

GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE BIOGÁS DE DEJETOS BOVINOS – UM ESTUDO DE CASO

Caio Augusto Barbosa – caioaugustobarbosa@yahoo.com.br

Jorge Garms Cavlak – jorge.garms@hotmail.com

Sílvia Maria Velázquez (Orientadora) – silviamaria.velazquez@mackenzie.br

RESUMO

A grande extensão territorial do Brasil dificulta a implantação de redes de transmissão elétrica e de transporte, o que favorece a adoção de soluções locais para o suprimento de energia e de outros produtos. Por essa razão, é estratégico o incentivo ao desenvolvimento de tecnologias que utilizem fontes locais e renováveis de energia em pequena escala, possibilitando a descentralização do suprimento, diversificando a matriz elétrica e expondo menos a população aos riscos da variação de produção de energia das hidrelétricas em anos menos chuvosos. Neste contexto, este trabalho apresenta uma alternativa para a geração de energia a partir da coleta e tratamento dos dejetos provenientes da bovinocultura, visando à geração de biogás. O Brasil figura entre os maiores produtores de carne, sendo o maior exportador de carne bovina do mundo, e os dejetos desses animais devem ser destinados adequadamente, a fim de controlar problemas socioambientais. Um estudo de caso realizado na Fazenda Paraguaçu, em Mato Grosso, permitiu uma análise dos aspectos técnicos, econômicos e socioambientais da utilização dos dejetos coletados e tratados para obtenção de biogás, que pode ser convertido em energia térmica e elétrica, resultando ainda, como subproduto, o biofertilizante para ser aplicado na agricultura. A propriedade consome em média 300,9 MWh/ano, que poderão ser supridos pelo sistema caso venha a ser instalado, com payback de 4 anos.

ABSTRACT

The Brazilian great area extension makes it difficult to have electric network all over the country, the same goes to transportation. This situation gives advantages for local solutions of energy and other supplies. For that reason, it is strategical for the country to encourage

financially the development of technologies that uses renewable sources of energy in small scale, that will allow the decentralization of energy supply, and diversify the electric matrix of energy. This will also reduce the risks in the variation of produced energy in less rainy years. In this context, this work presents an alternative for the generation of energy by the utilization of bovine manure and production of biogas. Brazil is one of the biggest producers of meat, and the biggest exporter of bovine beef in the world, and the manure of this animals should be properly destined to avoid ambiental problems. A case study in the Paraguaçu farm located in Mato Grosso, allowed a technical, financial and socio environmental in the utilization of the collected and treated bovine manure for the production of biogas that should be used for energy production, and yet the biofertilizer that should replace chemical fertilizer in the farm. The property consumes in the media 300,9 MWh/year, and could be partially supplied by the installed system, and payed back within 4 years.

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica tornou-se uma das principais fontes de luz, calor e força utilizada nos tempos modernos, mostrando ser um insumo fundamental e um fator estratégico para o crescimento sustentável, tanto de países desenvolvidos quanto de países em desenvolvimento.

Segundo ANEEL (2019a), 60,26% da matriz elétrica brasileira é proveniente de potencial hidráulico, porém esta alta porcentagem apresenta desvantagens. Em 2001, por exemplo, o Brasil enfrentou uma grave crise energética, devido à falta de investimentos feitos no setor somada, principalmente, à estiagem prolongada, que reduziu drasticamente os níveis dos principais reservatórios de água no país. A falta de chuva gerou problemas também em 2002 e 2015 (ANEEL,2019b).

Existem outras opções de fontes renováveis de energia que podem diminuir a alta dependência hídrica da matriz brasileira, e uma delas é a energia produzida a partir de biogás. A decomposição da matéria orgânica tem sido estudada há vários séculos, e tem um papel fundamental, que permite o aproveitamento de um dejetos que seria descartado, para gerar biogás e biofertilizante (DEGANUTTI et al., 2002).

Em 2016, no Brasil, o efetivo de bovinos atingiu, segundo IBGE (2017), a marca de aproximadamente 218,23 milhões de cabeças, superior ao número de pessoas no país. Há uma grande quantidade de fezes geradas por esses bovinos e, por consequência, uma enorme

oportunidade de geração de energia a partir do biogás produzido pela digestão anaeróbica desses dejetos.

Neste cenário, observa-se um grande potencial de gerar economia, não somente para grandes produtores, mas para pequenos produtores, que são os que mais sofrem com o alto preço da energia brasileira que, segundo FIRJAN (2017), é a sexta mais cara do mundo.

O incentivo ao desenvolvimento de tecnologias que utilizem fontes renováveis de energia em pequena escala é estratégico para o país, pois possibilita a descentralização de fontes de suprimento, diversificando a matriz elétrica.

A grande extensão territorial do Brasil encarece e dificulta a implantação de redes de transmissão elétrica, o que favorece a adoção de soluções locais para o suprimento de energia e de outros produtos.

Neste contexto o objetivo deste estudo é apresentar a viabilidade técnica, socioeconômica e ambiental da utilização de biogás proveniente de dejetos bovinos para gerar energia térmica e elétrica, além de obter como resíduo do processo, o biofertilizante, por meio de um estudo de caso realizado na Fazenda Paraguaçu, localizada no Estado do Mato Grosso.

2 METODOLOGIA

Inicialmente foram apresentadas a situação do setor elétrico brasileiro e do setor pecuário. A seguir foram analisadas as propriedades do biogás, as tecnologias de obtenção do biogás e de conversão do mesmo em energia elétrica, além dos aspectos socioeconômicos e ambientais de sua utilização.

Por meio de um estudo de caso foram levantados dados a respeito do volume e das características das fezes bovinas disponíveis na fazenda Paraguaçu, e foi escolhido o local para a instalação do biodigestor. A seguir, foram identificados os biodigestores existentes no mercado e foi selecionado o equipamento que se mostrou mais adequado.

Foi estudada, também, a maneira mais prática e eficiente de conduzir os dejetos bovinos para biodigestor, o que levou à necessidade de pavimentar o pasto, para evitar que as fezes fossem conduzidas ao biodigestor misturadas com terra. A partir da estimativa do volume de biogás gerado, foi então selecionado o motor mais adequado para a produção de energia a partir da queima de biogás, além de verificada a possibilidade de obtenção e utilização do biofertilizante na fazenda. Por fim, foi realizada uma análise de retorno financeiro da instalação.

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 SITUAÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

O Brasil, segundo Firjan 2017, possui a sexta energia mais cara do mundo, sendo o custo desse insumo R\$ 402,26 por MWh (ENERGISA, 2019). Na matriz elétrica brasileira 80% da produção é proveniente de fontes renováveis, sendo a maior parte de hidroelétricas, que correspondem a 60,26% (ANEEL, 2019a).

A projeção de consumo de energia no Brasil para 2025 é de 677 mil GWh, tendo uma taxa média de aumento no consumo entre 2015-2025 de 3,8% ao ano. Em contrapartida, a geração de energia elétrica teve, entre 2016 e 2017, um aumento de apenas 1,6% (EPE, 2018). Tal diferença entre geração e consumo pode levar o Brasil a uma possível crise energética em um futuro próximo, caso este cenário não seja revertido.

O setor Agropecuário, segundo EPE (2018), teve um aumento no consumo de eletricidade de 1,7% entre os anos de 2016 e 2017 (maior que a média nacional do mesmo período), tendo uma participação total no consumo nacional de 5,5% e a biomassa, uma participação de 8,2% na oferta interna de energia, que cresceu devido ao incentivo das agências regulatórias para a geração aos micros e mini distribuidores de energia elétrica, tais como a possibilidade de compensação de energia excedente produzida por sistemas de menor porte.

No Brasil, a energia elétrica produzida a partir do biogás proveniente de resíduos animais representa somente 0,0026% da capacidade total da matriz elétrica, com 14 usinas instaladas e capacidade de produção de 4.670 kW (ANEEL, 2019a).

3.2 SITUAÇÃO DA BOVINOCULTURA NO BRASIL

A pecuária brasileira apresenta dois tipos de criação de gado: o extensivo e o intensivo. O extensivo consiste na criação a pasto em grandes extensões de área; já o intensivo é considerado o mais moderno meio de criação, pois consiste no cultivo de animais pelo confinamento, com a adoção de procedimentos tecnológicos (PROCREARE, 2016).

Em 2017, pela primeira vez, desde o início do recenseamento agropecuário realizado pelo IBGE em 1920, a área de pastagem diminuiu no Brasil, em mais de 23 milhões de hectares, e isso se deve ao fato da agricultura estar tomando espaço da pecuária. Por essa razão o

adensamento do rebanho bovino no Brasil (cabeça/hectare) tende a aumentar nos próximos anos com a diminuição gradual da pastagem e com a implementação de novas tecnologias no meio da pecuária (REVISTA VALOR ECONÔMICO, 2018).

A criação de gado no regime de confinamento possui uma grande vantagem sobre o extensivo: o ganho de peso em menor tempo. Além de gerar ganhos econômicos, a produção de esterco/dia aumenta significativamente. Bovinos confinados produzem, em média, 15 a 20 kg por dia de esterco (SOUZA, 2004).

3.3 BIOGÁS

3.3.1 Composição – Propriedades físico-químicas

A composição do biogás é difícil de ser definida, pois depende do material orgânico de origem e do tipo de tratamento anaeróbico que sofre. Contudo, em linhas gerais, o biogás é uma mistura gasosa composta principalmente de: Metano (CH_4) sendo 50% – 70% do volume de gás produzido; dióxido de carbono (CO_2): 25% – 50%; e traços de outros gases como hidrogênio, gás sulfídrico, oxigênio, amoníaco e nitrogênio (CETESB, 2018).

O metano, principal componente do biogás, é um gás incolor, altamente combustível, queimado com chama azul lilás, sem deixar fuligem e com um mínimo de poluição. Em função da porcentagem com que o metano participa na composição do biogás, o poder calorífico deste pode variar de 5.000 a 7.000 kcal/m³. Uma relação comparativa de equivalência de 1 m³ de biogás corresponde a 1,6 kWh de energia elétrica (MONTE, 2010).

Começando pela hidrólise e encerrando na metanogênese, cada fase da digestão anaeróbica caracteriza-se pela transformação dos produtos oriundos da fase anterior em componentes que serão utilizados na posterior. Ao fim do processo, a matéria orgânica transforma-se, basicamente, em metano e dióxido de carbono (MACHADO, 2011).

3.3.2 Tecnologias de obtenção do biogás

O biodigestor é a principal tecnologia para transformar os resíduos rurais em biogás. Os modelos mais divulgados são o indiano, o chinês e, mais recentemente, o canadense, com larga aplicação. Os biodigestores do tipo indiano e chinês foram desenvolvidos para o tratamento dos

dejetos animais em propriedades agrícolas e construídos com materiais convencionais: tijolos, cimento, entre outros (SEBRAE, 2018).

O biodigestor de modelo indiano é caracterizado por uma campânula flutuante com uma parede central, que divide o reservatório de fermentação em duas câmaras; do lado esquerdo é conectado o tubo de entrada e do lado direito o tubo de saída com a finalidade de possibilitar a movimentação do material no interior do cilindro. A porção de substrato que entra no biodigestor se acomoda no fundo e com o avanço do processo fica menos densa, até cair para outra metade da câmara. Para que o gás não escape, há uma campânula que flutua sobre os selos d'água (NISHIMURA, 2009). Assim, se mantém a pressão no interior do biodigestor constante, mesmo com a variação do volume.

O modelo chinês tem um custo de produção inferior se comparado com o modelo indiano, pois não possui gasômetro e se utiliza de materiais de menor custo (NISHIMURA, 2009). Neste modelo, quanto maior for a quantidade de gás no interior da câmara, maior será a pressão, ocasionando o deslocamento do efluente para o tanque de saída, (BENINCASA; ORTOLANI; LUCAS JUNIOR, 2008).

O modelo canadense tem construção do tipo horizontal, com maior largura e menor profundidade, o que garante a ele maior área de exposição ao sol, produzindo, assim, maior volume de biogás. Seu gasômetro é feito em lona de PVC flexível, que infla conforme o gás é produzido (LINDEMEYER, 2008).

Este modelo é mais utilizado em regiões quentes, onde a temperatura ambiente ajuda a manter a temperatura adequada para o processo de fermentação (NISHIMURA, 2009). Para uma fermentação mais eficiente, o ambiente deve estar a uma temperatura entre 30 °C e 45 °C com ausência de compostos químicos tóxicos (BARREIRA, 2011).

O diferencial do modelo canadense é a manta de polietileno de alta densidade (PEAD) que retém o biogás produzido, de modo a formar uma campânula de armazenamento de onde o biogás é canalizado para uma espécie de duto de saída (PEREIRA; DEMARCHI; BUDIÑO, 2009), como é possível observar na Figura 1, e assim dar continuidade ao processo.

A seleção do biodigestor e a implantação do processo de produção de biogás para a propriedade rural dependem de cada situação. Esta avaliação deve ser realizada com base nas condições da produção agrícola e pecuária da propriedade com levantamentos sobre o tipo,

quantidade de resíduos e dejetos produzidos, além de periodicidade. Com estes dados, pode-se opinar sobre o modelo/equipamento mais adequado e sobre os demais itens que compõem o processo de produção do biogás, como canaletas, lagoas de decantação, tubos de canalização para o gás e pontos para uso elétrico e térmico (SEBRAE, 2018).

3.4 TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO DO BIOGÁS

São diversas as tecnologias desenvolvidas para a conversão energética do biogás, em que a energia química apresentada nas moléculas do gás é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Após a conversão, um gerador é ativado por essa energia mecânica que a converte em energia elétrica (COELHO et al., 2006).

Também é praticável a queima direta do biogás em caldeiras para cogeração ou geração de energia térmica, porém as turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo ciclo Otto e Diesel são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética (COSTA, 2006).

No processo de combustão direta, o biogás é queimado em câmaras de combustão de turbinas a gás, caldeiras e aquecedores. O calor liberado na queima é utilizado em processos produtivos ou na geração de eletricidade. Os motores de combustão interna (máquinas primárias) acoplados a geradores elétricos, chamados moto-geradores, podem ser utilizados nas propriedades rurais (SOUZA, 2016).

Outra utilização da combustão direta do biogás está nos sistemas híbridos a biogás e gás liquefeito de petróleo (GLP), para secagem de grãos em substituição à lenha, possibilitando melhor controle do processo de secagem e, conseqüentemente, redução das perdas associadas à falta de controle da qualidade desse processo (MIURA et al., 2015).

3.5 ASPECTOS AMBIENTAIS

A produção agrícola e a produção agropecuária são fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), com maior incidência dos gases metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) apoiou, em 2006, a realização de dois relatórios sobre o tema, sendo em um deles abordada a questão da emissão de CH_4 derivada da produção agropecuária de bovinos (SEBRAE, 2018).

O Brasil vem se destacando no panorama mundial em terceiro colocado no número de projetos, e em sétimo no volume de redução de emissões de GEE (MCT, 2018).

Os estudos realizados indicam as prováveis mudanças climáticas e seus impactos na vida humana, além dos mecanismos estimuladores para a obtenção de créditos de carbono, o que tem contribuído para a crescente proposição de projetos voltados à redução de emissões de GEE. As ações dedicadas ao trato dos resíduos e dejetos provenientes da bovinocultura podem minimizar a emissão de GEE (SEBRAE, 2018).

Em 2007 dos 255 projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), 40 provinham da suinocultura, 30 de aterros sanitários e 2 de manejo e tratamento de resíduos. Esses projetos em conjunto concorreriam para a redução de GEE equivalentes a 269.035.082 toneladas de CO₂ (MCT, 2018).

Vale salientar que o gás metano, gerado pela decomposição dos dejetos rurais ao ar livre, possui um grau poluidor cerca de 21 vezes maior que o dióxido de carbono (CO₂), sendo responsável por uma parcela de 25% do aquecimento global. Portanto, o biogás utilizado nos biodigestores, além de contribuir para diminuição de outros meios de produção de energia, que por vezes acabam sendo mais agressivos ao meio ambiente, evita também a poluição que ocorre pelo descarte indevido dos dejetos animais, que se decompõem ao ar livre e poluem rios e lençóis freáticos (LIVORATTI, 2009).

3.6 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

O biogás pode ser utilizado pelo produtor ou empresário em diversas aplicações. Entre elas, para geração de calor em fogões a gás ou queimadores, para gerar energia elétrica para uso na fazenda ou ainda para comercializar com concessionárias regionais. O biogás pode ser usado também como combustível em secadores de grãos, além de outras aplicações (MIURA, 2015).

Tendo em vista que cada metro cúbico de biogás equivale a 1,6 kWh (MONTE, 2010) e que a tarifa média de energia elétrica no Mato Grosso (local a ser realizado o estudo de caso) é de 0,476 R\$/kWh (ENERGISA, 2019), a geração de energia por meio da queima do biogás interligado com a rede pode diminuir o consumo total da propriedade e também oferecer proteção a uma possível falta de energia (FREITAS, 2016).

Para os produtores de biogás em maior escala existe a possibilidade de gerar créditos de carbono. O protocolo de Quioto é um acordo internacional assinado por países que se

comprometeram a reduzir a emissão dos seis principais gases que provocam o efeito estufa. Após a assinatura ficou estabelecido que países podem comprar e vender cotas de emissões de gás carbônico e, dessa forma, países que poluem muito podem comprar créditos não usados daqueles que não realizam grandes emissões, que é válido até 2020 (ONU, 1997).

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado na fazenda Paraguaçu, localizada no Estado do Mato Grosso, na cidade de Sorriso. A pesquisa foi dividida em 5 partes, sendo elas: Dimensionamento do confinamento; Dimensionamento do biodigestor; Dimensionamento da casa de máquinas; Orçamentos; Análise de viabilidade.

4.1 DIMENSIONAMENTO DO CONFINAMENTO

O confinamento foi dimensionado de acordo IEPEC (2019), a fim de proporcionar maior conforto aos animais, para que possam apresentar a melhor taxa de conversão alimentar, além de facilitar o manejo. Esta prática sugere um número igual ou inferior a 100 cabeças por baia para compor lotes fechados na hora do abate.

A Equação 1 descreve a quantidade, em metros lineares, de coxo necessários para alimentar cada animal igualmente.

$$TLC = N * L \quad (1)$$

Sendo: TLC o tamanho linear do coxo; N o número de animais por baia; L a metragem necessária por animal (m).

O estudo da IEPEC sugere 0,40 m/cabeça e, portanto, obteve-se 40 m de cocho/baia. O espaço do cocho será coberto, então se faz necessário descontar os espaços das colunas que sustentarão a cobertura. Para o cálculo foram utilizadas colunas de sustentação a cada 8 metros, sendo que cada uma possui 0,20 m de comprimento, portanto deve ser adicionado 1 metro linear de coxo, totalizando 41 m.

A Equação 2 descreve a quantidade, em metros lineares de profundidade, das baias.

$$TLP = \frac{N * DA}{TLC} \quad (2)$$

Sendo: TLP o tamanho linear de profundidade da baía; DA a densidade por animal ($\text{m}^2/\text{cabeça}$).

A densidade mínima é de $12 \text{ m}^2/\text{cabeça}$, resultando em uma profundidade de 30 metros.

Após o dimensionamento do coxo e da profundidade, o proprietário definiu o local do confinamento, que pode ser visualizado na Figura 2 e o local possui capacidade para construção do primeiro módulo de 12 baias em linha, que comportam 1200 cabeças.

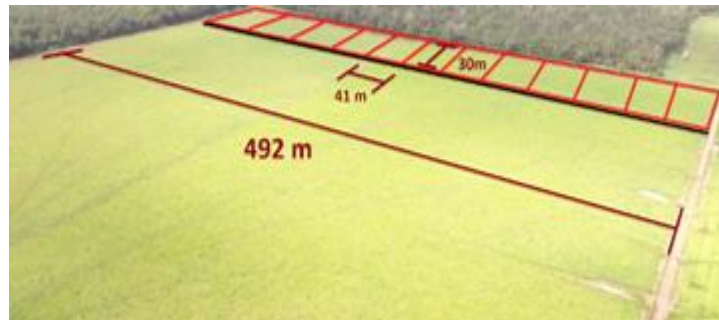


Figura 2: Espaço proposto para o confinamento intensivo do gado.

Fonte: ACERVO PRÓPRIO, 2019.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Para o dimensionamento de um biodigestor do tipo canadense, o ponto de partida é a quantidade de biomassa disponível por dia. Para resíduos provenientes de confinamento bovino, a quantidade diária de biomassa estimada é definida de acordo com a Equação 3.

$$M = N * B * P \quad (3)$$

Sendo: M a quantidade de biomassa dia (kg); N a quantidade de baias a serem limpadas por dia; B a quantidade de gado por baía; P a quantidade em kg de dejetos por animal.

Cada tipo de resíduo apresenta um potencial de produção de biogás diferente, devido ao tipo de matéria orgânica. Neste estudo foram considerados apenas os resíduos obtidos por meio do gado em confinamento. Pela Equação 4 pode ser definido o volume diário de biogás produzido, a partir do valor médio de produção de biomassa.

$$V_b = M * g \quad (4)$$

Sendo: V_b a quantidade estimada de biogás produzida por dia (m^3/dia); M a quantidade de biomassa dia (kg); g o Coeficiente de produção de biogás produzida por kg de dejetos bovinos (m^3/kg)

A carga diária do biodigestor é um parâmetro importante para definição do volume do biodigestor. Por sua vez, a biomassa deve ser adicionada a uma quantidade de água a qual permitirá uma melhor movimentação convectiva. Para cada tipo de dejetos, tem-se uma quantidade de água determinada. O cálculo da carga diária pode ser definido pela Equação 5 utilizando um litro de água para diluir cada um quilo de fezes (OLIVER et al, 2008).

$$Q = \frac{M_b}{\rho_b} + \frac{M_a}{\rho_a} \quad (5)$$

Sendo: Q a quantidade de biomassa por dia que entra no biodigestor (m³/dia); M_b a massa diária para a biomassa (kg/dia); M_a a massa diária para a água (kg/dia); ρ_b a densidade específica para a biomassa (kg/m³); ρ_a a densidade específica para a água (kg/m³).

O tempo de residência é o tempo necessário para que a matéria orgânica possa ser convertida completamente em biogás e biofertilizante, liberando o biogás produzido. O tempo de residência utilizado na equação 6 foi de 25 dias, segundo Oliveira et al. (2009).

$$V = Q * \tau \quad (6)$$

Sendo: V o volume requerido para o biodigestor (m³); Q_s é a carga de biomassa diária que sai do biodigestor (m³/dia), que é igual ao Q; τ é o tempo de residência (dia).

A geometria do biodigestor do tipo canadense tem um formato semelhante a um tronco de pirâmide de base retangular, Figura 3, sendo a determinação das dimensões condicionada ao tipo geológico do terreno onde será sua construção (GERSCOVICH, 2009). Os valores da razão V_T/H_T variam de 0,25 a 1. Uma vez definido o volume requerido, o volume do biodigestor canadense poderá ser determinado por uma rotina numérica utilizando as Equações 7 a 9.

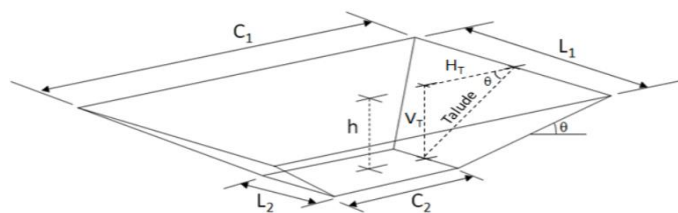


Figura 3 – Geometria simplificada do biodigestor do tipo canadense

Fonte: ANGELA et al., 2019.

$$V_c = \frac{h \cdot \tan\theta}{3} * (L_1 C_1 + \sqrt{L_1 C_1 (L_1 - 2h)(C_1 - 2h)} + (L_1 C_1 (L_1 - 2h)(C_1 - 2h))) \quad (7)$$

$$h = \text{Talude} * \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{V_T}{H_T}\right)\right) \quad (8)$$

$$\text{Talude} = \frac{h}{\cos\theta} \quad (9)$$

Sendo: V_c o volume calculado do biodigestor (m^3); C_1 o comprimento (m); L_1 a largura (m); H_T/V_T a razão do talude; T o comprimento do talude (m).

A verificação das dimensões do biodigestor pode ser também realizada a partir da Equação 10, que trata da quantificação do volume baseado nas áreas de topo e de base do biodigestor, considerando a profundidade do mesmo. O procedimento pode ser retomado, uma vez que a profundidade não esteja adequada para o processo de biodigestão.

$$V_{\text{verificação}} = \frac{h}{3} * (L_1 C_1 + \sqrt{L_1 C_1 L_2 C_2} + (L_2 C_2)) \quad (10)$$

As caixas de entrada e saída do biodigestor fazem parte do sistema de alimentação e retirada do biodigestor. A Equação 10 expressa a altura da caixa de entrada considerando uma geometria cilíndrica, enquanto a Equação 11, expressa a altura da caixa de saída de base retangular. A partir dessas equações têm-se as geometrias em função da carga diária para o biodigestor.

$$h = \frac{Q_{\text{bio}}}{B * L} \quad (11)$$

Sendo: h a altura da caixa entrada/saída (m); Q_{bio} o volume de biomassa diária (m^3); B a base da caixa (m); L a largura da caixa (m).

A partir das 1200 cabeças de gado de corte que produzem 60 L/dia de dejetos por dia, totalizando 36 m^3 (considerando a limpeza de 6 baias por dia), o volume estimado do biodigestor: 1680 m^3 .

Tais valores foram usados como base de cálculo, nas equações apresentadas anteriormente, para as variáveis geométricas do biodigestor, que podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores para as variáveis geométricas do biodigestor

Variáveis	L1	C1	L2	C2	VT/HT	H	Talude	Ângulo
Valor	14.0 m	45.0 m	5.0 m	36.0 m	0.87	3.9 m	5.95 m	41 grad

Fonte: ELABORADA PELOS AUTORES, 2019.

A unidade projetada levou em consideração a etapa de preparação da biomassa, sendo necessário um tanque de recepção para diluição correta das fezes e, em sequência, uma

extrusora para separação dos sólidos desta biomassa, sendo dimensionados a partir do volume diário de biomassa.

A separação das fases sólida e líquida é importante, principalmente para os dejetos de bovinos e suínos que contêm alta concentração de sólidos para facilitar e otimizar o processo de biodigestão (KENIA, 2012).

A separação de fases permite o aumento da eficiência do processo sob aspectos gerais, reduz obstruções nos equipamentos constituintes do sistema como bombas, tubulações e acessórios, além de melhorar o escoamento e minimizar o assoreamento nos compartimentos (SEGANFREDO, 2007).

4.2 DIMENSIONAMENTO CONJUNTO MOTO-GERADOR

Para a geração de energia é necessário dimensionar um conjunto moto-gerador e para a escolha do motor assumiu-se um poder calorífico do biogás de 6,5 kWh/m³ (MONTE, 2010) e um rendimento de conversão em energia elétrica de cerca de 25% (NISHIMURA et al, 2009), e então calculou-se a potência do motor estipulando uma margem de segurança de 20%, dada pela Equação (12).

$$P = \frac{g * \eta * V_{bio} * 1,20}{24} \quad (12)$$

Sendo: P a potência do motor (kW); V_{bio} o volume de biogás (m³/dia); g o poder calorífico do biogás (kWh/m³); η o rendimento de conversão.

Para a escolha do gerador, a Equação 13 foi usada para determinar quantos kVA se fariam necessários.

$$E = 1,52 * P \quad (13)$$

Sendo: E a eletricidade (kVA); P a potência (kW).

Desta forma obteve-se um gerador de 120 kVA.

4.3 INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS

A área total de confinamento projetada é de 14.760 m² (12 baias de 1230 m²), e para viabilizar a utilização do biodigestor será necessária a pavimentação da área total e a realização

de terraplenagem para direcionar os dejetos bovinos, diluídos em água durante a limpeza, para a entrada do biodigestor.

Para dimensionar o investimento da pavimentação desta área, foi usada a tabela de preços unitários da Secretaria de Logística e Transporte do Estado de São Paulo (TPU, 2019), que para pavimento de concreto com aplicação com formas deslizantes, determina o preço do m³ em R\$ 663,68. Portanto para um pavimento com 0,1 m de altura, tem-se um custo de R\$ 979.591,70.

Para instalação do biodigestor, se fez necessária escavação para o local do biodigestor, e outra escavação de mesmo volume para a lagoa de retenção, que armazenará o biofertilizante. Também, de mesma importância, foi a terraplanagem da área para levar por gravidade os dejetos bovinos das baias para o tanque de recepção, para então cair no biodigestor, e depois dar sequência para a lagoa de retenção.

A obra foi dimensionada na seguinte sequência: limpeza da camada vegetal; escavação mecânica de primeira categoria; transporte interno de material de primeira categoria; espalhamento de material orgânico e de material de primeira categoria; e compactação de material de primeira categoria.

Algumas construções civis também são necessárias: tanque de recepção cilíndrico de 62,8 m³; estrutura suporte para extrusora; tanque de passagem de 2 m³; tanque de saída de 2 m³; vigas de ancoragem para a lona do biodigestor; e casa de máquinas.

Esta parte da obra foi orçada com a Construtora Gonzaga de Sorriso, e dimensionada em R\$ 263.279,04.

Para o orçamento do revestimento do biodigestor e do tanque de retenção, os seguintes itens foram levados em consideração: geomembrana de PEAD para o biodigestor; revestimento interno da cúpula do biodigestor; geomembrana de PEAD para o tanque de retenção; revestimento interno do tanque de retenção; e serviços para instalação.

Para esta etapa, a empresa Seagro Soluções Ambientais, apresentou um orçamento que totalizou R\$ 39.569,77.

Se fez necessário também a aquisição de um conjunto separador de sólidos, que consiste em um separador de sólidos, um homogeneizador de reservatório, uma bomba autolimpeza e um painel elétrico de comando automático. Este conjunto foi orçado pela ECAM – Engenharia, caldeiras e máquinas e dimensionado em R\$ 83.711,60.

Finalmente o conjunto gerador elétrico consiste no gerador WEG de 120 kVA com um motor de potência de 75 kW contínuo e painel de controle do grupo gerador apto para GD, que

foi orçado na empresa Motores Estacionários Ltda. e precificado em R\$ 220.000,00. Seu custo de manutenção foi dimensionado em 5% de seu valor total por ano. O investimento inicial total pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Investimento total

Item	Material/Serviço	Fornecedor	Preço (R\$)
1	Pavimentação da baía	-	979.591,70
2	Escavação, terraplanagem, e contruções civis	Gonzaga	R\$ 263.279,04
3	Revestimento da manta PEAD	Seagro	R\$ 39.569,77
4	Conjunto separador de sólidos	Ecam	R\$ 83.711,60
5	Conjunto gerador	Motores Estacionários LTDA	R\$ 220.000,00
Custo total			R\$ 1.586.153,11

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2019.

4.4 RETORNO POR MEIO DO BIOFERTILIZANTE

O biofertilizante, obtido por meio do biodigestor, contém vários nutrientes. Para quantificar seu valor de mercado, somente os macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) foram dimensionados, já que estes possuem maior comercialização no mercado de adubo (MONTORO et al., 2017).

Para obter a disponibilidade diária desses macronutrientes utilizou-se a análise feita por Junqueira (2011), que assume um percentual de massa seca nos dejetos bovinos de 20%, e a partir da massa seca calcula-se a concentração de 2,81% de nitrogênio, 1,46% de fósforo e 2,46% de potássio.

Assumindo-se neste estudo uma média de 15kg/dia de dejetos por cabeça, totalizando 18.000 kg/dia de dejetos bovinos, foram calculadas as quantidades de N, P e K, respectivamente, obtidas por dia, assumindo o aproveitamento dos dejetos disponíveis em 80%.

Após a obtenção da quantidade total de N, P e K ao dia foi realizada uma pesquisa de mercado com os fornecedores da região da fazenda, e foram obtidos os valores dos macronutrientes presentes no biofertilizante e que estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valor por kg de cada nutriente

Nutrientes	Preço do adubo químico (R\$/kg)	Valor do nutriente (R\$/kg)
Sulfato de amônia (21% N)	1,3	6,2
Super Simples (20%P)	1,2	6,0
Cloreto de Potássio (60%K)	1,8	3,0

Fonte: ELABORADA PELOS AUTORES, 2019.

Para precificar o biofertilizante, multiplicou-se o valor por kg dos macronutrientes, pelo total de kg obtido no ano e o resultado está na Tabela 4.

Tabela 4 – Valor total arrecadado através do biofertilizante

	Valor do nutriente (R\$/kg)	Quantidade obtida por ano (kg)	Valor total obtido por cada nutriente (R\$)
Nitrogênio	6,2	29,6	183.007,35
Fósforo	6,0	15,3	91.980,00
Potássio	3,0	28,1	84.315,00
Total			R\$ 359.302,35

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2019

4.5 RETORNO GERADO PELO BIOGÁS

Para definir a receita gerada por meio do biogás, foi utilizada como base de cálculo uma geração média de 0,40 m³/dia de biogás por animal (IVÁN; JOSÉ; MELITÓN, 2013). Para um total de 1.200 animais em confinamento, obtém-se uma média de 480 m³/dia.

O potencial energético de 1 m³ de biogás corresponde a 1,6 kWh (MONTE, 2010). Assumindo um aproveitamento dos dias de produção de 80% (MONTORO, 2017), obteve-se uma produção total de 197 MWh/Ano. Montante que suprirá em parte a demanda energética da propriedade. Como a fazenda consome 300,9 MWh/Ano, e o custo de energia para propriedade rural no Mato Grosso é de R\$ 0,476 kWh (ENERGISA, 2019), a receita anual gerada pela economia de energia fornecida pelo projeto será de R\$ 123.716,00/ano.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

O presente projeto teve como objetivo dimensionar uma unidade de geração de biogás, e de sua conversão em eletricidade, a partir da escolha do biodigestor mais eficiente.

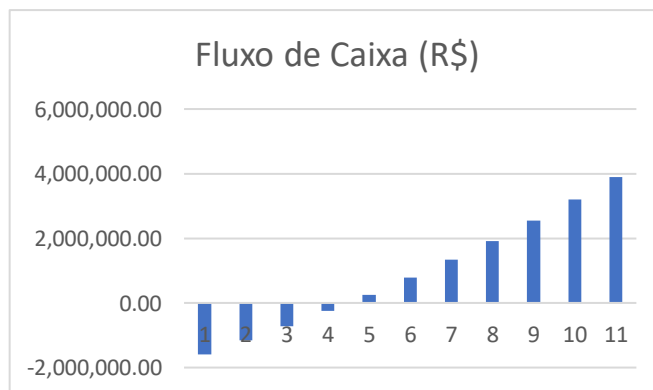
O interesse decorreu da observação de que ainda existem poucas unidades produtoras de energia em pequena escala no Mato Grosso, em um momento em que cada vez mais há necessidade de aumentar a produção de energia por fontes renováveis e no local onde será consumida, considerando-se que existe um potencial significativo no setor pecuário para este fim.

Para atingir o objetivo proposto, dimensionou-se uma instalação capaz de produzir biogás a partir de dejetos bovinos, na região de Sorriso, Mato Grosso. Notou-se que já existem algumas unidades produtoras de biogás, mas em sua maioria, o potencial não é aproveitado, principalmente por se tratar de biodigestores de pequenas dimensões.

O objetivo principal do estudo é realizar a análise de viabilidade econômica do projeto do biodigestor na Fazenda Paraguaçu. Para isto foram utilizados o investimento inicial, a produção anual de energia transformada em remuneração anual através da tarifa média de eletricidade para produtores rurais no Mato Grosso, a remuneração anual com biofertilizante, além do gasto operacional anual, que conta com o custo de dois salários mínimos para realização da operação, além do gasto estimado com manutenção com o biodigestor e a casa de máquinas (fornecido pelas empresas as quais foram realizados os orçamentos).

Todos os dados foram corrigidos pela inflação média dos últimos 10 anos para projeção real futura. A Tabela 5 abaixo se utilizou das informações anteriores para calcular o tempo de retorno do investimento.

Tabela 5 – Fluxo de Caixa



Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2019

6 CONCLUSÃO

Na fazenda onde foi realizado o estudo de caso, há interesse do proprietário na construção de um confinamento bovino para corte que, para agregar valor, aumentar a eficiência do investimento com sustentabilidade ambiental, mostrou interesse na proposta de instalação de um biodigestor tipo canadense.

Face à disponibilidade de área para o confinamento, definiu-se o tamanho da instalação e a quantidade de cabeças de gado necessárias para a viabilidade do projeto. De posse dessas informações, definiu-se então a capacidade de geração de dejetos do confinamento para então dimensionar o volume do biodigestor. Além do biodigestor, foram dimensionados os principais equipamentos do processo, de forma simplificada.

Por meio de uma análise financeira, verificou-se que este projeto tem alta viabilidade pois, será possível gerar receitas para cobrir custo e gerar lucro, por meio do produto e subproduto (biogás e biofertilizante, respectivamente), podendo recuperar o capital investido em um período de 4 anos, com alta rentabilidade (TIR 28%).

Estes resultados podem representar um caminho para o futuro dos confinamentos no Mato Grosso e em todos os estados criadores de gado no Brasil.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica no Brasil**. 2010. a.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **10 Anos de Energia no Brasil**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/aneel_10_anos.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019. b.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz Energética Brasileira**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 09 out. 2018. c.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Ranking das Tarifas**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/relatorio-ranking-tarifas>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

ANGELA, C. N et al. **Projeto de unidade de bioenergia e tratamento de resíduos de abatedouros de aves de corte**. 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV058_MD1_SA79_ID2490_17052016231057.pdf>. Acesso em: 14 de mai. 2019.

BARREIRA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural**. São Paulo: Ícone, 2011.

BENINCASA, M.; ORTOLANI, A.; LUCAS JÚNIOR, J. **Biodigestores Convencionais. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 1986**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000129&pid=S0100-6916200500030000500004&lng=en>. Acesso em: 10 nov. 2018.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Biogás**. 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

COELHO, S. T. et al. **Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. In: Congresso Brasileiro de Energia**, 11., 2006, Rio de Janeiro. Anuais. Rio de Janeiro/RJ: PIPGE, 2006. 5 p.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**, 2006. Disponível em: <http://ufrgs.br/preventiva/itsu012.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2018.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, MC. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. An. 4. Enc. Energ. Meio Rural 2002.

ENERGISA. **Modalidade Tarifária Convencional, 2019**. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional 2017 - 2018**. 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/publicacoesarquivos/publicacao-303/topico-419/ben2018.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2018.

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Quanto custa a energia Elétrica, 2017**. Disponível em: <<https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/quanto-custa-a-energia-eletrica.htm>>. Acesso em: 09 out. 2018.

FREITAS, G. M. **Biomassa, uma fonte de energia. 2016**. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10018701.pdf>>. Acesso: 2 set. 2019.

GERSCOVICH, D M. S. **Departamento de estruturas e fundações, 2009**. Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pecuária municipal 2016: centro-oeste concentra 34,4% do rebanho bovino do país**. 2017. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/16992-pecuaria-municipal-2016-centro-oeste-concentra-34-4-do-rebanho-bovino-do-pais>>. Acesso em: 09 out. 2018.

IEPEC – Instituto de Estudos Pecuários. **Manual de instalações para confinamentos bovinos**. 2019. Disponível em: <http://docente.ifsc.edu.br/roberto.komatsu/MaterialDidatico/Agroneg%C3%B3cio_4Mod_2017_1_PJI2/manual-instalacoes-confinamento_Branco_IEPEC.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

IVÁN, Vera-romero; JOSÉ, Martínez-reyes; MELITÓN, Estrada-jaramillo. **Potencial de generación de biogás y energía eléctrica**: Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. 2013. 15 v. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Centro Tecnológico, Ingeniería Investigación y Tecnología, Cuba, 2013. Cap. 3.

JUNQUEIRA, J. B. **Biodigestão anaeróbia e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada. 2011**. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96528/junqueira_jb_me_jabo.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

KENIA, U. M. **Avaliação da Geração de um Biodigestor de Dejetos Bovinos e Suínos, 2012**. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/36178/R%20-%20D%20-%20KENIA%20UNFER%20MOTTA.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 21 mai. 2019.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica. 2008**. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/131678>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

LIVORATTI, P. A. **Utilização do biogás proveniente da suinocultura como fonte de energia** – estudo de caso. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo/SP, 2009.

MACHADO, C. R. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar**. Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu/SP, 2011.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Mecanismo de desenvolvimento limpo. Disponível em:

<https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/seped/clima/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo.html>. Acesso em: 13 nov. 2018.

MIURA, F. et al. **Alternativas Energéticas para Secagem de Grãos**. 10º Congresso sobre geração distribuída e energia no meio rural, São Paulo, v. 10, p. 1-10. 2015. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/sites/default/files/MiuraAlternativasEnergeticas.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

MONTE, M. M. **Contributo para o Estudo da Valorização Energética de biogás em Estações de Tratamento de Águas Residuais**. 2010. Dissertação. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/3941/1/Monte_2010.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2019.

MONTORO, Stela B. et al. **Economic and Financial Viability of Digester use in Cattle Confinement for Beef, 2017**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162017000200353&script=sci_arttext>. Acesso em: 25 mar. 2019.

NISHIMURA, R. **Análise de Balanço Energético de Sistema de Produção de Biogás em Granja de Suínos: Implementação de Aplicativo Computacional**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande/MS, 2009.

OLIVEIRA, Rafael Deleo et al. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVER, André de Paula Moniz et al. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: Winrock Internacional, 22p, 2008.

ONU – Organização Das Nações Unidas. **Protocolo de Quioto, 1997**. Disponível em <http://www.onubrasil.org.br/doc_quioto.php>, Acesso em 20 nov. 2017.

PEREIRA, E. R.; DEMARCHI, J. J. A. A; BUDIÑO, F. E. L. **Biodigestores - Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária**. 2009. Disponível em: <<http://infobibo.com/Artigos/2009/biodigestores/index.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

PROCREARE. **Pecuária extensiva e intensiva**. 2016. Disponível em:
<<http://procreare.com.br/pecuaria-extensiva-e-intensiva/>>. Acesso em: 04 out. 2018.

REVISTA VALOR ECONÔMICO. **Pela primeira vez, número de bovinos por hectare no brasil cresceu, diz IBGE**. 2018. Disponível em:
<<https://www.valor.com.br/agro/5702083/pela-primeira-vez-numero-de-bovinos-por-hectare-no-brasil-cresceu-diz-ibge>>. Acesso em: 20 out. 2018.

SEGANFREDO, M. A. **Gestão Ambiental na Suinocultura. Embrapa Informação Tecnológica**. 2007. Disponível em:
<<https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00081860.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2019.

SEBRAE. **Uso de resíduos e dejetos como fonte de energia renovável**. 2008. Disponível em:
<[https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1444A5CABEE102E383257428004FDF09/\\$File/NT0003768A.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1444A5CABEE102E383257428004FDF09/$File/NT0003768A.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2018.

SOUZA, C. F. **Instalações para gado de leite**. 2004. Disponível em:
<<http://arquivo.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/GadoLeiteOutubro-2004.pdf>> Acesso em: 24 nov. 2018.

SOUZA, S. **Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural**. 2016. 47 f. Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste Ccet, Cascavel, 2016.

TPU – Tabela de Preços Unitários. **Secretaria de logística e transportes do Estado de São Paulo departamento de estradas de rodagem. Pavimentação**. 2019. Disponível em:
<<http://200.144.30.103/tpu-internet/ImprimirTPU.asp?Data=31032019&Fase=23&TabPreco=0>>. Acesso em: 14 mai. 2019.