processos de tratamento biológico adicionaria um potencial de geração elétrica de 1.400 GWh/ano.

Entretanto, ainda de acordo com o documento da Abrelpe, nada menos que 40,5% do total de resíduos produzido - 29,5 milhões de toneladas de RSU - foram dispostos em lixões ou aterros controlados, por 3.001 dos 5.570 municípios brasileiros. A pior situação está na Região Norte, onde apenas 20,6% das cidades dispõem seus resíduos em aterros sanitários.

Outro estudo realizado pela ABiogás e a Abrelpe, levantou que cerca de 50% do total de RSU gerados no Brasil correspondem à fração orgânica. No entanto, pouco mais da metade desse material é disposto em aterros sanitários, onde poderia haver aproveitamento energético, incluindo a produção de biogás.

Além dos ganhos financeiros, a recuperação energética de resíduos reduz a geração de chorume nas unidades de disposição final, diminui a geração de gases de efeito estufa (GEE) mitigando a emissão de 90 mil toneladas anuais de CO<sub>2</sub> equivalente à emissão de 5 mil carros na atmosfera para cada 1.000 toneladas de RSU tratado, aumenta a reciclagem de materiais contidos nos RSU, com consequente preservação dos recursos naturais, retorna parte da energia consumida na produção desses resíduos, substitui combustíveis fósseis na produção de cimento, com resíduo processual perto de zero e ainda amplia a vida útil dos aterros sanitários atualmente em operação, o que é extremamente importante, já que em todo o país há crescentes dificuldades para a implantação de novas unidades.

## **1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Os resíduos sólidos urbanos são a matéria orgânica que, mediante a sua decomposição, geram energia limpa e sustentável. São definidos de acordo com a Associação Brasileira de Norma Brasileira (ABNT NBR 10.004:2004) como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

### **1.1 Classificação dos resíduos sólidos urbanos**

Os resíduos sólidos urbanos podem ser orgânicos, inorgânicos, sólidos industriais e resíduos especiais. (TARÇO, 2012) A abordagem em destaque para o estudo aqui apresentado trata-se dos resíduos sólidos orgânicos de origem animal ou vegetal, tais como restos de alimentos, ou outros que se decompõem, além de cascas de vegetais, frutas e ovos. Além, da madeira, folhagens e plantas mortas.

- Matéria orgânica: compostáveis (restos de comida, frutas, hortaliças, folhas etc.)

- Recicláveis: papel, papelão, PET, sacolas plásticas, metais, alumínio e vidro etc.
- Rejeitos: papel higiênico, fraldas, absorventes, etc.
- Resíduos específicos: pilhas, baterias, industriais, pneus, embalagens vazias de agrotóxicos, lâmpadas fluorescentes etc.

Esses materiais não devem ser recebidos na usina (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2005).

De acordo com a publicação da Essencis (2016), há dois tipos de classe de resíduos sólidos urbanos:

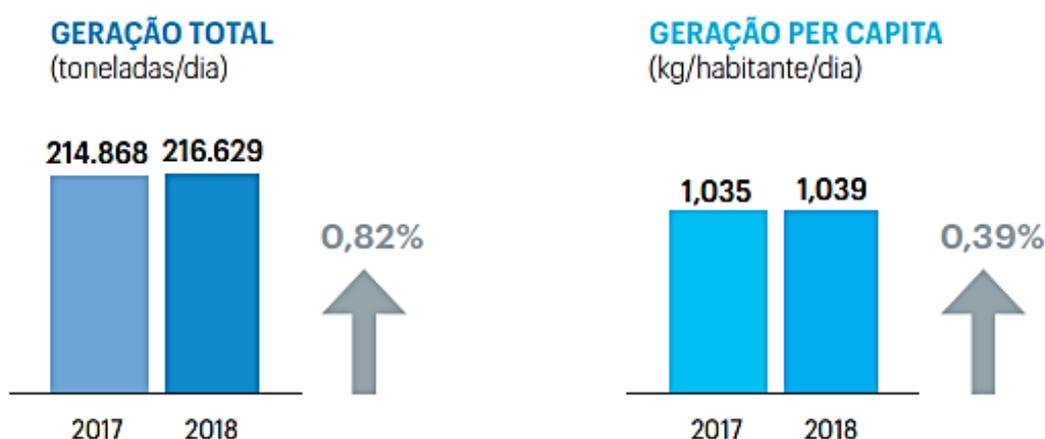
- Classe I: são resíduos perigosos, ou seja, que apresentam risco de contaminação para pessoas, animais e meio ambiente como, por exemplo resíduos químicos, pilhas e baterias, latas de tinta, etc.
- Classe II: são resíduos não perigosos, que podem ser inertes (como materiais de construção civil) ou não inertes (como restos de alimentos, de banheiro, de varrição etc.)

## 1.2 Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) em divulgar informações qualificadas do ano de 2018 para a geração, coleta, coleta seletiva e destinação final dos RSU's no Brasil. Os dados revelam que, foram geradas 79 milhões de toneladas, um aumento de pouco menos de 1% em relação ao ano anterior. Desse montante, 92% (72,7 milhões) foi coletado. O que pode vir a parecer como uma boa notícia, no entanto, o quadro apresentado no país atualmente é de pouco reaproveitamento dos RSU's coletados.

A destinação adequada em aterros sanitários recebeu 59,5% dos RSU's coletados: 43,3 milhões de toneladas, um pequeno avanço em relação ao ano anterior. O restante com 40,5% foi despejado em locais inadequados por 3.001 municípios. Ou seja, 29,5 milhões de toneladas de RSU acabaram indo para lixões ou aterros controlados, que não contam com um conjunto de sistemas e medidas necessários para proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente contra danos e degradações (ABRELPE, 2018)

Entre 2017 e 2018, a geração de RSU no Brasil aumentou em quase 1% e chegou a 216.629 toneladas diárias. Como a população também cresceu no período com 0,40% e a geração per capita teve elevação um pouco menor com 0,39%, trazendo um resultado de que, em média, cada brasileiro gerou pouco mais de 1 quilo de resíduo por dia (ABRELPE, 2018). Os dados apontam que a produção de RSU por pessoa tem crescido mais que a população, conforme o gráfico a seguir, fato que aponta para a urgência no tratamento dos resíduos sólidos.



Fonte: Abrelpe/IBGE, 2019.

## 2.2 Triagem dos resíduos sólidos

É a separação manual dos diversos componentes dos resíduos sólidos, que são divididos de acordo com a sua natureza: matéria orgânica, materiais recicláveis, rejeitos e resíduos sólidos específicos (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2005). O processo de triagem é complexo e demorado, sendo primeiro a retirada dos resíduos maiores e depois encaminhado para a triagem os de menor tamanho.

## 2.3 Rotas dos resíduos sólidos

Em um sistema integrado de gestão de resíduos sólidos, faz-se primeiro o recolhimento nos setores industrial, comercial e residencial, para depois encaminhá-los para uma triagem em que em parte vão para a reciclagem, em parte para a compostagem, e em outra (maior parte) para os aterros sanitários - onde em um processo produz-se energia (CETESB, 2006).

## 2.4 Tipos de tratamento dos resíduos sólidos

De acordo com o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, para o Grupo Solví e ESSENCIS, o tratamento pode ser feito através de Usina de compostagem, Usina de reciclagem, Incineração, Inertização por Autoclave ou Microondas, ou Aterro Sanitário. Com exceção do próprio aterro sanitário - que é o único que faz todo o processo - todas as alternativas geram resíduos no final, tendo esse que ser encaminhado para um aterro sanitário (ESSENCIS, 2016).

## 3 ATERRO SANITÁRIO

Segundo a norma da ABNT NBR 8419/1992, aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo que não causa danos à saúde pública e ao meio ambiente, minimizando os impactos ambientais. Tendo em vista que essa é uma forma simplificada de abordar o funcionamento dos aterros sanitários, o processo de construção vai muito além. Sob a orientação de engenheiros, é possível construir aterros com grande capacidade de recebimento dos RSU's e minimizar boa parte da vazão dos principais gases que poluem o meio ambiente.

De acordo com o relatório da Essencis (2016), os aterros sanitários, são a opção que apresenta melhor custo x benefício com a possibilidade de geração de energia através do biogás:

- Custo menor de instalação e operação;
- Menores investimentos iniciais;
- Disposição adequada dos resíduos em conformidade com as normas de engenharia e de controle ambiental;
- Grande capacidade de absorção diária dos resíduos gerados;
- Controle de vetores de doenças;
- Possibilidade de uso do biogás gerado para produção de energia.
- Disposição final dos resíduos provenientes dos demais tratamentos realizados, como usinas de compostagem, reciclagem e incineração.

Nesse contexto, 43% dos empreendimentos que geram energia elétrica a partir do biogás utilizam, em seus biodigestores - como lagoa coberta, manta plástica, entre outros - resíduos de origem agroindustrial e animal. A partir dos resíduos sólidos e esgotamento sanitário, 38% dos empreendimentos utilizam biodigestores

anaeróbicos a partir de aterro sanitário, 16% a partir de estações de tratamento de esgoto e 3% usam a incineração (FGV, 2019). O gráfico a seguir, apresenta as diferentes composições do biogás em relação à fonte geradora, de acordo com a ANEEL (2018).

COMPOSIÇÃO DA GERAÇÃO DO BIOGÁS (2018)  
COMPOSITION OF BIOGAS GENERATION (2018)



Biogás-AGR: biogás de origem agroindustrial;

Biogás-RA: biogás de origem de resíduos animais;

Biogás-RU: biogás de origem de resíduos sólidos urbanos.

FONTE: ANEEL (2018)

### 3.1 Células

De acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES (2014), os aterros sanitários são divididos em diferentes regiões ou células, com um período em média de três a quatro anos de sua capacidade para que seja aberto uma nova célula.

De modo geral, os aterros sanitários são repartidos em diferentes regiões ou células. Inicialmente, apenas uma célula é aberta e operada durante um período médio de três a quatro anos até que sua capacidade tenha sido exaurida. Após tal período, faz-se necessário investimento incremental em nova célula e assim sucessivamente, até que a capacidade total do aterro seja utilizada (BNDES, 2019).

### 3.2 Aterros Sanitários na cidade de São Paulo

De acordo com pesquisa do engenheiro Pedro José Stech, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, a matéria orgânica representa acima

de 55 % dos resíduos sólidos domiciliares da cidade de São Paulo, o papel, papelão e jornal acima de 13% e plásticos em geral acima de 15%.

Na cidade, o serviço de coleta é separado entre os resíduos sólidos domiciliares (RSD) e os dos serviços de saúde (RSSS), segundo dados da Prefeitura de São Paulo (2019) que coleta é 9500 ton/dia com destinação final aos 3 aterros sanitários: São João, CTR Caieiras e CDR Pedreira, com coleta seletiva:

- Aterro Sanitário Caieiras: recebe os resíduos domiciliares e os resíduos de serviços de saúde após tratamento, coletados pela concessionária LOGA, que atende o agrupamento noroeste da capital.
- Centro de Disposição de Resíduos Pedreira (CDR): recebe os resíduos provenientes dos serviços indivisíveis de limpeza pública do município.
- Central de Tratamento de Resíduos Leste (CTL): recebe os resíduos domiciliares e de serviços de saúde após tratamento, coletados pela concessionária ECOURBIS, que atende o agrupamento sudeste da capital.

### 3.3 Transbordos

Os transbordos são locais intermediários do transporte dos resíduos coletados. A cidade de São Paulo possui o Transbordo Ponte Pequena com capacidade de receber até 6 mil ton/dia e com destino ao Aterro Sanitário CTR Caieiras, o Transbordo Vergueiro e o Transbordo Santo Amaro, ambos com capacidade de 2500 a 3000 ton/dia e com destino ao Aterro Sanitário Central de Tratamento Leste - CTL (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019).

#### 4 CENTRAL DE TRATAMENTO E VALORIZAÇÃO AMBIENTAL CTVA CAIEIRAS



FONTE: RIMA - Relatório de Impacto Ambiental da CTVA de Caieiras, 2016

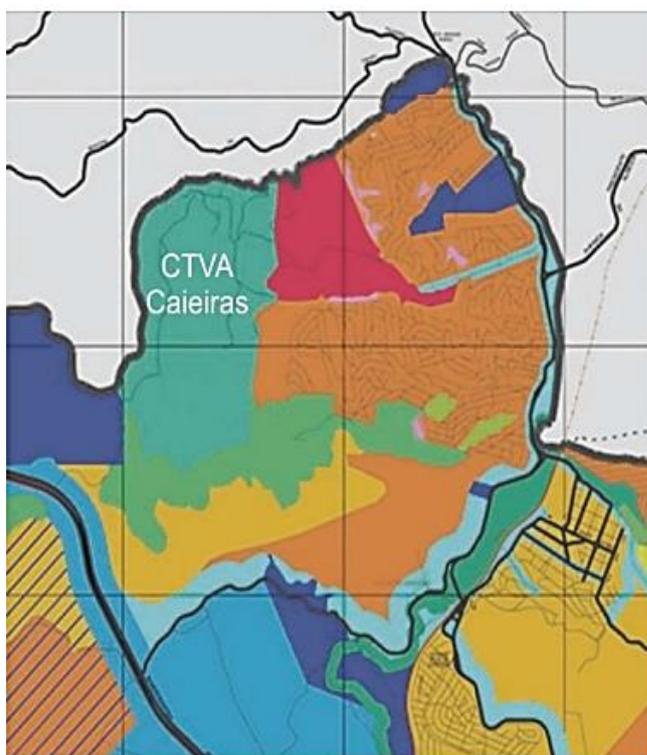
Em 1998 foi iniciado o processo de licenciamento ambiental do Aterro Sanitário de Caieiras, que na época era chamado de Centro de Tratamento de Resíduos - CTR, em nome da Companhia Auxiliar de Viação e Obras - CAVO. As obras iniciaram em 2000 e, em 2002, o empreendimento começou a receber resíduos (ESSENCIS, 2016).

A CTVA de Caieiras faz parte do grupo Solví que produz energia através do metano, praticando a sustentabilidade e o tratamento de Recuperação Energética de RSU's como ferramenta de desenvolvimento econômico e ambiental.

Com a Lei Municipal nº 2.676/96, foi criada uma Zona de Serviços de Saneamento Ambiental e da Indústria do Setor Primário, onde foi instalado o CTR Caieiras. Com esta lei fica estabelecido que nesta zona deve-se ter os seguintes usos:

- Sistemas de tratamento, reciclagem e disposição final de resíduos urbanos, industriais e de serviços de saúde de qualquer origem, inclusive os provenientes de outros municípios.

A lei municipal de Caieiras nº 4.546/2012, define o zoneamento da atual área da CTVA Caieiras como sendo Zona Especial de Saneamento Ambiental - ZESA. A seguir, o mapa indica essa zona especial de saneamento ambiental.


**LEGENDA:**

SIGLA	DESCRIÇÃO
ZPR 1	Zona Predominantemente Residencial de Alta Densidade
ZPR 2	Zona Predominantemente Residencial de Média Densidade
ZPR 3	Zona Predominantemente Residencial de Baixa Densidade
ZUPI-1	Zona de Uso Predominantemente Industrial 1
ZICS	Zona Industrial e de Comércio Sustentável
CCS	Corredor Comercial e de Serviços
ZUD	Zona de Uso Diversificado (industrial, comércio e serviços)
ZEIM I	Zona Especial de Interesse Metropolitano
ZEIM II	Zona Especial de Interesse Metropolitano
ZESA	Zona Especial de Saneamento Ambiental
ZEIS I	Zona Especial de Interesse Social
ZEIS II	Zona Especial de Interesse Social
ZEPARH 1	Zona Especial de Proteção Ambiental e Recursos Hídricos Serra das Laranjeiras
ZEPARH 2	Zona Especial de Proteção Ambiental e Recursos Hídricos Morro do Tico-Tico
ZEPARH 3	Zona Especial de Proteção Ambiental e Recursos Hídricos Morro dos Macacos
ZEPARH 4	Zona Especial de Proteção Ambiental e Recursos Hídricos Matas do Pacheco
ZEPARH 5	Zona Especial de Proteção Ambiental e Recursos Hídricos Rio Juqueri
ZEUC 1	Zona Especial de Unidade de Conservação Parque Estadual do Juqueri
ZEUC 2	Zona Especial de Unidade de Conservação Área de Proteção de Mananciais do Sistema Cantareira
ZEUC 3	Zona Especial de Unidade de Conservação Parque Estadual do Cantareira

FONTE: RIMA - Relatório de Impacto Ambiental da CTVA de Caieiras, 2016

A CTVA Caieiras possui uma área aproximada de 350 hectares e, atualmente, 130ha são utilizados para dispor resíduos classe II e classe I, vem tratando dos resíduos domiciliares e industriais de forma sustentável, com reaproveitamento dos resíduos para o setor energético. Além disso, também atua na desidratação de lodos de Estações de Tratamento de Esgoto - ETE (onde é tratado o chorume), a triagem de resíduos recicláveis e a compostagem de resíduos orgânicos (GRUPO SOLVÍ)

#### 4.1 Geração de Energia

A Termoverde Caieiras é a maior termelétrica movida a biogás de aterro sanitário do Brasil e uma das maiores do mundo, situada na Central de Tratamento e Valorização Ambiental da Essencis localizada no município de Caieiras-SP. Tem uma potência instalada de 29,5 MW e gera energia limpa a partir do resíduo depositado no aterro sanitário, de acordo com os dados apresentados por ela (GRUPO SOLVÍ).

A usina utiliza como combustível para a geração de energia o gás metano do biogás decorrente da decomposição dos resíduos orgânicos depositados no aterro, além de gerar créditos de carbono. Sua produção é de 230 mil MWh ao ano, o equivalente para atender uma cidade com cerca de 300 mil habitantes com energia

elétrica sustentável. A usina é resultado de um investimento de mais de R\$100 milhões, segundo informações da Solví Participações S.A. apresentados a seguir:

- Investimentos de mais de R\$110 MM
- 21 Moto geradores GE Jenbacher
- Potência instalada de 29,5 MW
- Modelo de negócio privado
- Créditos de Carbono: 9.021.947



FONTE: Grupo SOLVÍ

#### 4.2 Projeto Continuidade

De acordo com o Grupo Solví - em seu relatório ambiental da CTVA de Caieiras - as tecnologias aplicadas para o empilhamento dos RSU's e aproveitamento do ambiente já instalado resultarão na continuidade do aterro por mais 14,4 anos, tendo assim, menor impacto ambiental através de uma pequena expansão de 30 hectares.

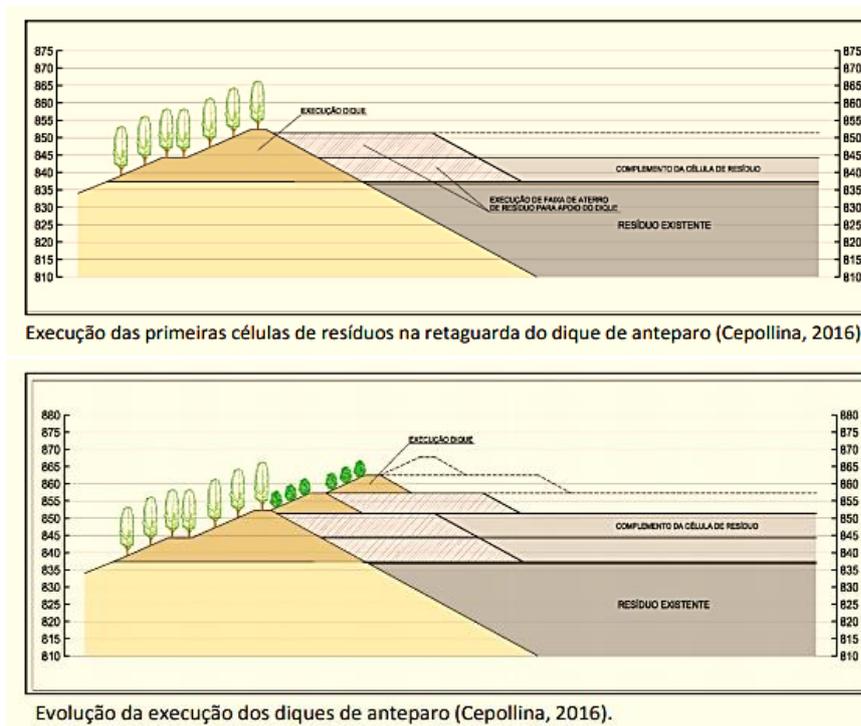
O projeto de Ampliação da CTVA Caieiras adotará tecnologias e procedimentos operacionais que possibilitarão o empilhamento de resíduos de forma comprovadamente segura e monitorada, otimizando ainda o usufruto de toda a infraestrutura e proteção ambiental já instalada, além de uma operação já em curso, garantindo a existência de um aterro de estratégica importância para a Região Metropolitana de São Paulo e garantindo a coleta e destinação gratuita

dos resíduos urbanos de Caieiras, sem impactar novas áreas, por mais 14,4 anos. (ESSENCIS, 2016)



FONTE: RIMA - Relatório de Impacto Ambiental da CTVA de Caieiras, 2016

O processo de alteamento que será usado na ampliação do aterro classe II consiste na sobreposição de várias células e camadas de resíduos, conforme mostrado nas figuras abaixo. É um processo ambientalmente correto de reaproveitamento da estrutura atual e se baseia em modernas tecnologias e estudos de estabilidade. A base da ampliação futura é o próprio aterro atual, sobre o qual serão implantadas novas camadas de resíduos (ESSENCIS, 2016).



FONTE: RIMA - Relatório de Impacto Ambiental da CTVA de Caieiras, 2016

#### 4.3 Unidades de Tratamento dos Resíduos Sólidos

Unidade de Logística Reversa: para recuperação de materiais e matérias-primas de produtos eletrodomésticos, como refrigeradores, computadores e eletroeletrônicos. Os produtos são reciclados ou reutilizados em outros processos industriais (ESSENCIS, 2016).

Unidade de Recuperação de Metais: para metais presentes em resíduos industriais de empresas de galvanoplastia, metalurgia, siderurgia, petroquímicas, dentre outras. São recuperados e reutilizados como matéria-prima em outros processos (ESSENCIS, 2016).

Unidade de Tratamento de Dessorção Térmica: para tratamento de solos contaminados com hidrocarbonetos, como gasolina, óleo diesel, óleo combustível, querosene, entre outros. Após o tratamento, o solo pode retornar ao local de origem ou em outro uso (ESSENCIS, 2016).

Todos os tipos de unidades de tratamento de RSU são apresentadas nas imagens abaixo:



FONTE: RIMA - Relatório de Impacto Ambiental da CTVA de Caieiras, 2016

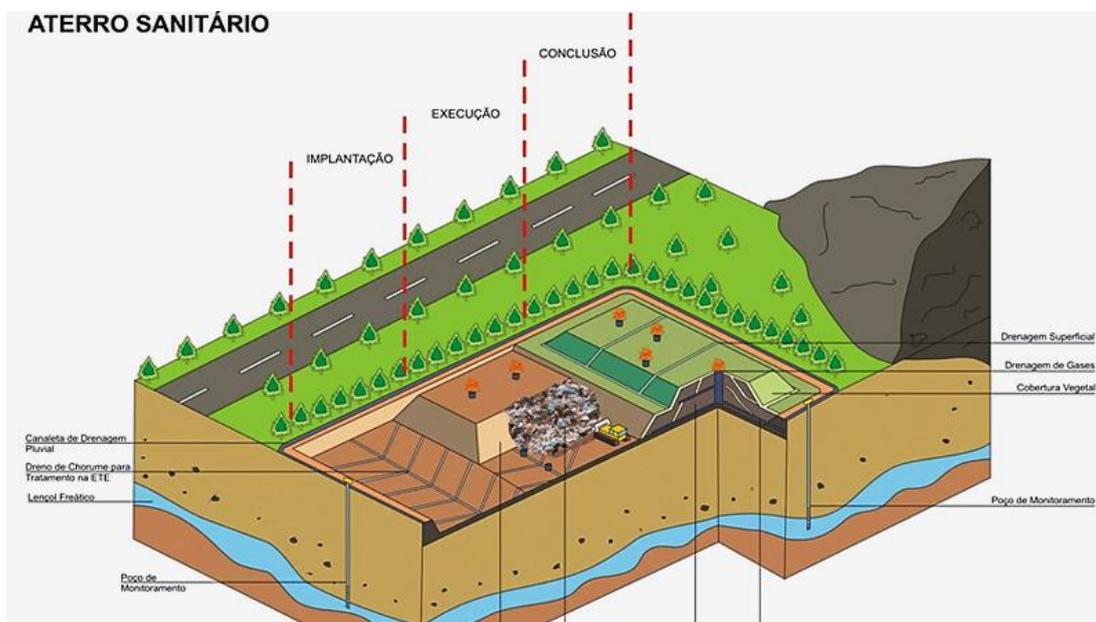
#### 4.4 Tratamento dos resíduos sólidos para geração do biogás

Chorume: é um líquido proveniente da decomposição de resíduos urbanos. Na CTVA de Caieiras ele é coletado, depois armazenado em lagoas de acumulação e destinado para a Estação de Tratamento do Piqueri, da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP ou para a Estação de Efluente da Companhia de Saneamento de Jundiaí - CSJ (ESSENCIS, 2016).

Gases: decomposição do lixo confinado nos aterros sanitários produz gases, entre eles o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ), que é inflamável. O controle da geração e migração desses gases é realizado através de um sistema de drenagem constituído por drenos verticais colocados em diferentes pontos do aterro. (ESSENCIS, 2016)

De acordo com o planejamento da CTVA de Caieiras, depois de captado, o gás é direcionado para duas finalidades: uma parte é queimada em “flares” (queimador apropriado para combustão do biogás) enclausurados e outra parte é

encaminhado à Usina Termelétrica Termoverde, para a geração de eletricidade através do biogás, conforme apresentado no diagrama a seguir:



FONTE: Regional News (2018)

Compostagem: é um processo de decomposição aeróbia (com presença de ar) da matéria orgânica, transformando-a em um adubo pela ação de microrganismos biológicos que, em condições físicas e químicas adequadas libera o biogás (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2005).

De acordo com essa entidade, a população de microrganismos presente nos resíduos sólidos é rica em bactérias, fungos e actinomicetos que, em condições apropriadas e controladas, multiplicam-se acelerando a decomposição da matéria orgânica.

## 5 SETOR ENERGÉTICO

### 5.1 Biomassa

A biomassa é qualquer matéria orgânica de origem vegetal ou animal passível de ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. Essa pode ser obtida através de resíduos orgânicos, em que se encontra resíduos urbanos, industriais e agrícolas; sendo uma fonte renovável e com baixo custo, além de reaproveitar os resíduos aqui mencionados (Cortez, et al., 2008). Para que seja transformada, sofre decomposição por diferentes microrganismos que, sob a ação de

bactérias metanogênicas, produz o biogás em condições específicas de seu habitat como PH, temperatura (ARAUJO, 2017).

## 5.2 Biogás

De acordo com a pesquisa apresentada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, a composição do biogás em percentual molar é de: 40% – 55% de metano, 35% – 50% de dióxido de carbono, e de 0% – 20% de nitrogênio. O poder calorífico é de 14,9 MJ/m<sup>3</sup> a 20,5 MJ/m<sup>3</sup> ou aproximadamente 4.800 kcal/m<sup>3</sup>. A produção de biogás faz parte do ciclo global do carbono.

Anualmente, a biodegradação natural de matéria orgânica em condições anaeróbicas libera entre 590 milhões e oitocentos milhões de toneladas de metano na atmosfera (MILANEZ et al, 2018).

Segundo Amom et al. (2010), pela própria natureza, é possível constatar que a formação do biogás é um processo comum em pântanos, fundos de lagos e no rúmen de animais ruminantes, por meio de diversos microrganismos metanogênicos, sendo esses os mais sensíveis devido a sua baixa taxa de crescimento.

## 5.3 Benefícios do biogás

De acordo com a CETESB (2006), são abordados os benefícios ambientais, econômicos e energéticos. No que tange aos benefícios ambientais, os resíduos urbanos produzem os compostos orgânicos voláteis (COV's) que são os principais contribuintes para formação do ozônio troposférico. Quando pouco ou nada é feito para controlá-los, esses compostos são de forma lenta e contínua lançados à atmosfera como produto da decomposição. Porém, quando os resíduos são coletados e queimados em um sistema de geração de energia, os compostos são destruídos, evitando a consequente perda ambiental.

Para os benefícios econômicos, os aterros sanitários serão obrigados a coletarem e queimarem os resíduos e seus proprietários e operadores terão a responsabilidade de arcar com os custos de instalação e manutenção de um sistema de coleta. Assim, o custo "extra" de instalação de um sistema de geração de energia se tornaria o investimento total mais atraente (CETESB, 2006).

Como um benefício energético, o biogás é uma fonte local de energia renovável. Devido a sua geração contínua, produz uma fonte de combustível confiável para uma faixa de aplicações energéticas, incluindo a geração e o uso direto. (CETESB, 2006).

#### 5.4 Motor de combustão interna

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas nas quais a energia química do combustível se transforma em trabalho mecânico, sendo que, o fluido de trabalho consiste dos produtos da combustão da mistura ar-combustível e a câmara de combustão em um processo integrado ao funcionamento geral de motor (SALOMON, 2007).

#### 5.5 Tecnologia Jenbacher (utilizada na CTVA de Caieiras)

Para proteger o meio ambiente e otimizar a produção de biogás, a General Electric (GE) desenvolveu uma tecnologia de energia de cogeração, que utiliza motores a biogás para produzir eletricidade. O gerador de motores Jenbacher foi implantado em vários países, totalizando cerca de 560 sistemas de geração de energia que fornecem cerca de 2,8 milhões de megawatts-hora de eletricidade por ano, suficiente para suprir 800.000 dos domicílios europeus (General Electric, 2008).

Os resíduos orgânicos são coletados e armazenados no poço primário, para depois serem esterilizados. Na segunda etapa, o material orgânico é fermentado no digestor dando origem ao biogás que é armazenado no gasômetro para assegurar o fornecimento contínuo de gás ao motor Jenbacher. Assim, o motor fornece energia mecânica a um gerador acoplado ao equipamento produzindo eletricidade (GE, 2008).

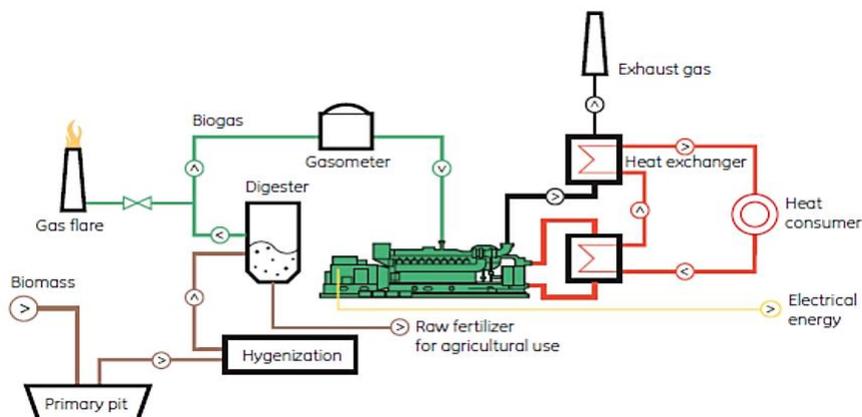


Fonte: General Electric, 2008

De acordo com Oliveira, Santana e Medeiros (2018), a tecnologia Jenbacher traz os seguintes benefícios:

- Evita a acumulação de resíduos orgânicos;
- Reduz a emissão de gases com efeito de estufa - GEE, emitidos durante a utilização de fontes de energia tradicionais;
- Recicla o material orgânico já utilizado na produção de biogás para fertilizar as regiões agrícolas - com aplicação praticamente inodoro;

- Energia térmica obtida com a dissipação de calor do equipamento, podendo também ser reciclada como em estufas, de acordo com as necessidades locais.



FONTE: General Eletric, 2009

## 5.6 Sistema de coleta do biogás

Um sistema padrão de coleta de biogás possui três componentes centrais: poços de coleta com tubos condutores, um sistema de tratamento e um compressor. Além disso, a maioria dos aterros sanitários com sistema de recuperação energética tem um flare para queima do excesso de gás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos (CETESB, 2006).

## 5.7 Tubos de coleta

Segundo a abordagem sobre o estudo do biogás da CETESB (2016), a coleta de gás normalmente começa após uma porção do aterro chamada célula ser fechada. Existem duas configurações de sistemas de coleta: poços verticais e trincheiras horizontais. Os poços verticais são o tipo mais usado de captação; as trincheiras podem ser apropriadas para aterros sanitários profundos e ser usadas em áreas de aterro ativo.

## 5.8 Sistema de tratamento de condensado

Ainda sobre a abordagem do estudo do biogás do CETESB, quando o biogás produzido pelo aterro sanitário passa através do sistema de coleta, se resfria e forma um condensado. Se esse composto não for removido, pode bloquear o sistema de coleta e interromper o processo de geração de energia. Para o controle do condensado, os tubos inclinados e conectores são usados para permitir a drenagem

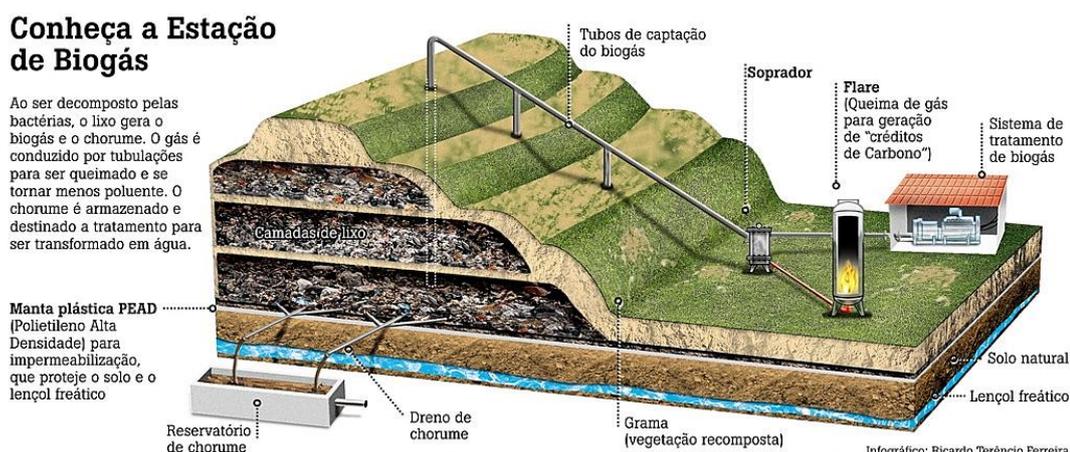
em tanques ou armadilhas de coleta. Esses sistemas são normalmente complementados por uma remoção de condensado pós-coleta. Os métodos para disposição são: descarga no sistema público de esgoto, tratamento local e recirculação para o aterro sanitário.

### 5.9 Compressor

Continuando com a abordagem da CETESB, é necessário um compressor para puxar o gás dos poços de coleta que também é indispensável para comprimir o gás antes de entrar no sistema de recuperação energética. O tamanho, tipo e número de compressores dependerá da taxa do fluxo de gás e do nível desejado de compressão.

### 5.10 Flare

Um flare é um dispositivo simples para ignição e queima do biogás, que pode ser necessário durante as etapas de início e manutenção do sistema, podendo ser o componente de maior custo-efetividade para gradualmente aumentar o tamanho do sistema de geração de energia e para queimar o excesso de gás entre expansões ou manutenções de sistemas (CETESB, 2006).



FONTE: VGRESÍDUOS

## 6 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS POR PORTE NO BRASIL

Composto principalmente por obras civis, o custo de implantação de aterros sanitários varia, de forma simplificada, em função de sua capacidade de recebimento total de resíduos, comumente mensurada

pelo fluxo de recebimento diário (expresso em ton/dia), bem como, do tempo de vida útil do aterro (BNDES, 2019).

O custo é composto principalmente por obras civis na implantação de aterros sanitários, variando - em uma forma simples de se explicar - é que essa variação é em função de sua capacidade de recebimento total de resíduos, comumente mensurada pelo fluxo de recebimento diário (expresso em ton/dia), como do tempo de vida útil do aterro (BNDES, 2009).

De acordo com o levantamento de dados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, o tempo em média de uma célula aberta é de 3 a 4 anos até que tenha sido utilizada toda a sua capacidade.

Ainda de acordo com o BNDES, o tempo de vida útil total de um aterro é de 20 anos, sendo que, para que seja levantado os custos no tempo total, os autores pedem para que seja multiplicado os valores por cinco, ou seja, 4 anos de uma célula multiplicado por 5, o que totaliza o período de 20 anos.

Conforme ABETRE e FGV (2009), os investimentos em aterros sanitários podem ser divididos em cinco etapas: pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-operação. A tabela a seguir apresenta os custos de implementação de aterros sanitários por etapa:

ETAPA	Grande 2.000 t/dia	Médio I 1.000 t/dia	Médio II 500 t/dia	Pequeno 100 t/dia
PRÉ-IMPLANTAÇÃO	4.065.461	2.032.730	1.355.135	608.087
IMPLANTAÇÃO	18.169.781	9.084.890	6.056.593	2.669.178
OPERAÇÃO	461.494.052	230.747.026	153.831.350	45.468.163
ENCERRAMENTO	6.488.889	3.244.444	2.162.963	486.667
PÓS-ENCERRAMENTO	35.575.984	17.787.992	11.858.661	3.212.354
TOTAL	525.794.167	262.897.083	175.264.722	52.444.449

FONTE: ABETRE & FGV, 2009

Para o levantamento, adotou-se como premissa que, uma vez implantado o aterro e aberta a primeira célula, a atividade de prestação de serviços de aterramento ao longo da vida útil da primeira célula (em média, quatro anos) gera receitas suficientes para cobrir os custos de operação e as necessidades de investimento futuras para a expansão das novas células. Portanto, a abertura das células subsequentes e as etapas de encerramento e pós-encerramento não representam necessidade de novos recursos (ABETRE & FGV, 2009).

## 6.1 Custos do sistema de coleta

Os custos podem variar dependendo do aterro sanitário e das especificações que ele requer. Se o aterro sanitário for profundo, os custos de captação tenderão a ser maiores devido ao aumento no custo dos poços, o que também ocorrerá se aumentar o número de poços instalados (SILVA, 2015).

Quantidade do lixo em aterro sanitário	Fluxo estimado de gás (m <sup>3</sup> /dia)	Custo de Capital (x1000 US\$)	Custo de O&M (x1000 US\$)
1 milhão de tonelada	18	628	89
5 milhões de tonelada	85	2.088	152
10 milhões de tonelada	149	3.599	218

FONTE: Environmental Protection Agency, EPA (1996).

## 6.2 Custo do gasoduto

De acordo com a pesquisa realizada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, antes do biogás estar em condições de ser usado por um consumidor, é preciso construir um gasoduto para dar acesso à oferta e seus custos devem variar de US\$ 150.000 a US\$ 310.000 por quilômetro, dependendo das diferenças de terreno. Apesar dos ajustes na caldeira de queima serem feitos por encomenda, os custos totais de instalação variam de US\$ 120.000 para uma caldeira de 4.500 kg/h a US\$ 300.000 para uma caldeira de 36.200 kg/h. Pode-se considerar que os custos de construção do gasoduto respondem por um terço do total. Os custos de operação e manutenção associados ao uso de caldeiras, fornos, secadoras e outros equipamentos industriais equivalem aos custos de O&M quando são usados combustíveis convencionais.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo foi realizado através de uma pesquisa documental junto a publicações especializadas do grupo ESSENCIS, do qual pertence a Usina Termoverde aqui referenciada, e em fontes diversas ligadas a órgãos governamentais responsável pelo setor energético, agências reguladoras, fundações e instituições financeiras, além de outros dados fornecidos por empresas privadas e em títulos de pesquisadores e outros estudiosos do assunto que complementaram este trabalho.

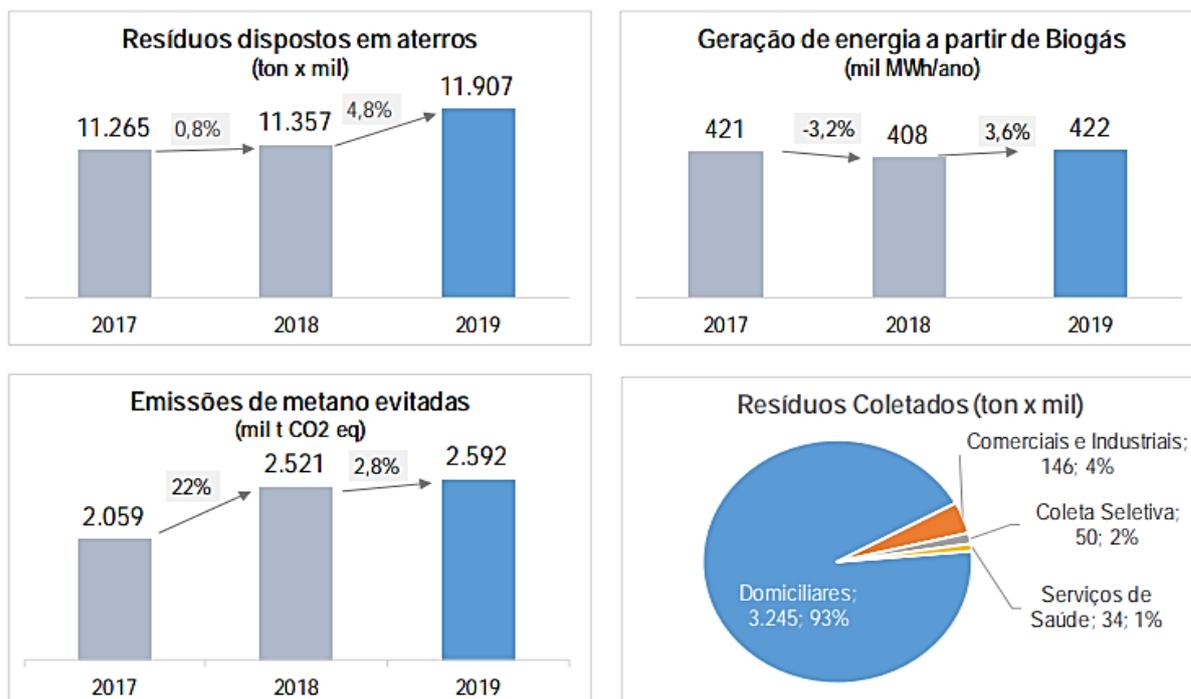
## RESULTADOS

O Grupo Solvi, responsável pela Usina Termoverde de Caieiras possui 40 anos de experiência e é composto por 64 empresas presentes em 250 cidades, 14 estados e 4 países (Brasil, Argentina, Bolívia e Peru), com um efetivo de 13 mil colaboradores. Suas atividades abrangem operações em Aterros Sanitários, Garagem de Coleta, Estações de Tratamento de Efluentes, Estações de Transferência, Usinas de Triagem, Usinas de Tratamento de Resíduos de Saúde (RRS), Coprocessamento em Fornos de Cimento, Plantas de Compostagem, Termelétricas, Plantas de Dessorção Térmica, Incinerador, Estação de Tratamento de Água e Estação de Tratamento de Esgoto.

Os indicadores operacionais apresentaram os seguintes resultados:

- Aumento de 0,8% na quantidade de RSU's de 2017 para 2018. Em 2019 o aumento foi de 4,8% devido ao investimento do grupo e aumento de sua capacidade técnica, sendo 93% dos resíduos coletados domiciliares, 4% comerciais e industriais, 2% na coleta seletiva e 1% dos serviços de saúde.
- Na geração de energia houve redução de 3,2% em 2018 devido a manutenção de equipamentos com aumento de 22% de emissões evitadas do gás metano. Já em 2019, a produção cresceu em 3,6% em relação ao ano anterior, com 2,8 % de toneladas de metano evitado.

Tais dados são apresentados nos gráficos a seguir:



FONTE: Solvi Participações S.A.

Os resultados financeiros apresentados pelo Grupo Solvi através dos demonstrativos apresentados no ano de 2018 demonstram:

- Receita Bruta: 2.669 bilhões
- Receita Líquida: 101 milhões
- Sendo o rendimento assim distribuído: 37% para Tratamento e Valorização, 37% para Concessões e PPP's, 14% para Investimentos Internacionais, 6% para Serviços Industriais e Privados e 6% para Saneamento
- Com três termoelétricas: gerando 45 MW
- 9,6 milhões de população atendida por coleta domiciliar
- 3,4 toneladas de resíduos coletados
- 73 mil de pessoas atendidas por abastecimento de água e coleta de esgoto

Tais resultados são apresentados nos demonstrativos financeiros individuais e consolidados nos anos de 2019, 2018 e 2017:

<b>Resultados – R\$ milhões</b>	<b>2019</b>	<b>2018</b>	<b>2017</b>	<b>Δ 2019/2018</b>	<b>Δ 2018/2017</b>
<b>Resultado Financeiro</b>	<b>(111,7)</b>	<b>(116,3)</b>	<b>(183,4)</b>	<b>4,0%</b>	<b>36,6%</b>
% sobre a ROL	-5,7%	-5,6%	-8,6%	-0,1 p.p.	3,1 p.p.
<b>Receitas Financeiras</b>	<b>45,9</b>	<b>71,0</b>	<b>71,6</b>	<b>-35,4%</b>	<b>-0,8%</b>
Receitas juros sobre contratos	14,8	12,0	39,3	23,3%	-69,5%
Variação monetária	7,2	8,1	5,6	-11,1%	44,6%
Rendimentos sobre aplicações financeiras	8,3	6,7	10,3	23,9%	-35,0%
Correção de depósitos judiciais	0,8	1,1	-	-27,3%	-
Juros recebidos e descontos obtidos	14,8	43,1	16,4	-65,7%	162,8%
<b>Despesas Financeiras</b>	<b>(157,6)</b>	<b>(187,3)</b>	<b>(255,0)</b>	<b>15,9%</b>	<b>26,5%</b>
Variação monetária	(15,3)	(17,2)	(21,3)	11,0%	19,2%
Despesas bancárias	(8,1)	(13,9)	(10,5)	41,7%	-32,4%
Despesas com juros e descontos concedidos	(7,9)	(9,3)	(22,1)	15,1%	57,9%
Despesas com juros sobre contratos de mútuos	(2,5)	(1,4)	(1,8)	-78,6%	22,2%
Despesas com juros passivo de arrendamento	(5,2)	-	-	-	-
Despesas com multas e moras financeiras	(0,8)	(4,2)	(7,5)	81,0%	44,0%
Tributos sobre movimentações financeiras	(7,0)	(8,6)	(7,2)	18,6%	-19,4%
Juros sobre financiamento	(108,2)	(132,7)	(184,6)	18,5%	28,1%
Ajuste de valor presente das contas a receber	(2,6)	-	-	-	-

FONTE: Solví Participações S.A.

Em 2019, o Grupo Solví apresentou lucro líquido de R\$ 42,7 milhões, com 2,2% da ROL. No ano de 2018, o lucro líquido foi de R\$ 35,4 milhões e 1,7% da ROL. Essa diferença se deu por conta da redução das despesas financeiras.

O lucro líquido aos acionistas foi de R\$ 11,8 milhões em 2019, contra o prejuízo de 2018 de R\$ 12,4 milhões de 2018. O reajuste foi devido ao aumento do lucro líquido e a redução na participação de não controladores.

O Grupo Solví apresenta, como todas as empresas, alguns anos melhores que outros, no entanto, seu lucro econômico, de forma geral, vêm crescendo visto que, quando há queda no lucro, é devido a investimentos ou término de algum contrato. Aponta ainda, crescimento sustentável de todas as áreas ligadas à geração de energia através do biogás. Não obstante, mostra um modelo de capital aberto que possibilita lucro para todos aqueles que se tornam acionistas da empresa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou apresentar dados e informações capazes de apontar os inúmeros benefícios decorrentes da produção de energia através do biogás. Do ponto de vista ambiental, o uso de fontes renováveis e limpas auxiliam na redução do efeito estufa - objeto de preocupação mundial - com impactos positivos na saúde pública e no meio ambiente. No âmbito econômico, apresentou através da análise e levantamento de dados de um caso real o impacto positivo que as tecnologias

empregadas propiciam sobre as finanças públicas na medida geram energia elétrica a um custo mais reduzido que as fontes normalmente utilizadas e os resultados positivos para a economia do país de modo geral.

O resultado mais relevante foi identificar que, cada vez mais, a produção e utilização do biogás como fonte limpa e sustentável vem sendo utilizada e, cada vez mais investimentos tem se verificado nesse sentido, o que, considerando o enorme potencial existente no Brasil, aponta para um futuro muito promissor e ambientalmente menos degradante.

## REFERÊNCIAS

ABIOGÁS. Entidades lançam frente para acelerar recuperação energética de resíduos. Abiogás, junho de 2020. Disponível em: <https://abiogas.org.br/7296-2/>. Acesso em: 18 de novembro de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo – SP, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS - ABETRE. FGV – FGV. Estudo sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários. R. de Janeiro, 2009.

AMOM, Thomas. et al. Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Gülzow. 2010.

ARAUJO, Ana Paula Caixeta. Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico. 2017. p 47. Monografia para Bacharel em Engenharia Química, Univ. Federal de Uberlândia - UFU/MG, Uberlândia, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419/1992. Dispõe sobre as normas técnicas para implantação de Aterro Sanitário. Disponível em: <<https://www.observatorioderesiduos.unb.br/painel/assets/uploads/files/996de-nbr-8.419-nb-843-apresentacao-de-projetos-de-aterros-sanitarios-rsu.pdf>>. Acesso em: junho/21

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ATERROS SANITÁRIOS E TRANSBORDOS. Cidade de São Paulo, 2019. Disponível em:

<[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/amlurb/aterros\\_e\\_transbordos/index.php?p=4633](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/amlurb/aterros_e_transbordos/index.php?p=4633)>. Acesso em: 29/05/2020

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019. Ed. Biblioteca digital, 2019.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). 20 anos do mercado brasileiro de energia elétrica. - 1. ed. - São Paulo: CCEE, 2019.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Biogás: Pesquisas e Projetos no Brasil. CETESB – Biblioteca, SP, Brasil. São Paulo: SMA, 2006.

De Wit M.; Hoogzaad, J.; Ramkumar, S.; Friedl, H.; Douma, A. The Circularity Gap Report: An Analysis of the Circular State of the Global Economy. Circle Economy: Amsterdam, The Netherlands, 2018.

ESSENCIS. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: Rima Relatório de Impacto Ambiental: Ampliação da Central de Tratamento e Valorização Ambiental – CTVA Caieiras aterro de resíduos domiciliares e industriais. 2016. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/events/CBH-AT/4333/volivrimactvacaieiras.pdf>> Acesso em: 13/04/2021.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE: Orientações técnicas para a operação de usina de triagem e compostagem do lixo/ Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2005. p 52.; il.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. Biogás: Inovação e sustentabilidade para o saneamento básico. Rio de Janeiro – RJ: FGV, 2019. p 113.

General Electric. Jenbacher Gas Engine Services | Maintenance & Repair | GE Power, 2008. Disponível em < <https://www.gepower.com/services/jenbacher.html>> Acesso em: 28 de junho de 2021.

MILANEZ, Artur Yabe et al. Biogás From Agroindustrial Wastes: Panorama and Perspectives, 2018. p 56.

ODCE: Avaliação de Desenvolvimento Ambiental Brasil 2015 LC/BRS/L.30 ISBN978-92-1-121920-3, 2015

OLIVEIRA, Douglas E. Pereira de; SANTANA, José Carlos Curvelo; MEDEIROS, Mágilla Feitosa. Viabilidade Econômica E Ambiental Na Cogeração De Energia A Partir De Resíduos Agrícolas: Estudo De Caso De Um Município Do Estado De Minas Gerais Do Brasil, 2018. p 17. Universidade Nove De Julho – UNINOVE. São Paulo – SP – Brasil, 2018.

SILVA, Fabiana Morais. BIOGÁS DE LIXO NO ATERRO SANITÁRIO DE GRAMACHO. 2015. p 124. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica - Escola Politécnica, Univ. Fed. do Rio de Janeiro, 2015.

SOLVÍ PARTICIPAÇÕES S.A. Demonstrações financeira individuais e consolidadas em 31 de dezembro de 2019, 2018 e 2017. Disponível em: <https://www.solvi.com/demonstracoes-financeiras>. Acesso: 18 novembro 2021.

SOLVÍ PARTICIPAÇÕES S.A. Termoverde de Caieiras. Disponível em: <https://www.termoverde.com.br/termoverdecaieiras>. Acesso em: 18 de novembro de 2021.

TERMOVERDE CAIEIRAS. Unidade de Valorização Sustentável. Disponível em: <<https://vivagreen.com.br/energia/major-termoeletrica-movida-biogas-de-residuos-solidos-urbanos-do-brasil-e-inaugurada-no-estado-de-sao-paulo/>>. Acesso em 14 de abril de 2021.

TARSO, Sávio de. Gestão de resíduos sólidos: uma oportunidade para o desenvolvimento municipal e para as micro e pequenas empresas. São Paulo: Instituto Envolverde: Ruschel & Associados, 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2nd International Methane Mitigation Conference. Novosibirsk, Rússia, em junho de 2000. USEPA – Office of air and radiation, USEPA, 2000.