

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - UCS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS - CARVI
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MAURICIO BAVARESCO

ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ORIUNDO
DO BIOGÁS GERADO A PARTIR DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO
MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL - RS

BENTO GONÇALVES

2020

MAURICIO BAVARESCO

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ORIUNDO
DO BIOGÁS GERADO A PARTIR DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO
MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de TCC II, ao curso de graduação em Engenharia Mecânica no Campus Universitário de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Me. Tiago Cassol Severo

BENTO GONÇALVES

2020

MAURICIO BAVARESCO

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ORIUNDO
DO BIOGÁS GERADO A PARTIR DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO
MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
aprovação na disciplina de TCC II, ao
curso de graduação em Engenharia
Mecânica no Campus Universitário de
Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Me. Tiago Cassol
Severo

Aprovado em ___/___/___

Banca examinadora

Prof. Me. Tiago Cassol Severo

Orientador / Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Alexandre Mesquita

Professor convidado / Universidade de Caxias do Sul

Prof. Me. Renato Hansen

Professor convidado / Universidade de Caxias do Sul

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, dedico este à minha família. Pelo exemplo de coragem e simplicidade, por me ensinarem o caminho da honestidade e por auxiliarem em toda formação do meu caráter. Agradeço a Deus, pela força e serenidade em continuar vencendo os empecilhos no meio desta trajetória.

A minha mãe Salete, que me incentivou a iniciar a graduação e nunca mediu esforços para que meu sonho se realizasse. Obrigado por estar ao meu lado nesta caminhada, me dando suporte e apoio, sempre com a certeza que tudo daria certo.

A minha esposa Aline, agradeço pela compreensão de muitas vezes estar ausente, aos finais de semana que abrimos mãos da diversão para que eu pudesse estar estudando. Meu muito obrigado pelo apoio nesta longa jornada, e por não ter me deixado desistir nos momentos mais difíceis, acreditando que esta luta sempre foi por um ideal maior.

Aos amigos que fiz nesta caminhada, onde junto dividindo medos, noites de estudos e compartilhamos conhecimentos, experiências e boas risadas.

Ao meu orientador, Tiago Cassol, pelo grande auxílio prestado ao longo deste trabalho, disponibilizando seu tempo nas orientações e sempre muito prestativo nas trocas de e-mails e mensagem, dando todo suporte necessário.

Enfim, todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para minha formação, meu muito obrigado.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

A maior parte dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil é disposta de maneira inadequada provocando impactos ambientais, sociais e de saúde pública. O metano, produto da degradação anaeróbia dos RSU, é considerado impactante por ser um gás de efeito estufa. Este gás, queimado ou aproveitado corretamente em aterros sanitários, para geração de energia, pode trazer retorno financeiro para a empresa administradora, além de minimizar impactos ambientais. O presente trabalho teve por objetivo estimar o potencial de geração de energia elétrica gerada a partir do aproveitamento do biogás oriundo dos resíduos sólidos urbanos no aterro Rincão das Flores da cidade de Caxias do Sul – RS, utilizando as metodologias propostas pelo IPCC. Constatou-se que o aterro possui uma capacidade de geração média de energia elétrica igual a 931MWh/mês tendo uma potência média disponível de 1,5MW. Por fim realizou-se uma avaliação de viabilidade econômica, através de ferramentas da engenharia como payback descontado, valor presente líquido e taxa interna de retorno. O investimento foi considerado viável economicamente, com um tempo de retorno do valor investido menor que 9 anos e um lucro de 66% ao final do período de funcionamento do projeto.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos, aterro sanitário, biogás, geração de energia elétrica.

ABSTRACT

Most of the urban solid waste (USW) in Brazil is inappropriate dumped, therefore, it causes environmental, social and public health impacts. Methane, an anaerobic degradation product of the USW, is considered hazardous for causing the greenhouse effect. This gas can provide financial payback for the management company, besides, it can reduce the impacts in the environment if the gas is burned or used properly in landfills. This paper aims to estimate the capacity of production of electric power produced from the exploitation of biogas resulting from the urban solid waste at the Rincão das Flores landfill in the city of Caxias do Sul, RS, using the methodologies suggested by IPCC. The landfill has an average capacity to generate electric power similar to 931MWh/month with 1.5MW as average power. In conclusion, an evaluation about economic feasibility was made using engineering tools as payback deducted, net present value and internal rate of return. The investment has been considered cost-effective, it may take less than 9 years for the investment value to pay off and a 66% of profit at the end of term as the project progresses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração de resíduos sólidos no mundo.....	18
Figura 2 - Geração de RSU no Brasil.....	20
Figura 3 - Corte da seção de um aterro sanitário.....	22
Figura 4 - Representação esquemática da composição do biogás.....	25
Figura 5 - Matriz Energética Mundial 2016.....	27
Figura 6 - Matriz Energética Brasileira 2017.....	28
Figura 7 - Matriz Elétrica Mundial 2016.....	29
Figura 8 - Matriz Elétrica Brasileira 2017.....	29
Figura 9 - Vazão de gás metano.....	30
Figura 10 - Curva de potência elétrica.....	31
Figura 11 - Aterro Sanitário Rincão das Flores.....	34
Figura 12 - Fluxograma de atividades.....	40
Figura 13 - Gravimétrica de resíduos (%).....	42
Figura 14 – Crescimento populacional e geração de resíduos.....	43
Figura 15 – Vazão de metano estimada no período de 2010 a 2050.....	45
Figura 16 – Potência Estimada no Período de 2010 a 2050.....	46
Figura 17 – Energia Estimada no Período de 2010 a 2050.....	47
Figura 18 – Energia gerada no aterro x consumo com iluminação pública.....	48
Figura 19 - Receitas de venda de energia elétrica.....	51
Figura 20 - Fluxo de caixa do projeto.....	53
Figura 21 - Payback descontado.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa da composição gravimétrica dos RSU no Brasil.	19
Tabela 2 - Taxas de geração per capita de RSU no RS.	20
Tabela 3 - Produção média de biogás (unidades de produção Brasil).	26
Tabela 4 - Recuperação de biogás e capacidade máxima de produção da UTE.	33
Tabela 5 - Informações do Aterro.	41
Tabela 6 - Variáveis para Cálculo de Geração de Metano.	44
Tabela 7 - Grupo tarifário verde (R\$/MWh)	50
Tabela 8 - Entradas e saídas financeiras do projeto.	52
Tabela 9 - Receita e investimentos do projeto.	54

LISTAS DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CH₄	Metano
CO₂	Dióxido de carbono
EPE	Empresa de pesquisa energética
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAE	Fonte Alternativa de Energia
FC	Fluxo de Caixa
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológicas
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas de Energia
ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Poder Calorífico Interno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PNRS	Política nacional de resíduos sólidos
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TIR	Taxa Interna de Retorno

UTE	Usina Termoelétrica
VPL	Valor Presente Líquido
ST	Sólidos Totais
ST/L	Sólidos Totais por Litro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	TEMA	15
1.2	OBJETIVO GERAL	15
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4	JUSTIFICATIVA	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	17
2.1.1	Panorama mundial dos resíduos sólidos	18
2.1.2	Resíduos sólidos no Brasil e Rio Grande do Sul	19
2.1.3	Caracterização dos resíduos sólidos	20
2.1.4	Classificação dos resíduos	21
2.2	ATERRO SANITÁRIO	21
2.3	BIOGÁS	24
2.4	CENÁRIO ENERGÉTICO NO MUNDO E NO BRASIL	27
2.4.1	Matriz energética	27
2.4.2	Matriz elétrica	28
2.5	ESTADO DA ARTE	30
2.5.1	Estimativa de potencial energético de biogás proveniente do aterro sanitário Tijuquinhas (Município de Biguaçu/SC)	30
2.5.2	Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos	31
2.5.3	Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de usina e geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município de Santo Antônio de Jesus – BA	32
3	METODOLOGIA	34
3.1	COLETAR DADOS REFERENTES AOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO ATERRO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL - RS.	34
3.2	PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO E DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS – CAXIAS DO SUL	35
3.3	MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE BIOGÁS	36

3.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA PELO BIOGÁS PROVENIENTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	38
3.5 ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA CONVERSÃO DO BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA.....	38
3.6 ANÁLISE FINANCEIRA	39
3.7 FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 CARACTERÍSTICA DO ATERRO E COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS.....	41
4.2 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO	43
4.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA E ENERGIA ELÉTRICA DISPONÍVEL.....	46
4.4 EQUIPAMENTO ADEQUADO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.	49
4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONOMICA DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO	49
4.5.1 Receitas	50
4.5.2 Custos de Operação e Manutenção.	51
4.5.3 Análise do fluxo de caixa	52
4.5.4 Valor presente líquido (VPL).....	54
4.5.5 Análise do Payback descontado e taxa interna de retorno	55
5 CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES CONJUNTO MOTO GERADOR	63
ANEXO B – PLANO DE MANUTENÇÃO ELABORADO PELO FABRICANTE DO GRUPO MOTO GERADOR	64
ANEXO C – CONSUMO DE ENERGIA NAS CIDADES DE MAUÁ E SOROCABA ESTADO DE SÃO PAULO	65
APÊNDICE A – VALORES ENCONTRADOS PARA VAZÃO DE METANO, POTÊNCIA ELÉTRICA E ENERGIA DISPONÍVEL.....	66
APÊNDICE B – RECEITA VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA	67
APÊNDICE D - VALOR PRESENTE LÍQUIDO E PAYBACK DESCONTADO	69
APÊNDICE E – PREVISÃO DE MANUTENÇÃO DO PROJETO.....	70

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e aumento das atividades industriais nas últimas décadas, os resíduos sólidos tornam-se um problema para os centros urbanos. O crescimento sem planejamento das cidades dificulta o manejo dos mesmos, isso deve-se pela falta de infraestruturas e instalações operacionais de coletas adequadas, contribuindo assim, para que estes sejam despejados em locais inapropriados, oferecendo risco à saúde e ainda prejudicando o meio ambiente.

Dentre os processos ambientalmente corretos conhecidos para o tratamento e disposição final dos resíduos, os aterros sanitários são os mais utilizados. Estes apresentam mecanismos corretos para a impermeabilização do solo, cobertura dos resíduos, captação do chorume e captação e queima do biogás. O biogás é composto por diversos gases, dentre eles podem ser destacados o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4).

Globalmente mais de 60% da emissão de metano (CH_4) são provenientes de atividades humanas, dentre elas, a gestão de resíduos. Essa emissão possui um impacto vinte e uma vezes maior do que o dióxido de carbono (CO_2) sobre o potencial de efeito estufa, tendo relação com as mudanças climáticas (EPA, 2015).

Uma das alternativas para reduzir substancialmente o potencial do aquecimento global que o metano (CH_4) provoca é a utilização de queimadores nos aterros sanitários onde o metano (CH_4) do biogás é convertido em dióxido de carbono (CO_2) e água. Entretanto, a utilização do metano (CH_4) gerado para a produção de energia elétrica é o que melhor se enquadra nos quesitos do desenvolvimento sustentável, além de reduzir a emissão de gases do efeito estufa, engloba também modernos processos de eficiência energética (FIGUEIREDO, 2007).

O aterro pode ser comparado a um reator biológico, onde as entradas são os resíduos e a água e as saídas são os gases e o chorume (BORBA, 2006). A utilização do biogás gerado em aterros sanitários passa então, de um subproduto indesejado obtido pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica para o seu aproveitamento energético.

Esse aproveitamento surge com uma promissora alternativa para geração de energia elétrica. Ainda que não se trate de um potencial com dimensão suficiente para sustentar uma estratégia de expansão da oferta desta energia no país ao longo

prazo, não se deve desconsiderar a geração de eletricidade a partir de RSU como um plano regional ou local (EPE, 2008).

Embasado nestes aspectos, o presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo de viabilidade para aproveitamento energético do biogás gerado no aterro sanitário da cidade Caxias do Sul –RS, afim de estimar seu potencial de geração de energia elétrica.

Foi possível constatar que o aterro Rincão das Flores da Cidade de Caxias do Sul, possui um potencial médio de 1,5 MW, sendo possível gerar 931MWh/mês de energia elétrica para os 30 anos de funcionamento de projeto. Foi verificado que os motores Ciclo Otto apresentam maior rendimento elétrico e custo inferior em relação às demais tecnologias. Assim, junto a empresas especializadas no ramo de biogás foi estimado o custo de implantação destas tecnologias no aterro sanitário em questão, chegando a um valor de investimento inicial de R\$ 10.660.000,00. Desta forma foi realizado uma avaliação de viabilidade, através de ferramentas da engenharia econômica como payback descontado, valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR). O investimento foi considerado viável, com um tempo de retorno do valor investido menor que nove anos com um lucro ao fim do período do projeto de aproximadamente R\$ 7.000.000,00. Sua taxa interna de retorno (TIR) ficou aproximadamente 17,42% ao ano.

1.1 TEMA

A finalidade principal do trabalho proposto é verificar a possibilidade de utilização dos resíduos sólidos urbanos como fonte de energia alternativa, transformando o biogás gerado em energia elétrica.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma análise técnica e econômica do potencial energético oriundo dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Caxias do Sul - RS, enfatizando o biogás como fonte de energia elétrica alternativa.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos este trabalho de conclusão apresenta:

- ✓ Determinar o potencial energético do biogás visando à geração de energia elétrica.

- ✓ Analisar tecnologia para conversão do biogás em energia elétrica.
- ✓ Levantar custos de execução, operação e manutenção do projeto proposto.

1.4 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento da demanda de energia elétrica nos últimos anos, surge a necessidade da busca por novas fontes de energias viáveis e sustentáveis para a população, além disso, fatores como geração de empregos, criações de novas tecnologias, menores impacto ambientais, contribuem ainda mais para esta busca.

O aproveitamento do biogás gerado em aterros sanitário para produção de energia elétrica é uma alternativa viável para equacionar problemas relacionados à disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos.

A população mundial está em pleno crescimento, estima-se que hoje existam 7,2 bilhões de pessoas no mundo, com um grau de urbanização de 70%, esses números refletem o quão grande pode ser o potencial de geração de energia elétrica através de um ou mais aterro no futuro. (United States Census, 2015).

Neste trabalho será analisado o potencial de geração de energia elétrica oriundo do biogás, este que na maioria dos casos é eliminado na atmosfera, ocorrendo assim um desperdício de energia, já que a queima do gás não é utilizado para nenhum outro fim. Justifica-se assim tal interesse pelo tema proposto, visto que o aproveitamento do biogás gerado no aterro sanitário pode ser utilizado para atender uma demanda energética local e ainda mitigar impactos ambientais gerados pela emissão e queima do mesmo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Com a transição para novos processos de manufatura e a produção de objetos de consumo em larga escala pelas indústrias, multiplicou-se o volume e a diversidade dos resíduos gerados na área urbana. O crescimento populacional contribuiu para o aumento na geração de resíduos, e para que se tornassem mais escassas as áreas para disposição sua final (ALMEIDA et. al., 2013).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), através da Lei Federal nº 12.305/2010, integrou Estados e Municípios ao setor produtivo e a sociedade na busca de soluções para os problemas relativos à gestão dos resíduos sólidos. Surgindo então o conceito de responsabilidade compartilhada, responsabilizando a sociedade pela gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, objetivando a prevenção e redução na geração, a reutilização, o tratamento e a disposição adequada de resíduos (BRASIL, 2010, art. 3º).

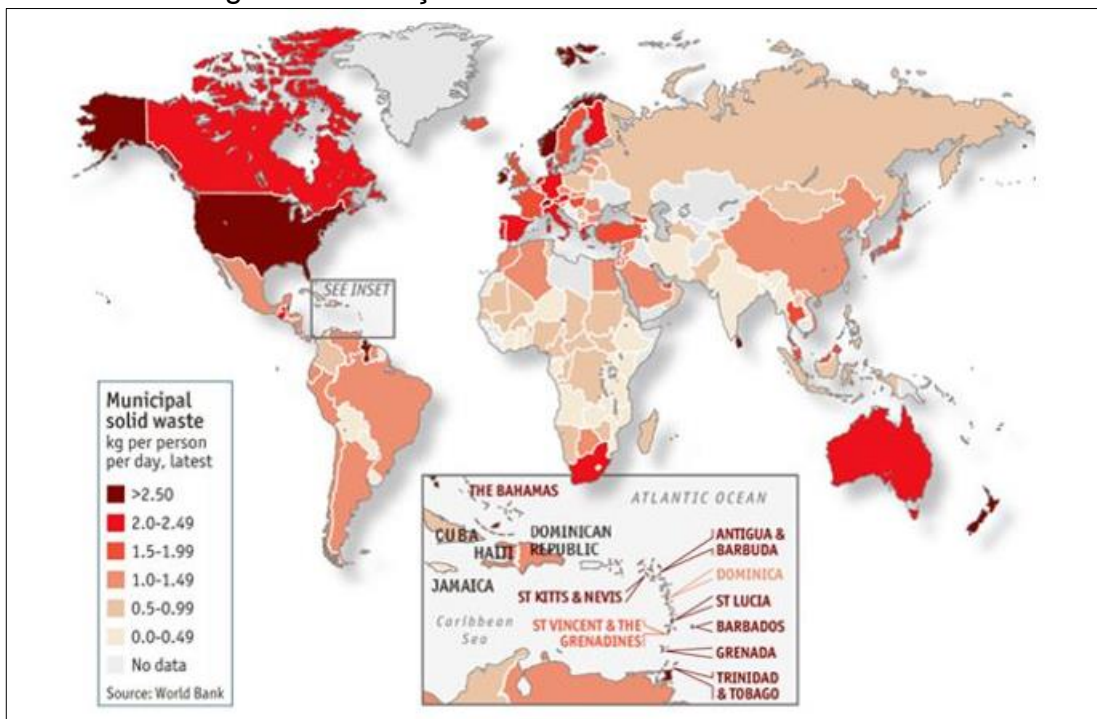
Ainda, decorrente da Lei Federal 10438/2002, foram tomadas algumas diretrizes que através de incentivos, favorecem a utilização de Fontes Alternativas de Energia (FAE). A diretriz de caráter mais direto estabelece que 10% da matriz energética brasileira deve ser advinda de FAE pelos próximos 20 anos a partir da execução dessa lei. Assim sendo, o enquadramento de resíduos sólidos nessa categoria, pode além de obter aproveitamento energético, ter uma redução nos impactos ambientais que condiz com a Lei Federal 13.305/2010 mencionada anteriormente.

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos surge como uma alternativa para a disposição final dos resíduos não perigosos das empresas, poderiam contar com uma fonte adicional e permanente de suprimento de energia, gerando assim uma economia aos municípios, já que os gastos com a implantação e a operação de aterros sanitários seriam minimizados. Além disso, seriam reduzidas as distâncias percorridas pelos caminhões de coleta, outra forma importante de se economizar e, ao mesmo tempo, melhorar o tráfego urbano. E tudo isso, sem a necessidade de investimentos por parte das prefeituras, uma vez que tudo poderia ser feito através de terceirização, pela concessão dos serviços a empresas (CALDERONI, 1997).

2.1.1 Panorama mundial dos resíduos sólidos

De acordo com a Organização das Nações Unidas, em 1950 a população era estimada em 2,6 bilhões de pessoas. Chegando, no ano de 2015, a 7,3 bilhões. Juntamente com a expansão da população, ocorreu a urbanização das cidades, revelando, então, que a geração de resíduos sólidos aumentará em dez vezes (ONU, 2015). A revista *The Economist* publicou a Figura 1, que mostra como essa geração é distribuída pelo mundo:

Figura 1 - Geração de resíduos sólidos no mundo.



Fonte: (WORLD BANK, 2012)

Observa-se que o desenvolvimento econômico de um país acompanha a sua geração de resíduos. Os Estados Unidos gera mais de 2,5 kg diários de resíduos por pessoa, mesmo apresentado um padrão de vida similar a outros países europeus e asiáticos. Entende-se então, que não pode-se atrelar ao grau de desenvolvimento do país à alta taxa de geração de RSU e, sim, deve-se levar em conta os hábitos de vida da população. A abundância de área e de recursos acaba servindo de desestímulo para a conscientização para muitos países.

A União Europeia, em dezembro de 2015, apresentou um plano de ação para a economia circular, assim como quatro propostas legislativas. Os principais elementos das propostas legislativas em matéria de resíduos são: reciclar 65% dos

resíduos urbanos até 2030; reciclar 75% dos resíduos de embalagens até 2030; reduzir a disposição em aterro a um máximo de 10% dos resíduos urbanos até 2030; a promoção de instrumentos econômicos para desencorajar a disposição em aterro; entre outras (PE, 2018).

No que se diz respeito a emissões globais de metano em aterros sanitários, as principais fontes de CH₄ foram: agricultura (43%), energia (38%) e resíduos de aterros sanitários e águas residuais (17%) (EC, 2010).

2.1.2 Resíduos sólidos no Brasil e Rio Grande do Sul

A composição dos resíduos sólidos de um determinado sítio varia em função de diferentes razões, ou seja, conforme o número de habitantes do município, o nível educacional da população, o poder aquisitivo e o nível de renda familiar, os hábitos e costumes da população, as condições climáticas e sazonais e a industrialização de alimentos (VIEIRA et al, 2000). A Tabela 1 apresenta a composição característica dos RSU no Brasil:

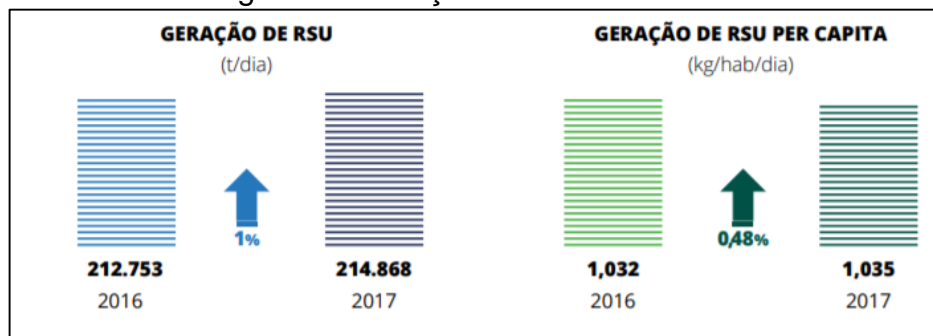
Tabela 1 - Estimativa da composição gravimétrica dos RSU no Brasil.

Materiais	Participação (%)
Metais	2,9
Papel, papelão e tetrapak	13,1
Plástico	13,5
Vidro	2,4
Matéria Orgânica	51,4
Outros	16,7
Total Coletado	100

Fonte: (ADAPTADO DE ALBREPE, 2016).

Segundo dados da Abrelpe (2017), a população brasileira apresentou um crescimento de 0,75% entre o ano de 2016 e 2017. Enquanto a geração per capita de RSU registrou um aumento de 0,48% e a geração total de resíduos aumentou 1%, no mesmo período, chegando a 214.868 t/dia de RSU gerados no país conforme pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Geração de RSU no Brasil.



Fonte: (ABRELPE, 2017).

As taxas de RSU do Rio Grande do Sul foram estimadas considerando a realidade demográfica do Estado. Tais taxas podem ser observadas na Tabela 2 (PERS-RS, 2015-2034).

Tabela 2 - Taxas de geração per capita de RSU no RS.

Porte do Município	Faixa Populacional (habitantes)	Número de municípios	Geração per capita (kg/hab.dia)
Pequeno Porte	Até 50.000	455	0,65
Médio Porte	De 50.001 a 300.000	38	0,8
Grande Porte I	De 300.001 a 1 milhão	3	0,9
Grande Porte II	Mais de 1 milhão	1	1,1

Fonte: (ADAPTADO DE ENGEBIO, 2014).

A geração dos RSU está diretamente relacionada às características econômicas e sociais de cada município, sendo o porte e a taxa de urbanização do município parâmetros relevantes a serem considerados.

2.1.3 Caracterização dos resíduos sólidos

Segundo a NBR 10.004:2004 são considerados resíduos sólidos aqueles que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos 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 esgoto ou corpos de água, ou exigem para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. Destaca-se que todos os resíduos, mesmo que líquidos ou pastosos, são caracterizados como resíduos sólidos.

Para a gestão dos resíduos sólidos e a escolha da forma correta de tratamento, deve-se saber em quais grupos eles são distribuídos. As maneiras de classificá-los são variadas e a mais comum é quanto ao risco potencial de contaminação ao meio (IPT/CEMPRE, 1995)

2.1.4 Classificação dos resíduos

De alguma forma, todo resíduo sólido acaba gerando impactos para o meio ambiente. Com isso, criou-se uma classificação, baseada principalmente entre critérios como reatividade, toxicidade, periculosidade entre outros. De acordo com a NBR 10.004 pode-se classificar os resíduos como:

✓ Classe I ou perigosos são os que apresentam riscos ao meio ambiente e a saúde pública, exigindo tratamento e disposição especial em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

✓ Classe II A ou não inertes são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico.

✓ Classe II B ou inertes são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização (NBR-10.007 da ABNT), não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são recicláveis. Estes resíduos não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo. Estão nesta classificação, por exemplo, os entulhos de demolição, pedras e areias retirados de escavações.

2.2 ATERRO SANITÁRIO

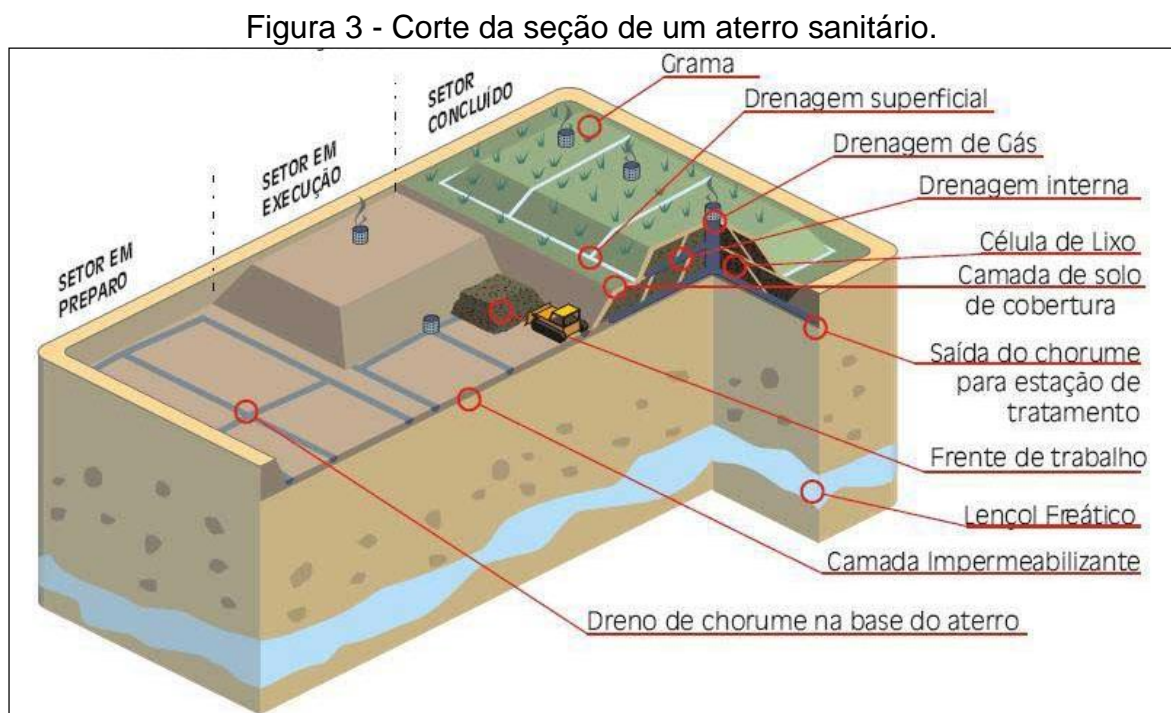
Os aterros sanitários evitam a poluição ambiental e representam uma situação favorável do ponto de vista sanitário em relação às outras formas de disposição, por restringir o acesso de catadores, a proliferação de vetores, poluição do ar, água e o espalhamento do material no entorno, quando gerenciados de forma eficiente (BOSCOV, 2008).

Comportam-se como um reator dinâmico, já que, através de reações químicas e biológicas, são produzidas emissões como a de biogás, mas apresenta algumas

desvantagens irrefutáveis como efluentes líquidos, que contém grandes quantidades de contaminantes orgânicos e inorgânicos. Além de que, existe desperdício de matéria-prima, perdem-se alguns materiais passíveis de reutilização, e ocupação sucessiva de locais para disposição (KETTUNEN; RINTALA, 1998).

Através da decomposição anaeróbia de substâncias orgânicas encontradas em RSU, disposto em aterros sanitários surge o gás de aterro. O metano produzido é um potencial causador do aquecimento global, caso seja liberado à atmosfera sem controle (AHMED et. al., 2014).

Quanto aos índices de disposição final de RSU, 58,4% do montante anual é disposto em aterros sanitários. Unidades de aterros controlados e lixões ainda estão presentes em todas as regiões do país e receberam no ano de 2016, mais de 81 mil toneladas de resíduos por dia (ABRELPE, 2016). O esquema de um aterro sanitário pode ser representado conforme Figura 3.



Fonte: (RECICLOTECA, 2007)

É possível visualizar na figura acima os principais elementos que um projeto de aterro sanitário deve conter, quando estes são executados e monitorados de forma correta tornam a obra mais segura e ambientalmente correta. Dentre os elementos mais importantes estão:

✓ **Sistema de drenagem das águas superficiais:** destina-se a evitar entrada de água de escoamento superficial do aterro. Sua localização e

dimensionamento parte-se dos dados obtidos pelos levantamentos topográficos e climatológicos.

✓ **Sistema de impermeabilização de fundos e de laterais:** tem por finalidade evitar a percolação do chorume para o subsolo e aquíferos existentes. No Brasil exige-se uma camada simples no fundo e nas laterais podendo ser de argila compactada de permeabilidade inferior a 10^{-7} cm/s ou geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) com espessura mínima de 1 mm.

✓ **Sistema de drenagem dos lixiviados:** o lixiviado, também chamado de chorume origina-se de umidade natural dos resíduos, o qual retém líquidos pela absorção capilar; através de fontes externas, como águas da chuva, superficiais e de mananciais subterrâneos de água de formação da matéria orgânica e das bactérias, dissolvendo matéria orgânica e formando o líquido. Os chorumes apresentam teor de substâncias sólidas e matéria orgânica, contaminando os lençóis de água subterrâneo. A implantação de um sistema eficaz de drenagem evita a acumulação dos mesmos dentro do aterro sanitário. Pode-se realizar a drenagem através de redes de drenos internos composta de tubos perfurados e preenchidos com brita, levando o chorume drenado para um sistema de tratamento.

✓ **Sistema de tratamento de lixiviados:** os lixiviados são altamente contaminantes, modificando sua qualidade e quantidade com o passar do tempo em um mesmo aterro. A legislação ambiental exige tratamento adequado para o lançamento dos lixiviados. Tratamentos biológicos aeróbios ou anaeróbios (lodos ativados, lagoas, filtros biológicos) e os tratamentos físico-químicos (diluição, filtração, coagulação, floculação, precipitação, sedimentação, adsorção, troca iônica, oxidação química), estão entre os processos mais comuns. Com o objetivo de manter o grau de umidade no processo de decomposição dos resíduos orgânicos, o chorume também pode ser recirculado para o interior da massa de resíduos, ou, conduzidos para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

✓ **Sistema de drenagem dos gases:** executa-se através de uma rede de drenagem cujo objetivo é impedir que os gases evadam pelos meios porosos do subsolo atingindo fossas, esgotos e edificações. Os drenos são formados, por uma coluna de tubos perfurados de concreto e envolvidos por uma camada de brita, sendo fixada na coluna de tubos por uma tela metálica. Durante a decomposição dos resíduos, são liberados gases que são captados podendo ser queimados em *flare* ou ainda utilizados como fonte de energia.

A extração do biogás por meio de tubos verticais perfurados é a forma mais simples de coletar gases do aterro. Enquanto o lixo ainda está sendo depositado no aterro, podem ser colocados tubos de sucção horizontais, assim ele poderá ser extraído desde o início da sua produção (WILLUNSEN, 2001). Os aterros construídos conforme norma nacional vigente, já está prevista a colocação desta tubulação para coleta de gás.

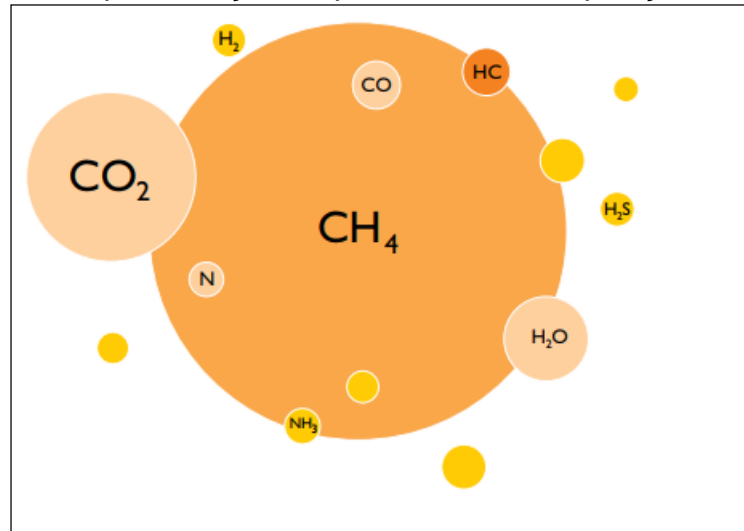
✓ **Cobertura intermediária e final:** objetiva-se a eliminar a proliferação de vetores, reduzir a formação de lixiviados, diminuir a exalação de odores e impedir a saída descontrolada do biogás. Realiza-se a cobertura diária no final do período de trabalho, enquanto a cobertura intermediária faz-se nos locais onde a superfície de disposição fica inativa por mais tempo, e a cobertura final tem a intenção de impedir a infiltração de águas pluviais.

✓ **Componentes complementares:** o aterro sanitário conta com outros componentes considerados básicos, como cercas de isolamento, vias de acesso interno transitável, área verde ao redor do aterro, sistema de controle de quantidade e tipo de resíduo, oficina de manutenção, iluminação para operação noturna, banheiros, identificação do local as frentes de aterramento.

2.3 BIOGÁS

Considera-se o biogás uma fonte de energia renovável e sustentável, obtida pela fermentação anaeróbica, processo biológico em que a matéria orgânica é convertida em gases por bactérias denominadas metano gênicas. Estes gases são constituídos principalmente pelo metano (CH_4) (40-75%) por ter um alto poder calorífico e dióxido de carbono (CO_2) (15-60%), podendo conter também vapor de água (H_2O) (5-10%), sulfeto de hidrogênio (0,005-2%), siloxanos (0-0,2%), hidrocarbonetos (<0,6%), amônia (<1%), oxigênio (0-1%), monóxido de carbono (<0,6%) e nitrogênio (0-2%), divisão sendo representada na Figura 4 (KONRAD, 2016).

Figura 4 - Representação esquemática da composição do biogás.



Fonte: (KONRAD, 2016)

Denomina-se também como uma mistura gasosa de dióxido de carbono e metano, produzido naturalmente em meio anaeróbico pela ação de bactérias em matérias orgânicas, que são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez (PEREIRA, 2011).

Observa-se que grande parte de energia armazenada na biomassa é perdida para atmosfera na forma de gases e de calor, através do processo de decomposição. Toda matéria viva, após a morte, é decomposta por microrganismos (bactérias). Durante esse processo de decomposição, as bactérias retiram da biomassa parte das substâncias de que necessitam para a manutenção da sua sobrevivência e, em contrapartida, lançam na atmosfera gás e calor. Esse gás é o chamado biogás, uma fonte de energia abundante, não poluidora e barata. (BARRERA, 2003).

O uso energético do biogás gerado por aterros sanitários auxilia na redução de mudanças climáticas globais. Embora não se tenha dados suficientes sobre a disposição final dos resíduos sólidos no país, ele apresenta potencial para aplicação de projetos do uso de biogás para geração de energia (ALVES et al, 2008).

Os resíduos surgem como possibilidades de aproveitamento para a geração de energia elétrica proveniente do biogás. Sua disponibilidade não depende das características de cada região e a potência energética depende apenas da composição do lixo de cada localidade variando com a época do ano e alterações na disposição de matéria orgânica (OLIVEIRA; GOMES, 2008).

A temperatura adequada, disponibilidade de água e matéria orgânica favorece o desenvolvimento de bactérias anaeróbias, responsáveis pela formação do biogás. A geração de energia a partir do biogás de aterros sanitários exige investimento e planejamento em instalações essenciais de modo que o biogás deva ser transportado através de tubos de coletas para a usina, utilizando exaustores e compressores para auxiliar. No gerador ocorre a combustão do biogás para geração de eletricidade sendo destinada para a rede elétrica (OLIVEIRA GOMES, 2008).

De acordo com o Manual para Aproveitamento de Biogás (2009), por conter um alto teor de metano (CH₄), o biogás exerce diferentes aplicações energéticas. Sua principal aplicação é como combustível em motor de combustão interna a gás que movimenta um gerador de energia elétrica, porém, pode ser utilizado na produção de calor de processo, secagem de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), aquecimento de granjas, secagem de grãos em propriedades rurais, iluminação a gás, queima em caldeiras, tratamento de chorume, entre outros.

A CIBIOGAS (2015) realizou um levantamento de unidades de produção de biogás no Brasil para fins energéticos ou Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), com o objetivo de organizar as informações em um banco de dados único (cadastro). Com esse levantamento foram encontradas 148 unidades de produção e uso energético do biogás no Brasil, onde 59 já foram validadas e 89 encontra-se em processo, das 59 que já foram validadas, 48 estão em operação, 5 em reforma ou reformulação, 6 em planejamento ou instalação. Na Tabela 3, apresenta-se uma média da produção de biogás presente e futura.

Tabela 3 - Produção média de biogás (unidades de produção Brasil).

Situação da unidade uso energético do biogás	Produção média de biogás atual ou esperada (m ³ /dia)
Em planejamento/instalação	194.470
Em operação	450.150
Em reformulação/reforma	6.000
Total	650.620

Fonte: (ADAPTADO CIBIOGAS, 2015).

De acordo com a Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABIOGÁS), o potencial do Brasil no setor de saneamento básico, resíduos sólidos e esgotos

domésticos são de três bilhões de metros cúbicos ao ano nos setores sucroalcooleiro e alimentício.

2.4 CENÁRIO ENERGÉTICO NO MUNDO E NO BRASIL

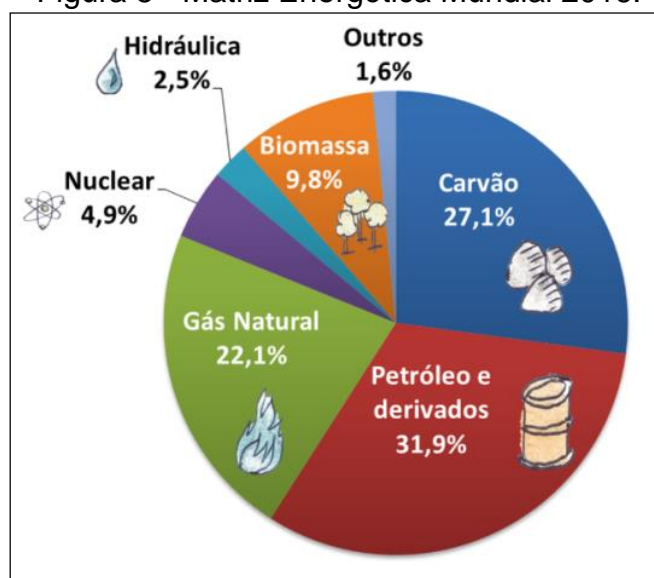
A palavra energia provém do grego e pode ser considerada como a capacidade de realização de trabalho. Origina-se do inter-relacionamento entre dois sistemas físicos. Pode ser apresentada em diversas formas na natureza, através dos chamados processos de conversão de energia pode ser transformada de uma forma em outra. Pode-se considerar como as principais formas de energia, a energia solar, energia eólica, energia atômica ou nuclear, energia mecânica, energia térmica, energia química, energia elétrica (HERNANDEZ NETO, 2017).

A demanda mundial de energia é de 13.729 MTep (81,6% de combustíveis fósseis), equivalentes a 48 vezes a demanda brasileira, que está com apenas 55,1% de fósseis (MME, 2018).

2.4.1 Matriz energética

Matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos. A matriz energética mundial é composta basicamente por fontes não renováveis, como carvão, petróleo e gás natural, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Matriz Energética Mundial 2016.

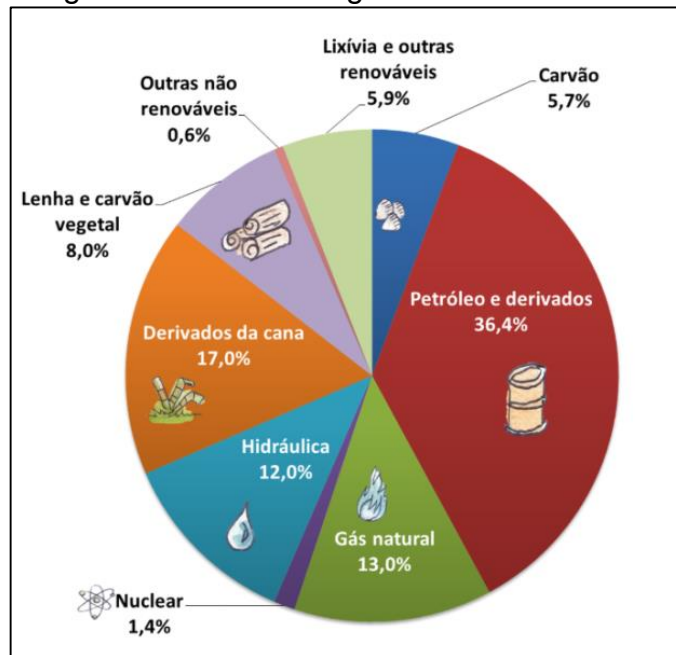


Fonte: (IEA, 2018)

Fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica correspondem a apenas 1,60% da matriz energética mundial, assinaladas como “Outros” no gráfico. Somando à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam 14%.

A matriz energética brasileira diferencia-se da mundial, as fontes renováveis são mais utilizadas que o restante do mundo, conforme observado na Figura 6.

Figura 6 - Matriz Energética Brasileira 2017.



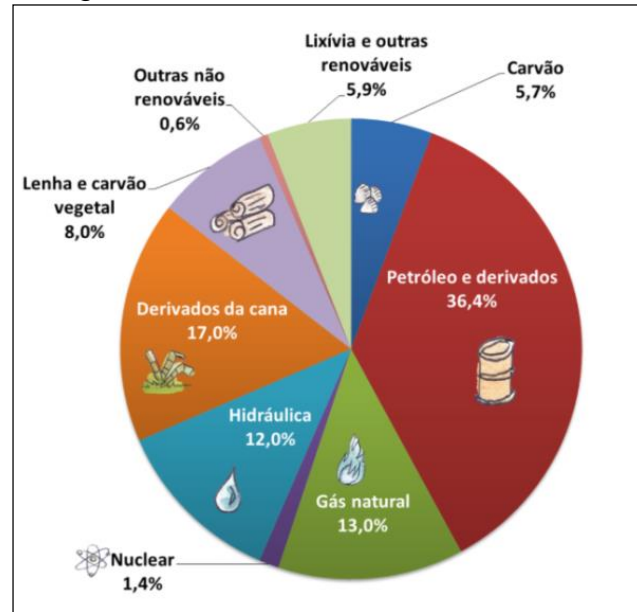
Fonte: (BEN, 2018)

Somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis totalizam 42,9%, quase metade da matriz energética brasileira.

2.4.2 Matriz elétrica

A matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis para a geração de energia elétrica. A geração desta energia no mundo é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis, como carvão, óleo, gás natural, e termelétrico, estas consideradas como poluidoras para o meio ambiente, visto na Figura 7.

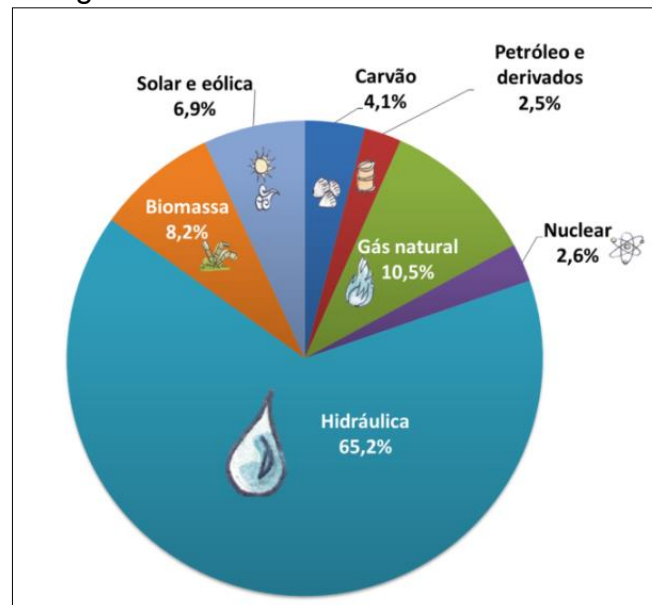
Figura 7 - Matriz Elétrica Mundial 2016.



Fonte: (IEA, 2018)

A matriz elétrica brasileira é ainda mais renovável do que a energética, isso se deve ao fato de grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vir de usinas hidrelétricas, observado na Figura 8.

Figura 8 - Matriz Elétrica Brasileira 2017.



Fonte: (BEN, 2018)

Devido aos impactos com a geração de energia convencional, houve a necessidade de produzir e distribuir energia elétrica no Brasil com a utilização de fontes menos poluentes. A procura por outras fontes é motivada pela mitigação dos efeitos adversos resultantes do aumento excessivo dos preços de combustíveis

fósseis, além da diversificação das opções de suprimento e segurança do abastecimento (NOGUEIRA, 2011).

As fontes de energia alternativa são consideradas aquelas que substituem energia convencional contribuindo, ao fim, para a segurança energética, uma vez que promovem a diversificação da matriz de abastecimento (LOPES, 2011). Dentre as principais alternativas podemos ter como exemplo a energia eólica e fotovoltaica.

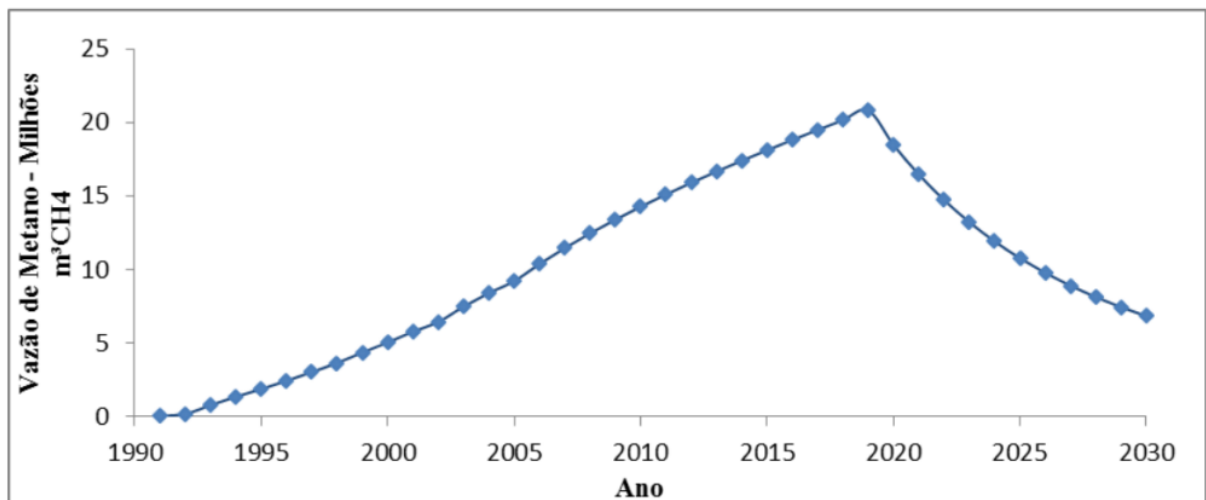
2.5 ESTADO DA ARTE

2.5.1 Estimativa de potencial energético de biogás proveniente do aterro sanitário Tijuquinhas (Município de Biguaçu/SC)

Abordou-se neste trabalho a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado. O método utilizado neste estudo foi proposto por IPCC (2006). Este considera a estimativa do percentual de carbono orgânico degradável e sua fração distinta presente na massa de resíduo.

O potencial energético do aterro Tijuquinhas foi estimado com base nos valores anuais de produção de metano. Considerou-se que o biogás passa por um processo em que apenas o gás metano é aproveitado, fornecendo um combustível com Poder Calorífico Inferior (PCI) de 8500 kcal.m^{-3} . Pode-se observar na Figura 9 o comportamento da geração de biogás desde o início da operação 1990 até o final das atividades de monitoramento do aterro 2030.

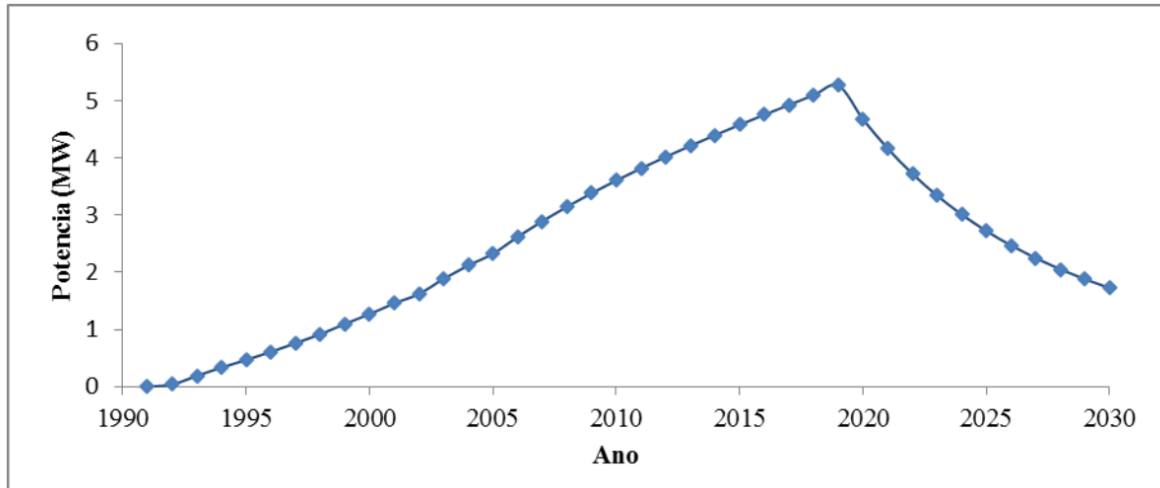
Figura 9 - Vazão de gás metano.



Fonte: (ANDRADE, 2016)

Na determinação da potência disponível para o presente trabalho, considerou-se que a eficiência de aproveitamento da captação de gás metano no aterro foi de 80%. A curva estimada de potência elétrica (MW) fornecida pelo biogás no aterro é apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Curva de potência elétrica.



Fonte: (ANDRADE, 2016)

Considerando um motor com 87% de rendimento, nos quatro primeiros anos após o encerramento de deposição de material no aterro (2018 a 2021), seria de $2505,6 \text{ MWh.mes}^{-1}$, o suficiente para atender 12.584 residências, considerando um consumo de $199,1 \text{ kWh.mes}^{-1}$, dado para o estado de Santa Catarina no ano de 2012. Na última fase do projeto, quando se teria apenas uma unidade de 1 MW operando, ainda seria possível atender 3.146 residências.

2.5.2 Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos.

Apresentou-se neste trabalho um estudo de caso visando à estimativa de produção de metano e da energia disponibilizada pela ETE Santa Quitéria, também se calculou a emissão evitada deste mesmo gás.

Para o cálculo de produção de metano e energia disponibilizada adotou-se valores médios obtidos da literatura, juntamente com variáveis monitoradas e fornecidas pela ETE Santa Quitéria.

A eficiência média da matéria orgânica presente no esgoto bruto foi calculada em 65,6% considerando-se dados de monitoramento da estação. A partir do valor

médio da demanda química de oxigênio removida do afluente foi possível estimar a produção de metano em $1.427,2 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ e o potencial de geração de energia elétrica na ETE Santa Quitéria em $65.280,3 \text{ kWh/mês}$.

O consumo de energia médio mensal de energia na ETE foi medido em $110.405 \text{ kWh} \cdot \text{mês}^{-1}$, é possível concluir que a energia proveniente do metano gerado na estação corresponde a aproximadamente 59% do consumo médio mensal da unidade. Esse valor representa uma redução significativa na demanda externa de energia elétrica para o funcionamento das instalações da ETE Santa Quitéria, resultando em benefício econômico direto para a companhia de saneamento.

Calculou-se também a emissão de metano evitada na ETE Santa Quitéria com o aproveitamento energético do biogás e pode-se observar uma redução de 61% de emissão deste gás.

Assim, o aproveitamento do gás metano na ETE Santa Quitéria representa um benefício ambiental efetivo, vindo ao encontro das diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Mudanças do Clima (Lei nº 12.187/2009) para a mitigação de emissões de GEEs decorrentes do processo biológico de decomposição da matéria orgânica presente no esgoto bruto.

2.5.3 Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de usina e geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município de Santo Antônio de Jesus – BA

Neste trabalho foi analisado a viabilidade econômica e financeira da geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos depositados no aterro sanitário do município de Santo Antônio de Jesus, no estado da Bahia. Para isso, definiram-se as condições operacionais do biogás, seu aproveitamento energético, além de analisar a Lei 12.305/2010 que trata da política nacional de resíduos sólidos urbanos e o funcionamento do mercado de crédito de carbono.

Estimou-se um custo inicial para implantação da usina termoeletrica (UTE) de 2,5 MW. A estimativa foi baseada no volume de lixo coletado pelo aterro (100 t/dia), bem como, na utilização de motores a combustão interna que funcionam com biogás, visando à substituição do consumo da energia local e venda do excedente ao mercado.

Estimou-se uma recuperação projetada de biogás nos cenários de 50%, 70% e 90%. A partir dos dados estimados traçaram-se as taxas de recuperação de

biogás e sai capacidade máxima de produção da usina termoelétrica conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Recuperação de biogás e capacidade máxima de produção da UTE.

Ano	Recuperação de biogás Previsto (m³/h)	Capacidade Máxima da Usina de Energia (MW)
2017	810,19	1,34
2018	769,56	1,27
2019	728,70	1,21
2020	687,58	1,14
2021	646,18	1,07
2022	604,46	1,00
2023	562,48	0,93
2024	520,11	0,86
2025	477,35	0,79
2026	434,17	0,72
2027	390,50	0,65
2028	346,28	0,57
2029	301,42	0,50
2030	255,81	0,42
2031	209,29	0,35

Fonte: (MARTINS, 2017)

De posse dessas informações foi possível estabelecer a receita estimada com a geração de energia a partir da recuperação do metano no aterro, bem como, com a queima de CO₂ nos diferentes cenários propostos.

Estimados as receitas e os custos do projeto, bem como, a magnitude de investimentos iniciais foi possível estabelecer os fluxos de caixa, e, posteriormente calcular os índices econômicos e financeiros.

A pesquisa demonstrou que o projeto é viável do ponto de vista econômico e financeiro. Analisado em diferentes cenários de recuperação, especialmente, quando ocorrem 90% de recuperação do biogás a geração de energia anual, nos 10 primeiros anos do projeto, em média, seria acima de 1MW, suficiente para abastecer 1,5 mil famílias.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETAR DADOS REFERENTES AOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO ATERRO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL - RS.

A cidade de Caxias do Sul fica localizada no estado do Rio Grande do Sul, é a segunda cidade do estado mais populosa com aproximadamente 510.906 habitantes segundo o IBGE (2017), e um dos poucos municípios do Brasil que possui controle total no setor de limpeza urbana e destinação dos resíduos.

O Aterro Sanitário Rincão das Flores apresentado na Figura 11 está localizado no distrito de Vila Seca cidade de Caxias do Sul. Este recebe diariamente uma quantidade aproximada de 323 toneladas de resíduos sólidos urbanos e encontra-se em plena operação.

Figura 11 - Aterro Sanitário Rincão das Flores



Fonte: (CODECA, 2020)

Localizado numa área de 275 hectares, o aterro foi preparado para garantir proteção ambiental de acordo com as exigências dos órgãos licenciadores. Hoje os gases gerados não são aproveitados como forma de energia, sua destinação é a queima.

Nesta etapa será realizada uma pesquisa sobre os resíduos sólidos urbanos gerados na cidade de Caxias do Sul – RS. Através de uma entrevista semiestruturada junto ao engenheiro ambiental responsável, serão coletados dados necessários para realização dos cálculos, a fim de estimar a geração do biogás e posteriormente calcular o potencial de geração de energia elétrica, tema proposto neste trabalho. Dentre as informações mais importantes estão o ano de início e

projeção de encerramento do local de deposição de resíduos, a gravimetria dos resíduos, e a quantidade mensal de resíduos recebidos.

3.2 PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO E DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS – CAXIAS DO SUL

As projeções populacionais incorporam os parâmetros demográficos calculados com base no Censo Demográfico, considerando a taxa de crescimento populacional mais atual. Através da metodologia utilizada pelo IBGE, a população será estimada para um período de 25 anos conforme Equação 1, tempo previsto de atividade do aterro sanitário da cidade de Caxias do Sul, este que teve início das atividades em 2010.

$$P_f = P_i \cdot e^{r \cdot t} \quad (1)$$

Em que:

P_f (habitantes): população estimada.

P_i (habitantes): população atual;

r (%): taxa de crescimento populacional considerada (IBGE, 2017);

t : número de anos de extrapolação.

Para o cálculo estimado de geração de resíduos sólidos orgânicos por ano, será utilizada a Equação 2 (DIAS ET. AL, 2012). Este cálculo se fará necessário para estimar a geração de resíduos do ano de 2020 a 2035 ano previsto para o encerramento das atividades do aterro. Os dados referentes aos resíduos recebido no período de 2010 a 2020 foram fornecidos pela CODECA, empresa responsável pelo gerenciamento do aterro.

$$GRO = G_p * P * \%R \quad (2)$$

Em que:

GRO (kg.dia-1): Geração de resíduos orgânicos;

G_p (kg.hab-1.dia-1): Geração per capita de resíduos;

P (habitantes): População;

$\%R$: Porcentagem de resíduos orgânicos.

3.3 MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE BIOGÁS

É possível através de modelagem matemática, estimar o potencial de geração de biogás no aterro a partir da massa de resíduos depositada. Tal estimativa torna possível o dimensionamento de sistemas de coleta de biogás a serem implantadas no aterro (MACHADO et al.,2009). Quando comparado aos métodos de campo, os modelos teóricos geram resultados rápidos com baixos custos (ABRELPE, 2016).

O método adotado será baseado na metodologia recomendada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), sua abordagem implica na determinação do potencial de metano, a partir do teor de carbono orgânico degradável dos resíduos. Este método gera um perfil de emissões que depende do tempo transcorrido e que reflete melhor o processo de degradação ao longo do tempo, de acordo com a Equação 3.

$$L_o = MCF * DOC * DOC_f * F * \frac{16}{12} \quad (3)$$

Em que:

L_o : Potencial de geração de metano do resíduo (m^3 biogás/ kg_{RSD}).

MCF: Fator de correção de metano, considera-se 1 para aterro bem gerenciado.

DOC: Fração de carbono degradável (kgC/kg_{RSD}).

DOC_f : Fração de DOC dissolvida (kgC/kg_{RSD}).

F: Fração de metano no biogás.

16/12: Conversão de carbono (C) para metano (CH_4).

RSD: Resíduo sólido domiciliar.

A fração de carbono degradável nos resíduos disposto no aterro sanitário é expressa pela Equação 4.

$$DOC = 0,40A + 0,17B + 0,15C + 0,30D \quad (4)$$

Em função das grandes quantidades de alimentos (B) e resíduos orgânicos (C) que são depositados juntos, a Equação 4 foi modificada, segundo a Equação 5, para:

$$DOC = 0,40A + 0,16(B + C) + 0,30D \quad (5)$$

Em que:

A: Percentual de papelão e tecidos.

B+C: Alimentos e outros resíduos orgânicos;

D: Resíduos de madeira.

A fração de carbono degradável dissolvida é dada pela Equação 6.

$$DOC_f = 0,0140T + 0,28 \quad (6)$$

Em que:

T: temperatura (°C) na zona anaeróbica dos resíduos, estimada em 35°C.

A vazão de metano para aterro em funcionamento, pode ser calculada pela Equação 7, da seguinte forma:

$$Q = F * Rx * Lo * (1 - e^{-k*T}) \quad (7)$$

Para aterro desativado, pode-se calcular pela seguinte Equação 8:

$$Q = F * Rx * Lo * (e^{-k*c} - e^{-k*T}) \quad (8)$$

Em que:

Q = Emissão de metano (m³CH₄/ano).

F = Fração de metano no biogás

Rx: Fluxo de resíduos no ano (t/ano).

L₀ = Potencial de geração de metano do resíduo (m³ biogás/kg_{RSD}).

c = Tempo decorrido desde o fechamento do aterro (anos).

T: Tempo decorrido desde a abertura do aterro.

k: Constante de decaimento (0,115).

De acordo com (IPCC, 2006 apud ICLEI, 2009), o valor de k para clima tropical – resíduo úmido – pode variar da seguinte forma:

- ✓ Para papel, k = 0,07.
- ✓ Para resíduos orgânicos, k = 0,17.
- ✓ Para resíduos têxteis, k = 0,07.
- ✓ Para resíduos de jardinagem, k = 0,17.
- ✓ Valor médio de k = 0,115.

3.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA PELO BIOGÁS PROVENIENTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.

O cálculo que será utilizado para estimar a potência disponível através do biogás gerado é dado a partir da Equação 9. Os valores do poder calorífico inferior do biogás (PCI) e o da eficiência de coleta de gases (E_c) serão de $3,55 \times 10^7 \text{ J/m}^3$ e de 75%, respectivamente (CETESB, 2006).

$$\text{Pot} = \frac{Q * E_c * \text{PCI} * \eta}{31.536.000} \quad (9)$$

Em que:

Pot: Potência disponível (W).

Q: Vazão de biogás coletado (m^3/ano).

E_c : Eficiência de coleta do gás.

η : eficiência dos motores de combustão interna; 33%.

PCI: Poder calorífico inferior do biogás (J/m^3).

31.536.000: Tempo de operação em um ano (s).

A conversão de metano em energia por mês é calculada pela Equação 10.

$$E = P_{disp} * R * t \quad (10)$$

Em que:

E: Potência elétrica útil (MWh/mês).

R: rendimento motor operando a plena carga; 87%

P_{disp} : Potência disponível (MW).

t: número de horas de operação mensal. Valor adotado 648 horas, considerando que 72 horas sejam para eventuais paradas de manutenção.

3.5 ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA CONVERSÃO DO BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA.

Turbinas a gás e os motores de combustão interna são tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás, existem também, tecnologias emergentes promissoras em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, são o caso das células de combustíveis (CASTRO, 2006).

A escolha das tecnologias adequada para o presente trabalho será embasada nos resultados dos cálculos de potência elétrica disponível, esta será obtida pelo método descrito anteriormente neste trabalho. Com base nestes valores obtidos serão verificados custos dos equipamentos necessários para atender tal demanda junto à empresas especializadas na área de geração de energia elétrica com aproveitamento do biogás. Estes custos serão utilizados para posteriormente verificar a viabilidade econômica do projeto.

3.6 ANÁLISE FINANCEIRA

Será analisado o fluxo de caixa (FC) a fim de verificar a viabilidade do projeto; utilizando ferramentas de engenharia econômica como payback descontado, valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para tal análise. O payback descontado considera o valor do dinheiro no tempo, ou seja, é o tempo de recuperação do investimento, remunerado pela taxa de juros representada pela taxa mínima de atratividade (TMA).

Para calcular o fluxo de caixa, somam-se as receitas e subtrai as despesas, conforme Equação 11 (GITMAN & MADURA, 2003).

$$F_c = RECEITAS - DESPESAS \quad (11)$$

Em que:

FC = Fluxo de caixa anual (R\$).

Receitas = Entrada de caixa (R\$).

Despesas = Saída de caixa (R\$).

É possível calcular o payback descontado através da Equação 12 (GITMAN & MADURA, 2003).

$$\text{Payback descontado} = \frac{FC}{(1+K)^n} \quad (12)$$

Em que:

FC = Fluxo de caixa em cada ano (R\$).

K = Taxa de desconto (%).

n = Número do fluxo de caixa (1 a cada ano).

O valor presente líquido (VPL) é utilizado para análise da atratividade do projeto de investimento. Os fluxos estimados podem ser positivos ou negativos,

dependendo das entradas e saídas de caixa. Quando o VPL é negativo, o retorno do projeto será menor que o investimento inicial e, quando o VPL é positivo, o valor obtido no projeto pagará o investimento inicial. O VPL pode ser calculado pela Equação 13 (GITMAN & MADURA, 2003).

$$VPL = \left[\frac{FC}{(1+K)^n} \right] - L_0 \quad (13)$$

Em que:

VPL = Valor presente líquido (R\$).

FC = Fluxo de caixa em cada ano (R\$).

K = Taxa de desconto (%).

n = Número do fluxo de caixa (1 a cada ano).

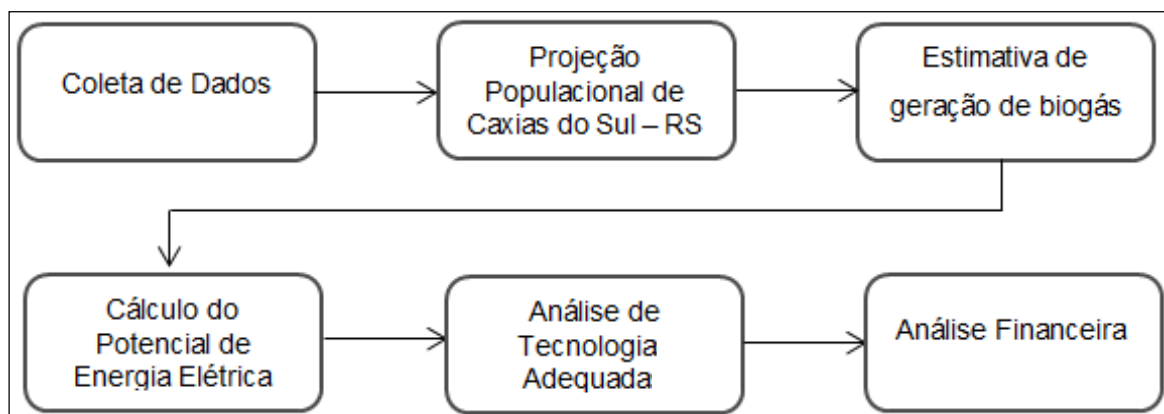
L₀ = Investimento inicial (R\$).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) pode ser definida em duas formas, a primeira em termos de empréstimo, sendo a TIR então, a taxa de juro que se paga sobre um saldo devedor, de maneira que ao se pagar a última parcela dessa dívida esse saldo seja reduzido à zero. A segunda, em termos de investimento, onde a TIR é definida como sendo a taxa de juro recebido sobre o investimento que ainda não foi reembolsado, de modo que ao fim da vida do investimento este valor não ressarcido seja reduzido à zero (NEWNAN E LAVELLE, 2014).

3.7 FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES

O fluxograma demonstrado na Figura 12 indica o procedimento que será seguido o estudo.

Figura 12 - Fluxograma de atividades.



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na metodologia proposta no presente trabalho, serão apresentados a seguir dados referentes a caracterização, geração de metano e potencial de energia elétrica do Aterro Sanitário Rincão das Flores da cidade de Caxias do Sul – RS. Por fim será feita uma análise econômica para implantação de tecnologia capaz de realizar a conversão do biogás em energia elétrica, verificando assim viabilidade econômica do projeto.

4.1 CARACTERÍSTICA DO ATERRO E COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS.

Através da entrevista semiestruturada feita junto ao engenheiro responsável do aterro, foi possível reunir informações necessárias para a realização dos cálculos, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Informações do Aterro

INFORMAÇÕES COLETADAS		FONTE
Geração de resíduos sólidos.	13.500.000 kg mês ⁻¹	CODECA, 2009
Resíduos depositados no aterro.	9.800.000 kg mês ⁻¹	Engenheiro responsável
Produção per capita de resíduos.	0,884 kg habitantes ⁻¹ dia ⁻¹	CODECA, 2019
Número de habitantes no município.	510.906 habitantes	IBGE 2017
Porcentagem de resíduos depositados no aterro.	72,592%	CODECA, 2019
Início da operação do aterro.	2010	Engenheiro responsável
Previsão de fechamento do aterro.	2035	Engenheiro responsável
Área total do aterro	275 hectares	CODECA, 2019

Fonte: Elaborado pelo autor 2020

De acordo com as informações fornecidas, o Aterro Sanitário Rincão das Flores iniciou suas atividades em 2010 e sua vida útil está projetada para recebimento de resíduos até 2035, porém o encerramento total das atividades será somente no ano de 2050, isso ocorre devido a norma da ABNT NBR 13896/1997

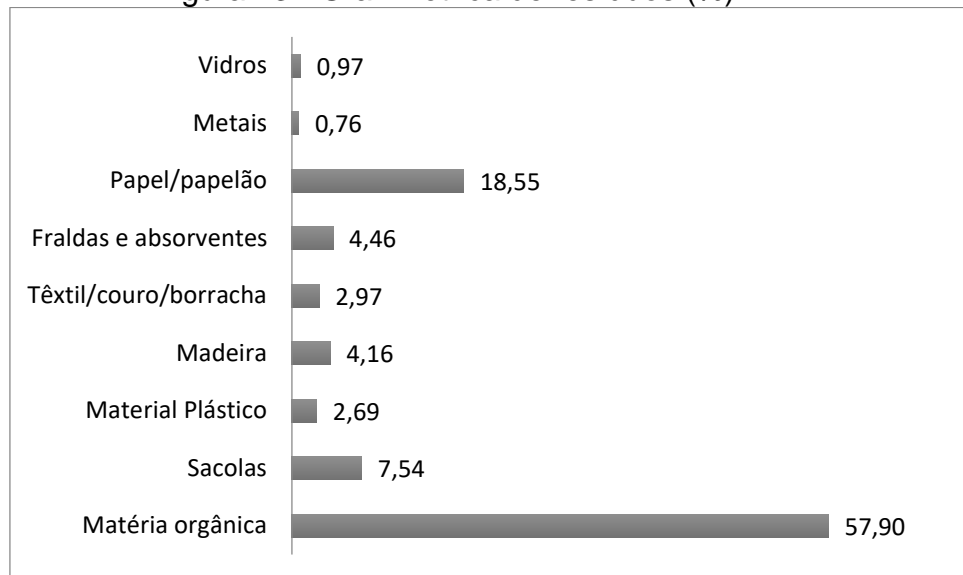
que define que o aterro tenha no mínimo 10 anos de monitoramento ambiental após o encerramento das atividades.

Conforme licença de operação tem capacidade de recebimento de 400.000 kg de resíduos por dia. Abrange uma área de 275 hectares totalmente isolada, que impossibilita a entrada de animais e pessoas estranhas.

Atualmente são dispostos diariamente no aterro cerca de 326.000 kg de resíduos sólidos, chegando mensalmente a 9.800.000 kg. Considerando que cerca de 3.700.000 kg/mês são recicláveis, tem-se uma produção total de 13.500.000 kg de resíduos sólidos mensais. Deste total 72,6% são depositados no aterro. A geração per capita no município de Caxias do Sul chega a 0,88kg/hab por dia. Segundo ENGEPIO (2014), no estado do Rio Grande do Sul, a geração de resíduos sólidos urbanos per capita é 0,9 kg/hab por dia para cidades com população entre 300.001 até 1.000.000 habitantes, ficando próximo ao encontrado em Caxias do Sul – RS.

Os dados referentes à composição gravimétrica dos resíduos podem ser visualizados na Figura 13.

Figura 13 - Gravimétrica de resíduos (%)



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

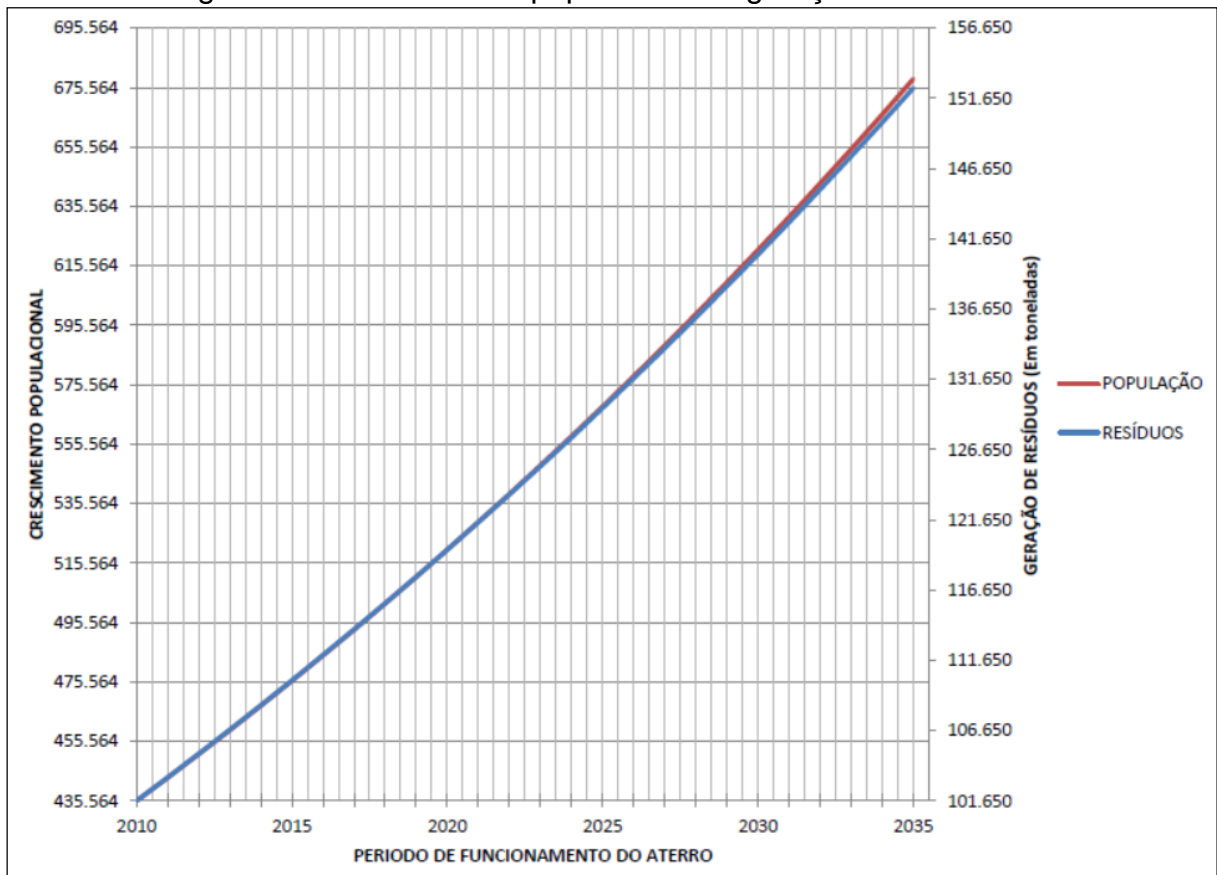
Conforme observou-se, a matéria orgânica representa ser a parcela mais significativa dos resíduos depositados no aterro, com 57,9%, seguida pelo papel/papelão, com 18,5%. Além disso, percebeu-se que mesmo com o programa de coleta seletiva da prefeitura, os materiais recicláveis (metais, papel/papelão,

plásticos, sacolas e vidros) compreendem mais de 30% da composição gravimétrica do aterro.

4.2 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO

Para o cálculo do potencial de geração de biogás no aterro, foi utilizada a metodologia sugerida pelo IPCC (2006) a partir dos dados coletados. Utilizou-se também resultados obtidos pela Equação 1 e Equação 2 para estimar o crescimento populacional e a geração de resíduos orgânicos para os próximos 15 anos, tempo previsto para encerramento das atividades do aterro, conforme estimativa feita pela CODECA, empresa responsável pelo gerenciamento dos resíduos de Caxias do Sul. Os dados estão representados na Figura 14.

Figura 14 – Crescimento populacional e geração de resíduos.



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

Os dados referentes aos anos de 2010 a 2019 relacionados ao crescimento populacional e quantidade de resíduos recebidos pelo aterro foram obtidos pelo IBGE e pelo engenheiro responsável do aterro respectivamente. Para estimar os demais anos adotou-se modelos matemáticos, calculados através das equações mencionadas anteriormente. Vale ressaltar que a taxa de geração de resíduos per

capita (Gp) adotada na Equação 2 foi de 0,64 kg/hab por dia, baseada somente nos resíduos produzidos e que são depositados no aterro. Nota-se que a geração de resíduos é proporcional ao crescimento populacional, na medida que a população cresce o volume de resíduos depositado no aterro aumenta.

Para cálculo da fração de carbono orgânico degradável (DOC) nos resíduos, foi utilizado a Equação 5, sendo considerada a composição dos resíduos apresentada na Figura 13. O valor encontrado para a fração de carbono orgânico degradável no lixo (DOC) foi de 0,19.

Utilizando a Equação 6, foi possível calcular a fração de carbono orgânico que pode se decompor (DOC_f). Segundo BIRGEMER E CRUTZEN, 1987 a temperatura na zona anaeróbica de um local de disposição de resíduos sólidos se mantém constante a um valor aproximado de 35°C, independente da temperatura ambiente. Desta forma, obteve-se o resultado para $DOC_f = 0,77$.

O potencial de geração de metano (L_0) foi calculado através da Equação 3, resultando em $L_0 = 0,0981 \text{ kg}_{CH_4}/\text{kg}_{\text{resíduo}}$. Considerando a densidade do metano igual a $0,7168 \text{ kg}/\text{m}^3$ em condições de (0°C e 1,013 bar), tem-se $L_0 = 136,92 \text{ m}^3/\text{resíduo}$. Os valores foram obtidos levando em consideração as recomendações do IPCC (2006), onde o fator de correção de metano (MCF) para aterro sanitário é igual a 1,0 e a fração de metano no biogás, em média, é de 50%. Utilizou-se um valor médio da fração de metano no biogás devido à impossibilidade de se fazer a medição da emissão deste gás em planta.

Os valores adotados para cada variável na estimativa de geração de metano estão representados na Tabela 6.

Tabela 6 - Variáveis para Cálculo de Geração de Metano

VARIÁVEL	VALOR UTILIZADO
Fração de carbono orgânico no lixo – DOC	0,192
Fração de carbono orgânico que se decompõe – DOC_f	0,77
Potencial de geração de metano do resíduo – L_0	136,92 m^3/t
Fator de correção do metano – MCF	1
Fração de metano no biogás – F	50%
Constante de decaimento – k	0,115

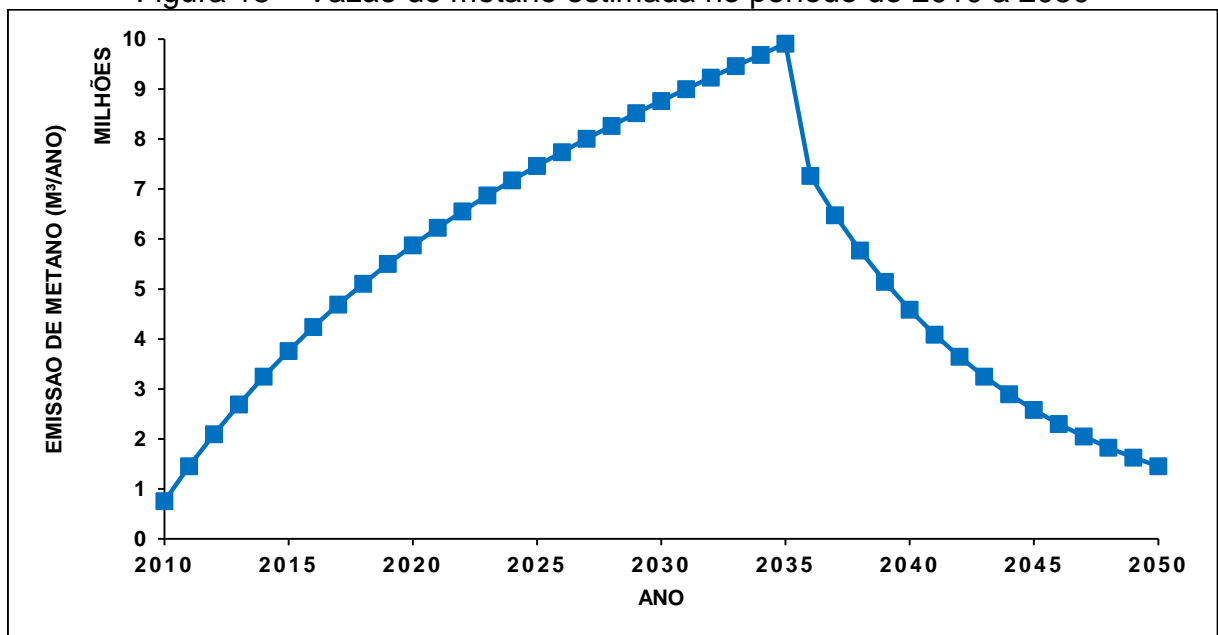
Fonte: Elaborado pelo autor 2020

Com base nestes valores calculou-se a vazão de metano no aterro. Para os anos em que o mesmo estaria recebendo resíduos (2010 a 2035) adotou-se para

cálculos a Equação 7. Após este período, foram realizados os cálculos utilizando a Equação 8, analisando 15 anos subsequentes em que o aterro somente estaria ativo para inspeções ambientais não mais recebendo resíduos, tendo por objetivo verificar a tendência dos resultados.

A curva de geração de metano conforme Figura 15, permite visualizar como é a tendência de produção do gás em relação aos anos em que o aterro recebe resíduos e o decaimento com o encerramento da célula. Os dados referentes a vazão para cada ano podem ser observados no Apêndice A.

Figura 15 – Vazão de metano estimada no período de 2010 a 2050



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

Observou-se que a menor taxa de geração de metano durante a deposição de resíduos ocorre no primeiro ano (2010) e a maior ocorrerá no último ano de funcionamento do aterro (2035). Com o fechamento do aterro no ano de 2036, o mesmo passa a deixar de receber resíduos, assim, a geração do metano se dá somente pela decomposição dos que já foram depositados no local nos anos anteriores, acontecendo assim um decréscimo na sua geração.

A curva de geração de metano apresentada na Figura 15, referente ao aterro de Caxias do Sul – RS, tem o mesmo comportamento do aterro de Tijuquinhas do Município de Biguaçu – SC, apresentada na Figura 9, é possível observar a queda dessa geração no ano seguinte ao encerramento do mesmo.

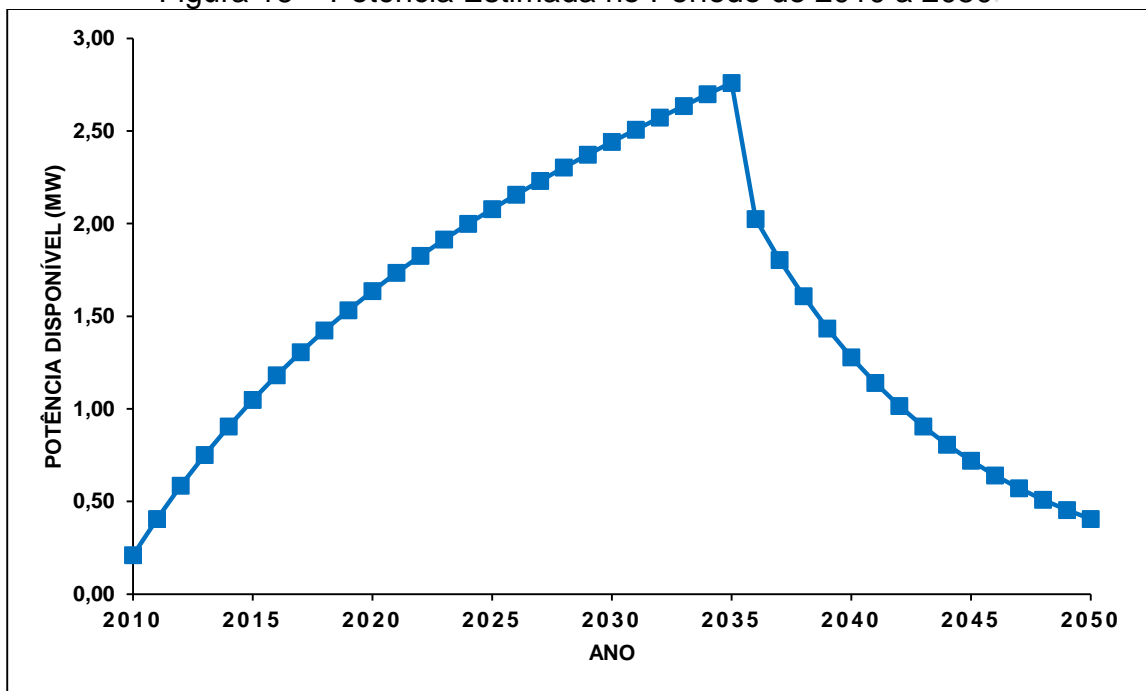
4.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA E ENERGIA ELÉTRICA DISPONÍVEL

Através da Equação 9, utilizando os resultados encontrados para a emissão de metano, foi possível obter a determinação de potência disponível (Pot). Considerou-se que nem toda emissão de metano pelo aterro é passível de captação. De acordo com USEPA (1998), dados documentados de aterros sanitários energéticos mostram que a eficiência percentual de coleta de gás metano varia de 60 a 85 %. Para o presente trabalho foi admitido um valor médio de coleta de 75%.

Para obtenção da potência elétrica útil (E) foi utilizado a Equação 10, com base nos resultados obtidos na potência gerada (Pot). Considerou-se um motor de 87% de rendimento, operando 648 horas por mês, considerando 72 horas de parada para eventuais manutenções.

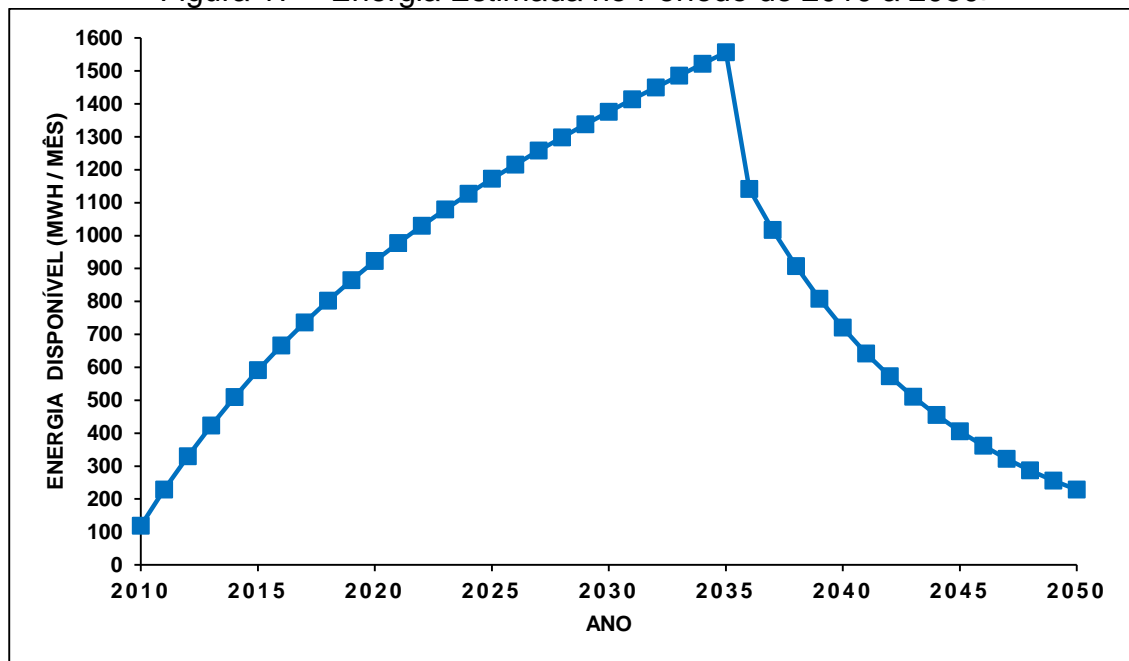
O comportamento da curva de potência e energia elétrica gerada pode ser observado na Figura 16 e Figura 17 respectivamente, os dados também detalhados podem ser vistos no Apêndice A.

Figura 16 – Potência Estimada no Período de 2010 a 2050



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

Figura 17 – Energia Estimada no Período de 2010 a 2050.



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

Assim como na geração de metano, a estimativa da potência e de energia elétrica disponíveis seguem a mesma tendência, aumentando com o passar dos anos, até 2035, quando começa a declinar. Isso acontece por que a potência elétrica depende, entre outros fatores, da geração de metano, e a energia disponível, por sua vez, depende da potência estimada. O declínio na geração de metano pode ser observado na figura 15 no capítulo 4.2.

É possível observar que no ano de 2050 ainda haverá emissão de biogás representando uma potência elétrica de 0,4 MW podendo assim, mesmo com encerramento total das atividades do aterro, ainda ocorrer o aproveitamento energético. O maior índice de geração de energia, por sua vez, se dá no ano de 2035, último ano de recebimento de resíduos, quando chega a uma geração de 1.556 MWh/mês.

Assumiu-se que o projeto de aproveitamento das unidades de geração iniciaria em 2021 e seria finalizado em 2050, assim, com base na geração mensal de energia apresentada na Figura 17, teve-se uma média de energia disponível igual a 931 MWh/mês. Segundo dados da EPE (2018) o consumo médio residencial para a região do Rio Grande do Sul é de 0,177 MWh/mês, desta forma o aterro mostrou ter capacidade de atender em média 5.260 residências durante este período (2021 a 2050). Os dados detalhados podem ser observados no Apêndice A.

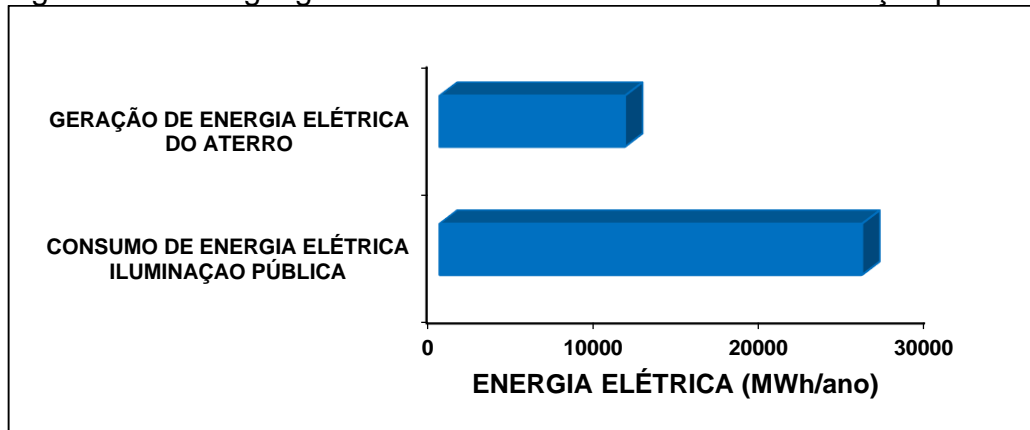
Outro aspecto importante a ser abordado é a possibilidade da utilização da energia gerada como geração distribuída, esta geração pode ser definida como uma fonte de energia elétrica conectada diretamente a rede de distribuição. Segundo a Resolução Normativa Aneel nº 482/2012 o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e ainda passar o excedente para a rede de distribuição da sua localidade. Em 2015 a agência publicou outra resolução normativa, atualizando a anterior, na qual permite que o consumidor fique com créditos quando produzir mais energia do que ele consumir em um período.

Esses créditos podem ser utilizados para reduzir a fatura da conta de luz em até 60 meses. Além disso, também podem ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular em outro local, desde que seja atendido pela mesma distribuidora.

Desta forma a o Aterro Sanitário Rincão das Flores poderia estar contribuindo com uma economia significativa ao município de Caxias do Sul, utilizando os créditos de energia no abatimento da conta de iluminação pública, tendo ele uma capacidade de injetar para a rede aproximadamente 11.173 MWh por ano. Este valor foi obtido através da multiplicação do valor médio pelo período de doze meses.

Para análise de economia que o município teria, como não foi possível obter dados referentes a iluminação pública da cidade de Caxias do Sul, adotou-se dados da cidade de Mauá e Sorocaba, Anexo C ambas do estado de São Paulo, estas tem uma população próxima à cidade estudada, para fim de uma maior aproximação de valores foi adotado o método de interpolação, chegando a um valor de consumo próximo a 25.471 MWh/ano para a cidade em questão. A Figura 18 apresenta a geração disponível no aterro e o consumo anual com iluminação pública.

Figura 18 – Energia gerada no aterro x consumo com iluminação pública.



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

Nota-se que a energia gerada no aterro seria capaz de atender a 44% do consumo da iluminação pública.

4.4 EQUIPAMENTO ADEQUADO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

Através das análises numéricas abordadas anteriormente, juntamente com fornecedores especializados na área de biogás, pode-se verificar a tecnologia adequada para atender a demanda do projeto.

Dentre os motores disponíveis no mercado nacional, os únicos motores que apresentam bons rendimentos para o biogás com as tecnologias exclusivas desenvolvidas pela ER-BR foram os motores MWM (30 a 120 kVA) e os motores SCANIA OC 13 (250 a 420 kVA), com porcentagens de metano entre 45 e 75%. Quanto maior a concentração de metano ($\%CH_4$), menor será o consumo de biogás por parte dos grupos geradores (ER-BR, 2017).

Segundo ICLEI (2009), os motores de ciclo Otto apresentam maior rendimento elétrico e custo inferior em relação às demais tecnologias, além de ser o equipamento mais utilizado para aproveitamento de biogás de aterros.

A potência máxima disponível do aterro, considerando a eficiência do motor de 33%, é 2,7 MW, conforme analisado no subcapítulo 4.3, Figura 16, porém somente seria possível aproveitar essa potência em 2035, ano de maior produção do biogás. Assumiu-se para análise, o valor médio da potência disponível entre os anos de 2021 a 2050 que é igual a 1,5 MW, portanto optou-se pelo motor SCANIA OC 13 modelo CHP 400 com regime de operação contínua, Anexo A, com potência nominal de 250 kW, este é o de maior potência fornecida pela empresa CHP Brasil, assim para atender a potência média do presente trabalho foi necessário a utilização de 6 moto geradores.

4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONOMICA DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

A viabilidade econômica do projeto foi determinada a partir da análise dos investimentos necessários para o aproveitamento energético do biogás gerado no aterro Rincão das Flores na cidade de Caxias do Sul – RS, de modo a se avaliar a rentabilidade do projeto decorrente de sua execução no período de 30 anos.

Adotaram-se as seguintes premissas para análise de viabilidade do projeto.

- Início de recuperação e aproveitamento energético do biogás no ano de 2021

- Instalação inicial de seis moto geradores na Unidade de Geração de Energia.
- Duas trocas de equipamentos durante período de funcionamento.
- Regime de operação da unidade de Geração de Energia de 24h por dia.
- Venda da energia gerada no aterro sanitário para companhia de energia elétrica.

4.5.1 Receitas

A receita do projeto é exclusiva da injeção de energia elétrica, considerou-se que toda energia produzida no aterro seria exportada para rede em forma de geração distribuída. Assumiu-se que devida a alta potência do aterro seriam cadastradas duas unidades consumidoras de 750 kW se enquadrando cada uma em micro geração segundo a Resolução Normativa Aneel nº 482/2012. Desta forma ingressaria no grupo A que é composto por unidades consumidoras que recebem energia em tensão igual ou superior a 2,3kV de acordo com a Resolução Normativa nº 414/2010/ANEEL. Foi admitida uma ligação de média A4, considerando a tarifa verde horo sazonal obtendo um valor ponta e fora de ponta.

Segundo ANEEL (2020) o período de ponta considerado são de três horas consecutivas. Para o presente trabalho adotou-se das 18:00 às 21:00, durante este período, o valor da tarifa de energia elétrica e demanda pode chegar a três vezes o valor da tarifa cobrada nas demais horas do dia, isso ocorre para estimular o consumo de energia elétrica durante outros períodos do dia (período fora de ponta), o que acarretaria em linhas de transmissão melhor dimensionadas para o atendimento da carga, sem necessitar de um sobre dimensionamento para atendimento da demanda por energia elétrica apenas dentro deste período de 3 horas. Os valores podem ser observados na Tabela 7.

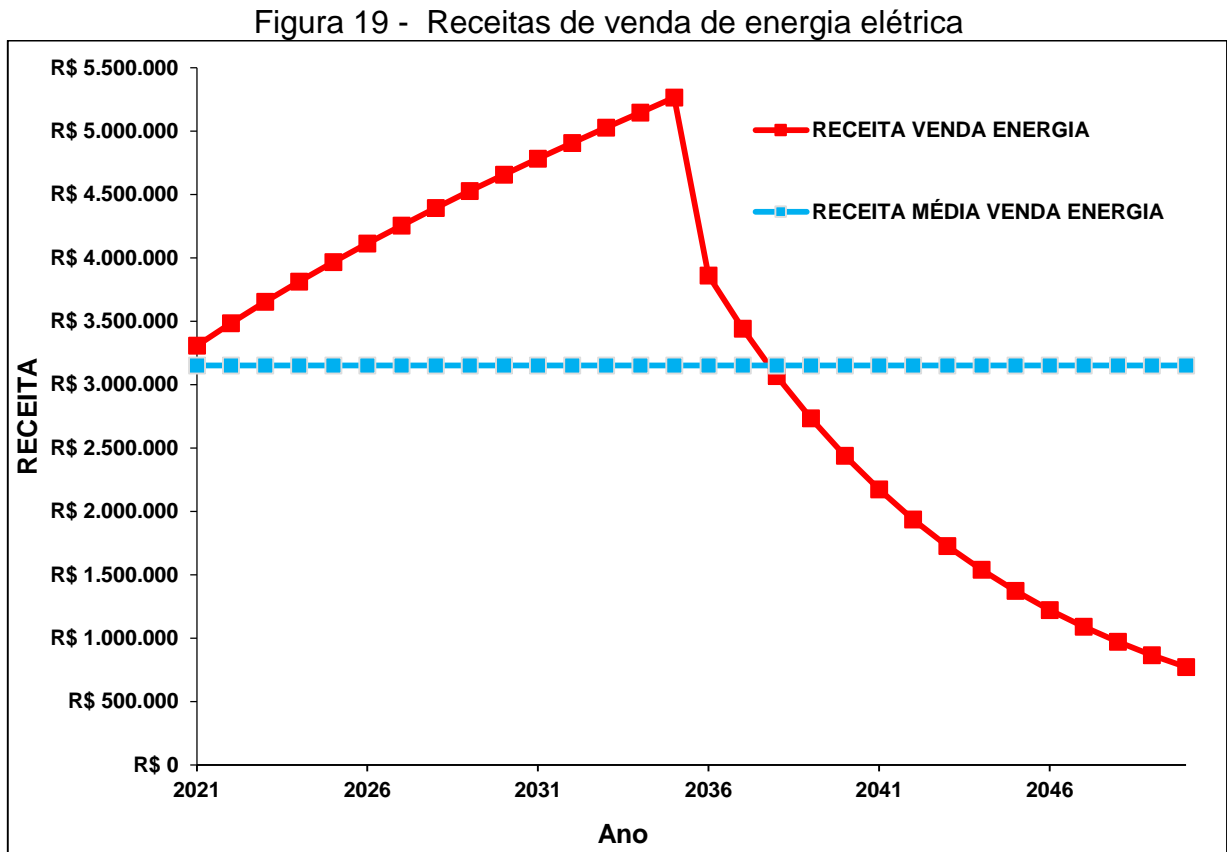
Tabela 7 - Grupo tarifário verde (R\$/MWh)

Grupo Tarifário Verde		Grupo A4		
Bandeira Verde	Fora Ponta	R\$ 259,96	21	Horas
	Ponta	R\$ 435,59	3	Horas

Fonte: Adaptado de CPFL Energia (2020)

É importante ressaltar que os valores utilizados são uma base prévia, para implementação do projeto seria necessário uma revisão de contratos referentes a energia, para fim de uma maior exatidão de valores.

A Figura 19 mostra o fluxo real de caixa do projeto e o valor médio utilizado durante o período de funcionamento.



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

Observa-se que no ano de 2035 tem-se a maior receita de vendas de energia elétrica do aterro, chegando a um total de R\$ 5.226.111,00, isso ocorre devido ao fato, que neste ano tem-se a maior taxa de deposição de resíduos e conseqüentemente a maior produção de energia elétrica. Após esse ano observa-se uma queda, tendência esta que pode ser observada nas Figuras 16 e Figura 17 devido a fim do recebimento de resíduos no aterro.

Pode-se observar os valores das receitas detalhadas no Apêndice B.

4.5.2 Custos de Operação e Manutenção.

Os custos de operação e manutenção do projeto abrangem aspectos relacionados aos equipamentos da unidade de geração de energia elétrica. Para critério de cálculo, definiu-se que os equipamentos seriam instalados no ano de

2020, um ano antes do início do aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica.

A manutenção pode ser definida com o número de intervenções executadas no período de vida útil do conjunto moto gerador. A determinação de custos foi realizada a partir do plano de manutenções definidos pelo fabricante do equipamento. De acordo com dados fornecidos pela empresa CHP Brasil, a cada 20.000 horas de trabalho, há necessidade de realização de manutenção preventiva, detalhados no Anexo A. A estimava de custo é de 15% do valor do equipamento, assim contabilizou-se quantas intervenções seriam necessárias ao longo de trinta anos de projeto, conforme cronograma de atividades apresentado no Apêndice D, somando um total de 9 intervenções e um custo de R\$ 4.725.000,00 no final do período. Para fim de cálculos utilizou-se um valor médio anual de R\$ 157.500,00 durante o funcionamento do mesmo.

Para a definição de custos com operação, que contemplam mão de obra e combustível necessários para o funcionamento, os valores também foram definidos pela empresa fornecedora do equipamento, considerando um custo de produção de energia de R\$ 70,00 MW/h.

4.5.3 Análise do fluxo de caixa

O fluxo de caixa compreende as entradas e saídas financeiras do projeto, estes podem ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Entradas e saídas financeiras do projeto.

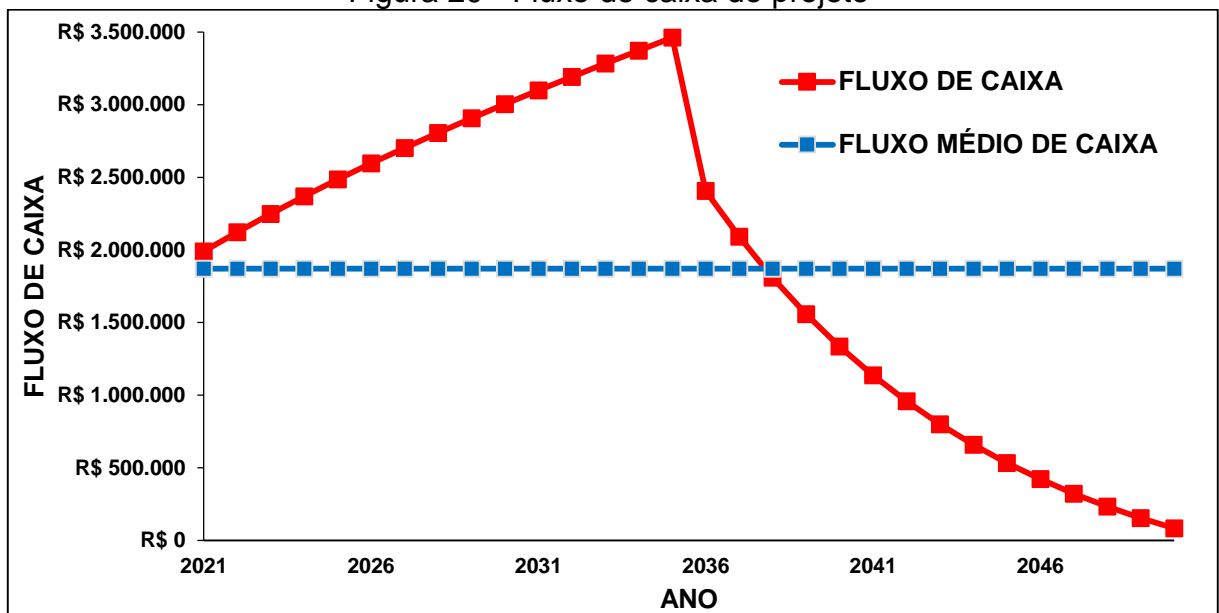
PRINCIPAIS DADOS		FONTE
ENTRADAS		
Produção média de energia	11.172 MWh/ano	AUTOR (2020)
Energia fora ponta	R\$ 259,96 MWh	RGE (2020)
Energia ponta	R\$ 435,59 MWh	RGE (2020)
SAÍDAS		
Custo produção de energia	R\$ 70,00 MWh	CHP BRASIL (2020)
Demanda contratada	R\$ 340.000 ano	CEEE (2019)
Manutenção preventiva	R\$ 157.000 ano	CHP BRASIL (2020)

Fonte: Elaborado pelo autor 2020

As entradas financeiras são as receitas advindas da venda de energia elétrica, as saídas são os investimentos de custos de operação e manutenção dos equipamentos, além da contratação de demanda de duas unidades distintas de 750 kW, segundo CEE (2019) o valor corresponde a 18,89 por kW junto ao consumo de geração de energia elétrica.

Os valores de fluxo de caixa foram obtidos através da Equação 11 descrita na metodologia do presente trabalho. É possível observar na Figura 20 o fluxo de caixa estimado para cada ano do projeto.

Figura 20 - Fluxo de caixa do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

A curva do fluxo de caixa segue a mesma tendência dos gráficos apresentados anteriormente, chegando no ano de 2035 ao valor máximo de R\$ 3.461.420,00.

Como foi considerada a potência média do aterro para geração de energia elétrica e para fim de análise de investimentos em equipamentos, foi adotada a mesma sistemática para os cálculos de cálculo de VPL, TIR e Payback, utilizando o valor médio de fluxo de caixa, este com valor de R\$ 1.871.216,00 por ano, levando em consideração os trinta anos de funcionamento do projeto.

Os valores para cada ano de fluxo de caixa podem ser observados no Apêndice C.

4.5.4 Valor presente líquido (VPL)

Para a determinação do valor presente líquido (VPL) do empreendimento no período de 30 anos do projeto, foi utilizada a Equação 13, considerando um investimento inicial de R\$ 10.660.000 referente a gastos de construção, adequação rede de energia e aquisição de equipamentos, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Receita e investimentos do projeto.

PRINCIPAIS DADOS		FONTE
Investimento de equipamentos	10.500.000 R\$	CHP BRASIL (2020)
Casa de máquina	60.000 R\$	TRIGÁS (2020)
Adequação rede de energia	100.000 R\$	TRIGÁS (2020)

Fonte: Elaborado pelo autor 2020.

Para os gastos levantados junto à empresa fornecedora CHP Brasil referentes aos equipamentos já foram previstas as duas trocas de equipamentos que serão realizadas no período de funcionamento, somando em um total dezoito moto geradores. Os demais dados referente aos custos de construção das casas de máquina e adequação de rede de energia foram estimados junto a empresa Trigás, empresa especializada em aproveitamento energético de biogás

A adequação da rede de energia é uma exigência da concessionária local inserida desde maio de 2019 (CPFL - GED 15303), onde toda a geração distribuída deverá ter um sistema de proteção de média tensão. A presente Norma Técnica estabelece os requisitos técnicos a serem implementados nas instalações elétricas de consumidores conectados às redes de média e baixa tensão das Distribuidoras da CPFL Energia e que desejam a elas ligar, de forma permanente, seus próprios sistemas de geração de eletricidade, nos termos regulamentados por meio da Resolução Normativa (REN) nº 482/2012. Assim, pelos dados levantados pelas ABSOLAR, a proteção de média e baixa tensão adiciona em torno de R\$100.000,00 a implementação do projeto

O levantamento de custo do investimento total do empreendimento foram considerados apenas os elementos de projeto necessário para o aproveitamento energético do biogás, partindo da premissa que os demais custos de investimentos na construção do aterro seriam executados independente do projeto.

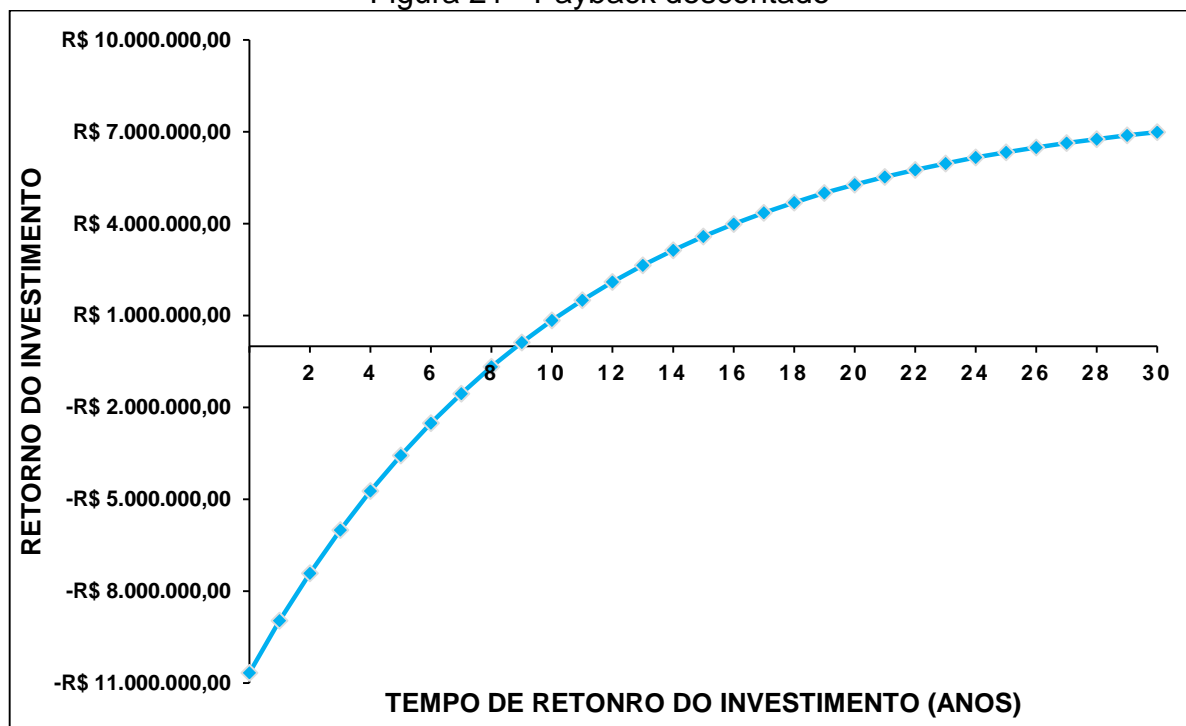
Para taxa de desconto (K), que representa o mínimo esperado de retorno financeiro que uma aplicação deve trazer para ter viabilidade ao negócio, adotou-se o valor de 10%. Este valor corresponde a taxa SELIC adotada pelo Copom em 5 de agosto de 2020 que foi de 2%, e foi considerado uma margem de 8% referente ao fator de risco do projeto.

Foi possível observar que ao final dos 30 anos de funcionamento, o projeto teria um retorno positivo no valor de aproximadamente R\$ 7.000.000,00 sobre o valor de investimento inicial, comprovando a viabilidade econômica do projeto. Os dados detalhados referente aos cálculos realizados podem ser observados no Apêndice D.

4.5.5 Análise do Payback descontado e taxa interna de retorno

O payback descontado considera o valor do dinheiro no tempo, ou seja, é o tempo de recuperação do investimento, remunerado pela taxa de juros representada pela taxa de desconto (K), este foi calculado através da Equação 12. Pode-se observar na Figura 21 o tempo necessário do retorno do investimento.

Figura 21 - Payback descontado



Fonte: Elaborado pelo autor 2020

Foi possível constatar que o investimento inicial de R\$ 10.660.000 realizado em 2020 seria totalmente sanado no ano de 2028, totalizando um período de

recuperação de oito anos, dez meses e onze dias, que é bastante curto, já que o período de exploração do negócio é de 30 anos. A taxa interna de retorno (TIR) apresentou valor de 17,42%, estes superam a taxa de desconto (K) adotada; mostrando-se atrativo para tais investimentos.

5 CONCLUSÃO

Partindo do cenário do aumento da demanda de energia elétrica e da intenção de diversificar a matriz energética brasileira, buscando-se o aumento da geração distribuída e da eficiência energética, foi proposto para este trabalho o estudo de viabilidade de geração elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos depositados no aterro sanitário da cidade de Caxias do Sul.

Os dados referentes ao aterro foram obtidos através de contato direto com a empresa que administra a unidade em questão, a qual forneceu dados referentes a quantidade de resíduos depositados, projeção de recebimento e tempo de vida útil do aterro, sendo necessário, com base em livros, artigos e trabalhos acadêmicos, estimar-se alguns fatores de cálculo. As estimativas de produção de biogás são fundamentais na avaliação do potencial de aproveitamento energético de aterros sanitários, a aplicação de simulação numérica tem se tornado bastante usual para estes projetos.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, o aterro sanitário Rincão das Flores da cidade de Caxias do Sul, demonstrou ter uma potência média de 1,5 MW, apresentando uma média de geração de energia elétrica igual a 931 MWh/mês, tendo capacidade de atender 5.260 residências durante os trinta anos de funcionamento do projeto, conforme média residencial para a região do Rio Grande do Sul de 0,177 MWh/mês, segundo EPE (2018).

O resultado de potência média encontrado no artigo estudado no subcapítulo 2.5.1, foi igual a 2,7MW, pode-se observar que os valores para o presente estudo se reproduziram parcialmente, as diferenças ocorreram pelo fato da taxa de disposição de resíduos do aterro Tijuquinhas no estado de Santa Catarina ser 40% maior que o aterro Rincão das Flores, outra condição que pode gerar esta diferença é da taxa de gravimétrica dos resíduos serem distintas.

A metodologia proposta por IPCC (2006) se apresentou eficaz com boas estimativas das constantes necessárias ao estudo. É uma metodologia simples, podendo ser realizada facilmente pela empresa administradora como um estudo preliminar de aproveitamento energético.

Por fim analisou-se a viabilidade econômica de implantação do projeto, onde constatou-se que o investimento inicial de R\$ 10.660.000, seria totalmente sanado em menos de 9 anos de funcionamento do projeto, tempo este, curto se levado em

consideração os trinta anos de funcionamento do projeto. Ao final deste período o projeto teria um retorno de R\$ 7.000.000,00 chegando a um lucro 66% comparando ao investimento inicial, demonstrando a viabilidade do projeto.

É importante ressaltar que os valores apresentados neste trabalho são uma análise preliminar da possibilidade de utilização do biogás para geração de energia elétrica, uma vez que a utilização de modelos matemáticos exige informações que podem conter erros, permitindo apenas uma aproximação aos possíveis resultados reais.

Para fim de melhorar a presente análise ficam algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Obtenção de dados experimentais realizando testes em planta, montando uma célula experimental no aterro estudado, para obter uma maior confiabilidade dos dados.
- Comparação dos dados experimentais com os dados obtidos pela metodologia proposta pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).
- Análise de vendas de créditos de carbono no aterro sanitário, podendo obter uma receita ainda maior.
- Estudo de transferência dos equipamentos de geração de energia para outro aterro, tendo em vista o final da vida útil do empreendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOGAS. **Associação Brasileira de Biogás. Disponível em:** <<https://abiogas.org.br/abiogas-divulga-novo-potencial-do-biogas-para-o-mercado-brasileiro-durante-forum-em-sao-paulo/>>. Acesso em 07 de mai. de 2020.

ABNT. NBR 10.004:2004. **Resíduos sólidos** – Classificação. Rio de Janeiro, p. 71.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2016.** Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>> Acesso em: 23 de mar. 2020.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015.** Disponível em:< http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2020.

AHMED, Saeed Isa et al. Optimal landfill gas utilization for renewable energy production. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.289-296, 24 mar. 2014.

ALVES, L.; COLARES, R.; UTURBEY, W. **As atratividades ambientais e econômicas do uso do biogás produzido pelo aterro sanitário de Belo Horizonte para geração de energia elétrica. 2008.** Belo Horizonte: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos: 2008.

ALMEIDA, R. N.; PEDROTTI, A.; BITENCOURT, D. V.; SANTOS, L. C. P. **A problemática dos resíduos sólidos urbanos. Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente.** Aracaju. v.2, n.1, p. 25 - 36, 2013.

ANDRADE, Alice César Fassoni; MEDEIROS, Rafael Basílio; LISBOA, Henrique de Melo. Estimativa de potencial energético de biogás proveniente do aterro sanitário tijuquinhas (município de Biguaçu/SC). **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 15, n.1, p.189-197, jan-abr. 2016.

ANELL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/postos-tarifarios>>. Acesso em 20 de nov. de 2020

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). Disponível em: < <http://www.absolar.org.br>>. Acesso em 23 de nov. de 2020.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural.** 2. ed. São Paulo: Ícone, 2003, 106 p.

BEN. **Balanco Energetico Nacional.** 2018. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em 31 de out. 2020.

BILOTTA, Patrícia; ROSS, Bárbara Zanicotti Leite. **Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 275-282, jul. 2015.

BIRGEMER, H. G. e CRUTZEN, P. J. ***The production of metano from solid waste. Journal of geophysical research***, v. 92, n. D2, p 2181 – 2187. 1987.

BORBA, S. M. P. **Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso. 2006.** Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

BOSCOV, M.E.G. **Geotecnia Ambiental.** São Paulo, 2008: Oficina de Textos. KETTUNEN, Riitta H.; RINTALA, Jukka A. Performance of an on-site UASB reactor treating leachate at low temperature. **Water Research**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.537-546, mar. 1998. Elsevier BV.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.** Resolução nº 403, publicada em 12 de novembro de 2008. Brasília: MME/EPE. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015>. Acesso em: 2 mai. 2020.

CALDERONI, S. **Os Bilhões Perdidos no Lixo**, Ed. Humanitas, 1997.

CASTRO R. **Energias Renováveis e Produção descentralizada.** DEEC, Área Científica de Energia, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2006.

CEEE. COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <https://www.ceeel.com.br/a-ceeel/distribuicao-arquivos/tarifas-grupo-a_2019>. Acesso em 23 de nov. de 2020.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Emissões de metano no tratamento e na disposição de resíduos.** Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. São Paulo, 2006.

CIBIOGÁS. **Biogás no Brasil.** Disponível em:<<https://cibiogas.org/biogas>>. Acesso em 04 abr. 2020.

CODECA. **Campanha de Desenvolvimento Caxias do Sul.** Disponível em: <<http://www.codeca.com.br/index.php>>. Acesso em 04 abr. 2020.

CPFL. COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. Disponível em: <<https://www.cpflempresas.com.br/institucional/tarifas.aspx?emp=D008>>. Acesso em 23 de nov. de 2020.

ICLEI. CONSELHO INTERNACIONAL PARA AS INICIATIVAS AMBIENTAIS LOCAIS. **Manual para Aproveitamento de Biogás Volume 1 - Aterros Sanitários.** São Paulo, 2009.

EC. European Commission. EDGAR – **Emissions Database for Global Atmospheric Research**, 2010.

ENGEPIO. Engenharia do Meio Ambiente. **Uso do Sistema de Gerenciamento e Controle de Resíduos Sólidos Industriais e do Cadastro Técnico Federal para o PERS-RS.** Porto Alegre, 2014.

EPA. United States Environmental Protection Agency combined Heat and Power Partnership. **Catalog of CHP Technologies – Technology Characterization – Microturbines**. March 2015.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica DEN 06/08. **Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS**. Rio de Janeiro, 2008.

EPE, Empresa de Pesquisa Energéticas. **Anuário estatístico de energia elétrica 2018**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 209p., 2018.

FIGUEIREDO, N. J. V. de. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás – estudo de caso**. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo. 2007.

GITMAN, L. J.; MADURA, J. **Administração financeira: uma abordagem gerencial**. São Paulo, SP: Pearson Education do Brasil, 2003.

HERNANDEZ NETO, Alberto. **Energias renováveis, geração distribuição e eficiência energética**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

World Bank. **A Global Review of Solid Waste Management. Urban development series; knowledge papers no. 15**. Washington, DC. World Bank, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa populacional**. 2017.

IEA. International Energy Agency. **Key World Statistics**, 2018.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Solid Waste Disposal – Guidelines for National Greenhouse Gas inventories. Report produced by intergovernmental Panel on climate Change (IPCC) on the invitation of the United Nations Framework Convention on Climate Change**. London, 2006.

IPT/CEMPRE, **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 1 ed.: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Publicação IPT 2163, 1995.

KONRAD, Odorico et al. **Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano**. Lajeado. Editora: Univates, 2016.

LOPES, V. L. **Políticas de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica no Brasil**. 2011.77 f. Monografia (Doutorado em Ciências da engenharia em energia) - UNIVPM – Università Politecnica delle Marche, Ancona, Itália, 2013.

MACHADO, Sandro L. et al. Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results. **Waste Management**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.153-161, jan. 2009. Elsevier BV.

MME. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro - Agosto/2018**. MME, 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 15 mar 2020.

MARTINS, Luís Oscar Silva; SILVA, Leandro Teixeira e; CARNEIRO, Roberto Antônio Fortuna. **Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de usina de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município**

de Santo Antônio de Jesus – BA. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 2, n. 2, p. 142-146, abr-jun. 2017.

NEWNAN, Donald G.; LAVELLE, Jerome P. **Fundamentos de Engenharia Econômica**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

NOGUEIRA, L. G. **Políticas e Mecanismos de Incentivo às Fontes Renováveis Alternativas de Energia e o Caso Específico da Geração Solar Fotovoltaica no Brasil e no Chile**. 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos no Curso de Engenharia Mecânica) - UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

OLIVEIRA, K. T. L. L.; GOMES, R. A. **Contribuições da Recuperação do Biogás de Aterro Sanitário: uma análise para Goiânia**. Boletim Trimestral Conjuntura Econômica Goiânia, 2008.

PERS-RS. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.pers.rs.gov.br/arquivos/ENGB-SEMA-PERS-RS-40-Final-rev01.pdf>> Acesso em: 23 de mar. 2020.

PE. Parlamento Europeu. **Eficiência em termos de recursos e resíduos, 2018**. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/pt/displayFtu.html?ftuid=FTU_2.5.6.html>. Acesso em: 25 mar. 2020.

PEREIRA, Gilberto. **Viabilidade econômica da instalação de um biodigestor em propriedades rurais**. Revista RACI, do Instituto de Desenvolvimento Educacional do Alto Uruguai. Vol.6 - n.12 - Junho 2011.

RECICLOTECA. **Sistema de Tratamento de Resíduos**. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). **Emerging technologies for the management and utilization of landfill gas. Office of Research and Development**. EPA 68-D30035. Janeiro, 1998.

WILLUMSEN, H. C. **Energy recovery from landfill gas in Denmark and Worldwide**. LG Consultant, 2001.

VIEIRA, S.J.et al. **A escolha de áreas utilizando geoprocessamento para o sistema de tratamento e disposição final de resíduos sólidos**. In: COBRAC 2000 - Congresso brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC, Florianópolis. 2000.

ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES CONJUNTO MOTO GERADOR

Gerador de energia a gás

CHP400



Regime de operação	Potência Elétrica	Consumo Gás Natural*	Consumo Biogás**
Emergência	400 kVA / 320 kW	79 Nm ³ /h	130 Nm ³ /h
Principal	345 kVA / 276 kW	69 Nm ³ /h	114 Nm ³ /h
Continua	312 kVA / 250 kW	65 Nm ³ /h	107 Nm ³ /h

Medidas	Industrial	Cabinado
Dimensões CxLxA (m)	3,20 x 1,10 x 2,00	4,80 x 1,80 x 2,30
Peso (kg)	2900	4300

Tensão de saída 220-440 V / 60 Hz

* Gás natural com Poder Calorífico Inferior (PCI) de 30-324 kJ/Mm³.
 ** Biogás com 65% de metano em sua composição, com Poder Calorífico Inferior (PCI) de 23-320 kJ/Mm³.

-  **Motor**
 - > Motor 13 litros a gás, 6 cilindros em linha, turboalimentado com intercooler, resfriado a água.
-  **Sistema de Controle do Motor**
 - > Sistema integrado de controle eletrônico de velocidade, mistura ar/combustível e ignição eletrônica com bobinas independentes.
-  **Alternador**
 - > Tipo Brushless com rolamento simples.
 - > Campo giratório, 4 polos e malha protetora.
 - > Trifásico com fator de potência 0,8 e isolamento classe H.
 - > Ligação estrela com neutro acessível.
 - > Proteção IP21.
 - > Sobrecarga admitida de 10% durante 1 hora, a cada 12 horas.
 - > Rolamento blindado.
 - > Saída de enrolamento com passo encurtado 2/3 para melhorar as qualidades harmônicas e capacidade de paralelismo.

-  **Acessórios**
 - > Silencioso industrial.
 - > Junta flexível em aço inoxidável.
 - > Bateria 12Vcc.
 - > Amortecimento anti-vibratório entre base e motorizador.
 - > Sistema de regulagem de pressão/vazão e corte de combustível.
-  **Opcionais**
 - > Cabine acústica de 75dB a 7m.
 - > Disjuntor de Proteção.
 - > Quadro de Transferência Automática.
 - > Quadro de Transferência em Rampa / Paralelo.
 - > Silencioso Crítico (Hospitalar).
 - > Painel de Controle.
 - > Monitoramento Remoto.
 - > Sistema de Cogeração de Energia.
 - > Sistema de Análise e Tratamento de Biogás.

(21) 3035-4040
contato@chpbrasil.com.br

Consulte-nos
para a sua
aplicação





ANEXO B – PLANO DE MANUTENÇÃO ELABORADO PELO FABRICANTE DO GRUPO MOTO GERADOR

20.000 Horas trabalhadas

Lubrificação dos mancais

Limpeza dos cabos de bateria

Análise físico-química do óleo

Troca das correias do booster e alternador

Troca de velas e cabos de ignição

Troca dos elementos filtrantes do ar

Substituição de rolamentos, gaxetas, anéis de vedação e retentores

Substituição dos anéis de vedação do intercooler

Troca das bobinas dos sistemas de ignição

Troca de elemento filtrante de umidade

Troca de água e fluido do sistema de refrigeração

Fonte: Adaptado CHP (2020)

ANEXO C – CONSUMO DE ENERGIA NAS CIDADES DE MAUÁ E SOROCABA ESTADO DE SÃO PAULO

Habitantes: 644,397		Área: 449,12 Km ²		Região Admistrativa: SOROCABA		
Fontes: População - SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Área - IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística						
Eletricidade		Residencial	Comercial	Rural	Industrial	Iluminação Pública
HISTÓRICO	MWh	659,626	399,393	5,213	858,180	52,394
	Instalações	276,129	13,030	274	1,249	372

Habitantes: 451,947		Área: 62,29 Km ²		Região Admistrativa: SÃO PAULO		
Fontes: População - SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Área - IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística						
Eletricidade		Residencial	Comercial	Rural	Industrial	Iluminação Pública
HISTÓRICO	MWh	324,492	150,596	32	759,163	13,580
	Instalações	145,031	4,429	2	505	50

Fonte: Ranking Paulista de Energia (2018)

**APÊNDICE A – VALORES ENCONTRADOS PARA VAZÃO DE METANO,
POTÊNCIA ELÉTRICA E ENERGIA DISPONÍVEL.**

ANO	VAZAO DE METANO (m ³ /ano)	POTÊNCIA DISPONÍVEL (MW)	ENERGIA DISPONÍVEL (MWh/mês)
2010	755979	0,21	119
2011	1453182	0,4	228
2012	2097320	0,58	329
2013	2693633	0,75	423
2014	3246782	0,9	510
2015	3761040	1,05	591
2016	4240335	1,18	666
2017	4688128	1,31	736
2018	5107623	1,42	802
2019	5501686	1,53	864
2020	5872962	1,64	922
2021	6223801	1,73	978
2022	6556441	1,83	1030
2023	6872706	1,91	1079
2024	7174509	2	1127
2025	7463379	2,08	1172
2026	7740810	2,16	1216
2027	8008101	2,23	1258
2028	8266550	2,3	1298
2029	8517164	2,37	1338
2030	8761034	2,44	1376
2031	8998973	2,51	1413
2032	9231900	2,57	1450
2033	9460535	2,64	1486
2034	9685528	2,7	1521
2035	9907600	2,76	1556
2036	7266187	2,02	1141
2037	6476833	1,8	1017
2038	5773229	1,61	907
2039	5146061	1,43	808
2040	4587025	1,28	720
2041	4088719	1,14	642
2042	3644545	1,02	572
2043	3248624	0,91	510
2044	2895714	0,81	455
2045	2581141	0,72	405
2046	2300742	0,64	361
2047	2050803	0,57	322
2048	1828017	0,51	287
2049	1629432	0,45	256
2050	1452421	0,4	228

APÊNDICE B – RECEITA VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA

ANO	ENERGIA COMERCIÁVEL (MWh/ano)	RECEITA VENDA ENERGIA
2021	11731	R\$ 3.308.090
2022	12358	R\$ 3.484.895
2023	12954	R\$ 3.652.997
2024	13523	R\$ 3.813.412
2025	14067	R\$ 3.966.953
2026	14590	R\$ 4.114.414
2027	15094	R\$ 4.256.485
2028	15581	R\$ 4.393.856
2029	16053	R\$ 4.527.063
2030	16513	R\$ 4.656.685
2031	16962	R\$ 4.783.155
2032	17401	R\$ 4.906.961
2033	17832	R\$ 5.028.486
2034	18256	R\$ 5.148.075
2035	18674	R\$ 5.266.111
2036	13696	R\$ 3.862.141
2037	12208	R\$ 3.442.582
2038	10882	R\$ 3.068.601
2039	9699	R\$ 2.735.247
2040	8646	R\$ 2.438.106
2041	7707	R\$ 2.173.245
2042	6869	R\$ 1.937.157
2043	6123	R\$ 1.726.717
2044	5458	R\$ 1.539.137
2045	4865	R\$ 1.371.934
2046	4337	R\$ 1.222.896
2047	3865	R\$ 1.090.048
2048	3446	R\$ 971.632
2049	3071	R\$ 866.080
2050	2738	R\$ 771.994

APÊNDICE C – FLUXO DE CAIXA

ANO	RECEITA VENDA ENERGIA	CUSTO PRODUÇÃO ENERGIA	CUSTO MANUTANÇAO EQUIPAMENTO	DEMANDA CONTRATADA	FLUXO DE CAIXA
2021	R\$ 3.308.090	R\$ 821.157	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 1.989.433
2022	R\$ 3.484.895	R\$ 865.045	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.122.350
2023	R\$ 3.652.997	R\$ 906.772	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.248.725
2024	R\$ 3.813.412	R\$ 946.592	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.369.320
2025	R\$ 3.966.953	R\$ 984.705	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.484.749
2026	R\$ 4.114.414	R\$ 1.021.308	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.595.605
2027	R\$ 4.256.485	R\$ 1.056.574	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.702.411
2028	R\$ 4.393.856	R\$ 1.090.674	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.805.683
2029	R\$ 4.527.063	R\$ 1.123.739	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.905.824
2030	R\$ 4.656.685	R\$ 1.155.915	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 3.003.271
2031	R\$ 4.783.155	R\$ 1.187.308	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 3.098.347
2032	R\$ 4.906.961	R\$ 1.218.040	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 3.191.421
2033	R\$ 5.028.486	R\$ 1.248.206	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 3.282.780
2034	R\$ 5.148.075	R\$ 1.277.891	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 3.372.684
2035	R\$ 5.266.111	R\$ 1.307.191	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 3.461.420
2036	R\$ 3.862.141	R\$ 958.687	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.405.953
2037	R\$ 3.442.582	R\$ 854.542	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 2.090.540
2038	R\$ 3.068.601	R\$ 761.709	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 1.809.391
2039	R\$ 2.735.247	R\$ 678.962	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 1.558.785
2040	R\$ 2.438.106	R\$ 605.204	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 1.335.403
2041	R\$ 2.173.245	R\$ 539.458	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 1.136.287
2042	R\$ 1.937.157	R\$ 480.855	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 958.803
2043	R\$ 1.726.717	R\$ 428.618	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 800.599
2044	R\$ 1.539.137	R\$ 382.055	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 659.581
2045	R\$ 1.371.934	R\$ 340.551	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 533.883
2046	R\$ 1.222.896	R\$ 303.556	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 421.840
2047	R\$ 1.090.048	R\$ 270.579	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 321.969
2048	R\$ 971.632	R\$ 241.185	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 232.947
2049	R\$ 866.080	R\$ 214.984	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 153.595
2050	R\$ 771.994	R\$ 191.630	R\$ 157.500	R\$ 340.000	R\$ 82.864

APÊNDICE D - VALOR PRESENTE LÍQUIDO E PAYBACK DESCONTADO

	FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO	VALOR PRESENTE ACUMULADO
	-R\$ 10.660.000,00	-R\$ 10.660.000,00	-R\$ 10.660.000,00
1	R\$ 1.872.000,00	R\$ 1.701.818,18	-R\$ 8.958.181,82
2	R\$ 1.872.000,00	R\$ 1.547.107,44	-R\$ 7.411.074,38
3	R\$ 1.872.000,00	R\$ 1.406.461,31	-R\$ 6.004.613,07
4	R\$ 1.872.000,00	R\$ 1.278.601,19	-R\$ 4.726.011,88
5	R\$ 1.872.000,00	R\$ 1.162.364,72	-R\$ 3.563.647,17
6	R\$ 1.872.000,00	R\$ 1.056.695,20	-R\$ 2.506.951,97
7	R\$ 1.872.000,00	R\$ 960.632,00	-R\$ 1.546.319,97
8	R\$ 1.872.000,00	R\$ 873.301,82	-R\$ 673.018,16
9	R\$ 1.872.000,00	R\$ 793.910,74	R\$ 120.892,58
10	R\$ 1.872.000,00	R\$ 721.737,04	R\$ 842.629,62
11	R\$ 1.872.000,00	R\$ 656.124,58	R\$ 1.498.754,20
12	R\$ 1.872.000,00	R\$ 596.476,89	R\$ 2.095.231,09
13	R\$ 1.872.000,00	R\$ 542.251,72	R\$ 2.637.482,81
14	R\$ 1.872.000,00	R\$ 492.956,11	R\$ 3.130.438,92
15	R\$ 1.872.000,00	R\$ 448.141,92	R\$ 3.578.580,84
16	R\$ 1.872.000,00	R\$ 407.401,74	R\$ 3.985.982,58
17	R\$ 1.872.000,00	R\$ 370.365,22	R\$ 4.356.347,80
18	R\$ 1.872.000,00	R\$ 336.695,65	R\$ 4.693.043,45
19	R\$ 1.872.000,00	R\$ 306.086,96	R\$ 4.999.130,41
20	R\$ 1.872.000,00	R\$ 278.260,87	R\$ 5.277.391,28
21	R\$ 1.872.000,00	R\$ 252.964,43	R\$ 5.530.355,71
22	R\$ 1.872.000,00	R\$ 229.967,66	R\$ 5.760.323,37
23	R\$ 1.872.000,00	R\$ 209.061,51	R\$ 5.969.384,89
24	R\$ 1.872.000,00	R\$ 190.055,92	R\$ 6.159.440,81
25	R\$ 1.872.000,00	R\$ 172.778,11	R\$ 6.332.218,91
26	R\$ 1.872.000,00	R\$ 157.071,01	R\$ 6.489.289,92
27	R\$ 1.872.000,00	R\$ 142.791,83	R\$ 6.632.081,75
28	R\$ 1.872.000,00	R\$ 129.810,75	R\$ 6.761.892,50
29	R\$ 1.872.000,00	R\$ 118.009,77	R\$ 6.879.902,27
30	R\$ 1.872.000,00	R\$ 107.281,61	R\$ 6.987.183,88

APÊNDICE E – PREVISÃO DE MANUTENÇÃO DO PROJETO

Ano	2	4	6	9	11	13	15	18	20	22	25	Total
Substituição Equipamento				1				1				2
Manutenção Preventiva	1	1	1		1	1	1		1	1	1	9