

**VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO NO
ATERRO SANITÁRIO DO CONSERVAR MUCURI PARA SUPRIR A DEMANDA
ENERGÉTICA DO QUILOMBO DOS FERREIRAS
VIABILITY OF ENERGY RECOVERY FROM BIOGAS GENERATED AT THE
CONSERVAR MUCURI LANDFILL TO MEET THE ENERGY DEMAND OF THE
FERREIRA'S QUILOMBO**

Kamila Soares dos Santos*
Gabriela Cristina Nunes Campos**
Ruth Lopes Negreiros***

RESUMO

No Brasil, a gestão inadequada dos resíduos urbanos persiste como um desafio, apesar dos marcos regulatórios. Essa prática resulta em impactos ambientais e de saúde pública, além de contribuir para as emissões de gases de efeito estufa. O biogás, produzido pela decomposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários, apresenta potencial como fonte de energia alternativa. Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário do Conservar Mucuri para fornecer energia elétrica à comunidade Quilombola dos Ferreiras. Apresenta três hipóteses de resultado: que a energia gerada não será suficiente para atender à demanda energética de uma bomba submersa no poço artesiano na comunidade, que a utilização do biogás como fonte de energia pode reduzir os custos de energia elétrica e melhorar a qualidade de vida no Quilombo e por fim, que o aproveitamento do biogás produzido no aterro sanitário pode ser uma alternativa sustentável para a geração de energética na região. O referencial teórico está dividido em: os quilombos e a história dos Ferreiras, breve panorama dos resíduos sólidos: do contexto nacional ao local, a importância da substituição dos lixões por aterros sanitários, consórcios públicos e a gestão dos serviços de limpeza urbana. Os resultados mostraram que o aproveitamento do biogás gerado pelo aterro sanitário pode contribuir para a geração de energia limpa e renovável, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e as emissões de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos. metano. biogás. energia elétrica. aterro sanitário.

ABSTRACT

In Brazil, inadequate urban waste management persists as a challenge despite regulatory frameworks. This practice results in environmental and public health impacts, contributing to greenhouse gas emissions. Biogas, produced through the

* Rede de Ensino Doctum – Teófilo Otoni – aluno.kamila.santos1@doctum.edu.br – graduanda em Engenharia Elétrica

** Rede de Ensino Doctum – Teófilo Otoni – aluno.gabriela.nunes@doctum.edu.br – graduanda em Engenharia Elétrica

*** Rede de Ensino Doctum – Teófilo Otoni – ruth.lopes@doctum.edu.br – Engenheira Florestal, formada pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, MSc. Em Ciência da Educação Superior, Especialista em Doenças de Plantas pela Universidade Federal de Lavras, professora no Centro Universitário Doctum (orientador do trabalho)

decomposition of solid waste in landfills, holds potential as an alternative energy source. This study aims to assess the technical feasibility of harnessing energy from the biogas generated at the Conservar Mucuri Sanitary Landfill to provide electricity to the Quilombola community of Ferreiras. It presents three outcome hypotheses: that the generated energy will not be sufficient to meet the energy demand of a submersible pump in the community's artesian well, that biogas utilization can reduce electricity costs and improve the quality of life in the Quilombo, and finally, that harnessing biogas from the landfill can be a sustainable alternative for energy generation in the region. The theoretical framework is divided into quilombos and the history of Ferreiras, a brief overview of solid waste from the national to the local context, the importance of replacing open dumps with sanitary landfills, public consortia, and the management of urban cleaning services. The results indicate that harnessing biogas from the landfill can contribute to clean and renewable energy generation, reducing reliance on non-renewable sources and greenhouse gas emissions.

Keywords: urban solid waste. methane. biogas. electric power. sanitary landfill.

1. Introdução

A gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil continua como um desafio persistente, apesar de mais de uma década do estabelecimento de marcos regulatórios. Essa prática tem um impacto adverso tanto no campo ambiental quanto na saúde pública e contribui substancialmente para as emissões de gases de efeito estufa. No entanto, uma solução potencial para esse problema reside no biogás, um subproduto gerado pela decomposição dos resíduos sólidos, que se apresenta como fonte de energia alternativa promissora.

A falta de adequação na disposição de resíduos sólidos urbanos em território brasileiro, em grande parte refletida no descarte inadequado em lixões, constitui uma preocupação de magnitude nacional. O próprio marco regulatório da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabeleceu como meta o banimento do descarte de resíduos em lixões em um prazo de quatro anos, a partir da sua publicação. No entanto, ao longo da década subsequente, pouco progresso foi observado, culminando na promulgação do Novo Marco Legal do Saneamento Básico, que estendeu o prazo para o encerramento dos locais irregulares de disposição de resíduos, levando em conta o tamanho populacional de cada núcleo urbano. O prazo encerra-se em agosto de 2025 para municípios com menos de 50 mil habitantes.

O Brasil gera cerca de 381 quilos de RSU por habitante anualmente, totalizando aproximadamente 81 milhões de toneladas em âmbito nacional. Essa composição inclui uma parcela considerável de resíduos orgânicos, correspondendo a quase 50% do volume total, seguido pelos recicláveis secos com 28% e rejeitos com 22%. Mesmo

com o marco regulatório estabelecido, apenas 3% dos resíduos gerados no país são reciclados ou aproveitados energeticamente. Do restante, 59% é destinado a aterros sanitários, 23% aterros controlados e 18% a lixões a céu aberto. Essa composição destaca a importância da gestão adequada dos resíduos orgânicos, uma vez que sua decomposição é uma fonte considerável de emissões de metano (CH_4), um potente gás de efeito estufa.

O metano (CH_4) é um hidrocarboneto gerado na decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos e representa um grande desafio para a questão ambiental. Em comparação ao dióxido de carbono (CO_2), o metano é aproximadamente 25 vezes mais eficaz em causar o aquecimento global, com impactos significativos a médio e longo prazo. Estima-se que cerca de 97% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) relacionam-se à produção de metano a partir da decomposição de resíduos sólidos urbanos e à combustão de diesel em veículos pesados.

O aproveitamento energético do biogás, como método de geração de energia, emerge como uma alternativa altamente eficaz na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse processo, a intermitência comumente associada a outras fontes de energia, como a solar e a eólica, é consideravelmente mitigada. Isso sublinha a importância vital da busca por alternativas tecnológicas que promovam a reutilização, a reciclagem e a recuperação de energia, destacando a necessidade de transição para fontes de energia renováveis e sustentáveis, que transcendem a simples disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários.

Considerando as informações apresentadas, a seguinte questão problemática emerge: qual é a viabilidade técnica em aproveitar o biogás gerado no Aterro Sanitário Conservar Mucuri para a produção de energia elétrica, com o propósito de suprir as demandas energéticas do Quilombo dos Ferreiras, e de que maneira essa iniciativa pode impactar positivamente na qualidade de vida da comunidade, impulsionando o desenvolvimento sustentável na região?

Buscando responder aos questionamentos, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário do Conservar Mucuri para suprir a demanda energética existente na comunidade quilombola dos Ferreiras, que, ao promover o uso de fontes de energia renovável, não apenas melhora a qualidade de vida local, mas também contribui significativamente para a redução dos impactos ambientais associados à disposição imprópria de resíduos sólidos regionais.

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos: estimar a quantidade do biogás que será gerado no Aterro Sanitário do Conservar Mucuri, avaliar suas possibilidades de aproveitamento energético e os impactos da utilização do biogás na qualidade de vida da comunidade do quilombo, próximo ao aterro sanitário.

A pesquisa considera três hipóteses essenciais. Primeiramente, a quantidade de energia gerada pelo biogás pode não ser suficiente para suprir a demanda energética de uma bomba submersa no poço artesiano no Quilombo dos Ferreiras, devido à provável limitação na produção de biogás no aterro sanitário. Em segundo lugar, a utilização do biogás como fonte de energia alternativa na comunidade pode potencialmente reduzir os custos com eletricidade e melhorar a qualidade de vida local, desde que o sistema elétrico existente atenda de maneira eficaz às necessidades da localidade e a energia do biogás seja utilizada como um complemento de baixo custo para a demanda já existente.

Por fim, a pesquisa considera que o aproveitamento do biogás gerado no aterro sanitário pode representar uma opção sustentável para a geração de energia elétrica na região, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a preservação do meio ambiente.

A justificativa para esta pesquisa é respaldada pela necessidade de explorar soluções sustentáveis e socialmente responsáveis para a gestão de resíduos sólidos, combinando a utilização de recursos desperdiçados, como o biogás, com a promoção do desenvolvimento social e a proteção ambiental.

O biogás se destaca pela capacidade de geração contínua de energia e sua "pegada negativa de carbono", contribuindo tanto para a redução das emissões de gases de efeito estufa quanto para a promoção da eficiência energética. A proposta de utilização do biogás para melhorar a qualidade de vida das comunidades quilombolas, que enfrentam desafios no acesso à eletricidade, representa um avanço na busca de soluções socialmente justas e ambientalmente sustentáveis.

Os procedimentos metodológicos incluirão o cálculo da projeção da produção de biogás no Aterro Sanitário do Conservar Mucuri, estimar a demanda energética da comunidade e comentários relacionados aos impactos sociais esperados.

2. Referencial Teórico

O estudo da destinação dos resíduos sólidos no Vale do Mucuri revela um cenário desafiador, com a maioria dos municípios enfrentando problemas na gestão adequada dos resíduos. A importância desse estudo reside não apenas na urgência

ambiental, mas também na necessidade de alinhamento com as legislações federal e estadual. O referencial teórico buscará embasar a compreensão das leis pertinentes, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a legislação estadual, para fornecer um arcabouço sólido na análise das soluções consorciadas e na promoção da gestão integrada desses resíduos.

2.1. Os Quilombos e a história dos Ferreiras

Um quilombo é uma comunidade formada por pessoas negras que fugiram da escravidão no Brasil colonial. Eram locais de resistência, liberdade e cultura dos africanos e seus descendentes. A palavra “quilombo” vem do idioma banto e significa “guerreiro da floresta” (REIS, 2018). Surgiram no século XVI, como resultado da fuga dos escravos das fazendas e das cidades, se estabeleciam em locais de difícil acesso, como matas, serras e ilhas, e construíam suas próprias moradias, plantações, criações de animais e comércio. Nos quilombos, os negros podiam praticar suas religiões, línguas, músicas, danças e costumes africanos, além de ajudar outros escravos a fugirem e a se libertarem (MATTOS, 2000).

O maior e mais famoso quilombo do Brasil foi o Quilombo dos Palmares, que existiu entre os séculos XVII e XVIII, no atual estado de Alagoas. Chegou a ter mais de 20 mil habitantes e resistiu a vários ataques das tropas coloniais. Seu líder mais conhecido foi Zumbi dos Palmares, que morreu em 1695, após uma batalha contra os portugueses. Hoje, o dia 20 de novembro, data da morte de Zumbi, é celebrado como o Dia Nacional da Consciência Negra (CARVALHO, 2001) e recentemente, declarado como feriado nacional. Atualmente, existem no Brasil cerca de 3 mil comunidades quilombolas, que são reconhecidas como remanescentes dos antigos quilombos e que lutam pelo direito à terra, à cultura e à cidadania (ALMEIDA, 2008).

A literatura é muito vaga sobre a história do Quilombo dos Ferreiras. Sabe-se que seu fundador, José Ferreira de Sousa empreendeu uma migração desde a localidade de Feijão Bebido (próximo ao bairro Palmeiras, na cidade de Teófilo Otoni/MG), na companhia de sua primeira esposa e de sua mãe, Maria Lima Pinta. Nesse período, já era pai de cinco filhos. Após ficar viúvo, José contraiu matrimônio novamente, desta vez com Sebastiana Lopes Moreira, com quem gerou nove descendentes adicionais. Procedeu com a desflorestação do ambiente e iniciou a constituição de uma comunidade. A filha mais velha, Expedita, detém atualmente o papel de matriarca. Com 77 anos de idade, relata que diversos habitantes alienaram suas terras: "nesta região, a comercialização de propriedades é proibida. Meu pai insistiu que adquiriu este território com o intuito de fornecer um refúgio para seus filhos,

poupando-os das jornadas penosas. A ancestralidade o conduziu por diversas propriedades rurais até chegar a este local” (CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A., 2022).

A escassez de água representa um desafio generalizado para todas as comunidades quilombolas, com destaque para o Quilombo dos Ferreiras. Para os habitantes do local, a água é uma questão crucial, sendo que a problemática resultou na migração de várias famílias para a cidade de Pescador/MG, município onde a comunidade está localizada. Segundo Souza (2021), os integrantes enfatizam que a ausência de água é a principal razão para a saída da maioria da população, pois a falta desse recurso torna impraticável a permanência no local. Além disso, expressaram a preocupação de que a situação do quilombo esteja ameaçada, dada a ausência de assistência por parte da administração municipal (SOUZA, 2021).

2.2. Breve panorama dos resíduos sólidos: do contexto nacional ao local

A disposição inadequada dos resíduos é um problema significativo no país, acarretando impactos ambientais, econômicos e sociais severos. De acordo com informações do governo brasileiro, os "lixões" são áreas de disposição de resíduos a céu aberto que englobam todas as categorias de resíduos, inclusive os de natureza perigosa, e que carecem da implementação de medidas de controle ambiental e/ou de processos de tratamento (BRASIL, 2021). Essas áreas frequentemente permitem o acesso irrestrito de indivíduos e animais aos resíduos, e, em alguns casos, são utilizadas como locais de moradia. Esse método de disposição representa a situação mais desfavorável em termos ambientais e sociais dentro dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos. Infelizmente, é a prática que mais persiste entre os municípios brasileiros.

De acordo com dados também fornecidos pelo governo brasileiro (BRASIL, 2021), o país gerou cerca de 65,30 milhões de toneladas de resíduos sólidos em 2020. Segundo a mesma fonte, aproximadamente 48,17 milhões de toneladas de resíduos foram destinadas a 652 aterros sanitários, o que equivale a cerca de 73,8% do total foram encaminhados para unidades de disposição final. Por outro lado, observou-se que aproximadamente 17,13 milhões de toneladas de resíduos foram dispostas em locais inadequados, incluindo 617 aterros controlados e 1.545 lixões, representando aproximadamente 26,2% do total de resíduos descartados.

No estado de Minas Gerais, como informado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente, os desafios relacionados à disposição inadequada de resíduos também se manifestam. Conforme relatórios, cerca de 70% dos resíduos sólidos urbanos gerados no Estado são atualmente encaminhados para lixões e aterros controlados, que não

atendem aos critérios estabelecidos pela legislação ambiental vigente (MINAS GERAIS, 2021). Esse cenário tem ocasionado impactos adversos na qualidade de vida das comunidades que residem nas proximidades dos lixões, ao mesmo tempo em que gera danos ambientais e à saúde da população. Tais constatações reforçam a imperiosa necessidade de implementação de políticas públicas efetivas e ações concretas em todo o país, visando uma gestão adequada dos resíduos sólidos, com o intuito de minimizar os efeitos prejudiciais da disposição inadequada de resíduos.

No contexto do Vale do Mucuri, a questão da coleta e disposição final de resíduos sólidos reflete uma realidade semelhante à observada em outras regiões do país. Segundo informações da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (2020), no ano anterior, apenas três dos 29 municípios da região implementavam práticas adequadas de disposição final dos resíduos sólidos. No entanto, em 2023, a situação se agravou ainda mais. O Quadro 01, a seguir, detalha a relação de municípios e sua forma de disposição final de resíduos, juntamente com a tipologia correspondente à sua destinação.

Município	Tipologia	Localização da Disposição
Águas Formosas	Lixão	no município
Angelândia	Lixão	no município
Ataléia	Lixão	no município
Bertópolis	Lixão	no município
Campanário	Lixão	no município
Carlos Chagas	Lixão	no município
Catuji	Lixão	no município
Crisólita	Lixão	no município
Franciscópolis	Lixão	no município
Frei Gaspar	Lixão	no município
Fronteira dos Vales	Lixão	no município
Itaipé	Lixão	no município
Itambacuri	Lixão	no município

Ladainha	Lixão	no município
Machacalis	Lixão	no município
Malacacheta	Aterro Sanitário	no município
Nanuque	Lixão	no município
Nova Módica	Lixão	no município
Novo Oriente de Minas	Lixão	no município
Ouro Verde de Minas	Lixão	no município
Pavão	Lixão	no município
Pescador	Lixão	no município
Poté	Lixão	no município
Santa Helena de Minas	Lixão	no município
São José do Divino	Lixão	no município
Serra dos Aimorés	Lixão	no município
Setubinha	Lixão	no município
Teófilo Otoni	Lixão	no município
Umburatiba	Lixão	no município

QUADRO 01: Destinação Final dos RSU no Vale do Mucuri em 2023.

Fonte: Adaptado (FEAM, 2020)

O quadro apresenta uma realidade na qual apenas um município, no caso Malacacheta, realiza a destinação apropriada de seus resíduos sólidos, enquanto os demais ainda fazem uso de lixões como método de descarte final. Um exemplo emblemático disso é o caso de Itambacuri, que, ao longo de duas décadas, realizou a mudança de local de destinação final duas vezes, ambas as opções inadequadas sob a perspectiva ambiental.

Além disso, é notável que os municípios com menor densidade populacional, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), apresentam índices significativos de geração de resíduos per capita. Essa situação evidencia os complexos desafios enfrentados por esta região no que se refere à gestão de resíduos sólidos.

O Gráfico 01 demonstra essa realidade com base nos dados de 4 municípios do Vale do Mucuri e a quantidade total de resíduo produzido diariamente.

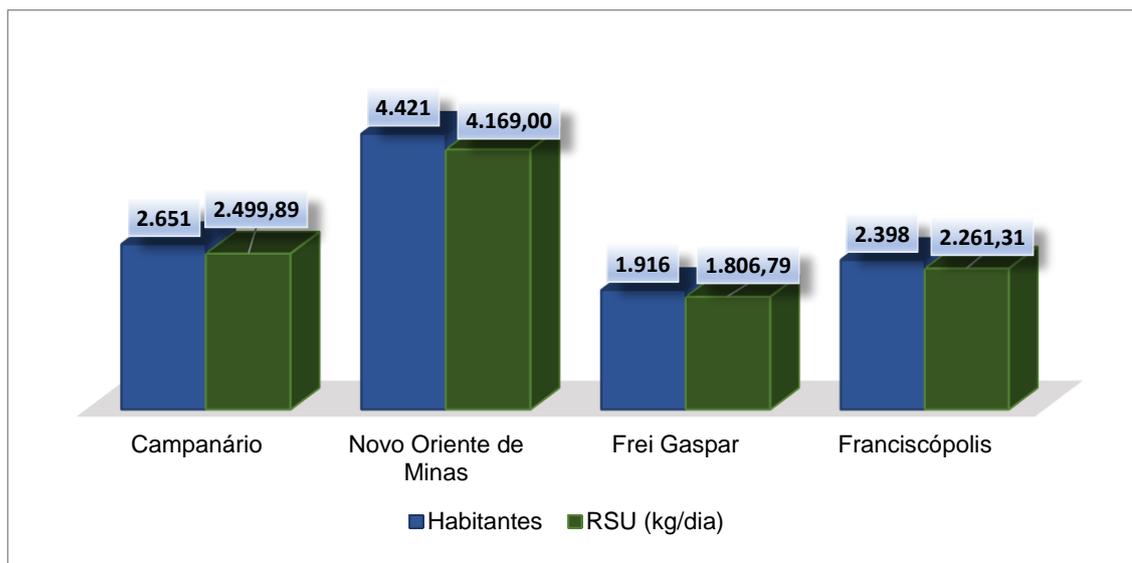


Gráfico 01: Comparativo entre população total e quantidade de RSU produzido diariamente.

Fonte: Dados obtidos pelas autoras durante a pesquisa.

Os dados revelam que nas cidades de Campanário, com uma população de 2.651 habitantes, a média de geração de resíduos é de 2.499,89 kg por dia (correspondendo a 0,943 kg por habitante por dia); em Novo Oriente de Minas, com uma população de 4.421 habitantes, a média de geração de resíduos é de 4.169 kg por dia (equivalendo a 0,905 kg por habitante por dia); Frei Gaspar, com 1.916 habitantes, registra uma média de 1.806,89 kg de resíduos gerados por dia (representando 0,783 kg por habitante por dia); e Franciscópolis, com uma população de 2.398 habitantes, tem uma média de 2.261,31 kg de resíduos gerados por dia (ou 0,626 kg por habitante por dia).

De acordo com o Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR+, 2019), o Brasil gerou cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2019, o que equivale a uma média de 379 kg por habitante por ano. Desse total, cerca de 73,8% foram destinados a aterros sanitários e 26,2% a aterros controlados e lixões. Em Minas Gerais, segundo dados da FEAM (2020), a geração de RSU naquele ano foi de aproximadamente 7,5 milhões de toneladas, o que corresponde a uma média de 357 kg por habitante por ano. Desse total, cerca de 30% foram destinados a aterros sanitários, 70% a aterros controlados e lixões.

As cidades do Vale do Mucuri apresentam médias de geração de resíduos sólidos urbanos superiores às médias nacional e estadual, variando de 626 kg a 943 kg por habitante por ano. Esses valores indicam um alto consumo e uma baixa reciclagem dos resíduos nessas cidades, o que pode estar relacionado a fatores

socioeconômicos, culturais e educacionais (SILVA et. al., 2014).

Além disso, a geração de resíduos *per capita* elevada nessas áreas, em comparação com sua densidade populacional, indica a necessidade de estratégias eficazes de gerenciamento de resíduos para lidar com esse desafio. Os dados só comprovam que a transição dos lixões para aterros sanitários é de suma importância para aprimorar a gestão de resíduos sólidos em todo o país. Conforme estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) a erradicação dos lixões é um dos principais objetivos na administração de resíduos sólidos, já que esses locais representam focos de poluição ambiental e constituem ameaças à saúde pública.

2.3. A importância da substituição dos lixões por aterros sanitários

O aterro sanitário é uma técnica de disposição final de resíduos sólidos urbanos que visa minimizar os impactos ambientais e sanitários causados pelo acúmulo de lixo nas cidades. De acordo com a ABNT (2004), um aterro sanitário deve possuir uma série de medidas preventivas, como a impermeabilização do solo, a instalação de sistemas de drenagem de chorume e a captura e tratamento do biogás gerado. Além disso, é importante que este esteja localizado em uma área distante dos centros urbanos, a fim de evitar problemas de contaminação do ar, do solo e da água.

Segundo Antenor (2020), os aterros sanitários são locais que reduzem significativamente os impactos ambientais e sanitários, e oferecem maior segurança para a disposição de resíduos, com maior vida útil, o que pode representar economia para os municípios. Por isso, é fundamental que os municípios brasileiros busquem a substituição dos lixões por aterros sanitários, como forma de promover a gestão adequada dos resíduos sólidos e a preservação do meio ambiente e da saúde pública.

A importância dos aterros sanitários na gestão de resíduos sólidos urbanos é destacada por diversos autores. Um exemplo é Garbossa (2010) que em sua explanação diz que o aterro sanitário é amplamente reconhecido como o método mais eficiente de tratamento de resíduos sólidos. No entanto, para garantir sua eficácia, é fundamental que seja implantado e operado de acordo com as normas e regulamentações objetivando prevenir doenças decorrentes da exposição do lixo a céu aberto, além de evitar a atração de animais e a propagação de odores indesejáveis.

2.4. Consórcios públicos e a gestão dos serviços de limpeza urbana

Consórcios Públicos são dois ou mais entes da federação (municípios, estados e a União), que reunidos, sem obtenção de lucros, tem o propósito de oferecer serviços e realizar ações colaborativas em prol do interesse coletivo e benefícios públicos. Assume a forma de uma associação pública, possuindo personalidade jurídica de

direito público e características autárquicas, ou ainda, como pessoa jurídica de direito privado, sem fins econômicos (Art. 2, inc. I do Decreto Federal nº 6017/07).

Os consórcios têm desempenhado papel crucial na gestão de resíduos urbanos, permitindo cooperação entre entes federativos, resultando em economias de escala, redução de custos e melhoria dos serviços (GASPAROTTO JUNIOR E SOUZA, 2019). No Brasil, em 2020, 235 consórcios envolvendo 1.404 municípios foram identificados, abrangendo 25,1 milhões de habitantes (BRASIL, 2021). No âmbito estadual, a Lei 18.031/2009 em Minas Gerais incentiva soluções municipais e regionais, propondo consórcios intermunicipais para a gestão integrada de resíduos, alinhados com as diretrizes da PNRS.

Na busca de soluções, 19 municípios dos Vales do Mucuri, Rio Doce e São Mateus (Ataléia, Campanário, Caraí, Catuji, Franciscópolis, Frei Gaspar, Itaipé, Itambacuri, Jampruca, Ladainha, Nova Módica, Novo Cruzeiro, Novo Oriente de Minas, Ouro Verde de Minas, Pavão, Pescador, Poté e São José do Divino) reuniram-se para desenvolver um mecanismo que possibilite a implementação de um processo eficiente para a destinação final de resíduos, garantindo a adequação ambiental. A partir disto, em 2013 surgiu o CIRSU – Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos Urbanos, que inativo até 2022, transformou-se, no ano seguinte em Consórcio Multifinalitário de Conservação e Desenvolvimento Sustentável dos Vales – Conservar Mucuri.

De acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, os 19 municípios apresentam um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) considerado baixo, com valores entre 0,5 e 0,6 (PNUD, IPEA e FJP, 2013). Esses valores indicam que os municípios enfrentam desafios significativos para o desenvolvimento humano, como baixa renda per capita, baixo acesso a serviços de educação e saúde e condições precárias de habitação e saneamento básico.

Assim sendo, as ações do Conservar Mucuri são fundamentais para a execução de políticas públicas que visem à promoção do desenvolvimento humano e à redução das desigualdades sociais e regionais.

3. Materiais e Métodos

O presente estudo foi concebido considerando a futura implementação de um aterro sanitário destinado a atender os municípios consorciados no âmbito do Consórcio Conservar Mucuri. A região delimitada engloba uma população total de 189.429 habitantes, sendo 103.459 habitantes residentes em zona urbana e 85.970 em zona rural (CONSERVAR MUCURI, 2023). De relevância para os cálculos de produção do biogás, o índice pluviométrico na bacia hidrográfica do rio Mucuri,

conforme documentado por ALMEIDA *et al.* (2018), apresenta os menores registros no mês de agosto, variando de 20 a 40 mm, e os maiores no mês de dezembro, situando-se entre 152 e 278 mm, em média. Destaca-se que o trimestre mais chuvoso compreende os meses de novembro, dezembro e janeiro, enquanto o trimestre seco abrange junho, julho e agosto.

3.1. Dimensionamento

3.1.1. Crescimento populacional

O método adotado para estimar o crescimento populacional foi o de Projeção Geométrica. Conforme informado anteriormente, para este estudo, fora considerado somente os 19 municípios que compõem o Consórcio Conservar Mucuri. Segundo o último Censo (IBGE, 2022), a população que compõe esta área está descrita no Quadro 3, abaixo.

Município	População (hab.)
Ataléia	13.736
Campanário	2.923
Caraí	19.548
Catuji	7.030
Franciscópolis	5.034
Frei Gaspar	5.640
Itaipé	10.463
Itambacuri	21.042
Jampruca	4.296
Ladainha	14.383
Nova Módica	3.663
Novo Cruzeiro	26.975
Novo Oriente de Minas	10.275
Ouro Verde de Minas	5.757
Pavão	8.047
Pescador	3.570
Poté	13.666
São José do Divino	3.464
Setubinha	9.917

TOTAL	189.429
--------------	----------------

Quadro 3: Municípios membros do Conservar Mucuri e sua população total.

Fonte: IBGE (2022), adaptado.

A projeção populacional é uma estimativa do número de habitantes de uma determinada área em um determinado período, considerando as tendências demográficas observadas no passado e no presente. A projeção populacional pode ser feita por diferentes métodos, que variam em complexidade e precisão. Um dos métodos mais simples é o método geométrico, que usa a taxa de crescimento populacional como base para projetar a população futura.

A taxa de crescimento populacional é a variação percentual da população em um determinado intervalo de tempo, que pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$T = \left[\frac{(P_f - P_i)}{P_i} \times 100 \right] \quad (1)$$

Onde:

- **T** – é a taxa de crescimento populacional em porcentagem;
- **P_f** – é a população final no período considerado;
- **P_i** – é a população inicial no período considerado.

A projeção populacional pelo método geométrico é feita pela seguinte fórmula:

$$P_n = P_i \times \left(\frac{1 + T}{100} \right)^n \quad (2)$$

Sendo:

- **P_n** – é a população projetada para o ano n;
- **P_i** – é a população inicial no ano base;
- **T** – é a taxa de crescimento populacional em porcentagem;
- **n** – é o número de anos entre o ano base e o ano projetado.

Para aplicar esse método, é preciso conhecer a população inicial, a taxa de crescimento populacional e o número de anos da projeção. Considerando a população inicial dos municípios em 2022, de 189.429 habitantes, que o número de anos da projeção é 20, sendo este o prazo máximo de vida útil de um aterro sanitário, utiliza-se a taxa de crescimento populacional do Brasil como referência, que segundo o IBGE (s.d.), foi de 0,77% em 2020. Utilizando-se os valores citados e a equação 2, obtêm-se o seguinte resultado:

$$P_n = 189.429 \times \left(1 + \frac{0,77}{100} \right)^{20}$$

$$P_n = 221.728 \text{ habitantes}$$

Isso significa que a projeção populacional para daqui 20 anos nos Municípios que compõe o Conservar Mucuri, usando o método geométrico e a taxa de crescimento populacional do Brasil, seria de 221.728 habitantes, considerando a população de 2022.

No entanto, é importante ressaltar que esse método é uma simplificação que não leva em conta as variações da taxa de crescimento populacional ao longo do tempo, nem os fatores que influenciam essa taxa, como a fecundidade, a mortalidade e a migração.

3.1.2. Aterro sanitário

O dimensionamento adequado de um aterro sanitário é essencial para diversos aspectos, destacando-se a capacidade de acomodação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados por uma população ao longo do tempo. A definição da vida útil do aterro é crucial e depende de fatores como a taxa de geração de resíduos, a fração orgânica dos resíduos, a taxa de decomposição e a altura do aterro (HAMADA, 2003). Essa altura, por sua vez, está associada às características do solo, ao lençol freático, ao relevo e à legislação aplicável (HAMADA, 2003).

A ABNT NBR 8419 (ABNT, 1992) estabelece critérios e condições mínimas para projetos de aterros sanitários de RSU, abordando o dimensionamento do aterro. O dimensionamento considera fatores como a quantidade de resíduos, vida útil do aterro, área, profundidade do lençol freático, tipo de solo, relevo e conformidade com a legislação ambiental, sanitária, urbanística e de segurança.

Para este trabalho, considera-se uma população inicial de 189.429 habitantes, com uma projeção para 221.728 habitantes em 20 anos, uma taxa média de geração de resíduos per capita diário de 0,881 kg e uma fração orgânica média de 54% (CONSERVAR MUCURI, 2023). A fórmula utilizada para dimensionar o aterro sanitário do Conservar Mucuri é baseada nos parâmetros de tempo de vida útil de 20 anos e altura máxima de 15 metros, conforme padrão NBR 8419. Esses elementos são incorporados nas formulações a seguir:

$$Q = P \times G \times F \times 365 \times n \quad (3)$$

Onde:

- **Q** – é a quantidade total de resíduos orgânicos que o aterro deve receber em toneladas;
- **P** – é a população média dos municípios em habitantes;

$$P = \frac{(189.429 + 221.728)}{2} = 205.579 \text{ habitantes}$$

- **G** – é a taxa de geração de resíduos per capita em kg/hab.dia;

$$G = 0,881 \text{ kg/hab. dia}$$

- **F** – é a fração orgânica dos resíduos em decimal;

$$F = 0,54$$

- **365** – é o número de dias em um ano;

- **n** – é o tempo de vida útil do aterro em anos.

$$n = 20 \text{ anos}$$

Retornando a equação 3, tem-se:

$$Q = 205.579 \times 0,881 \times 0,54 \times 365 \times 20$$

$$Q = 2.062.839 \text{ toneladas}$$

Já para a área necessária ao aterro sanitário, tem-se:

$$A = \frac{Q}{(D \times H)} \quad (4)$$

Onde:

- **A** – é a área do aterro em hectares;
- **Q** – é a quantidade total de resíduos orgânicos que o aterro deve receber em toneladas;
- **D** – é a densidade dos resíduos compactados em ton/ha.m;
- **H** – é a altura do aterro em metros.

Utilizando os valores anteriormente informados, tem-se:

- **D = 0,6 ton/ha.m** (valor médio para resíduos orgânicos compactados, conforme a NBR 8419)

- **H = 15 m.**

O resultado obtido para a equação 4 foi:

$$A = \frac{2.062.839}{(0,6 \times 10)}$$

$$A = 228,1 \text{ hectares}$$

Isso significa que o tamanho do aterro sanitário que será suficiente para atender os municípios do Conservar Mucuri será de 228,1 hectares, considerando os valores informados e estimados.

3.2. Equação do inventário

Com base na informação fornecida por Muylaert (2000), o biogás tem a seguinte composição em percentual molar: Metano (CH₄) – 40 a 55%; Dióxido de carbono (CO₂) – 35 a 50%; Nitrogênio (N₂) – 0 a 20%. Além disso, o poder calorífico do biogás é de 14,9 a 20,5 MJ/m³, o que equivale a aproximadamente 5800 kcal/m³. Esses valores são essenciais para cálculos relacionados à geração de energia a partir do biogás, como o cálculo da potência disponível por ano mencionado anteriormente.

O método apresentado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 1996) constitui uma abordagem simplificada para a estimativa das emissões de metano em aterros sanitários. De acordo com Britto (2006), esse método envolve a avaliação da quantidade de carbono orgânico degradável presente nos resíduos, a partir da qual é calculada a quantidade de metano que pode ser gerada.

Essa estimativa é realizada considerando dados estatísticos da população e características dos resíduos sólidos urbanos. A equação empregada por esse método é a seguinte:

$$CH_4 = (PopUrb \times Taxa\ RSU \times RSD_f \times L_0 - R) \times (1 - OX) \quad (5)$$

Sendo que:

- **CH₄** – quantidade de gás metano emitido em toneladas de CH₄/ano;
- **PopUrb** – número de habitantes residentes na área urbana;
- **Taxa RSU** – resíduos sólidos urbanos gerados, dado em toneladas de RSU/habitante x ano;
- **RSD_f** – fração dos resíduos que é coletada e depositada no aterro sanitário;
- **L₀** – potencial de geração de metano dos resíduos em toneladas de CH₄/toneladas de resíduo;
- **R** – metano que é captado e aproveitado em toneladas de CH₄/ano;
- **OX** – fator de oxidação do metano na superfície do aterro sanitário.

O fator de oxidação do metano (OX) refere-se à quantidade de metano que sofre oxidação, seja na camada de resíduos ou na superfície do aterro, conforme destacado por Gracino (2010). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 1996), esse fator está em constante estudo, e enquanto novos dados não são apresentados, é comum adotar o valor de OX como zero. No entanto, Miller *et al.* (2009) empregaram o fator de oxidação como 0,1 em seus estudos, considerando a gestão eficiente dos aterros.

3.2.1. Quantidade de metano gerado (Q_{t,x})

Brondani *et al.* (2020) resume a Eq. 5 em:

$$Q_{t,x} = k \times R \times L_0 \times e^{-k(T-x)} \quad (6)$$

Onde:

- $Q_{t,x}$ – quantidade de metano gerado no ano em questão (m^3 /ano);
- k – taxa de geração de metano (1/ano);
- R_x – quantidade de resíduos depositada no ano x em toneladas (t/ano)
- L_0 – potencial de geração de metano;
- T – ano em questão;
- x – ano que o resíduo foi depositado.

3.2.2. Potencial de geração de metano (L_0)

O potencial de geração de metano dos resíduos (L_0) é um dado de significativa importância, não apenas utilizado na metodologia desenvolvida pelo IPCC, mas também aplicável a outras metodologias e softwares voltados para a estimativa de metano gerado em aterros sanitários. O cálculo de L_0 é realizado por meio da seguinte fórmula:

$$L_0 = FCM \times COD \times COD_f \times F \times \frac{16}{12} \quad (7)$$

Sendo:

- L_0 – o potencial de geração de metano dos resíduos em toneladas de CH_4 /tonelada de resíduo;
- FCM – fator de correção de metano;
- COD – carbono orgânico degradável, dado em tonelada de C/tonelada de resíduo;
- COD_f – fração de COD dissociada;
- F – fração do metano presente no biogás em volume;
- $(16/12)$ – fator de conversão do carbono em metano, dado em tonelada de CH_4 /tonelada de C.

3.2.3. Fator de correção do metano (FCM)

O fator de correção do metano (FCM) apresenta variação em função da qualidade da compactação dos resíduos, considerando que a disposição dos resíduos influencia na geração de metano no aterro sanitário. O FCM é definido como 0,4 para locais de deposição inadequados com profundidades de lixo inferiores a 5 metros, 0,8 para locais inadequados, porém com profundidades de lixo superiores a 5 metros, e 1 para locais adequados, caracterizados por deposição controlada de lixo, uso de material de cobertura, compactação mecânica e nivelamento do terreno. O valor de F,

representando a fração de metano no biogás, varia entre 35% e 65%, conforme indicado por Persson *et al.* (2006), nos aterros sanitários.

3.2.4. Quantidade de carbono degradável (COD)

Outra variável de extrema importância é a quantidade de carbono degradável presente nos resíduos (COD), que considera a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e a quantidade de carbono em cada componente do lixo, podendo apresentar consideráveis variações de um local para outro.

Componente	Porcentagem de COD (em massa)
A – papel e papelão	40
B – resíduos de parques e jardins	17
C – restos de alimentos	15
D – tecidos	40
E – madeira [†]	30

Quadro 2: Teor de carbono orgânico degradável em cada componente dos resíduos.

Fonte: Necker e Rosa (2014).

O COD é calculado da seguinte forma:

$$COD = (0,4 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,4 \times D) + (0,3 \times E) \quad (8)$$

Sendo:

- **A** – fração de papel e papelão dos resíduos;
- **B** – fração de detritos de parques e jardins dos resíduos;
- **C** – fração de restos de alimentos dos resíduos;
- **D** – fração de tecidos dos resíduos;
- **E** – fração de madeira dos resíduos.

3.2.5. Fração dissociada de carbono orgânico degradável (COD_f)

Existe ainda a fração dissociada de carbono orgânico degradável (COD_f), que, conforme Birgemer e Crutzen (1987), representa a fração de carbono disponível para a decomposição bioquímica e varia de acordo com a temperatura na zona anaeróbia do aterro sanitário. Assume-se que a temperatura nessa zona permanece constante em torno dos 35°C, independentemente da temperatura ambiente (BIRGEMER E CRUTZEN, 1987). A COD_f pode ser calculada pela seguinte fórmula:

[†] excluindo a fração de lignina por se decompor muito lentamente. Fonte: Britto (2006).

$$COD_f = 0,014 T + 0,28 \quad (9)$$

Não há uma previsão definida para o ano em que o aterro estará pronto e em funcionamento. Portanto, optou-se por adotar o ano de 2023 como representativo, considerando que, de acordo com a situação atual, é improvável que o aterro entre em operação antes dessa data.

3.4. Potencial energético do biogás

A fim de converter o biogás em energia, é essencial avaliar o tratamento que será aplicado ao biogás, bem como a fração que será recuperada e empregada na conversão energética. A capacidade de produção energética do aterro, representada pela potência disponível por ano (P_x), pode ser calculada com base na vazão anual de biogás (Q_x) em metros cúbicos de metano por ano. A fórmula proposta por Abreu *et. al.* (2006) para o cálculo é:

$$P_x = \left[\left(\frac{Q_x \times P_c(\text{CH}_4)}{31.536.000} \right) \times E_c \right] \quad (10)$$

Dados:

- P_x – potência disponível por ano (kW)
- Q_x – vazão de biogás a cada ano ($\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ano}$)
- $P_c(\text{CH}_4)$ – poder calorífico do metano
- **31.536.000** – segundos em um ano (s/ano)
- E_c – eficiência de coleta dos gases (%)

Esse cálculo permite estimar a potência disponível anualmente com base na quantidade de biogás gerado e na eficiência de coleta dos gases, proporcionando insights sobre a capacidade de produção energética do aterro.

3.5. Impacto social

O impacto social gerado pelo gerenciamento eficiente de resíduos sólidos dos municípios do Conservar Mucuri, especialmente a conversão de metano em energia, é de extrema importância para a região e especialmente para comunidades como o Quilombo dos Ferreiras. Além de contribuir para a mitigação ambiental, proporciona benefícios diretos que podem ser mensurados ao longo do tempo. A produção contínua de energia elétrica proveniente do aterro sanitário não só atende às demandas locais, como assegura um acesso confiável a recursos básicos, incluindo eletricidade e água.

A medição do impacto social ao longo do tempo pode ser realizada através de indicadores chave, como melhoria nas condições de vida da comunidade, aumento no acesso à eletricidade, desenvolvimento econômico local e aprimoramento das

condições de saúde. O monitoramento das mudanças positivas nessas áreas proporciona uma visão clara do impacto social sustentável gerado pelo projeto. Adicionalmente, a participação e o envolvimento da comunidade no processo, juntamente com a criação de oportunidades de emprego local, são indicadores valiosos do impacto social positivo que pode ser medido e avaliado continuamente. A implementação de ações de responsabilidade social e programas de educação ambiental também desempenha um papel significativo na construção de uma comunidade mais resiliente e consciente ao longo do tempo.

4. Resultados e discussões

4.1. Equação de Inventário

4.1.1. Cálculo do carbono degradável (COD)

Para calcular o carbono degradável dos resíduos, utilizou-se o estudo do CONSERVAR MUCURI (2023), que conduziu uma análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de seus municípios. Os resíduos quantificados foram classificados em diferentes categorias, tais como matéria orgânica, papel/papelão, plásticos, metais, vidro e outros, conforme a Quadro 4.

Qualitativo Resíduos	
Tipo	Porcentagem (%)
Restos de Comida	59
Papel/papelão	10
Plástico	11
Metais	2
Vidros	1
Entulho	4
Outros	14
Total	100

Quadro 4: Relação gravimétrica dos resíduos dos Municípios do Conservar Mucuri.

Fonte: CONSERVAR MUCURI (2023), adaptado.

Na abordagem do estudo, os papéis e papelões foram categorizados como o componente A, enquanto a matéria orgânica foi considerada como o componente C, conforme indicado no Quadro 2. Os demais componentes não receberam dados específicos, uma vez que o estudo de Conservar Mucuri (2023) não subdividiu os resíduos entre os componentes necessários para o método de estimativa apresentado pelo IPCC. Portanto, com base na Eq. 8, o COD calculado foi o seguinte.

$$COD = (0,4 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,4 \times D) + (0,3 \times E)$$

$$COD = (0,4 \times 0,10) + (0,15 \times 0,59)$$

$$COD = 0,1285 \text{ t de Carbono por tonelada de resíduo}$$

4.1.2. Cálculo da fração do carbono degradável dissociada (COD_f)

Para calcular a fração do carbono degradável dissociada, conforme descrito por Birgemer e Crutzen (1987), que representa a fração de carbono disponível para a decomposição bioquímica e varia em função da temperatura na zona anaeróbia do aterro sanitário, foi adotada a temperatura de 35°C. O autor sugere que, em locais de disposição de resíduos sólidos, a temperatura na zona anaeróbia permanece em torno dos 35°C. Dado que o aterro sanitário ainda está em fase de projeto, impossibilitando a medição da temperatura na zona anaeróbia, optou-se por considerar 35°C no cálculo, substituindo esses valores na Eq. 9 para encontrar o COD_f.

$$COD_f = 0,014 T + 0,28$$

$$COD_f = 0,014 \times 35 + 0,28$$

$$COD_f = 0,77$$

4.1.3. Cálculo do potencial de geração de metano dos resíduos (L₀)

No cálculo do potencial de geração de metano dos resíduos, foram realizadas considerações cruciais. O fator de correção de metano (FCM) é variável, dependendo da qualidade do aterramento dos resíduos, pois considera que a forma como os resíduos são depositados influencia na produção de metano no aterro sanitário. O FCM varia de 0,4 a 1, sendo 1 considerado para locais com deposição controlada de lixo, material de cobertura, compactação mecânica e nivelamento do terreno. No cálculo, assumiu-se que o aterro a ser construído será bem manejado, atribuindo um valor de FCM igual a 1. O valor de F considerado foi 50%, uma média entre os valores definidos por Persson *et al.* (2006). Substituindo esses valores na Eq. 8, obtemos:

$$L_0 = FCM \times COD \times COD_f \times F \times \frac{16}{12}$$

$$L_0 = 1 \times 0,1285 \times 0,77 \times 0,5 \times \frac{16}{12}$$

$$L_0 = 0,1332 \text{ t de CH}_4/\text{t de resíduo}$$

4.1.4. Cálculo da quantidade metano gerado (CH₄)

Para calcular as quantidades anuais de metano geradas, foi necessário realizar uma estimativa do crescimento populacional da região. Considerou-se que o aterro

começará a receber resíduos em 2023 e será fechado em 2043, totalizando um período de vida útil de 20 anos.

A taxa de geração de resíduos sólidos utilizada no cálculo foi obtida pelo CONSERVAR MUCURI (2023), sendo de 0,802 kg/hab./dia. Estimar a taxa de geração de resíduos por habitante é uma variável complexa, influenciada por diversos fatores, como os hábitos adotados pela população e o crescimento econômico da região. Atualmente, a taxa de cobertura da população urbana pela coleta pública de resíduos é de 100%, conforme dados dos responsáveis pela coleta, e esse valor foi considerado para os próximos 20 anos no modelo. Dessa forma, com a Eq. 6, obteve-se a quantidade de metano gerada no aterro para o ano de 2023.

$$Q_{t,x} = k \times Rx \times L0 \times e^{-k(T-x)}$$

$$Q_{t,x} = 0,5 \times 2.062.839 \times 0,1332 \times e^{-0,5(T-x)}$$

A tabela a seguir mostra os valores de $Q_{t,x}$ para cada ano, desde o ano 1 até o ano 10, onde o acréscimo é maior:

Ano (T)	Ano de depósito (x)	Qt,x (m³/ano)
1	1	1.378.000
2	2	2.067.000
3	3	2.412.000
4	4	2.587.000
5	5	2.670.000
6	6	2.713.000
7	7	2.735.000
8	8	2.746.000
9	9	2.751.000
10	10	2.754.000

Quadro 5: Valores de emissão de metano.

Fonte: Brondani et. al. (2020), adaptado.

4.2. Convertendo o metano em energia

Utilizando a fórmula citada anteriormente, tem-se:

$$P_x = \left[\left(\frac{Q_x \times P_c(CH_4)}{31.536.000} \right) \times E_c \right] \quad (11)$$

Onde:

- P_x – potência disponível por ano (kW);
- Q_x – vazão de biogás a cada ano (m^3CH_4/ano);
- $P_c(CH_4)$ – poder calorífico do metano;
- **31.536.000** – segundos em um ano (s/ano);
- E_c – eficiência de coleta dos gases (%).

Ano (T)	Ano de depósito (x)	$Q_{t,x}$ (m^3/ano)	Energia térmica (J/ano)	Energia elétrica (kWh/ano)
1	1	1.378.000	41.400.000.000.000	3.216.666
2	2	2.067.000	62.136.000.000.000	4.835.333
3	3	2.412.000	72.072.000.000.000	5.605.333
4	4	2.587.000	77.688.000.000.000	6.037.333
5	5	2.670.000	80.280.000.000.000	6.238.333
6	6	2.713.000	81.072.000.000.000	6.298.333
7	7	2.735.000	80.784.000.000.000	6.277.333
8	8	2.746.000	79.812.000.000.000	6.200.333
9	9	2.751.000	78.444.000.000.000	6.091.333
10	10	2.754.000	76.788.000.000.000	5.966.333

Quadro 6: Valores de $Q_{t,x}$, a energia térmica produzida e a energia elétrica produzida para cada ano.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Estimando o valor da energia elétrica gerada pelo aterro sanitário, considerando o preço médio da tarifa de energia elétrica no Brasil. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (s.d.), o preço médio da tarifa de energia elétrica no Brasil em 2020 foi de R\$ 0,582 por kWh. Multiplicando esse valor pela produção de energia elétrica no primeiro ano, temos:

$$\text{Valor da energia elétrica} = 0,582 \text{ kWh} \times 3.216.666 \text{ kWh/ano}$$

$$\text{Valor da energia elétrica} = R\$ 1.872.099,06/ano$$

Portanto, a produção de energia elétrica no primeiro ano teria um valor de aproximadamente R\$ 1.872.099,06, considerando o preço médio da tarifa de energia elétrica no Brasil. Isso mostra que o aproveitamento do biogás gerado pelo aterro

sanitário pode contribuir para a geração de renda ou a redução dos seus custos operacionais.

4.3. Demanda energética do Quilombo dos Ferreiras

4.3.1. Demanda de energia elétrica residencial

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2022), o consumo médio de energia elétrica por habitante em Minas Gerais, no ano de 2022, foi de 575 kWh por ano. Em uma pesquisa na comunidade, foi constatado que sua população total é de aproximadamente 200 habitantes, logo, para estimar a demanda energética do Quilombo dos Ferreiras, podemos multiplicar o consumo médio de energia elétrica por habitante pelo número total de habitantes na comunidade. Essa abordagem nos proporcionará uma estimativa inicial da demanda de eletricidade na comunidade, considerando o cenário médio de consumo.

$$\textit{Demanda Total} = \textit{Consumo Médio por Habitante} \times \textit{População Total} \quad (12)$$

$$\textit{Demanda Total} = 575 \frac{\textit{kWh}}{\textit{hab. ano}} \times 200 \textit{ hab}$$

$$\textit{Demanda Total} = 115.000 \textit{ kWh/ano}$$

Considerando-se que a geração inicial energia elétrica no primeiro ano de instalação do aterro sanitário do Conservar Mucuri será de 3.126.666 kWh/ano, pode-se constatar que esta será suficiente para atender a demanda energética do Quilombo.

4.3.2. Demanda de energia elétrica para uma bomba d'água

O Quilombo dos Ferreiras enfrenta uma séria escassez de água, conforme mencionado anteriormente. Para resolver essa situação, uma proposta eficaz seria a instalação de uma bomba d'água operando 24 horas por dia em um poço artesiano local, já perfurado. Essa medida visa assegurar o abastecimento adequado para atender às necessidades pessoais e domésticas da comunidade, abrangendo atividades como consumo de água potável, higiene pessoal, lavagem de roupas, preparação de alimentos e cuidados domiciliares.

A implementação dessa solução não apenas aliviaria a atual carência de água no Quilombo, mas também contribuiria para a melhoria das condições de vida e saúde dos residentes, seguindo as diretrizes recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2003), de que “são necessários entre 50 a 100 litros de água por pessoa, por dia, para assegurar a satisfação das necessidades mais básicas e a minimização dos problemas de saúde”.

$$\textit{Demanda mínima} - D_{min} = \textit{População} \times \textit{Consumo diário} \quad (13)$$

$$D_{min} = 200 \textit{ pessoas} \times 50 \textit{ L/dia}$$

$$D_{min} = 10.000 \frac{L}{dia} \text{ ou } 10m^3/dia$$

Abastecendo-os 24h por dia, a vazão necessária de água seria:

$$Q = \frac{D_{min}}{Tempo} \quad (14)$$

$$Q = \frac{10m^3}{24h}$$

$$Q = \frac{0,42m^3}{h}$$

Como margem de segurança, utiliza-se **0,5 m³/h**. Ainda, necessitando estimar o tempo de funcionamento da bomba por dia (t), considera-se:

$$t = \frac{D_{min}}{Q} \quad (15)$$

$$t = \frac{10m^3/dia}{0,5 m^3/h}$$

$$t = 20h/dia$$

Para estimar o rendimento da bomba utilizamos um valor médio, que pode variar de 40% a 80%, dependendo do tipo e da qualidade da bomba. Segundo o site Você Pergunta (s.d.), o rendimento médio de uma bomba submersa para poço artesiano é de 70%, considerando uma boa qualidade e manutenção da bomba. Ainda, que a altura manométrica total média para poços artesianos é de 60 mca, considerando uma altura de sucção de 10 mca, uma altura de elevação de 20 mca e perdas de carga de 30 mca. Com esses valores estimados, pode-se calcular a potência da bomba em watts, usando a fórmula:

$$P = \frac{(Q \times H \times 9,81)}{75} \quad (16)$$

Onde:

- **P** – potência da bomba, medida em watts (W).
- **Q** – vazão de água do poço, medida em metros cúbicos por hora (m³/h).
- **H** – altura manométrica total, medida em metros de coluna de água (mca).
- **9,81** – aceleração da gravidade, medida em metros por segundo ao quadrado (m/s²).
- **75** – fator de conversão de metros de coluna de água para watts (W/mca).

Utilizando-se a Equação 16, temos:

$$P = \frac{(Q \times H \times 9,81)}{75}$$

$$P = \frac{0,5 \times 60 \times 9,81}{75}$$

$$P = 39,24 W$$

Com esse valor de potência, pode-se fazer o cálculo da quantidade de energia elétrica necessária para manter a bomba submersa, em um ano, usando a fórmula:

$$E = \frac{(P \times t \times 365)}{(1000 \times r)} \quad (17)$$

Onde:

- **E** – quantidade de energia elétrica necessária para manter uma bomba elétrica de um poço artesiano em um ano, medida em quilowatt-hora (kWh/ano).
- **P** – potência da bomba, medida em watts (W).
- **t** – tempo de funcionamento da bomba por dia, medido em horas (h/dia).
- **365** – número de dias em um ano.
- **1000** – fator de conversão de watts para quilowatts (kW).
- **r** – rendimento da bomba, expresso em porcentagem (%).

$$E = \frac{(39,24 \times 20 \times 365)}{(1000 \times 0,7)}$$

$$E = 40,82 kWh/ano$$

Considerando as informações já apresentadas, a energia elétrica gerada através do biogás produzido no aterro sanitário do Conservar Mucuri, seria suficiente para manter as residências locais e ainda suprir a demanda de uma bomba d'água submersa ao longo de um ano.

4.4. Avaliação dos resultados obtidos

No contexto do inventário de carbono, a análise do carbono degradável (COD) foi conduzida com base em uma análise gravimétrica de resíduos sólidos urbanos realizada pelo CONSERVAR MUCURI (2023). Os cálculos resultaram em 0,1285 toneladas de carbono por tonelada de resíduo, considerando a fração do carbono degradável dissociada (COD_f) de 0,77 e o potencial de geração de metano (L₀) de 0,1332 toneladas de CH₄ por tonelada de resíduo. A transformação do metano em energia revelou uma produção anual crescente ao longo de 10 anos, gerando receitas estimadas em R\$ 1.872.099,06 no primeiro ano, com potencial de impacto econômico local significativo.

No âmbito da demanda energética do Quilombo dos Ferreiras, a análise indicou que a produção inicial de energia elétrica do aterro sanitário seria suficiente para

atender às necessidades da comunidade. Além disso, a viabilidade de utilizar o biogás gerado para suprir as demandas foi destacada, mostrando que a energia elétrica produzida pelo aterro poderia sustentar a operação de uma bomba d'água submersa e a demanda total de energia residencial ao longo de um ano.

5. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi estimar as emissões de metano dos resíduos sólidos urbanos gerados pelos 19 municípios que compõem o Consórcio Multifinalitário de Conservação e Desenvolvimento Sustentável dos Vales – Conservar Mucuri, e avaliar o potencial de aproveitamento do biogás para a geração de energia elétrica. Para isso, fora utilizado um método proposto pelo IPCC (1996): o método do inventário.

Os resultados obtidos desta análise revelam não apenas o potencial ambiental do aproveitamento do biogás proveniente do aterro sanitário, mas também seus impactos significativos no contexto social. A geração de energia elétrica, estimada em R\$ 1.872.099,06 no primeiro ano, não só proporciona uma fonte sustentável e renovável, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, como também apresenta benefícios sociais expressivos. A produção excedente em relação à demanda da Comunidade Quilombola dos Ferreiras, destacada pela relação de 27 vezes maior,

Além disso, estimou-se que a produção de energia elétrica no primeiro ano seria suficiente para abastecer os 200 habitantes da Comunidade Quilombola dos Ferreiras, considerando a demanda energética da comunidade de 115.000 kWh/ano, enquanto a geração inicial de energia a partir do aterro sanitário do Conservar Mucuri é de 3.126.666 kWh/ano, significando que a geração de energia elétrica é 27 vezes maior do que a demanda energética da comunidade. Este resultado sugere não apenas a capacidade de fornecer eletricidade para a comunidade, mas também a oportunidade de gerar renda adicional ou canalizar o excedente para melhorias locais. Esses resultados evidenciam a interseção entre práticas sustentáveis, geração de renda e melhoria na qualidade de vida, reforçando a importância de abordagens inovadoras e integradas para enfrentar os desafios sociais e ambientais.

Conclui-se que, é crucial considerar medidas de conservação e gestão eficiente da energia elétrica, bem como explorar fontes alternativas e renováveis para garantir a sustentabilidade a longo prazo. A interseção entre a demanda por energia e a necessidade de acesso à água potável destaca a complexidade dos desafios enfrentados pela comunidade, exigindo abordagens integradas e sustentáveis para atender a ambas as necessidades básicas.

Referências

- ABNT. **NBR 13896: Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Critérios para projeto, construção e operação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. 2004.
- ABNT. **NBR 8.419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento**. Rio de Janeiro. 1992, 13p.
- ABREU, F. C.; PECORA, V.; VELÁZQUEZ; & COELHO, S. T.; **Biogás de aterro para geração de eletricidade e iluminação**. Universidade de São Paulo (USP), IEE/CENBIO – Instituto de Eletrotécnica e Energia / Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, SP, 2006.
- ANTENOR, S. **Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade**. 2020. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- ALMEIDA, A. W. B. de. **Terras de quilombo, terras indígenas, "babaçuais livres", "castanhais do povo", faxinais e fundos de pasto: terras tradicionalmente ocupadas**. Manaus: PPGSCA-UFAM, 2008.
- ALMEIDA, R. A., PINTO, D. B. F., PRIMO, D. F., SENA, F. R., & SANTOS, D. M. (2018). **Análise espacial e temporal das chuvas médias mensais e anuais na Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri**. Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG, 26(4), 370–382. Disponível em: <<https://doi.org/10.13083/reveng.v26i4.941>>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- ANEEL. **Custo da energia que chega aos consumidores**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/custo-da-energia-que-chega-aos-consumidores>>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- BIRGEMER, H. G. CRUTZEN, P. J. **The production of metano from solid waste**. *Journal of geophysical research* v. 92, n. D2, p 2181 – 2187. 1987.
- BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 30 mai. de 2023.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021**. Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. – Brasília: DF, 2021. 233p.
- BRITTO, M. L. C. P. S. **Taxa de Emissão de Biogás e Parâmetros de Biodegradação de Resíduos Sólidos Urbanos no Aterro Metropolitano Centro**. Tese de Mestrado, Salvador, Bahia, 2006. CEGAS – Companhia de Gás do Ceará. Site: < www.cegas.com.br/gasna>. Acesso em: 30 mai. de 2023.
- BRONDANI, H. Z. P.; JUNG, R. C.; JOHANN, D. L. F.; OLIVEIRA, V. J. **Análise da geração de biogás em aterro sanitário e conversão em energia**. Salão do

Conhecimento, v. 6, n. 6, 2020. Disponível em: <<https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/17700>>. Acesso em: 2 dez. 2023.

CARVALHO, J. M. de. **Cidadania no Brasil: o longo caminho**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2001.

CEMIG DISTRIBUIÇÃO SA. **Quilombolas - Cemig no Campo**. 1a. ed. 2022. [s.n.].

CONSERVAR MUCURI – Consórcio Multifinalitário de Conservação e Desenvolvimento Sustentável dos Vales. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Itambacuri: Conservar Mucuri, 2023.

EPE. **Balanco Energético Nacional, 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2022.

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Panorama dos Resíduos Sólidos em Minas Gerais 2019**. Belo Horizonte: FEAM, 2020.

GARBOSSA, L. H.P. **Gestão de Resíduos: sólidos, líquidos e atmosféricos**. Centro Universitário Leonardo da Vinci – Indaial: Grupo UNIASSELVI, 2010, 148 p.

GASPAROTTO JUNIOR, A. e SOUZA, R. **Consórcios Públicos para a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: conceito, tipos e experiências**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.

GRACINO, M. C. S. **Caracterização dos Aterros Sanitários de Araçatuba e Região e o Potencial do Aterro Sanitário da Cidade de Araçatuba para Produção de Biogás**. Faculdade de Tecnologia de Araçatuba. Araçatuba, São Paulo, 2010.

HAMADA, N. (2003). **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. John Wiley & Sons. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 30 mai. de 2023

IBGE. Portal do IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 30 mai. de 2023.

IBGE. **Censo 2022**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>>. Acesso em: 30 mai. de 2023

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for Greenhouse Gas inventory: reference Manual**, revised – Chapter 6 – Waste, 1996. ISBN: 978-65-88694-07-7

MATTOS, H. **Escravidão e cidadania no Brasil monárquico**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2000.

MILLER, M. P.; MCKNIGHT, D. M.; CHAPRA, S. C.; WILLIAMS, M. W. **A model of degradation and production of three pools of dissolved organic matter in an alpine lake**. Limnology and Oceanography. v. 54, n. 6, p. 2213-2227, 2009.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Manual de orientações: implantação da coleta seletiva nos municípios de Minas Gerais**. Belo Horizonte: SEMAD, 2021.

MUYLAERT, M.S.; AMBRAM, R.; CAMPOS, C.P.; MONTEZ, E.M.; OLIVEIRA, L.B.; PEREIRA, A.S.; REIS, M.M. **Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL – do Protocolo de Quioto – Estudo de Caso.** Rio de Janeiro: Editora da COOPE, 2000.

NECKER, H. S., & ROSA, A. L. D. DA. **Theoretical estimate of landfill gas generation of the future landfill in Ji-Paraná – RO.** Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 2014. 17, 3416–3424. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/2236117010969>>. Acesso em: 30 mai. de 2023

OMS – Organização Mundial de Saúde. Gabinete do Alto Comissário para os Direitos Humanos (ACNUDH). **O Direito à Água.** 2003. Centro sobre Direitos à Habitação e Despejo (COHRE), Water Aid, Centro de Direitos Económicos, Sociais e Culturais. Disponível em: <http://www2.ohchr.org/english/issues/água/docs/Right_to_Água.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

PERSSON, M., JÖNSSON, O., WELLINGER, A., 2006. **Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection.** IEA Bioenergy, Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas.

Quanto gasta energia a bomba de um poço artesiano? Disponível em: <<https://vocepergunta.com/library/artigo/read/243319-quanto-gasta-energia-a-bomba-de-um-poco-artesiano>>. Acesso em: 18 ago. 2023.

REIS, J. J. **Quilombos e rebeliões escravas.** In: SCHWARCZ, Lilia Moritz; GOMES, Flávio dos Santos (Orgs.). Dicionário da escravidão e liberdade. São Paulo: Companhia das Letras, 2018. p. 474-479.

SILVA, C. M.; SILVA, M. E. R.; ARAÚJO, A. S. **Aterro sanitário: impactos ambientais e medidas mitigadoras.** Holos, v. 6, p. 92-103, 2014.

SOUZA, S. C. de S. **A Política de Assistência Social Junto às Comunidades Remanescentes de Quilombo do Vale do Mucuri – MG.** Tese de doutorado apresentada ao Programa de Estudos Pós-Graduados em Política Social da Universidade Federal Fluminense. Niterói: UFF, 2021.

SINIR+. **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos.** Disponível em: <<https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>>. Acesso em: 30 mai. de 2023.