

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

VANESSA CRISTINA DE OLIVEIRA SAHER

**ESTUDO DE CASO PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA USINA
HÍBRIDA MOVIDA A BIOMASSA E INCINERAÇÃO NO CAMPUS
CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFMS**

Campo Grande - MS

12, 2020

VANESSA CRISTINA DE OLIVEIRA SAHER

**ESTUDO DE CASO PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA USINA
HÍBRIDA MOVIDA A BIOMASSA E INCINERAÇÃO NO CAMPUS
CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFMS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência para obtenção do grau de
Bacharelado em Engenharia Elétrica da Uni-
versidade Federal de Mato Grosso do Sul –
UFMS.

Orientador: Prof. Dr. Luigi Galotto Junior

Campo Grande - MS

12, 2020

AGRADECIMENTOS

Por todo amor, parceria, amparo e confiança no meu potencial não teria como começar os agradecimentos sem agradecer primeiramente à minha mãe Alessandra Gonçalves de Oliveira Saher e ao meu pai Chafic Saher. Obrigada por tanto, por acreditarem no meu sonho, pela paciência comigo durante os finais de semestre e principalmente durante essa pandemia em que conclui meu TCC. Sem vocês, a concretização desse sonho não aconteceria. Amo vocês.

Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Luigi Galotto Junior por ter me acompanhado nesses últimos 2 anos e que com muita paciência e dedicação acreditou na minha ideia e me orientou com maestria. Aqui fica meu muito obrigada.

Às engenheiras que me inspiram, Eng. Fabiana Idie, Eng. Thainara Araújo e Eng. Vitória Fahed aqui fica meu agradecimento por tudo o que me ensinaram e me ensinam. Espelho-me em vocês.

Às minhas queridas amigas Bianca Ono, Fabiana Idie, Reicielly Inara e Sarah Costa, obrigada pela última década repleta de muitos conselhos, risadas e aprendizado. Não menos importante meu obrigada aos meus amigos Gabriel Garcia, Northon Correa, Henrique Lico e todos os outros amigos que aqui não foram citados, mas certamente foram lembrados. Meu mais sincero obrigada por me acompanharem nessa trajetória.

Agradeço imensamente à UFMS e ao corpo docente do DEL por todas as oportunidades de aprendizado que tive dentro e fora de sala de aula. Graças aos seus ensinamentos eu pude realizar meu sonho de me tornar Engenheira Eletricista.

Por fim e não menos importante, agradeço à banca avaliadora por se dispor a conhecer e avaliar este trabalho que finaliza um ciclo em minha vida e que, ao mesmo tempo, inicia uma nova etapa.

RESUMO

A produção de lixo em alta escala, descartado muitas vezes em lugares inapropriados, é um grande desperdício de fontes de energia limpa e renovável. O uso dos resíduos orgânicos descartados para produção de biogás por meio dos mais variados métodos vem sendo empregado como uma alternativa para redução dos gases poluentes e do acúmulo desses materiais. O uso de biodigestores e da incineração são duas das formas de conversão de resíduos descartados que vêm ganhando espaço no setor elétrico e ambiental. O objetivo deste trabalho é viabilizar a aplicação de novas tecnologias visando produção de energia elétrica limpa e de qualidade simultânea com a diminuição dos impactos ambientais causados pelo excesso de resíduos sólidos descartados no meio ambiente. Para tal feito, por meio de ciclo combinado e cogeração, foram usados como base dos cálculos para o dimensionamento preliminar de uma usina híbrida os resíduos sólidos orgânicos descartados pelo restaurante universitário do campus Cidade Universitária da UFMS juntamente dos resíduos infectantes descartados pelo hospital universitário da mesma instituição.

Palavras-Chave: usina híbrida, ciclo combinado, restaurante universitário, hospital universitário, energia renovável, biogás, incineração.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais métodos de conversão de biomassa em Energia	12
Figura 2 – Esquemático do biodigestor do tipo modelo Indiano	16
Figura 3 – Esquemático do biodigestor do tipo modelo chinês	17
Figura 4 – Esquemático do biodigestor do tipo modelo canadense	18
Figura 5 – Esquema simplificado do Ciclo de Brayton	21
Figura 6 – Esquema simplificado do Ciclo de Rankine	22
Figura 7 – Esquema simplificado do Ciclo Combinado (Brayton-Rankine)	23
Figura 8 – Esquemático da Usina Híbrida proposta	25
Figura 9 – Gráfico comparativo referente a energia elétrica gerada pela parcela da biodigestão anaeróbica e a pela parcela da incineração	35
Figura 10 – Gráfico comparativo referente a massa média mensal em kg do RU e do HU	35
Figura 11 – Comparação da produção em kWh da usina híbrida e o consumo do setor 1	36
Figura 12 – Comparação da produção em kWh da usina híbrida e o consumo do setor 1 no horário de ponta	37
Figura 13 – Distância entre o Hospital Universitário e o Restaurante Universitário da UFMS	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resíduos infectantes hospitalares descartados pelo HU nos primeiros 8 meses do ano de 2019	26
Tabela 2 – Setor 1 Cidade universitária	31
Tabela 3 – Valor mensal de geração em kWh por incineração	32
Tabela 4 – Energia Elétrica em kWh da Usina Híbrida	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Desafios da destinação de resíduos descartados com potencial para geração de energia elétrica renovável	7
1.2	Revisão Bibliográfica	9
1.3	Justificativa e motivação deste trabalho	10
1.4	Fundamentação Teórica	11
1.4.1	Biogás: Produção e Aproveitamento	11
1.4.2	Métodos de geração termoeletrica	19
1.5	Objetivos	24
1.5.1	Objetivo Geral	24
1.5.2	Objetivos Específicos	24
1.6	Organização do Trabalho	24
2	METODOLOGIA	25
2.1	Descrição dos dados fornecidos pelo HU	26
2.2	Descrição dos dados fornecidos sobre o RU	28
2.3	Descrição dos dados de consumo de energia elétrica da UFMS	30
3	RESULTADOS	32
3.1	Resultados referente ao HU	32
3.2	Resultados referentes ao RU	32
3.3	Comparação entre consumo e capacidade de produção	34
3.4	Dimensionamento da potência necessária para a usina híbrida	37
4	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 Desafios da destinação de resíduos descartados com potencial para geração de energia elétrica renovável

Toneladas de lixo diariamente são descartadas no meio ambiente ao redor do mundo. Segundo o estudo "Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização", realizado em 2019 pela organização não governamental (WWF, 2019) ¹, o Brasil ocupa o 4º lugar entre os maiores produtores de lixo perdendo apenas para EUA, China e Índia.

A estimativa recente, realizada no final de 2019 pela ABRELPE ², indicou que 97% do lixo produzido diariamente no Brasil não é reciclado. Desses 97%, a parcela equivalente a resíduos orgânicos (restos de alimentos, frutas, legumes e derivados) equivale a 48,5% do lixo descartado em lixões e aterros sanitários.

Além do valor expressivo de lixo orgânico descartado diariamente no Brasil, existe um outro problema: o lixo hospitalar. Segundo dados do mês de abril de 2020 enviados ao Ministério da Saúde pela ABREN ³, a pandemia da Covid-19 multiplicou em cerca de 4 vezes a produção do lixo hospitalar. O Brasil gera cerca de 253 mil toneladas deste tipo de lixo anualmente e tem capacidade para processar apenas 480 mil toneladas. Vale ressaltar que esse processo de descarte do lixo, segundo recomendações da OMS ⁴, é o de incineração do mesmo, por motivos de segurança. Logo, esse aumento expressivo da quantidade de lixo hospitalar acumulado no ano de 2020 pode ser visto por outra ótica: a ótica do aumento da capacidade de geração de energia elétrica a partir da queima desses resíduos perigosos e, além disso, de uma oportunidade para aumentar a discussão sobre outras formas eficientes de produção de energia elétrica no campo da geração distribuída, a qual destacaremos neste estudo: a produção de energia elétrica por meio da produção de biogás a partir de resíduos orgânicos descartados combinado com a incineração de resíduos hospitalares.

Apesar do Brasil ser mundialmente reconhecido pelas suas riquezas naturais e energéticas, os problemas do desmatamento, aumento populacional e acúmulo de resíduos descartados no meio ambiente em forma de aterros sanitários, lixões ou até mesmo diretamente no esgoto, rios e mares mudou a perspectiva de geração de energia elétrica e abriu uma pauta que tem muita força outros países como Alemanha, França e Reino Unido: a geração distribuída.

A geração de energia elétrica a partir de uma usina híbrida, isto é, provinda de múltiplas fontes de energia, já existe no Brasil no âmbito da geração distribuída. Pesquisas e simulações acerca desse tipo de geração estão sendo estudadas. Uma prova disso é a

¹ Fundo Mundial para a Natureza

² Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

³ Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos

⁴ Organização Mundial da Saúde

simulação de alternativa de planta híbrida heliotérmica baseada em torres solares com uso de biogás (TEPEDINO, 2019) .

A destinação dos resíduos sólidos e a geração de energia limpa é um desafio nacional e, diante disso, uma iniciativa do governo federal brasileiro foi a inauguração do projeto PRÓBIOGÁS (CIDADES, 2017) no ano de 2015, em parceria com o governo alemão, referência mundial em produção de biogás. Até o presente momento, essa parceria rendeu mais de dez usinas de biogás nacionais em operação, englobando desde o setor agrícola até aterros sanitários e redes de tratamento de esgoto.

No boletim de informações gerenciais do primeiro trimestre de 2019 (ANEEL, 2019)⁵, contabiliza-se o número de 559 usinas de biomassa em operação no território nacional . Nesse mesmo boletim, a biomassa aparece como a 3^o maior fonte de energia renovável no Brasil. O estado do Mato Grosso do Sul é responsável por 11% da potência instalada total de usinas de biogás (ANEEL, 2019). Essa fonte de energia renovável é, por vezes, utilizada em combinação com outras fontes de energia, no âmbito da geração distribuída. Essa combinação, conhecida como cogeração, envolve o aproveitamento da energia elétrica provinda da biomassa, alinhada com outra forma de geração de energia elétrica renovável, como citado nos parágrafos anteriores.

Ciente das questões a nível nacional e estadual apresentadas acima, este estudo de caso se restringirá ao campus da Cidade Universitária da UFMS⁶, visto que o mesma apresenta as variáveis discutidas nesta introdução.

Para a geração do biogás, é necessária a produção da biomassa. A biomassa neste estudo será produzida com o uso de material orgânico descartado como comidas processadas, legumes, frutas e verduras. Esses resíduos têm potencial para gerar energia por meio do biogás, resultado da digestão anaeróbica por parte das bactérias presentes no biodigestor, local onde é depositada a biomassa. Esse processo é uma opção sustentável, de baixo custo e menos poluente.

O campus da Cidade Universitária conta com um RU⁷ e um HU⁸. O estudo de caso deste trabalho irá circundar sobre a capacidade de produção de energia elétrica através de ciclo combinado, utilizando o resíduo orgânico descartado pelo RU e pelos resíduos infectantes hospitalar coletado do HU, utilizando-os para a produção de energia elétrica a partir da produção de biogás e da incineração, respectivamente.

⁵ Agência Nacional de Energia Elétrica

⁶ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

⁷ Restaurante Universitário

⁸ Hospital Universitário

1.2 Revisão Bibliográfica

A estimativa do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos usando modelos matemáticos para o processo de biodigestão anaeróbica e incineração foi o objeto de estudo do trabalho (SILVA; TONELI; PALACIOS-BERECHE, 2019). Foram feitas simulações baseadas nos aterros sanitários de Caieiras (SP) que recebe em média 9.800 toneladas de RSU⁹ por dia. No resultado de sua pesquisa, comparando os 4 modelos matemáticos que ele abordou em sua metodologia, foi possível estimar a taxa de produção média de CH₄ em biodigestores anaeróbicos, que variou de 72,5 a 66 Nm³ CH₄ ton⁻¹ FORSU⁻¹¹⁰. Para o caso da incineração dos resíduos sólidos do aterro, a simulação apontou potência elétrica para incineração sem a presença de materiais recicláveis como sendo 40% menor em relação ao processo de incineração de todos os resíduos sólidos. A pesquisa em questão concluiu que a potência elétrica que pode ser obtida a partir da combustão do metano de biodigestores varia de 37 MW a 40,6 MW (SILVA; TONELI; PALACIOS-BERECHE, 2019).

No município de Varginha (MG), foi realizada uma análise do potencial de aproveitamento energético de biogás retirado do seu aterro sanitário alinhado em como o uso desse gás diminui a emissão de gases do efeito estufa (SOUZA et al., 2019). A digestão anaeróbica feita em biodigestores é apresentada como a 2^a melhor forma de redução na emissão de gases do efeito estufa segundo análise dos dados usando o software *LandGEM*. É ressaltada a versatilidade do uso dos produtos resultantes da digestão anaeróbica da biomassa, por exemplo, o uso do produto sólido resultante desta conversão como adubo para o solo. Em sua discussão, é destacada a possibilidade de aproveitamento da energia térmica excedente da combustão do biogás para outro empreendimento que faça uso da mesma. O estudo concluiu, após análise de viabilidade econômica, que a combinação de reciclagem e digestão anaeróbica seguida de incineração é capaz de produzir até 150 kW, tornando-se, assim, o cenário citado o que apresenta maiores benefícios ambientais quando visto pela ótica da emissão de gases e uso de energia.

Na central de tratamento de resíduos em Caieiras, foi realizado um estudo sobre as formas de reaproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos (SOARES; MIYAMARU; MARTINS, 2017). Nesse estudo o autor divide os resíduos sólidos orgânicos em 5 possíveis rotas que eles podem passar até gerar energia elétrica. Dentre essas 5 rotas, a que combina o processo de geração de energia elétrica pelo biogás produzido pela biodigestão anaeróbica com o processo de geração de energia elétrica por incineração é eleita como a rota que apresenta o melhor aproveitamento da recuperação energética desses resíduos, concluindo através da análise dos resultados obtidos com o uso do software *SimaPro 7.3.3* ser a alternativa mais atraente, tanto em termos de impactos ambientais quanto em termos

⁹ RSU - Resíduos Sólidos Urbanos.

¹⁰ FORSU - Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos.

econômicos.

Um estudo experimental foi realizado no município de Blumenau, Santa Catarina, com o objetivo de avaliar a eficiência do processo de digestão anaeróbica da biomassa, nesse caso, proveniente dos resíduos orgânicos descartados por restaurantes, em metano (NETO; SILVA; PINHEIRO, 2017). Foi instalado um biorreator em um dos pátios da área de transbordo de resíduos sólidos de Blumenau durante 345 dias ele foi alimentado diariamente com 20 kg de resíduos sólidos, na temperatura ambiente e constante. A conclusão desse estudo usou como ferramenta a equação do balanço de massa adaptado de *von Sperling* 2006 obteve uma eficiência de 50% , ou seja, o método de digestão anaeróbica converteu 50% da biomassa presente no biorreator em metano.

A respeito dos resíduos orgânicos descartados por restaurantes universitários, (KRETZER et al., 2016) um estudo experimental foi realizado no RU da UFU ¹¹ durante 20 dias. Coletou-se ao longo de uma semana a massa de toda matéria orgânica processada diariamente com o intuito de propor um modelo de implantação de um biodigestor anaeróbico para produção de biogás, tendo como matéria prima os resíduos sólidos orgânicos provenientes do RU. Em seus resultados experimentais para dimensionamento do biodigestor, calculou-se que, diariamente, cerca de 280 kg de resíduos sólidos orgânicos são descartados pelo restaurante, o que resultou, ao longo de 20 dias, em um volume gás metano igual a 93,72 m³. O estudo concluiu que a melhor opção de biodigestor foi o Canadense, por apresentar um sistema menos complexo e baixo custo de implantação, e a eficiência do processo usando a literatura (BOUALLAGUI et al., 2004) ficou entre 54% a 87%.

Acerca da incineração de resíduos infectantes hospitalares (SANTOS, 2020), o Hospital Moinhos dos Ventos localizado no Rio Grande do Sul construiu uma central de transformação de resíduos na qual esse tipo de resíduo é coletado, esterilizado, triturado e transformado em célula de energia, que posteriormente é gaseificado para aquecimento da caldeira do próprio hospital. O Hospital teve seu consumo de gás vindo de fornecedores externos reduzido em 30%, o que garantiu uma significativa autossuficiência energética ao mesmo.

1.3 Justificativa e motivação deste trabalho

Este trabalho foi motivado pela vontade da autora em usar os conhecimentos adquiridos durante a graduação em engenharia elétrica para a produção de uma sociedade mais sustentável usando o bem mais precioso da humanidade, a eletricidade, de forma mais consciente e eficaz visando aplicar os conceitos de geração distribuída e eficiência energética para produção de energia elétrica limpa.

¹¹ Universidade Federal de Uberlândia

Ciente de que as macro-mudanças começam com as micro-mudanças, este trabalho pretende fazer o dimensionamento de uma usina híbrida a base de biogás e incineração no campus da cidade universitária da Universidade Federal De Mato Grosso Do Sul, utilizando os resíduos orgânicos descartados pelo Restaurante Universitário como insumo para produção de biogás em biodigestores e os resíduos infectantes do Hospital Universitário como insumo para a incineração, visando avaliar a possibilidade de dimensionar uma usina híbrida no campus com a capacidade de dar autonomia energética plena ou parcial ao mesmo, além de ajudar na eliminação dos resíduos hospitalares infectantes e dar mais autonomia energética ao Hospital Universitário, conforme (SANTOS, 2020).

Apesar de ser vantajoso o uso do método de incineração para obtenção de energia elétrica, este trabalho propõe uma alternativa mais sustentável a partir do uso do ciclo termodinâmico combinado, que reutiliza o calor e os gases de exaustão da turbina a gás para alimentar a turbina a vapor ligada a caldeira, para diminuir o impacto ambiental que o uso pleno da incineração causa. O estudo proposto neste trabalho irá se manter dentro da biodigestão anaeróbica para produção de metano, visto que este tipo de técnica de conversão de biomassa utiliza-se de temperaturas abaixo de 100 °C e pressão atmosférica (SOARES; MIYAMARU; MARTINS, 2017). Além de agredir menos o meio ambiente devido à baixa emissão de gases poluentes na atmosfera, o uso desta técnica, que ocorre dentro dos chamados biodigestores, tem a vantagem de, para lá da produção de biogás rico em metano, também produzir biofertilizante (fração orgânica sólida provinda também da digestão anaeróbica).

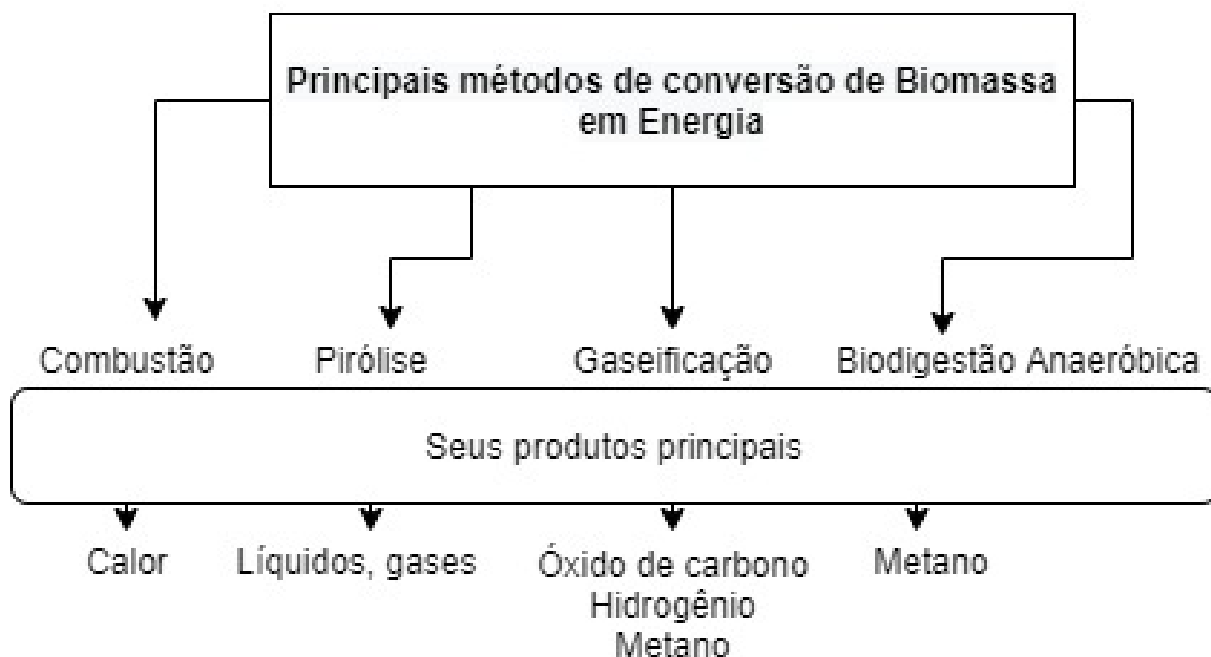
Neste trabalho, portanto, iremos unir as vantagens (SILVA; TONELI; PALACIOS-BERECHE, 2019) do uso do método de biodigestão anaeróbica da biomassa proveniente do RU para produção de biogás com as vantagens do método de incineração dos resíduos infectantes descartados pelo HU através de ciclo combinado, visando uma maior eficiência energética e menor impacto ambiental possível.

1.4 Fundamentação Teórica

1.4.1 Biogás: Produção e Aproveitamento

Biomassa é o termo dado para qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, elétrica ou térmica (ATLAS..., 2008). A origem dessa matéria orgânica pode ser florestal, agrícola ou de rejeitos urbanos e industriais. A partir da biomassa, é possível gerar energia elétrica por meio de variadas formas de conversão; a Figura 1 aponta os principais tipos.

Figura 1 – Principais métodos de conversão de biomassa em Energia



Fonte: Autora.

O foco dessa seção é o processo de obtenção do biogás, que é resultado do processo de conversão da biomassa a partir da digestão anaeróbica em biodigestores. São apresentadas as fundamentações teóricas básicas sobre o assunto, assim como os tipos de biodigestores existentes no mercado. A ANEEL cita que, para os casos de tratamento de dejetos orgânicos, a digestão anaeróbica é a mais utilizada (ATLAS..., 2008). Além disso, outras literaturas afirmam ser o processo menos poluente de obtenção de energia elétrica a partir da biomassa (SOUZA et al., 2019). A relevância em entender como funciona este processo biológico é crucial para que os biodigestores sejam dimensionados corretamente de acordo com a produção esperada.

A digestão anaeróbica que ocorre dentro dos biodigestores passa por 4 fases até a obtenção do biogás. São elas:

- Hidrólise
- Acidogênese
- Acetogênese
- Metanogênese

O biogás é produzido na última fase do processo. Na primeira fase, denominada Hidrólise, ligações moleculares complexas como as dos carboidratos, proteínas e gorduras são quebra-

das por enzimas em um processo bioquímico, dando origem a compostos orgânicos simples denominados de monômeros como aminoácidos, ácidos graxos e açúcares (ARAÚJO, 2017). A hidrólise é a etapa mais importante para a produção do biogás, pois sem a quebra desses polímeros maiores não se inicia o processo de biodigestão. Em seguida, inicia-se a etapa da acidogênese, na qual as substâncias resultantes do processo de hidrólise são transformadas por bactérias acidogênicas em ácidos e álcoois, além da liberação de hidrogênio e gás carbônico. Nessa fase, é importante controlar o pH da mistura, pois, se a mistura apresentar alta concentração de hidrogênio, então o pH reduz e o processo é afetado. A terceira fase, denominada acetogênese, é a fase na qual o produto da acidogênese é transformado por bactérias acetogênicas em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico. Essa etapa é a mais delicada do processo, pois mais uma vez é preciso manter o equilíbrio de hidrogênio gerado visto que este terá de ser consumido pelas bactérias Arqueas, responsáveis pela última fase do processo de biodigestão anaeróbica: a metanogênese. Durante esta última fase, as bactérias Arqueas convertem o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono em metano e gás carbônico (ARAÚJO, 2017).

No processo da digestão anaeróbica, é preciso se atentar aos principais parâmetros que interferem diretamente no desempenho dessa digestão, diretamente relacionado à eficiência do processo. Apesar de ser um método de conversão dito simples, por ser um processo bioquímico, qualquer alteração no meio pode ocasionar na paralisação do processo e, conseqüentemente, na produção de biogás. Os principais fatores que influenciam a atividade enzimática das bactérias são:

- O TDH^{12} , que é o tempo em que o material permanece no interior do biodigestor e esse tempo varia na faixa de 20 a 30 dias para substrato composto de resíduos de matéria orgânica (ARAÚJO, 2017);
- A concentração de nutrientes, ou seja, torna-se necessário o conhecimento da composição química e do tipo de biomassa que estará sendo trabalhado, pois a presença de carbono, nitrogênio e aminoácidos, por exemplo, ajudam no desenvolvimento das bactérias Árqueas metanogênicas (LUSTOSA, 2014);
- A temperatura, que deve estar entre a faixa de 20 °C a 45 °C;
- O pH do meio, que deve ser alcalino entre 6,6 e 7, pois em meio ácido a fermentação pára de ocorrer;
- A concentração de SV^{13} , concentração esta que quanto maior for maior será a produção de biogás (LUSTOSA, 2014);

¹² Tempo de detenção hidráulica

¹³ Sólidos Voláteis

- A relação carbono/nitrogênio (C/N), que deve ter um valor entre 30 e 35 para garantir que todo o carbono disponível seja utilizado pelas bactérias durante o processo (ARAÚJO, 2017);
- A quantidade de MS^{14} , que no geral, que, no geral, para cada 100 L de biomassa, deve ter em média 8 kg de MS no caso de digestores contínuos (LUSTOSA, 2014);
- A presença de detergentes ou outros produtos químicos provoca a intoxicação e morte das bactérias, logo, é preciso certificar-se a ausência destes no material orgânico que será depositado nos biodigestores (MOURA, 2012).

Além disso, durante o processo de biodigestão anaeróbica, os resíduos que sobram apresentam alta qualidade para uso como fertilizante agrícola por possuírem auto teor de nitrogênio, pouca concentração de carbono, solubilização parcial de alguns nutrientes, entre outras características (SEIXAS J.; FOLLE, 1981). Vale comentar, acerca do processo de biodigestão anaeróbica, que o método de partida deste processo vem ganhando significativa atenção nos estudos recentes. A adição de inóculo metanogênico, geralmente usando estrume ou lodo de esgoto, é feito com intuito de frear a acidificação que diminui o pH da solução dentro do reator e, com isso, inibe a atividade metanogênica (LUSTOSA, 2014). Essa diminuição do pH nas etapas iniciais da conversão de biomassa em biogás se dá pela alta concentração de bactérias formadoras de ácido, e a adição deste inóculo ajuda a prevenir o desbalanceamento da biodigestão e melhorar o rendimento da digestão anaeróbia. Essa adição, em muitos casos, contribui com o aumento da produção de biogás e com a diminuição do tempo de degradação (BARCELOS, 2009).

O cálculo da quantidade de inóculo necessário (LUSTOSA, 2014) encontra-se na equação (1).

$$FI = \left(\frac{ST_i}{ST_i + ST_s} \right) \quad (1)$$

Sendo FI o fator de inóculo, ST_i os sólidos totais do inóculo e ST_s os sólidos totais do substrato.

A composição do Biogás (MOURA, 2012) fica em torno de:

- Metano (CH_4) 50 a 75%
- Dióxido de Carbono (CO_2) 25 a 40%
- Hidrogênio (H_2) 1 a 3%
- Nitrogênio (N_2) 0.5 a 2.5%

¹⁴ Matéria Seca

- Oxigênio (O_2) 0.1 a 1%
- Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) 0.1 a 0.5%
- Amoníaco (NH_3) 0.1 a 0.5%
- Monóxido de Carbono (CO) 0 a 0.1%
- Água (H_2O) Variável

A partir das características citadas acima acerca do biogás, outro ponto se torna importante de ser comentado nesta seção: o tratamento ou purificação do biogás (KUNZ, 2019) para a utilização do mesmo como fonte de biocombustível. Dentre os principais contaminantes presentes no biogás estão H_2O , H_2S , CH_4 e CO_2 e NH_3 . O H_2O costuma ser o primeiro contaminante a ser removido do sistema, o que já minimiza a corrosão de toda a infraestrutura que compõe o sistema de purificação de gás. A remoção de H_2S e CO_2 considerada de baixo custo e manutenção é a partir de processos biológicos, com o uso de microalgas que os absorve, o que também torna o processo de purificação mais sustentável. O método de purificação mais eficiente, segundo estudos da Embrapa¹⁵, é também o mais caro: membranas seletivas que removem não só CO_2 como também H_2S e a NH_3 (KUNZ, 2019). Com a purificação do biogás, o mesmo pode ser aplicado em quase todas as aplicações desenvolvidas pelo gás natural (ZANETTE, 2009), como será abordado após o tema biodigestores.

A partir da definição de biomassa, biodigestão anaeróbica e biogás é possível então tratar a respeito dos biodigestores, que são equipamentos herméticos e impermeáveis, nos quais em seu interior é depositado o material orgânico para fermentação anaeróbica, ou seja, em um ambiente sem a presença de ar atmosférico, por um determinado TDH ¹⁶, no qual ocorre o processo bioquímico da biodigestão anaeróbica, que como já comentado anteriormente tem como resultado majoritariamente biofertilizante na forma sólida e metano e gás carbônico na forma gasosa. Quanto a sua constituição, os biodigestores possuem um reservatório que armazena a biomassa por um determinado tempo e por uma câmara (gasômetro) que armazena o biogás produzido. O biogás, que fica retido na parte livre do biodigestor, pode ser canalizado para ser utilizado em processos de aquecimento, como na geração de energia elétrica. Pode ser classificado também quanto ao seu tipo de armazenamento, sendo eles contínuo ou intermitente, ou seja, com abastecimento diário e descarga proporcional à entrada de biomassa ou com armazenamento máximo de biomassa no biodigestor até sua completa biodigestão, seguida de uma nova recarga (método de batelada), respectivamente (ARAUJO, 2017). Quanto aos modelos de biodigestores existentes, podemos classificá-los em 3 tipos: modelo indiano, modelo chinês e modelo

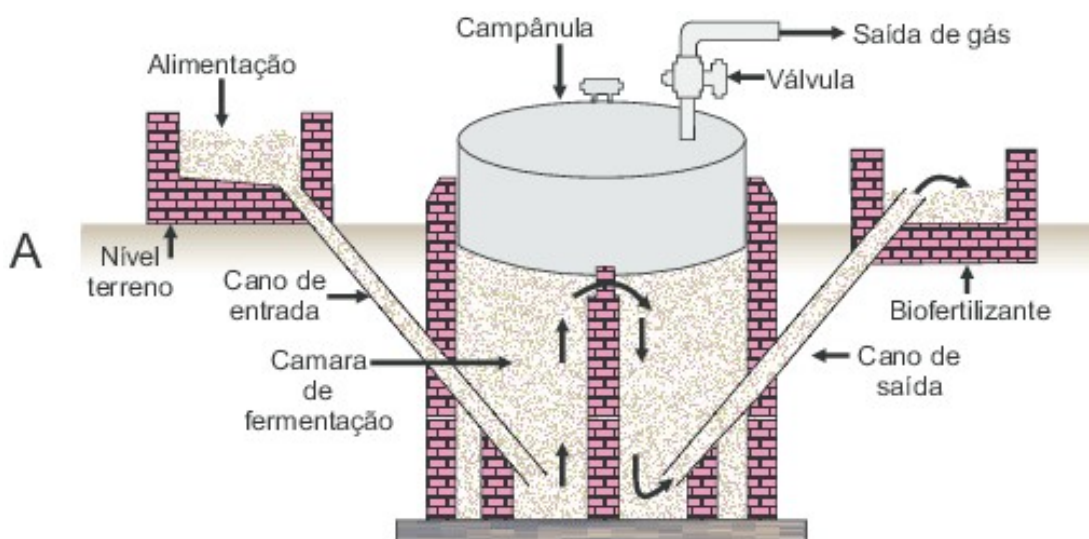
¹⁵ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

¹⁶ Tempo de Detenção Hidráulica

canadense. Nos próximos parágrafos, será brevemente comentado sobre cada modelo e seus respectivos esquemáticos:

O modelo indiano possui uma campânula flutuante como gasômetro, que pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo de água externo, e uma parede central que divide o tanque em duas câmaras. Seu abastecimento é do tipo contínuo e seu substrato deve conter um ST^{17} de até 8% para facilitar a circulação pelo interior do biodigestor e evitar entupimento dos canos de entrada e saída. Além disso, nesse tipo de modelo o gasômetro mantém a pressão de operação constante, porém desloca-se verticalmente à medida que o biogás produzido não é imediatamente consumido (ARAÚJO, 2017). A Figura 2 foi retirada da referência (ARAÚJO, 2017)

Figura 2 – Esquemático do biodigestor do tipo modelo Indiano

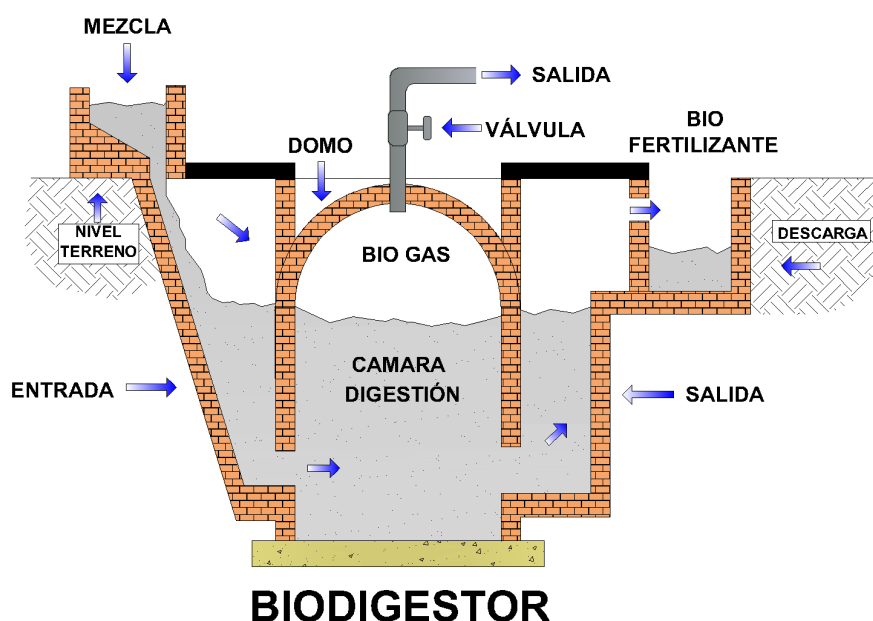


Fonte: (CASSINI S. T. ; COELHO, 2014)

Já o modelo chinês é constituído por uma câmara cilíndrica e em alvenaria, com teto abobado impermeável, no qual é armazenado o biogás gerado. O aumento de pressão em seu interior devido ao acúmulo de biogás resulta no deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a saída. Como no modelo indiano, seu teor de ST também é de aproximadamente 8%. A Figura 3 representa o esquemático do modelo chinês.

¹⁷ Sólidos totais

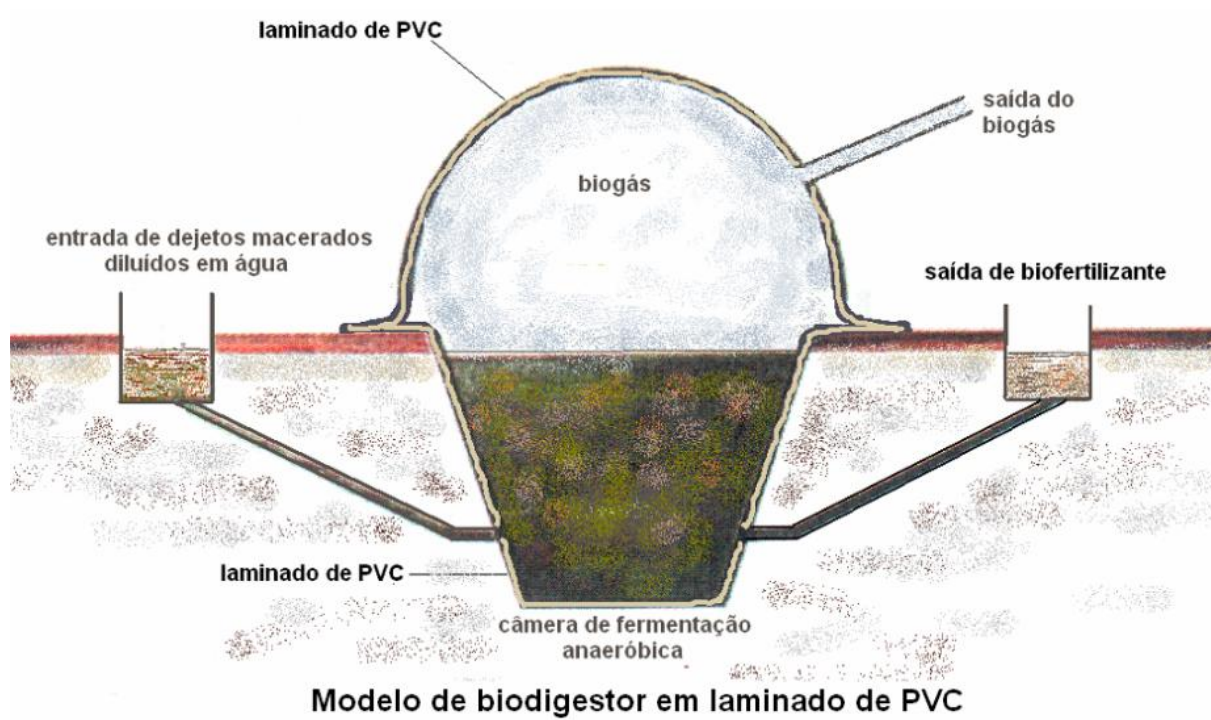
Figura 3 – Esquemático do biodigestor do tipo modelo chinês



Fonte:(TARINGA, 2016)

O modelo canadense, desenvolvido pela Marinha Brasileira em 1970, apresenta uma tecnologia mais moderna, porém com uma construção simples. É formado por uma câmara de digestão escavada no solo e um gasômetro inflável feito de material plástico ou similar. É do tipo horizontal, diferentemente dos modelos indiano e chinês, que são do tipo vertical, e possui uma caixa de entrada em alvenaria. Conforme o biogás é produzido, a cúpula plástica é inflada e o biogás é armazenado, ou pode ser enviado a um gasômetro separado para se obter um maior controle operacional. Em comparação ao modelo indiano, o modelo canadense apresenta a vantagem de poder receber grande quantidade de resíduos. Já em comparação com o modelo chinês, a vantagem está no fato de este sofrer rachaduras e danos na sua estrutura devido à composição do solo brasileiro que sofre muita acomodação, o que pode provocar perda de gás e exige monitoramento e manutenção constantes (ARAÚJO, 2017). A Figura 4, representa este tipo de modelo.

Figura 4 – Esquemático do biodigestor do tipo modelo canadense



Fonte:(HAACK, 2009)

Visando utilizar esse biogás para geração de energia elétrica, torna-se necessário comentar sobre os motogeradores, visto que esses, além das turbinas a gás, que serão comentadas na próxima subseção, são as principais tecnologias empregadas para utilização do biogás. Os MCI¹⁸ de ignição por centelha, também conhecidos como ciclo Otto de 4 tempos, são os mais utilizados no conjunto motor gerador a biogás. O ciclo Otto de quatro tempos opera da seguinte forma (SOUZA, 2016):

- 1º Tempo – Admissão: a mistura ar e combustível é admitida no cilindro através da válvula de admissão, durante o curso do pistão do *PMI*¹⁹ ao *PMS*²⁰;
- 2º Tempo – Compressão: a mistura ar e combustível é comprimida, quando o pistão sai do *PMI* ao *PMS*;
- 3º Tempo – Combustão e expansão: após a compressão (2º Tempo) ocorre a ignição da mistura ar e combustível, elevando a temperatura e pressão com a queima, fazendo com que haja uma expansão do pistão do *PMS* ao *PMI*, transmitindo ao eixo de manivelas uma força motriz;

¹⁸ Motores de Combustão Interna

¹⁹ Ponto Morto Inferior

²⁰ Ponto Morto Superior

- 4º Tempo: Descarga: antes do pistão atingir o *PMI* (3º Tempo), a válvula de escape começa abrir e os gases passam a ser liberados quando o pistão se desloca do *PMI* ao *PMS*. Após isso, a válvula de descarga se fecha, a de admissão se abre e o ciclo se inicia novamente.

O ciclo Otto é usualmente representado pelo ciclo padrão a ar, o qual é considerado um ciclo ideal (SOUZA, 2016).

Os motores de ignição por centelha, movidos a gasolina, ou os motores diesel convertidos a ciclo Otto podem ser facilmente convertidos para motores a gás. As mesmas técnicas de conversão de motor a gasolina para gás natural são utilizadas para o biogás. A principal modificação de um motor a gasolina para biogás é a instalação de um misturador de gás com comburente (ar) no lugar do carburador. O controle do motor é efetuado pelo controle da mistura ar/combustível, por meio de uma válvula de variação de pressão, semelhante à válvula borboleta dos motores a gasolina. Outras modificações incluem a mudança na taxa de compressão e avanço de ignição (SOUZA, 2016).

Os motores geradores movidos a biogás podem ser utilizados em áreas urbanas com biogás proveniente de, desde aterros sanitários, até de produção particular, como o proposto neste trabalho. Os grandes grupos motores geradores a biogás alcançam potências da ordem de 1,6 MW, os quais possuem um sistema de resfriamento a água, onde a água quente e gases de exaustão podem ser utilizados com o auxílio de trocadores de calor (cogeração) para aquecimento do efluente dos biodigestores, produção de água quente para o processo produtivo, aquecimento de construções, produção de frio com o auxílio de sistemas de refrigeração por absorção (trigeração) e outras aplicações, devido ao uso da energia térmica aumentar a eficiência do sistema (SOUZA, 2016).

Dentre os principais componentes dos motores geradores estão o acoplamento entre o motor de combustão interna e o gerador de eletricidade. O acoplamento pode ser por meio de redutor (relação de engrenagens), polias (relação de polias) e correias e acoplamento direto. A eficiência de acoplamento, ou seja, conversão de energia mecânica em elétrica é de cerca de 90% na velocidade síncrona; o controlador de velocidade, sistema de controle da mistura ar/combustível, sistema de partida, exaustão, arrefecimento e ventilação e painel de controle (SOUZA, 2016). Quanto a sua eficiência, o conjunto chega na média de 6,7% (SOUZA, 2006).

1.4.2 Métodos de geração termoelétrica

Para um melhor entendimento da usina híbrida proposta neste trabalho, faz-se necessário a introdução do princípio de funcionamento usinas termoelétricas, bem como os ciclos termodinâmico usados nas mesmas. Esse tipo de geração de energia elétrica, segundo

o último levantamento em 2020 referente ao ano de 2019 pela EPE²¹, ocupa 17,9% da capacidade instalada no SIN²², incluindo nesses 17,9% a porcentagem de 9,6% pela geração termoeétrica a gás e 8,3% da geração termoeétrica a biomassa. O princípio básico de funcionamento desse tipo de geração parte da conversão de energia térmica resultante de uma combustão em energia mecânica devido à expansão do combustível durante o processo de combustão que realiza trabalho nas turbinas térmicas (movidas a gás ou a vapor) e, posteriormente, em energia elétrica a partir do acoplamento de um gerador elétrico ao eixo dessas turbinas. Os sistemas que compõem as centrais termelétricas (STAMM, 2003) mais pertinentes ao tema do trabalho são os:

- Sistema de queima;
- Caldeira;
- Sistema de água e vapor;
- Turbina;
- Ciclo térmico;
- Alternadores;
- Sistemas auxiliares.

Torna-se pertinente para a análise da proposta deste trabalho conhecer os ciclos termodinâmicos, referidos acima como ciclos térmicos, aplicados nas usinas termelétricas. Estes são divididos em três tipos: Ciclo Rankine, Ciclo Brayton e o Ciclo Combinado (Brayton-Rankine).

Vale lembrar que, a partir da escolha do tipo de ciclo térmico que será usado nas usinas termoeletricas, pode-se saber qual o tipo de turbina a ser trabalhada, ou seja, turbina a vapor ou turbina a gás, devido ao princípio de funcionamento de cada uma. A turbina a gás caracteriza-se, por realizar trabalho através dos gases que são dilatados/expandidos na queima de um dado combustível. O trabalho realizado por essa turbina quando a mesma acoplada a um gerador elétrico é transformado em energia elétrica, já no caso da turbina a vapor, água em estado líquido é transformada em vapor por meio do calor da caldeira e esse vapor fará a turbina realizar trabalho. Nos próximos parágrafos, serão discutidas as características de cada ciclo.

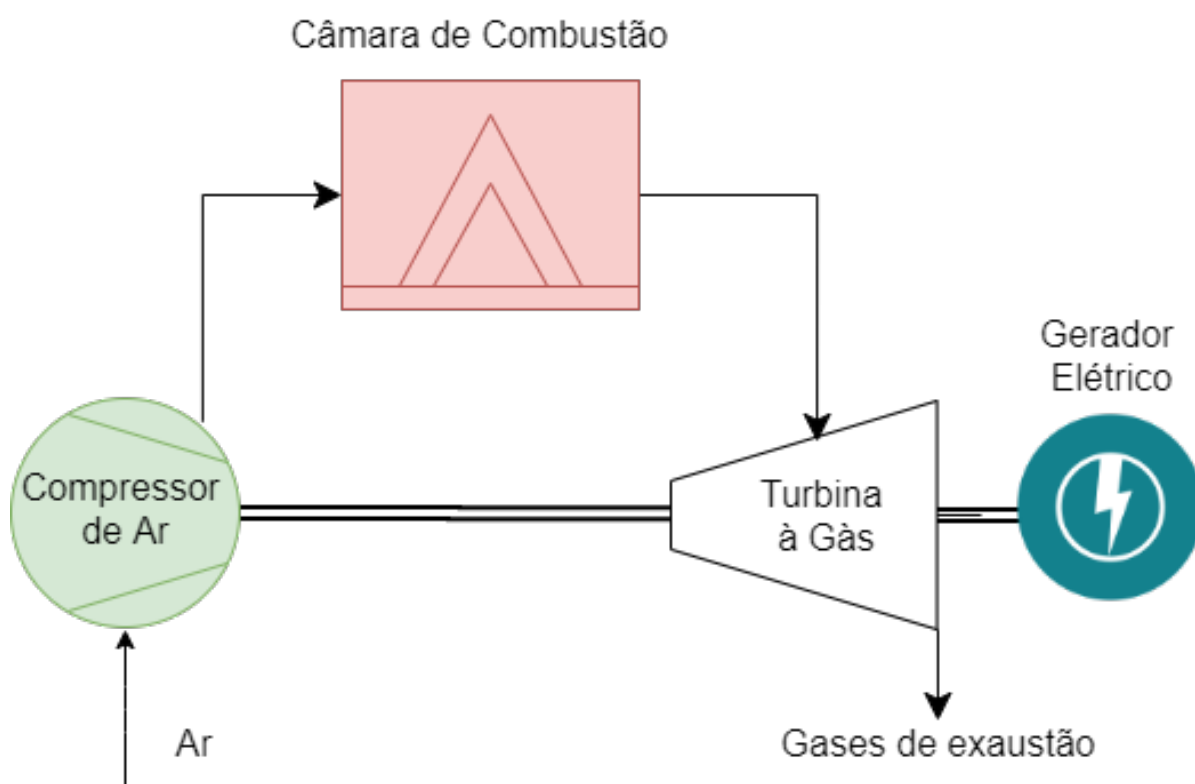
O ciclo Brayton ideal, também denominado ciclo de ar padrão Brayton, é um ciclo termodinâmico composto por: compressor de ar, câmara de combustão e turbina de expansão, utilizado no estudo das turbinas a gás (BORGES, 2010). Seu princípio de

²¹ Empresa de Pesquisa Energética

²² Sistema Interligado Nacional

funcionamento consiste na entrada de ar no compressor, onde o mesmo será comprimido e entrará na câmara de combustão que possui pressão constante e altas temperaturas podendo passar de 1000 °C (WANKE, 2019). Na câmara de combustão, o ar é misturado com combustível e entra em combustão. Essa combustão causa expansão abrupta dos gases. Após isso, o ar expandido gera trabalho ao entrar em contato com a turbina a gás. Parte desse trabalho realimenta o compressor e o resto é usado para acionar geradores elétricos, por exemplo (RODRIGUES, 2004). Na Figura 5, é apresentado um esquemático do funcionamento do ciclo termodinâmico de Brayton.

Figura 5 – Esquema simplificado do Ciclo de Brayton



Fonte: Autora.

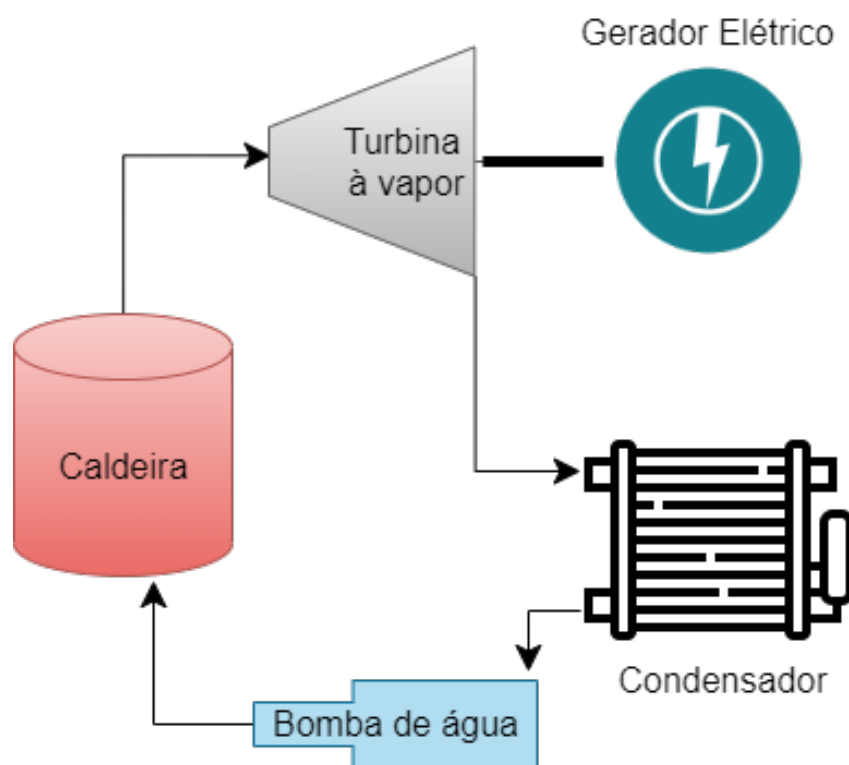
Os processos isobáricos provenientes da Lei ideal dos Gases, processo no qual a pressão em um ambiente é mantida constante, ocorre no combustor e na exaustão da turbina a gás. Já o processo isentrópicos são encontrados na parte do compressor e da turbina do ciclo de Brayton. O processo isentrópico é um processo termodinâmico no qual a entropia do gás é permanentemente constante, para manter a entropia do gás constante. Por não ter transferência de calor ou matéria, é chamado de processo adiabático reversível. A eficiência do ciclo de Brayton ideal é da ordem de 30 a 40% (WANKE, 2019).

Outro ciclo termodinâmico usado nas usinas termoeletricas é o ciclo Rankine. Seu princípio de funcionamento quando considerado de forma ideal consiste em aproveitar

o calor resultante da queima realizada na caldeira para acionar a turbina a vapor e, consequentemente, produzir energia elétrica, quando acoplado a essa turbina estiver um gerador elétrico. Vale ressaltar que a turbina é a responsável por expandir o fluido que entra em contato com ela, e é justamente essa expansão do fluido que realiza trabalho nas turbinas (WANKE, 2019). O ciclo Rankine também pode fornecer uma parte dessa energia térmica para outro processo de geração de energia elétrica. Este tipo de ciclo termodinâmico tem seu rendimento avaliado em cerca de 30% (RODRIGUES, 2004).

Semelhante ao ciclo Brayton, o ciclo Rankine também apresenta dois processos isobáricos e dois processos isentrópicos. A diferença está no ponto em que o fluido de trabalho usado no ciclo Rankine apresenta mudança de fase durante o período que passa por processos isobáricos, enquanto que no ciclo de Brayton isso não ocorre (BORGES, 2010). Na Figura 6 é possível observar um esquemático simples deste ciclo.

Figura 6 – Esquema simplificado do Ciclo de Rankine



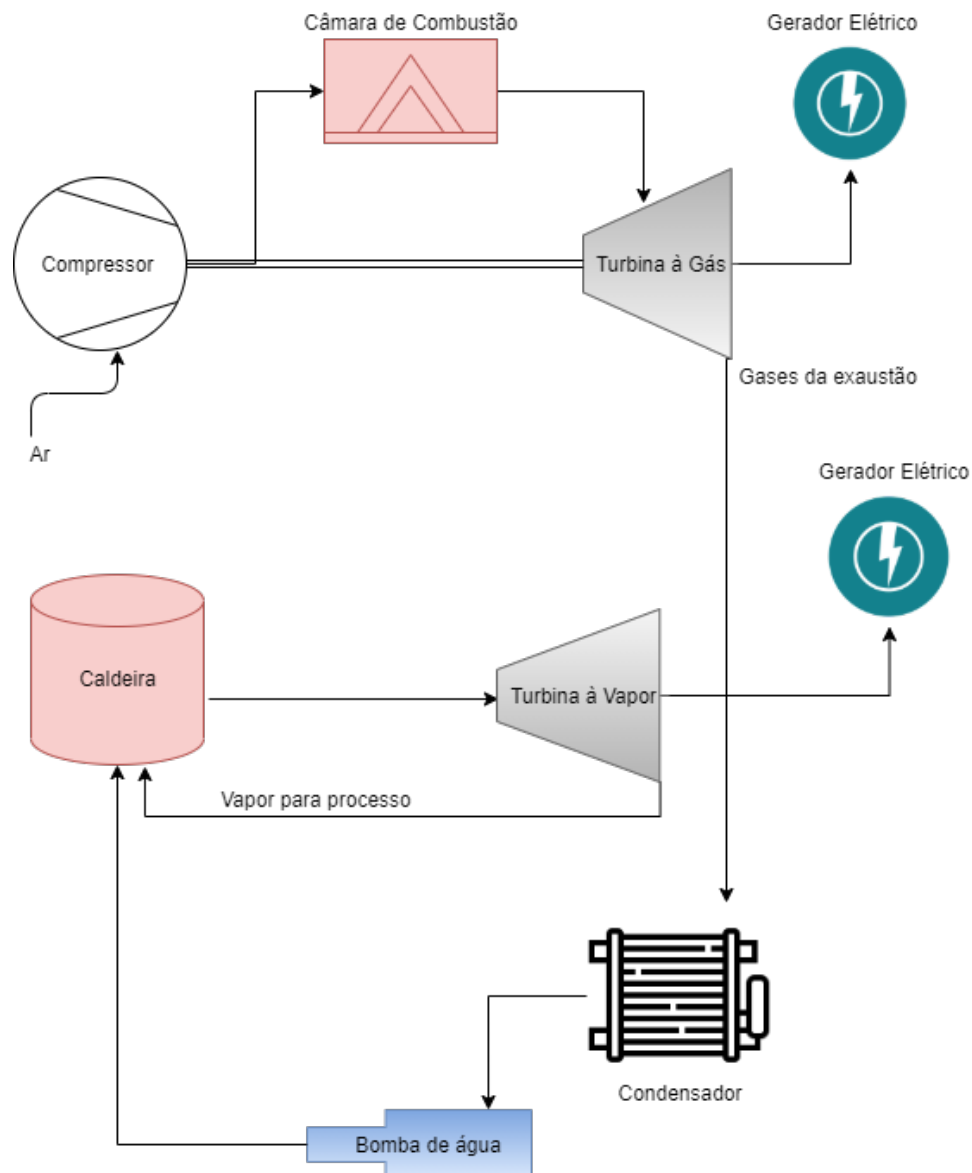
Fonte: Autora.

Ciclo combinado é o nome dado para os sistemas que unem dois ciclos termodinâmicos com o intuito de conseguir máxima eficiência energética. A combinação do ciclo com turbina a gás (Ciclo de Brayton) com um ciclo com turbina a vapor (Ciclo de Rankine) é a mais utilizada. Nesse tipo de ciclo, os gases de exaustão provenientes das turbinas a gás do ciclo de Brayton servem como fonte de calor para o ciclo de Rankine, que faz uso de turbinas a vapor, como foi apresentado nos parágrafos acima. Essa combinação gera

uma eficiência entre 55 a 58%, muito acima do valor que cada ciclo separado é capaz de produzir (STUCHI, 2015).

A cogeração vem ganhando espaço no mercado energético por oferecer uma proposta com menos perdas e mais eficiência, visto que o calor que outrora era rejeitado pelas turbinas a gás do ciclo Brayton, agora passa a atender a demanda térmica do processo do ciclo de Rankine. A diminuição das perdas possibilita a redução nos custos, uma vez que possibilita a economia dos combustíveis. Outra característica dessas usinas de cogeração é seu porte pequeno e impacto ambiental reduzido (RODRIGUES, 2004). Na Figura 7 é possível observar o esquemático de um ciclo combinado.

Figura 7 – Esquema simplificado do Ciclo Combinado (Brayton-Rankine)



Fonte: Autora.

1.5 Objetivos

1.5.1 *Objetivo Geral*

Viabilizar a aplicação de novas tecnologias visando produção de energia elétrica limpa e de qualidade simultânea com a diminuição dos impactos ambientais causados pelo excesso de resíduos sólidos descartados no meio ambiente.

1.5.2 *Objetivos Específicos*

- Realizar uma revisão bibliográfica e tecnológica relacionada à produção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos descartados.
- Coletar dados relacionados à produção de resíduos sólidos orgânicos e infectantes descartados no ambiente da UFMS em Campo Grande.
- Realizar um dimensionamento preliminar para instalação da usina híbrida na Cidade Universitária.

1.6 Organização do Trabalho

Na introdução do trabalho é contextualizado o problema, seguido de uma revisão bibliográfica e tecnológica do assunto, fundamentação teórica sobre os termos de biomassa, biogás, geração termoeletrica e seus ciclos, bem como a motivação deste trabalho e os objetivos que desejam-se obter no final do mesmo.

Na metodologia é feita a coleta dos dados sobre os resíduos infectantes descartados pelo Hospital Universitário, informados em quilogramas mensalmente, uma estimativa dos resíduos orgânicos descartados pelo Restaurante Universitário em quilogramas. Também é abordado as equações que serviram de base para apresentação dos resultados e exposto uma parte da fatura de energia elétrica do campus da UFMS do ano de 2019 referente ao seu maior setor, para uso comparativo com os resultados obtidos.

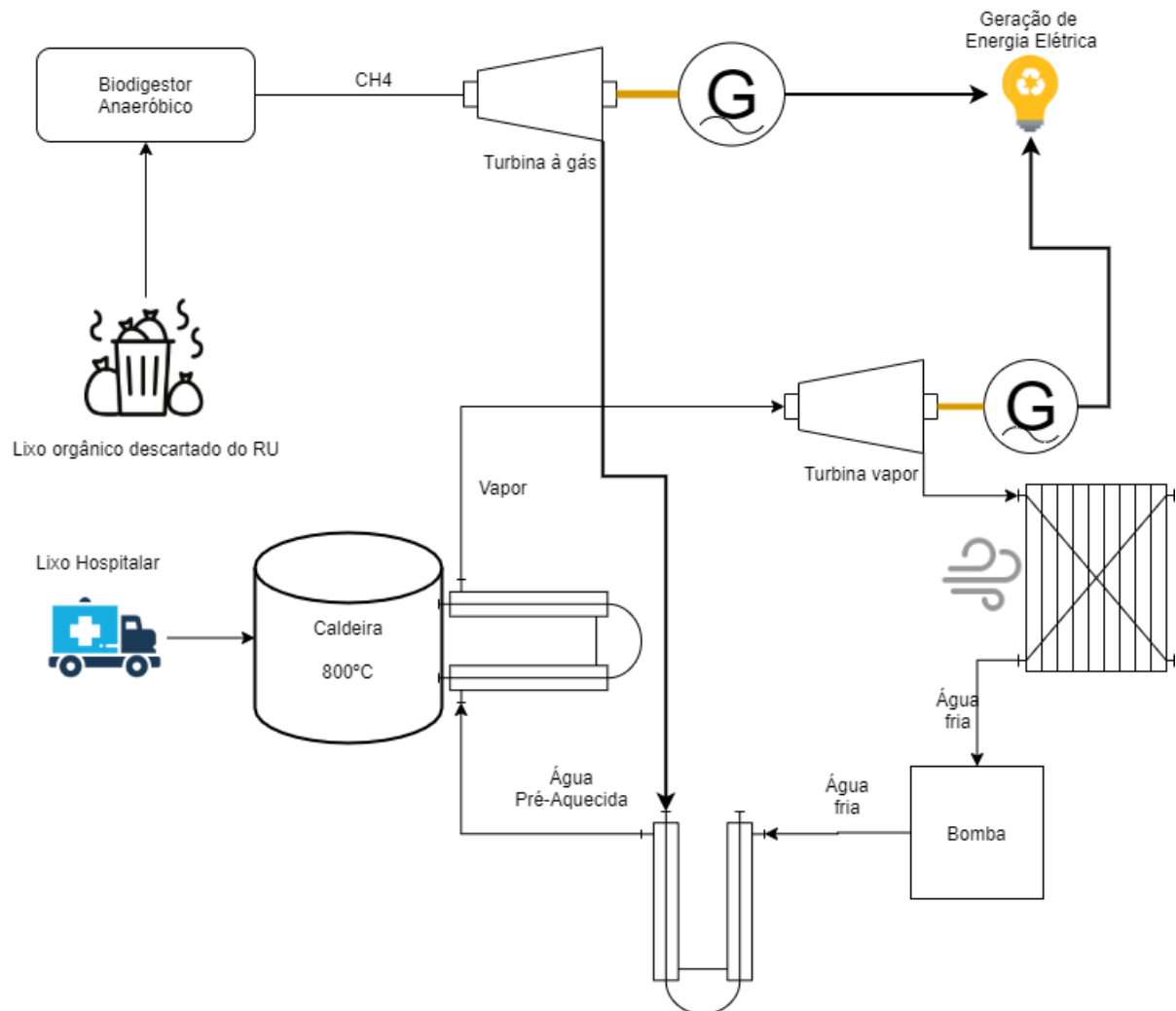
Nos resultados é calculada a capacidade de geração do biodigestor e a capacidade de geração do incinerador, com o intuito de levantar a quantidade de kWh que a usina será capaz de produzir, além disso, também é dimensionado o tamanho do biodigestor e a potência da usina híbrida em kW. Por meio dos resultados obtidos, é feita uma discussão comparativa com o consumo de um dos setores do campus e é sugerido uma localização para a implantação da usina híbrida.

No último capítulo deste trabalho é feita a conclusão sobre os objetivos que foram alcançados e são sugeridas propostas para trabalhos futuros.

2 METODOLOGIA

O objeto de estudo deste trabalho está localizado no campus da Cidade Universitária da UFMS, na cidade de Campo Grande-MS. Pretende-se analisar a viabilidade de instalação de uma usina híbrida que aproveite os rejeitos do RU e do HU, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Esquemático da Usina Híbrida proposta



Fonte: Autora.

Foi coletada uma previsão de alunos que utilizam o RU com o intuito de estimar a capacidade de produção de biogás a partir biodigestores anaeróbicos. O tipo de biodigestor escolhido foi o canadense, seguindo a metodologia apresentada no artigo (ARAÚJO, 2017).

Por sua vez, os dados coletados do HU dizem respeito à quantidade (kg) de resíduos infectantes descartados pelo mesmo mensalmente. Esses dados serviram como base para o cálculo da energia elétrica em kWh que pode ser gerada a partir da incineração deste material.

Sobre a coleta dos dados que aqui serão expostos, a UFMS disponibilizou o acesso às faturas completas de energia elétrica do campus nos últimos 3 anos até julho de 2020. Vale comentar que o campus da Cidade Universitária da UFMS é subdividida em 6 setores, dos quais será escolhido o que abrange maior área, desta forma os dados aqui apresentados serão referentes ao setor 1.

A partir da análise dos dados fornecidos, espera-se obter em kWh a quantidade de energia elétrica que o campus é capaz de gerar por meio do uso de biogás combinado com incineração destes resíduos descartados. O intuito é analisar se é possível dimensionar uma usina híbrida no campus com capacidade de dar autonomia energética plena ou parcial ao mesmo.

2.1 Descrição dos dados fornecidos pelo HU

O HU disponibilizou para este trabalho os dados apresentados na Tabela 1 referente aos 8 primeiros meses de 2019.

Tabela 1 – Resíduos infectantes hospitalares descartados pelo HU nos primeiros 8 meses do ano de 2019

Meses de 2019	A(Lixo Infectante) (kg)	A-3(Peças Anatômicas) (kg)	B(Resíduos Químicos) (kg)	E(Resíduos Perfurocortantes) (kg)	TOTAL MENSAL (kg)
Janeiro	10642	137,5	304,5	1005	12089
Fevereiro	9863	29	318	883	11093
Março	10877	250	327,5	1015	12469,5
Abril	12036	148	707,5	976	13867,5
Maiο	11559	171	335	955	13020
Junho	10061	294,5	349	829	11533,5
Julho	10321	214,5	492	1010	11823
Agosto	9163	433,5	256	851,5	10704
TOTAL	84522	1463,5	3089,5	7524,5	
MÉDIA ARITMÉTICA					12075

Considerando que esses 4 tipos de resíduos seguindo as normas (ANVISA, 2004) e (CONAMA, 2002) vigentes no Brasil permitem a incineração dos mesmos como método de tratamento destes RSS¹. É proposta neste trabalho a queima destes com o intuito de gerar energia elétrica.

¹ Resíduos de Serviços de Saúde

Para a estimar a quantidade em kWh que o resíduos infectantes descartados do HU são capazes de gerar por mês, necessita-se usar PCI² equivalente para cada tipo dos resíduos aqui expostos. Buscando na literatura, encontrou-se, para os RSS do tipo A (e seus subgrupos) e do tipo E após passar por um tratamento de desativação eletrotérmica, o poder calorífico de 5872,5 kcal/kg (MARTINI, 2016). Já para os resíduos do tipo B, por falta de acesso a esse valor específico, foi adotado o valor genérico utilizado para representar o poder calorífico dos resíduos hospitalares equivalente a 5200 kcal/kg (SOARES, 2012). Para facilitar os cálculos sendo ambos os valores de PCI encontrados próximos e tratando-se do mesmo grupo de resíduos, foi adotado o valor médio de 5588,2 kcal/kg como o fator f_{RSS} utilizado no cálculo da capacidade de produção de energia elétrica referentes ao resíduos descartados pelo HU.

Sabendo que 1 Wh equivale a 3,6 kJ, é possível converter a massa de resíduos produzidos pelo hospital em um valor energético equivalente para a estimativa de produção de energia elétrica. Para esta estimativa, também é necessário considerar a eficiência do ciclo térmico de Rankine, que chega a 30%, que é o ciclo térmico de combustão externa mais usual, e a eficiência da caldeira que fica entre 65% e 75% (SECAMAQ, 2018). Dessa forma, a energia produzida será calculada a partir da equação (2):

$$E_{HU} = \eta_{Rankine} \times \eta_{Caldeira} \times \left(\frac{f_{RSS} \times (A + A_3 + B + E)}{3,6} \right) \quad (2)$$

Para:

- E_{HU} = Energia em kWh produzida pelo HU.
- Eficiência ciclo Rankine = 30%.
- Eficiência média da caldeira = 70%
- A = Resíduos infectantes tipo A em kg.
- A_3 = Resíduos infectantes tipo A_3 em kg.
- B = Resíduos infectantes tipo B em kg.
- E = Resíduos infectantes tipo E em kg.
- f_{RSS} = PCI dos resíduos sólidos de saúde em MJ/kg.

Necessária transformação do f_{RSS} obtidos em kcal para MJ, logo:

- $f_{RSS} = 5588,2 \text{ kcal/kg} = 23,4 \text{ MJ/kg}$

² Poder Calorífico Inferior

2.2 Descrição dos dados fornecidos sobre o RU

O campus da cidade universitária conta com um total de 14317 alunos matriculados e, deste total, 8526 acadêmicos estão cadastrados no sistema de gestão de bolsas que os torna aptos para usar o RU. A média diária de refeições em período letivo fica em torno de 1800 a 2000, incluindo dentro desses valores, almoço e jantar. Com base nisso, o volume de resíduos orgânicos descartados foi estimado ao longo do ano.

Seguindo a metodologia realizada em (ARAÚJO, 2017), primeiro será calculada a média de resíduos sólidos por acadêmicos $R_{sólidos}$:

$$R_{sólidos} = \frac{RSD}{N_{acadêmicos}} \quad (3)$$

Para $R_{sólidos}$, a média de resíduos sólidos orgânicos descartados por acadêmico em kg/dia, RSD os resíduos sólidos orgânicos descartados em kg/dia e $N_{acadêmicos}$ o número de acadêmicos que frequentam o RU baseando-se no número de refeições diárias, observando que cada acadêmico tem direito a almoço e jantar.

Para o próximo passo será usada a fórmula presente em (PINTO; POVINELLI, 2000), para a determinação do peso total da mistura diária que alimentará o Biodigestor:

$$PTMD = ST_s + ST_i + NaCO_3 + m_{H_2O} \quad (4)$$

Sendo $PTMD$ o peso total da mistura diária dado em kg, ST_i os sólidos totais do inóculo dado em kg e ST_s os sólidos totais do substrato dado em kg, $NaCO_3$ representando o tamponamento em kg e m_{H_2O} a quantidade de água na mistura dada em kg. Para conseguir os fatores que compõem esta equação foram usadas as seguintes expressões:

$$S_i - FI = 0,2 \quad (5)$$

Expressão vinda do rearranjo da equação (1), no qual S_i representa a quantidade em kg de inoculante que será necessário e FI o fator de inoculação.

$$Tamponamento(NaCO_3) = 0,06 \times ST_i \quad (6)$$

Para $0,06$ (kg/kg) = fator que relaciona o tamponamento com o inoculante.

$$Umidade_{(H_2O)} = 0,58 \times ST_i \quad (7)$$

Para $0,58$ L/kg = fator que relaciona o percentual de H_2O com o teor de umidade encontrado na matéria orgânica.

É necessário determinar o volume diário em m^3 da mistura, visto que o abastecimento do biodigestor será contínuo. A equação (18) baseada na apresentada em (ARAÚJO,

2017) contempla esta necessidade. Para a determinação do volume ocupado pela mistura em m³, considerou a densidade de cálculo no valor de 1 g/ml. (ARAUJO, 2017).

$$V_{diário} = \frac{PTMD}{\rho_{H_2O}} \quad (8)$$

Sendo $V_{diário}$ o volume diário ocupado pela mistura no biodigestor dado em m³, PTMD o peso total da mistura diária dado em kg e ρ_{H_2O} é a densidade em kg/m³.

O cálculo do volume do biodigestor deve ser suficiente para ocupar não só a quantidade da mistura durante o tempo de detenção hidráulica, como também o volume ocupado pelos gases produzidos ao longo da digestão anaeróbica. A equação (9) será usada para estimar o tamanho do biodigestor em m³.

$$V_{Biodigestor} = (V_{diário} \times TDH) \times (1 + f) \quad (9)$$

Sabendo-se que $V_{Biodigestor}$ representa o volume do biodigestor em m³, $V_{diário}$ o volume da mistura (resíduos orgânicos + água) em m³/dia, TDH o tempo de Detenção Hidráulica em dias, que para o caso de resíduos orgânicos será adotado 20 dias seguindo (BARCELOS, 2009) e f sendo o fator do volume da mistura ocupada pelos gases produzidos que seguindo a referência (ARAUJO, 2017) será adotado o valor de 0,3.

Para o cálculo da produção de gás metano em m³ usa-se a seguinte equação (10).

$$V_{CH_4} = \frac{R_{sólidos} \times STV \times 400}{1000} \quad (10)$$

Sendo o V_{CH_4} o valor diário de gás metano produzido em m³, a porcentagem média de STV^3 (a quantidade em kg de resíduo a ser degradado) que serão escolhidos a partir do tipo de inóculo que será usado. Adotando-se o exposto em (FERREIRA, 2015), em que 1 tonelada de SV produz cerca de 400m³ de metano em condições normais de pressão e temperatura..

Para realizar o cálculo da quantidade de energia elétrica em Wh que o RU é capaz de produzir por dia, primeiro será determinado a energia térmica presente no metano em kcal/dia e a potência elétrica em kW como o feito na análise de (LIMA; PASSAMANI, 2012):

$$E_t = (Q_{biogás} \times t_{CH_4}) \times PCI_{CH_4} \quad (11)$$

Sendo E_t a energia térmica disponível no biogás em kcal/dia, $Q_{biogás}$ a vazão média do biogás medida em m³/dia, PCI_{CH_4} o poder calorífico inferior do metano em kcal/m³, que será adotado o PCI equivalente de aproximadamente 21,6 MJ/m³ (EPE, 2014) e t_{CH_4} o teor de metano na composição do biogás após purificação.

³ Sólidos Totais Voláteis

Com a energia térmica encontrada é possível encontrar a energia elétrica que o biogás é capaz de gerar, lembrando que este valor dependerá da eficiência da tecnologia de conversão empregada e do gerador utilizado (LIMA; PASSAMANI, 2012). A potência elétrica do biogás será encontrada seguindo a seguinte equação (12)

$$P_{Biogás} = \frac{E_t \times \eta \times \eta_G}{86400} \quad (12)$$

$P_{Biogás}$ a potência elétrica do biogás em kW, η a eficiência da tecnologia de conversão empregada, η_G o rendimento do gerador e 86400 o fator de conversão de dias para segundos.

Por fim, a energia elétrica em kWh/dia gerada a partir da tecnologia de conversão escolhida será dada pela seguinte expressão (13):

$$E_{RU} = P_{Biogás} \times t \quad (13)$$

Para: E_{RU} a energia elétrica gerada em kWh/dia, $P_{Biogás}$ a potência elétrica do biogás produzido no RU e t o tempo de operação do motor em h/dia.

Vale comentar que, devido à pandemia, mudanças de contrato e a falta de acesso a informação, o valor em kg/dia da quantidade de resíduos sólidos orgânicos descartados pelo RU da UFMS não pode ser coletado experimentalmente como inicialmente se foi pensado. Portanto, seu valor foi estimado a partir dos valores conhecidos provindos dos resultados experimentais da literatura usada neste trabalho. Para a realização das equações aqui apresentadas, foi realizada uma média aritmética diária da quantidade em kg dos resíduos sólidos orgânicos descartados por restaurantes universitários no Brasil que foram apresentados nos resultados dos seguintes estudos experimentais:

- RU - UFU 280 kg/dia (ARAUJO, 2017);
- RU - UNB 1247 kg/dia (LUSTOSA, 2014);
- RU - UFMG 337 kg/dia (FERREIRA, 2015).

2.3 Descrição dos dados de consumo de energia elétrica da UFMS

Dentre as informações obtidas acerca do faturamento dos 6 setores da UFMS nos últimos 3 anos, foi escolhido o setor que engloba a maior região para comparação com a energia elétrica em kWh que a usina híbrida pode gerar. Dito isso, o setor escolhido foi o setor 1 Tabela 2 e foi apresentado o consumo medido na ponta e fora da ponta e a demanda medida na ponta e fora da ponta no ano de 2019. Vale lembrar que o setor 1 é o único setor da universidade que tem o tipo tarifário azul.

Tabela 2 – Setor 1 Cidade universitária

Data	Medido consumo ponta (kWh)	Medido consumo fora ponta (kWh)	Medido demanda ponta (kW)	Medido demanda fora ponta (kW)
jan/19	20707	281450	538	1306,6
fev/19	29836	343275	665,3	1319,2
mar/19	45102	365256	1095	1863,5
abr/19	49273	405235	1115,1	1799,3
mai/19	43034	363988	1049,6	1502
jun/19	36692	294456	946,3	1324,3
jul/19	23281	216430	635	1014,3
ago/19	34557	278715	811,4	1326,8
set/19	53644	399173	1279	1929
out/19	46293	371087	1113,8	1842,2
nov/19	53072	434993	1362	2055
dez/19	43622	384703	1219,7	1837

3 RESULTADOS

3.1 Resultados referente ao HU

A partir da equação (2) e da Tabela 1, foi possível extrair os valores encontrados na Tabela 3 que dizem respeito à capacidade de geração de energia elétrica em kWh que a incineração dos resíduos infectantes descartados pelo hospital nos primeiros 8 meses do ano de 2019 poderia produzir. Em média, a incineração dos resíduos infectantes descartados pelo HU mensalmente pode gerar 16482,3 kWh de energia elétrica por mês.

Tabela 3 – Valor mensal de geração em kWh por incineração

Meses do Ano	Resíduo Infectante Total Descartado em kg	Energia em kWh
Janeiro	12089	16501,5
Fevereiro	11093	15142
Março	12469,5	17021
Abril	13867,5	18929,1
Maio	13020	17772,3
Junho	11533,5	15743,2
Julho	11823	16138,4
Agosto	10704	14611

3.2 Resultados referentes ao RU

O modelo de biodigestor escolhido para compor a usina híbrida foi o modelo Canadense por apresentar, segundo os estudos de viabilidade econômica (CALZA et al., 2015), o maior custo-benefício, sendo esse um biodigestor de fácil construção e operação com menor custo quando comparado com os outros dois modelos, independentemente de sua capacidade. A eficiência adotada para este tipo de biodigestor será de 70,5%, valor equivalente a média do intervalo de 54 a 87% comentado em (ARAUJO, 2017).

Para a realização das equações apresentadas na seção Descrição dos dados fornecidos sobre o RU, a média aritmética encontrada dos resíduos sólidos orgânicos descartados pelo RU da UFMS foi de aproximadamente 621,3 kg/dia. Com isso, o valor $R_{sólidos}$ apresentado na equação (3), será $R_{sólidos} = 621,3$ kg/dia. Esse valor será usado no dimensionamento do biodigestor para fazer a compensação da variação semanal, considerando o baixo fluxo aos sábados e fechamento aos domingos e feriados.

Para encontrar o peso total da mistura diária que irá alimentar o biodigestor, foi calculado primeiro através da equação (5) o inoculante (S_i):

$$S_i = \frac{621,3 \times 0,2}{1 - 0,2} = 155,3 \text{ kg} \quad (14)$$

O inóculo escolhido foi o esterco das capivaras por ser uma espécie de mamífero típica da região e que habita o campus da cidade universitária. Apesar de não ter na literatura um

estudo específico sobre esse tipo de esterco, neste trabalho foi considerado como semelhante às propriedades já estudadas do esterco bovino (PINTO; POVINELLI, 2000), devido à alimentação dos mesmos serem semelhantes.

Após encontrado o inóculo, o próximo passo é achar a quantidade de tamponamento em kg a partir da equação (6):

$$Tamponamento(\text{NaCO}_3) = 0,06 \times 155,3 = 9,3 \text{ kg} \quad (15)$$

A quantidade de água que será necessária colocar na mistura vem da equação (7):

$$Umidade_{(\text{H}_2\text{O})} = 0,58 \times 155,3 = 90 \text{ kg} \quad (16)$$

A partir desses valores encontrados é possível, então, calcular o peso total da mistura diária em kg que será depositada no biodigestor, a seguir a equação (4):

$$PTMD = 621,3 + 155,3 + 9,3 + 90 = 876 \text{ kg} \quad (17)$$

Com o peso total da mistura diária, é possível dimensionar o volume que esta ocupará diariamente no biodigestor a partir da equação (18). Para essa determinação, considerou-se a densidade de cálculo no valor de 1 g/ml. Se a densidade for superior ao valor considerado, o valor obtido será superior ao real, sendo esse volume adicional utilizado como um referencial da utilização e demanda do biodigestor. Com a equação (18) obteve-se:

$$V_{diário} = \frac{876}{1000} = 0,876 \text{ m}^3/\text{dia} \quad (18)$$

Para calcular o tamanho do biodigestor, é necessário, primeiro, determinar o tempo de detenção hidráulica da mistura. Neste trabalho foram adotados 20 dias consecutivos para o valor de TDH (BARCELOS, 2009) e o fator que representa o volume da mistura ocupada pelos gases produzidos, foi adotado o valor de 0,3 (ARAÚJO, 2017). Seguindo a equação (9), tem-se:

$$V_{Biodigestor} = (0,876 \times 20) \times (1 + 0,3) = 22,8 \text{ m}^3 \quad (19)$$

Com o tipo de biodigestor que fará parte da usina híbrida escolhido e dimensionado, agora serão apresentados os resultados referentes à produção de biogás que ocorrerá dentro do mesmo. Considerando porcentagem de SVT para inóculo de esterco bovino de 84,5% (PINTO; POVINELLI, 2000), encontrou-se o seguinte valor de CH_4 produzido em m^3 (10):

$$V_{\text{CH}_4} = \frac{621,3 \times 0,845 \times 400}{1000} = 210 \text{ m}^3/\text{dia} \quad (20)$$

Após calculado o valor diário de produção de metano em m^3 , é possível estimar a energia térmica resultante dessa produção seguindo a equação (11), adotando 52,5% o teor

médio de metano presente no biogás, visto que a faixa de concentração do mesmo após processo de purificação fica entre 35 a 70% (KUNZ, 2019) e utilizando o poder calorífico do metano de $21,6 \text{ MJ/m}^3$ ($5162,5 \text{ kcal/m}^3$):

$$E_t = (210 \times 0,525) \times 5162,5 = 569165,6 \text{ kcal/dia} = 2381389 \text{ kJ/dia} \quad (21)$$

Considerando a eficiência da turbina a gás para ciclo combinado de aproximadamente 55% (ZERBINI, 2017) e eficiência média do gerador de 87% (LIMA; PASSAMANI, 2012), a potência elétrica do biogás calculada foi:

$$P_{\text{Biogás}} = \frac{2381389 \times 0,55 \times 0,87}{86400} = 13,2 \text{ kW} \quad (22)$$

Com a potência elétrica calculada, estimou-se a energia elétrica em kWh/dia, considerando o tempo de operação da turbina a gás de 24 h/dia:

$$E_{RU} = 13,2 \times 24 = 317 \text{ kWh/dia} \quad (23)$$

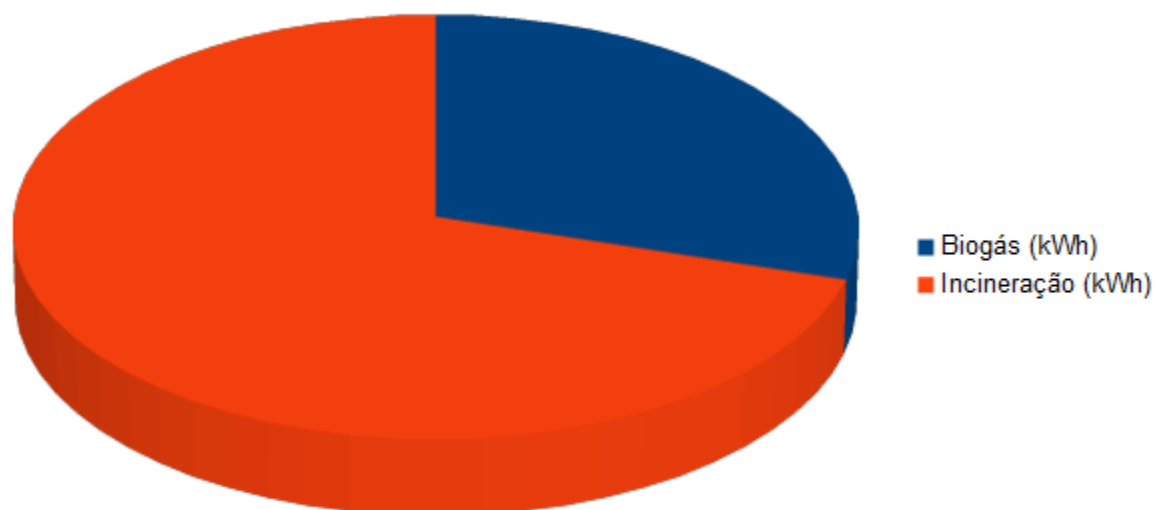
3.3 Comparação entre consumo e capacidade de produção

Com base nos dados fornecidos e na eficiência do ciclo combinado para as fontes de calor apresentadas, foi obtida a quantidade de energia total gerada, conforme Tabela 4. Considerando a energia elétrica teórica calculada por dia no RU como constante e multiplicando por 22 dias para obter o valor mensal em kWh, considerando como nula a contribuição dos resíduos sólidos orgânicos aos sábados devida baixa adesão dos alunos, inatividade do RU aos domingos e os valores reais calculados na Tabela 3 referente aos resíduos infectantes hospitalares até o mês de agosto de 2019 obteve-se a Tabela 4.

Tabela 4 – Energia Elétrica em kWh da Usina Híbrida

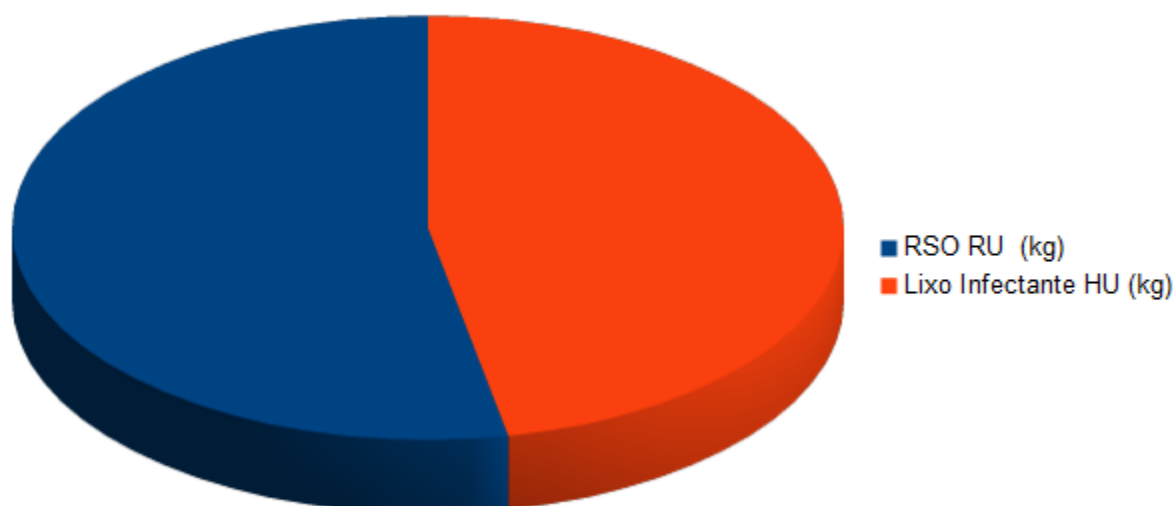
Data	Energia pelos resíduos do RU (kWh)	Energia pelos resíduos do HU (kWh)	Energia Total (kWh)
jan/19	6974	16501,5	23475,5
fev/19	6974	15142	22116
mar/19	6974	17021	23995
abr/19	6974	18929,1	25903,1
mai/19	6974	17772,3	24746,3
jun/19	6974	15743,2	22717,2
jul/19	6974	16138,4	23112,4
ago/19	6974	14611	21585

Figura 9 – Gráfico comparativo referente a energia elétrica gerada pela parcela da biodigestão anaeróbica e a pela parcela da incineração



Fonte: Autora.

Figura 10 – Gráfico comparativo referente a massa média mensal em kg do RU e do HU

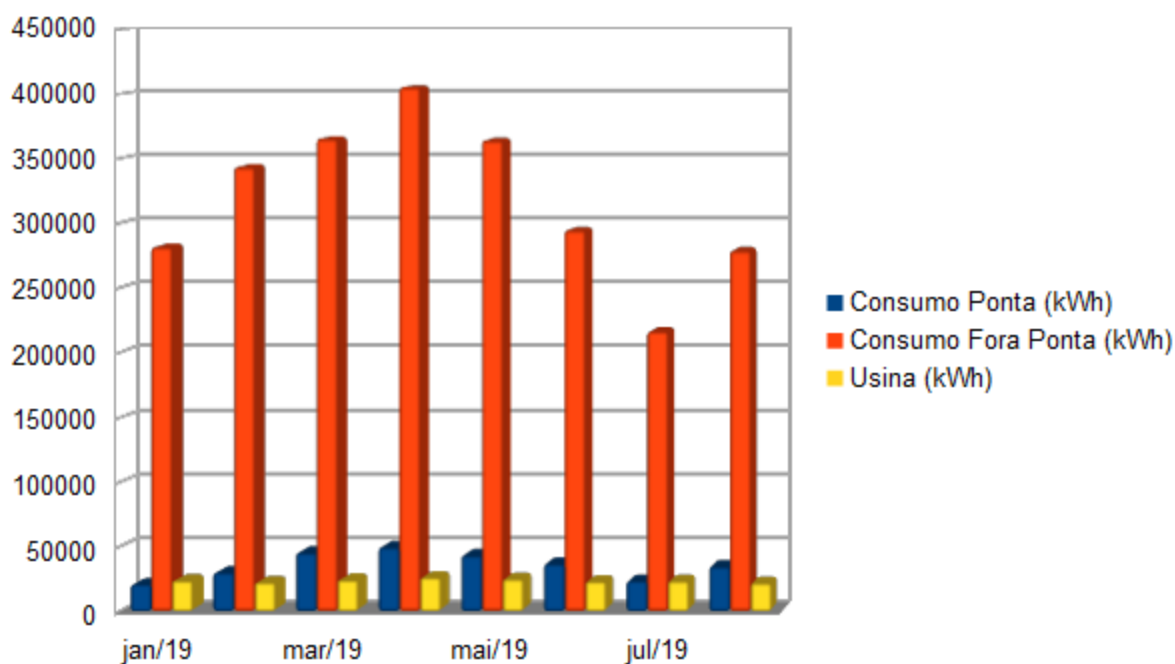


Fonte: Autora.

O valor médio mensal que a usina híbrida é capaz de produzir de acordo com os dados da Tabela 4 é de 23456,3 kWh.

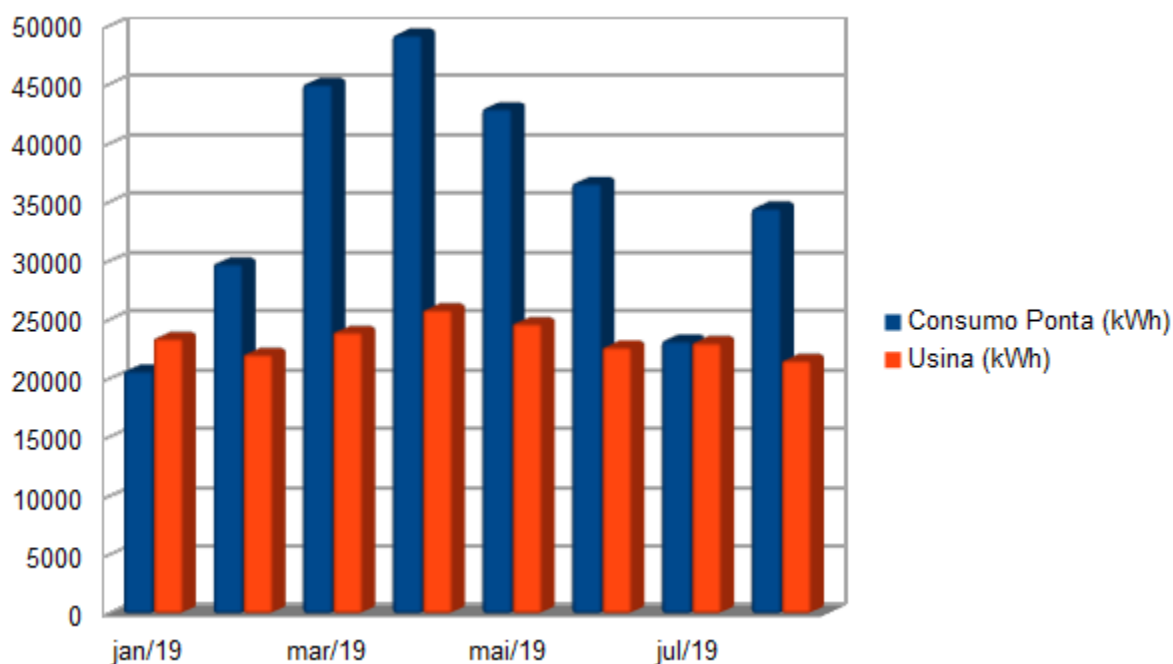
Calculando a média dos valores da coluna de energia total da usina híbrida em kWh, tem-se 23456,3 kWh da Tabela 4, comparando este valor com a média das colunas de consumo na ponta e fora da ponta da Tabela 2, 59889,1 kWh e 517345,1 kWh, respectivamente, é possível concluir que a usina híbrida proposta seria capaz de suprir cerca de 39,2% do consumo no horário de ponta do setor 1 e 4,5% do consumo no horário fora de ponta e ainda observar na Figura 11 é possível que a capacidade de produção de energia elétrica em kWh da usina híbrida proposta é capaz de compensar parcialmente o consumo total do setor 1 durante os 8 primeiros meses de 2019 e, além disso, Figura 12 durante o horário de ponta a usina fornece quase 40% da energia consumida durante esse período.

Figura 11 – Comparação da produção em kWh da usina híbrida e o consumo do setor 1



Fonte: Autora.

Figura 12 – Comparação da produção em kWh da usina híbrida e o consumo do setor 1 no horário de ponta



Fonte: Autora.

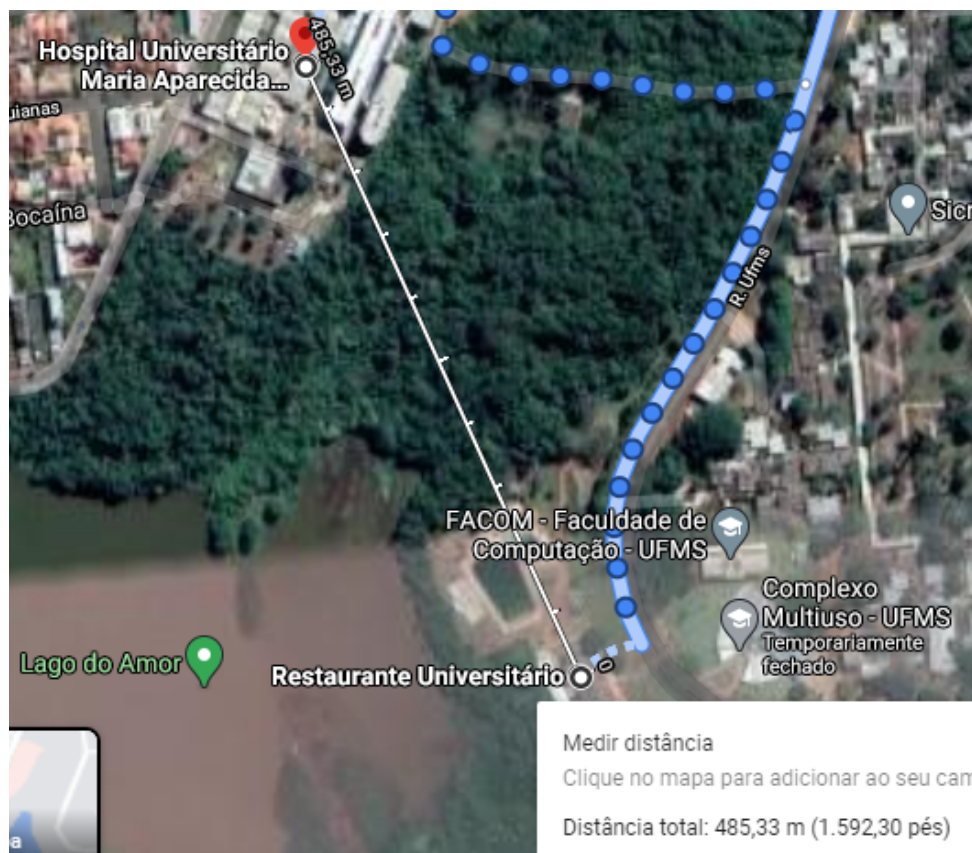
3.4 Dimensionamento da potência necessária para a usina híbrida

Os resíduos do RU passarão primeiramente por um biodigestor do tipo canadense para a conversão da biomassa em biogás. Vale ressaltar que o gasômetro presente no biodigestor ajuda na regulação do volume de biogás. Considerando que não há interesse em armazenar biogás por muitos dias, então o gás (CH_4) será queimado no mesmo mês em que foi produzido, mas a armazenagem é suficiente para a escolha do melhor horário para a produção de energia. Desse modo, a energia poderá ser produzida no horário que for mais conveniente do ponto de vista técnico ou econômico. O horário escolhido foi o enquadrado dentro do considerado fora de ponta, por conta da produção do biogás necessitar de altas temperaturas encontradas durante o dia no período entre 10h às 16h no estado do Mato Grosso do Sul.

A capacidade de produção de energia elétrica teórica da usina híbrida de ciclo combinado proposta neste trabalho terá uma potência estimada de aproximadamente 23456,3 kWh, dividindo esta energia média por 730 h, número equivalente a quantidade de horas presentes em 1 mês, tem-se uma usina híbrida de 32,1 kW.

Com relação ao local para a implantação da usina híbrida no campus, propõe-se que esteja próximo ao HU e ao RU Figura 13 com o intuito de evitar o transporte de material infectante dentro do campus.

Figura 13 – Distância entre o Hospital Universitário e o Restaurante Universitário da UFMS



Fonte: Google Maps.

A respeito da conexão da usina híbrida à rede elétrica, como a mesma possui potência inferior a 75kW potência essa que se enquadra em microgeração de acordo com a resolução 482 da ANEEL, pode ser conectada a rede elétrica em baixa tensão.

É importante ressaltar que como não haverá na prática, resíduos orgânicos diários descartados pelo RU, visto que o mesmo não funciona durante todos os dias da semana e não possui um fluxo fixo de frequentadores. Da mesma forma o intuito é incinerar todo lixo infectante hospitalar diariamente, evitando armazenamento mensal. Esses dois fatores podem contribuir para a diminuição da produção de energia em 24 horas, mas ainda assim é uma alternativa sustentável e eficiente do ponto de vista energético.

4 CONCLUSÃO

Foi realizada uma revisão bibliográfica e tecnológica relacionada à produção de energia a partir de resíduos sólidos descartados tanto no âmbito geral como os resíduos destinados a aterros sanitários até a destinação final de resíduos infectantes hospitalares. Nesta revisão, foi possível identificar a preocupação ao longo dos últimos anos em redirecionar esses resíduos descartados para atividades que rendessem menos impacto ambiental e agrega-se eficiência energético, visto que através de estudos constatou-se que a parcela orgânica desses resíduos possui valor energético e processos como biodigestão anaeróbica e incineração dos mesmos é capaz de produzir energia elétrica, devido a alta concentração de gás metano podendo chegar a 70%. Durante a revisão bibliográfica, observou-se que processos de análise da eficiência entre os processos de biodigestão anaeróbica e incineração em ciclo combinado ou separados vem ganhando a atenção dos pesquisadores na área de eficiência energética e energia renováveis. A respeito do uso de biodigestores para produção do biogás foi observado que parte da bibliografia usava a tecnologia do motor de combustão interna à ciclo Otto para conversão deste gás em energia elétrica ao invés de turbinas a gás por questões econômicas, visto que apesar da alta eficiência das turbinas a gás 55 a 58% para ciclo combinado seu custo benefício dependendo do tamanho da instalação não foi visto como vantajoso. Porém neste trabalho manteve-se a ideia de uma usina híbrida utilizando turbina a gás.

Acerca dos dados requeridos para este estudo foi possível ter acesso a quantidade em kg de lixo infectante hospitalar descartados pelo HU, e a partir disso fazer o cálculo da energia elétrica em kWh que o mesmo é capaz de produzir. Durante a realização deste trabalho foi possível ter acesso a fatura de energia elétrica do campus da Cidade Universitária com seus 6 setores dos quais, para modo de comparação foi apresentado neste trabalho o maior setor entre eles, setor 1. Os resultados da comparação foram que a usina é capaz de suprir 39,2% da energia consumida pela mesmo durante o horário de ponta e 4,5% da energia consumida durante seu funcionamento no horário fora de ponta. Apenas os dados referentes a quantidade em kg de resíduos sólidos orgânicos descartados pelo RU devido à pandemia não puderam ser experimentalmente encontrados e, portanto, foi usada a média dos resíduos sólidos orgânicos descartados por 3 trabalhos das referências que dizem respeito a restaurantes universitários.

No dimensionamento preliminar da usina híbrida, uma boa alternativa para diminuir a fatura de energia elétrica paga pelo campus e que serve de incentivo para a geração distribuída com fontes de energias limpas, foi possível dimensionar o tamanho do biodigestor em m^3 obtendo um biodigestor do tipo canadense de $22,8 m^3$. Para o dimensionamento do biodigestor foi usado o $PTMD = 876 kg$ que equivale a soma das quantidades em kg também calculados de $621,3 kg$ de resíduos orgânicos descartados diariamente no RU, $155,3 kg$ de inóculo que o trabalho propõe que seja esterco de capivara, $9,3 kg$ de $NaCO_3$

para o tamponamento do biodigestor e 90 kg de água para misturar com quantidade de resíduos orgânicos descartados. Com o peso total da mistura diária dividido pela densidade da água obteve-se o volume médio diário de $0,876 \text{ m}^3/\text{dia}$ que multiplicado pelo tempo de detenção hidráulica de 20 dias para matéria orgânica e o fator de tabelado da porcentagem do volume do biodigestor que será ocupada pelo gás produzido resultou no tamanho do biodigestor citado. O valor diário de produção de metano calculado foi de $210 \text{ m}^3/\text{dia}$, a energia térmica desta produção chegou a $2381389 \text{ kJ}/\text{dia}$. A usina híbrida chegou na potência elétrica de $32,1 \text{ kW}$ levando-se em conta o funcionamento da turbina a gás durante 30 dias, mas como isso não ocorrerá na prática a potência contando com a turbina a gás funcionando 24h por 22 dias e a turbina a vapor funcionando 24h por 30 dias chega-se a uma potência de aproximadamente 35 kW , sendo desse total $13,2 \text{ kW}$ oriundo do biogás. A união de dois modos de tratamento de resíduos descartados por meio da implantação de uma usina híbrida com ciclo combinado se mostrou eficiente na produção de potência elétrica.

Com base no estudo teórico da produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbica dentro dos biodigestores e dos cálculos obtidos nos resultados deste trabalho, pode-se concluir quanto ao funcionamento da usina híbrida, ciente de que o foco deste trabalho não inclui o armazenamento da energia gerada, que a usina deve funcionar dentro do horário fora de ponta, pois é o período do dia em que mais há radiação solar e temperaturas elevadas, o que acelera a conversão da biomassa em biogás. Ainda concluindo acerca do não armazenamento de energia a caldeira, local onde será queimado os resíduos infectantes hospitalares, deve ser alimentada diariamente por esses resíduos. Ajudando assim a evitar o acúmulo desses resíduos pelo campus da Cidade Universitária.

Proposta para estudos futuros: fazer um estudo da viabilidade econômica, dimensionamento e posterior projeto da usina híbrida. Seria interessante também, uma análise experimental anual tanto dos resíduos descartados pelo RU quanto pelo HU aqui estudados, com intuito de conferir se a potência instalada aqui calculada de forma teórica corresponderá ao mesmo valor obtido experimentalmente. A partir daí caso seja necessário, projetar uma subestação específica para a usina antes de uma possível execução.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Boletim de Informações Gerenciais. mar 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+-+1%C2%BA+trimestre+de+2019/b860054f-79ec-6608-951a-fb2288701434?version=1.1>>.
- ANVISA. *Resolução Nº 306/2004, Regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde*. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2004. Disponível em: <<https://www20.anvisa.gov.br/segurancadopaciente/index.php/legislacao/item/rdc-306-de-7-de-dezembro-de-2004>>.
- ARAUJO, A. P. C. *Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico*. Tese (Graduação) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBiog%C3%A1sRes%C3%ADduos.pdf>>.
- ATLAS de energia elétrica do Brasil. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008. Num Pages: 1.
- BARCELOS, B. R. D. *Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos*. Tese (Mestrado) — Universidade de Brasília, Brasília, fev 2009. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/Beatriz_Rodrigues_de_Barcelos.pdf>.
- BORGES, D. V. *Avaliação da viabilidade de implementação de ciclo combinado em uma usina termelétrica*. Tese (Graduação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/27740>>.
- BOUALLAGUI, H. et al. Two-phases anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: bioreactors performance. *Biochemical Engineering Journal*, v. 21, n. 2, p. 193 – 197, 2004. ISSN 1369-703X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X04001287>>.
- CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. *Eng. Agríc.*, v. 35, n. 6, p. 990–997, dez 2015. ISSN 1809-4430.
- CASSINI S. T. ; COELHO, S. T. . P. V. *Biocombustíveis no Brasil: Fundamentos, Aplicações e Perspectivas*. 2014. Acessado: 2020-11-05. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-53-A-Eschema-de-concepcao-de-biodigestores-modelo-Indiano-B-Modelo-Chines_fig2_281411162/download>.
- CIDADES, M. das. *Próbiogas exemplo de usinas de aproveitamento de biogás no Brasil*. 2017. Acessado: 2016-07-26. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/probiogas-1>>.
- CONAMA. *Resolução Nº316/2002 Procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos*. 2002. Disponível em: <http://www.mp.go.gov.br/porta1web/hp/9/docs/rsulegis_12.pdf>.
- EPE. *Inventário energético dos resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, 2014. 50 p. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/>>

publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2018%20-%20%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos%20Urbanos%5B1%5D.pdf>.

FERREIRA, B. O. *Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás*. Tese (Mestrado) — UFMG, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1132M.PDF>>.

HAACK, S. C. *Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido baiano em economia*. Tese (Mestrado) — Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

KRETZER, S. G. et al. Produção de biogás com diferentes resíduos orgânicos de restaurante universitário. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, n. 4, nov 2016. ISSN 2237-9711.

KUNZ. *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato*. Airtton Kunz, Ricardo Luis Radis Steinmetz, André Cestonaro do Amaral (editores Técnicos), 2019. ISBN 978-85-938230-1-5. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197183/1/Livro-Biogas.pdf>>.

LIMA, A. C. G.; PASSAMANI, F. C. *Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator UASB da ETE-UFES*. Tese (Graduação) — Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. Disponível em: <http://www.engenhariaambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/avaliacao_do_potencial_energetico_do_biogas_produzido_no_reator_uasb_da_ete-ufes_reduzido.pdf>.

LUSTOSA, G. N. *Proposta de um biodigestor anaeróbio modificado para produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos sólidos orgânicos*. Tese (Graduação) — Universidade de Brasília, Brasília, dez 2014. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/12346/1/2014_GleidsonNeresLustosa_IcaroHendrixBorgesdeMedeiros.pdf>.

MARTINI, A. A. *Estudo de alternativa de valorização de resíduos de serviços de saúde advindos de processo de desinfecção por desativação eletrotérmica (ETD)*. Tese (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-06012017-110356/>>.

MOURA, J. P. D. Estudo das rotas tecnológicas para produção de biogás. *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 6, n. 6, p. 1184–1197, 2012. ISSN 2236-1170.

NETO, J. G.; SILVA, J. D. d.; PINHEIRO, I. G. Balanço de massa no tratamento de resíduos sólidos orgânicos provenientes de restaurantes em biorreator. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 491–499, mai 2017. ISSN 1809-4457, 1413-4152.

PINTO, D. M. C. L.; POVINELLI, J. *Avaliação da partida da digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos inoculados com percolado*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2000.

RODRIGUES, J. L. A. d. F. *Análise energética de ciclos combinados*. Tese (Graduação) — Universidade de Brasília, Brasília, jun 2004. Disponível em: <<http://bdm.unb.br/handle/10483/941>>.

SANTOS, F. S. D. *Alternativa de tratamento e disposição final para resíduos infectantes do hospital universitário Professor Polydoro Ernani de São Thiago*. Tese (Graduação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/204706>>.

SECAMAQ. *Eficiência térmica em caldeiras: saiba sobre a importância*. 2018. Acessado: 2020-12-03. Disponível em: <<https://www.secamaq.com.br/blog/eficiencia-termica-em-caldeiras/#:~:text=Sabe%2Dse%20que%20a%20efici%C3%Aancia,sem%20a%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia.>>

SEIXAS J.; FOLLE, S. M. D. *Construção e funcionamento de biodigestores*. Brasília: [s.n.], 1981. 60 p. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=742423&biblioteca=CPAC&busca=autoria:%22MARCHETTI,%20D.%22&qFacets=autoria:%22MARCHETTI,%20D.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>>.

SILVA, E. R. d.; TONELI, J. T. d. C. L.; PALACIOS-BERECHE, R. Estimativa do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos usando modelos matemáticos de biodigestão anaeróbia e incineração. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 24, n. 2, p. 347–357, abr 2019. ISSN 1809-4457, 1413-4152.

SOARES, F. R.; MIYAMARU, E. S.; MARTINS, G. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos – Caieiras. *Eng Sanit Ambient*, p. 11, out 2017.

SOARES, H. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, *Gerenciamento de Resíduos Sólidos*. Juiz de Fora: [s.n.], 2012. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Apostila_GRS_Cap2.pdf>.

SOUZA, A. R. d. et al. Análise do potencial de aproveitamento energético de biogás de aterro e simulação de emissões de gases do efeito estufa em diferentes cenários de gestão de resíduos sólidos urbanos em Varginha (MG). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, n. 5, p. 887–896, out 2019. ISSN 1809-4457, 1413-4152.

SOUZA, R. G. D. *Desempenho do conjunto motogerador adaptado a biogás*. Tese (mestrado) — Universidade Federal de Lavras (UFLA), LAVRAS, MINAS GERAIS, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3572/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Desempenho%20do%20conjunto%20motogerador%20adaptado%20a%20biog%C3%A1s.pdf>.

SOUZA, S. N. M. D. *Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural*. Cascavel, Paraná: [s.n.], 2016. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60627641/Manual_Geracao_Energia_Eletrica_Biogas20190917-6778-nxk7iq.pdf>.

STAMM, H. R. *Método para avaliação de impacto ambiental (AIA) em projetos de grande porte: Estudo de caso de uma usina termelétrica*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, fev 2003. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85357>>.

STUCHI, G. A. D. *Geração termelétrica: Principais componentes e tipos de centrais termelétricas*. Tese (Graduação) — Universidade de São Paulo, São Carlos, nov 2015. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-14032016-175537/>>.

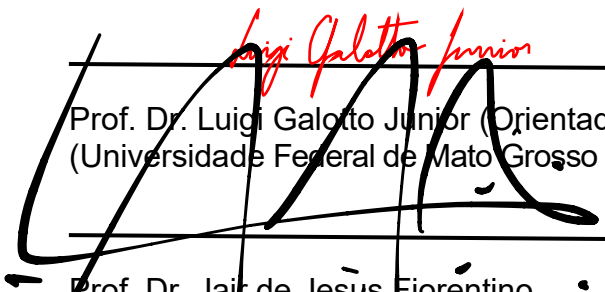
- TARINGA. *Que es un biodigestor y que es el biogas?* 2016. Acessado: 2020-11-05. Disponível em: <https://www.taringa.net/+ecologia/que-es-un-biodigestor-y-que-es-el-biogas-pasa-lince_hwnse>.
- TEPEDINO, A. L. F. *Simulação de alternativa de planta híbrida heliotérmica baseada em torres solares com uso de biogás*. Tese (Graduação) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, set 2019. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10029488.pdf>>.
- WANKE, B. dos S. L. *Análise de ciclos combinados com diferentes fluidos*. Tese (Graduação) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, mar 2019. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10028669.pdf>>.
- WWF. *Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico*. 2019. Acessado: 2020-05-11. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>.
- ZANETTE, A. L. *Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil*. Tese (mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, dez. 2009. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Andr%C3%A9_Luiz_Zanette.pdf>.
- ZERBINI, V. *Cogeração: Uso de motores e turbinas a gás / biogás e ciclos combinados*. São Paulo: [s.n.], 2017. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br/2017/arquivos/g11.pdf>>.

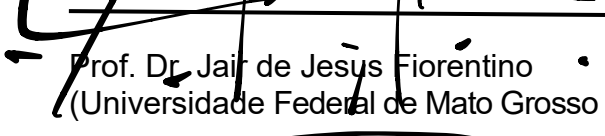


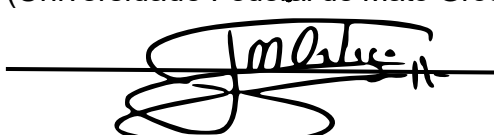
ATA DE AVALIAÇÃO

No dia 10 de dezembro de 2020, a acadêmica Vanessa Cristina de Oliveira Saher, RGA nº 2014.2103.048-9, defendeu em sessão pública o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Estudo de caso para dimensionamento de uma usina híbrida movida a biomassa e incineração no campus Cidade Universitária da UFMS” tendo sido considerada APROVADA.

Comissão Avaliadora:


Prof. Dr. Luigi Galotto Junior (Orientador)
(Universidade Federal de Mato Grosso do Sul)


Prof. Dr. Jair de Jesus Fiorentino
(Universidade Federal de Mato Grosso do Sul)


Prof. Dr. Jeferson Meneguim Ortega
(Universidade Federal de Mato Grosso do Sul)

Nota*:

AP

AP

AP

Média: _____

Situação: (X) **Aprovado**
Reprovado

() **Aprovado com restrições**

()

Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica (FAENG/UFMS):

Ciente, _____
Prof. Dr. Valmir Machado Pereira

*Cada membro da banca deverá atribuir nota individual de 0 (zero) a 10 (dez).



DECLARAÇÃO DE AUTORIA E RESPONSABILIDADE

Vanessa Cristina de Oliveira Saher, residente e domiciliado na cidade de Campo Grande, Estado de Mato Grosso do Sul, portador do RG de nº 2.026.194 e CPF nº 048.119.561-09, declaro que o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado, com o título “Estudo de caso para dimensionamento de uma usina híbrida movida a biomassa e incineração no campus Cidade Universitária da UFMS” é de minha autoria e assumo a total responsabilidade pelo seu conteúdo e pela originalidade do texto. Declaro que identifiquei e referenciei todas as fontes e informações gerais que foram utilizadas para construção do presente texto. Declaro também que este texto não foi publicado, em parte, na íntegra ou conteúdo similar em outros meios de comunicação, tendo sido enviado com exclusividade para a conclusão do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Campo Grande, 10 de dezembro de 2020.

Vanessa Cristina de Oliveira Saher

RGA 2014.2103.048-9

Curso de Engenharia Elétrica - UFMS