

Análise do potencial de ganho financeiro por meio de créditos de carbono com a implantação de biodigestores no sistema de disposição de Resíduo Sólido Urbano em Campo Grande – MS

Analysis of the potential for financial gain through carbon credits with the implementation of biodigesters in the Urban Solid Waste disposal system in Campo Grande - MS

Análisis del potencial de ganancia financiera a través de créditos de carbono con la implementación de biodigestores en el sistema de eliminación de Residuos Sólidos Urbanos en Campo Grande - MS

Gabriel Mathias Ferrari

Doutorando, UTFPR, Brasil.
gabferrari@gmail.com

Nilvania Aparecida de Mello

Professora Doutora, UTFPR, Brasil.
nilvania@utfpr.edu.br

RESUMO

O aumento do consumo de recursos naturais crescente nos últimos anos trouxe como um dos resultados o problema de se pensar “o que fazer com o lixo”. Com o aumento populacional, é progressivo o número de aterros que são criados para a disposição dos resíduos, deixando para a sociedade estes passivos ambientais. Esta pesquisa procurou analisar, dando continuidade a outros trabalhos já realizados, uma forma alternativa de ganho financeiro no processo de implantação de um sistema de biodigestor no município de Campo Grande – MS. Desta forma, além de diminuir impacto no meio ambiente, por meio do tratamento de parte dos resíduos que seriam despejados no aterro, buscou-se identificar o potencial de ganho por meio da geração e comercialização de crédito de carbono. Considerando dois cenários, um otimista e um pessimista, foi possível identificar que em ambos os casos é vantajoso a adoção do sistema de geração de créditos de carbono no sistema de aproveitamento do biogás por meio de biodigestores no município analisado, sendo estes ganhos formas alternativas, não principais, do processo de tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos. Biodigestão. Crédito de Carbono.

ABSTRACT

The increasing consumption of natural resources in recent years has led to the problem of "what to do with the waste." As the population grows, more and more landfills are being created to dispose of waste, leaving society with environmental liabilities. This research, in continuity with other work already carried out, sought to analyze an alternative form of financial gain in implementing a biodigester system in the municipality of Campo Grande - MS. In this way, in addition to reducing the environmental impact by treating part of the waste that would otherwise be dumped, we sought to identify the potential for gain through the generation and sale of carbon credits. Considering two scenarios, one optimistic and one pessimistic, it was possible to remember that in both cases, it is advantageous to adopt the system of generating carbon credits in the biogas utilization system through biodigesters in the municipality analyzed, with these gains being alternative, not the main, forms of urban solid waste treatment.

KEYWORDS: Urban Solid Waste. Biodigestion. Carbon Credit.

RESUMEN

El creciente consumo de recursos naturales en los últimos años ha provocado el problema de qué hacer con la basura. A medida que crece la población, aumenta el número de vertederos creados para eliminar los residuos, lo que deja a la sociedad con un pasivo medioambiental. Esta investigación buscó analizar, a partir de otros trabajos ya realizados, una forma alternativa de ganancia financiera en el proceso de implantación de un sistema de biodigestores en el municipio de Campo Grande - MS. De esta forma, además de reducir el impacto sobre el medio ambiente al tratar parte de los residuos que de otra forma serían arrojados al vertedero, se pretendía identificar el potencial de ganancia a través de la generación y comercialización de créditos de carbono. Considerando dos escenarios, uno optimista y otro pesimista, fue posible identificar que en ambos casos es ventajosa la adopción del sistema de generación de créditos de carbono en el sistema de utilización de biogás a través de biodigestores en el municipio analizado, siendo estas ganancias formas alternativas y no convencionales del proceso de tratamiento de residuos sólidos urbanos.

PALABRAS CLAVE: Residuos sólidos urbanos. Biodigestión. Crédito de carbono.

INTRODUÇÃO

Em face ao processo de antropização do meio ambiente, um dos resultados visíveis é o acúmulo de resíduos sólidos por meio dos “lixões” e aterros. A cada ano que passa o acúmulo aumenta, com o agravante de cada vez mais estamos produzindo e descartando mais resíduos (ABRELPE, 2020), demandando cada vez mais recursos públicos para a sua disposição e recuperação ambiental. Além disso, o risco de danos ao meio ambiente por meio de contaminação no solo e lençol freático é constante, mesmo nos aterros sanitários construídos com geomembranas para evitar tal incidente.

Outro impacto ambiental que resulta deste processo de disposição nestes locais é a geração de Gases do Efeito Estufa (GEE), que são produzidos de acordo com o processo de decomposição da matéria orgânica que compõe a massa total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) que são despejados nestes espaços. Estes GEE são provenientes do processo de digestão anaeróbia, que ocorre na estabilização da matéria orgânica, onde microrganismos, na ausência de oxigênio e por meio de estágios de interações diversas, consomem os substratos orgânicos e os converte em metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3) e água (H_2O) (CASSINI, 2003).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) traz, em seus objetivos, a reciclagem e tratamento dos resíduos, quando possível, como prioridade ante a disposição final (BRASIL, 2010). Desta forma, devem-se adotar, sempre que possível, meios que visem tratar os resíduos, de acordo com suas características, buscando, não somente a adequação a lei, mas a minimização dos impactos ao meio ambiente.

Um dos processos de tratamento de resíduos sólidos é por meio da digestão anaeróbia, com utilização de biodigestores. Este processo consiste em separar a matéria orgânica putrescível constituinte na massa de RSU e destiná-la ao processo de digestão anaeróbia em instalações que realizam o processo de biodigestão da matéria. Como resultado deste processo, tem-se a geração de biogás, constituído em grande parcela por metano e gás carbônico, biofertilizante, com alto teor nutritivo para o solo, e geração de lodo de inóculo (TENÓRIO, 2015; ALCÂNTARA, ZANG, ZANG, 2022).

Estes biodigestores possibilitam o aproveitamento deste biogás para a produção de energia calorífica, por meio da queima. Neste processo, os GEE que seriam dispersados pela natureza, em um processo de digestão anaeróbia em local aberto, como aterros e lixões, deixam de ser jogados na atmosfera, amenizando os impactos ambientais (CASSINI, 2003; EPE, 2008; TENÓRIO, 2015; MARTINS, SILVA, CARNEIRO, 2017; MÜLLER et al 2021). Além da energia calorífica produzida neste processo, é possível a contabilização de crédito de carbono, uma vez que carbono e metano deixaram de ser emitidos na atmosfera. Para isso, porém, é necessário que tenha seu projeto devidamente aprovado e validado para a emissão destes créditos (BRASIL, 2022).

O Protocolo de Quioto foi um tratado ambiental internacional com o objetivo de reduzir as emissões de GEE pelos países signatários. Desta forma, cada país tinha sua meta de redução de emissão de GEE. Porém, existem países que possuem um balanço de carbono (relação entre a emissão e a captura de carbono) negativo, ou seja, capturam mais carbono do que emitem. Desta forma, estes sistemas de captura de carbono podem gerar “crédito de carbono”, por meio da compensação do carbono que é gerado por outro. Estes créditos podem

ser comercializados entre as partes, viabilizando, economicamente, diversos projetos (SOUZA, 2019).

Este trabalho objetivou identificar o potencial de ganho financeiro por meio da emissão e comercialização de créditos de carbono com a implantação de biodigestores no sistema de disposição de RSU no município de Campo Grande – MS. Para isso, utilizou de dados de pesquisas anteriores que buscaram identificar o potencial de geração de energia por meio dos RSU de Campo Grande. O trabalho de Tenório (2015) procurou identificar o potencial de produção de energia por meio da captura do biogás no aterro sanitário do município. Já o segundo trabalho é uma Nota Técnica desenvolvida pela EPE – Empresa Brasileira de Energia (2008), onde buscou avaliar todo o potencial de aproveitamento energético dos RSU, por meio da capturada do biogás no aterro, por meio da implantação de um sistema exclusivo de geração de biogás com um biodigestor, além de avaliar o potencial, também, da geração energética por meio da incineração.

Em nenhum dos trabalhos anteriores, que estão sendo adotados como base para esta pesquisa, foi analisado o potencial de ganho financeiro por meio da criação de créditos de carbono. Sendo assim, foram utilizados os dados principais, em relação ao volume de RSU e composição gravimétrica, com atualizações em relação ao volume de acordo com o aumento populacional da região. Desta forma, pretendeu-se alcançar os cálculos básicos deste projeto.

METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa, foram utilizados os dados básicos de volume de RSU e composição gravimétrica de EPE (2008) e Tenório (2015). Desta forma, identificou-se que o volume produzido em Campo Grande é de 0,7 kg/per capita/dia. A composição de matéria orgânica putrescível é de 45% (EPE, 2008; TENÓRIO, 2015). Esta proporção se aproxima muito da média nacional que, de acordo com ABRELPE (2020) é de 45,3%.

A quantidade e composição do biogás varia de um estudo para o outro, pois isso depende das características da massa de RSU que está gerando este gás. Desta forma, para a mensuração da quantidade de biogás, considerou-se a quantidade 75 m³ por tonelada de matéria orgânica putrescível (EPE, 2008), de acordo com estudo prévio realizado já considerando as características do local estudado. Para a composição, adotou-se os valores de 50% de metano e 50% de gás carbônico (EPE, 2008; TENÓRIO, 2015), com um arredondamento para baixo do percentual de metano por ser o gás com maior impacto ambiental e, consequentemente, maior capacidade de geração de crédito.

Em relação a densidade do gás metano, Tenório (2015) aponta para 0,0007168 ton/m³, equivalente a 0,7168 kg/m³. Já Alcântara, Zang e Zang (2022) apontam para uma densidade menor, de 0,000656 ton/m³ ou 0,656 kg/m³. Em outro trabalho, Müller et al (2021) defende uma densidade de 0,0008 ton/m³, equivalente a 0,8 kg/m³. Desta forma, optou-se por utilizar a densidade trabalhada por Tenório (2015) por ser um valor intermediário, definindo a densidade do metano em 0,0007168 ton/m³.

Considerando que o biogás é composto parte por metano e parte por gás carbônico, se faz necessário utilizar de um parâmetro que pondere o potencial de impacto no meio ambiente de acordo com cada gás. O quinto relatório de avaliação (AR5 Synthesis Report) do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) traz como índice de padronização o “carbono equivalente”, CO₂ eq. Desta forma, é necessário igualar o poder de aquecimento

global do metano ao do gás carbônico. Utilizando o Global Warming Potencial do Assessment Report Fifth (GWP AR5) apresentado pelo IPCC (2015), tem-se o valor de 1 ton.CH₄ equivalente a 28 ton.CO₂. No mercado de crédito de carbono, cada tonelada de CO₂ eq. corresponde a um crédito de carbono, na lógica de que cada tonelada que deixou de ser emitida permite que esta quantidade compense a emissão em outro local (MARTINS, SILVA, CARNEIRO, 2017; SOUZA, 2019).

De acordo com estas informações, tem-se os seguintes dados que servirão de base para os cálculos e projeções:

Quadro 1: Quadro resumo das informações

Produção diária per capita de RSU: 0,7 kg/dia ou 0,0007 ton/dia.
Matéria orgânica putrescível (45%): 0,315 kg/dia/per capita ou 0,000315 ton/dia/per capita.
Volume biogás: 0,075 m ³ /kg ou 75 m ³ /ton.
Composição de metano no biogás: 50%
Densidade do metano: 0,0007168 ton/m ³ .
GWP AR5: 1 ton.CH ₄ = 28 ton.CO ₂ eq.

Fonte: Autoria própria.

Desta forma, obtêm-se os seguintes cálculos:

Quadro 2: Quadro resumo dos cálculos para a quantificação de Ton. CO₂ eq./ano/per capita.

$Volume\ biogás/dia\ (m^3)/per\ capita = (0,0007 \times 0,45) \times 75$
$Volume\ biogás/dia\ (m^3)/per\ capita = 0,023625$
$Volume\ metano/dia\ (m^3)/per\ capita = 0,023625 \times 0,5$
$Volume\ metano/dia\ (m^3)/per\ capita = 0,0118125$
$Ton.\ CH_4/dia/per\ capita = 0,0118125 \times 0,0007168$
$Ton.\ CH_4/dia/per\ capita = 0,0000084672$
$Ton.\ CH_4/ano/per\ capita = 0,0000084672 \times 365$
$Ton.\ CH_4/ano/per\ capita = 0,003090528$
$Ton.\ CO_2\ eq./ano/per\ capita = 0,003090528 \times 28$
$Ton.\ CO_2\ eq./ano/per\ capita = 0,086534784$

Fonte: Autoria própria.

Isso significa que, de acordo com os dados obtidos nas pesquisas anteriores, cada habitante do município de Campo Grande emite 0,086534784 ton.CO₂ eq. por ano. Para conseguir calcular a emissão total do município, basta multiplicar pelo número de habitantes. A população estimada, para o ano de 2021, era de 961.001 habitantes (IBGE, 2021), com uma emissão total de 79.266 ton.CO₂ eq. no ano de 2021. Para realizar os cálculos, foi utilizado a projeção de taxa de crescimento anual, que para o município é de 0,66% a.a. (IBGE, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a quantificação do potencial total de geração de crédito de carbono por meio de processo de digestão anaeróbia por meio de biodigestores, foi necessário realizar a projeção do aumento populacional, de acordo com as informações coletadas, considerando a informação da produção de CO₂ eq./ano por habitante, considerando as últimas informações contabilizadas pelo IBGE (2021) projetando até o ano de 2045.

Tabela 1: Projeção do crescimento populacional e da emissão de CO₂ eq./ano.

Ano	População*	Ton.CO2 eq./ano
2021	916.001	79.266
2022	922.047	79.789
2023	928.132	80.316
2024	934.258	80.846
2025	940.424	81.379
2026	946.631	81.916
2027	952.878	82.457
2028	959.167	83.001
2029	965.498	83.549
2030	971.870	84.101
2031	978.285	84.656
2032	984.741	85.214
2033	991.241	85.777
2034	997.783	86.343
2035	1.004.368	86.913
2036	1.010.997	87.486
2037	1.017.670	88.064
2038	1.024.386	88.645
2039	1.031.147	89.230
2040	1.037.953	89.819
2041	1.044.803	90.412
2042	1.051.699	91.009
2043	1.058.640	91.609
2044	1.065.627	92.214
2045	1.072.660	92.822

Fonte: Autoria própria.

*Projeção de acordo com a taxa de crescimento populacional anual (IBGE, 2021)

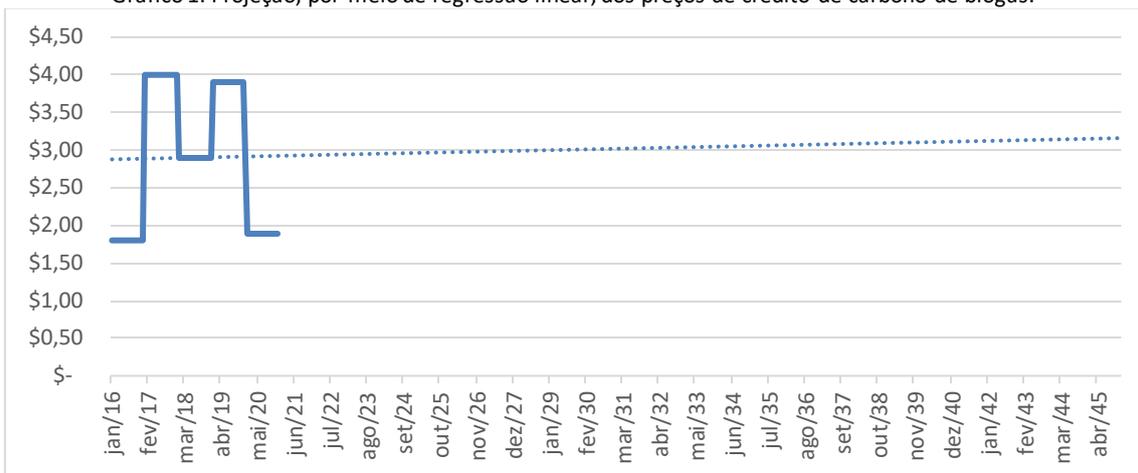
Importante destacar que, quando falamos em crédito de carbono, existem inúmeros tipos de título de acordo com a origem da captura realizada. Existem créditos que se referem ao consumo doméstico, produção industrial, energias renováveis, uso e ocupação do solo, produção agropecuária, disposição de resíduos e eficiência energética. O Ecosystem Marketplace¹ é uma plataforma, de caráter não governamental, sem fins lucrativos, que visa reunir as informações referente ao mercado de carbono pelo mundo. Para a realização dos cálculos referentes aos valores do crédito de carbono, foram utilizados os dados da base do Ecosystem Marketplace referente aos valores de crédito de carbono referente a energia renovável, onde a produção e aproveitamento de biogás se insere.

Dentro da categoria de energias renováveis, existem créditos referentes à produção de biogás, hidroelétrica, solar, biomassa, eólica e geotérmica. Cada uma possui um valor distinto, sendo a de biogás a mais cara dentro de tal categoria. Os valores disponibilizados na plataforma Ecosystem Marketplace se referem a uma média entre todos os tipos de crédito dentro de cada categoria. Desta forma, os valores que serão aqui utilizados ainda estão abaixo dos valores reais de mercado, visto que na média, o preço do crédito de biogás (mais caro da categoria) é puxado para baixo por conta dos demais créditos que possuem preços menores.

Na plataforma, estão disponibilizados os valores de 2016 até 2020, pela média anual. Desta forma, foi necessário realizar um cálculo de regressão linear para identificar os valores projetados para anos futuros.

¹ <https://www.ecosystemmarketplace.com/>

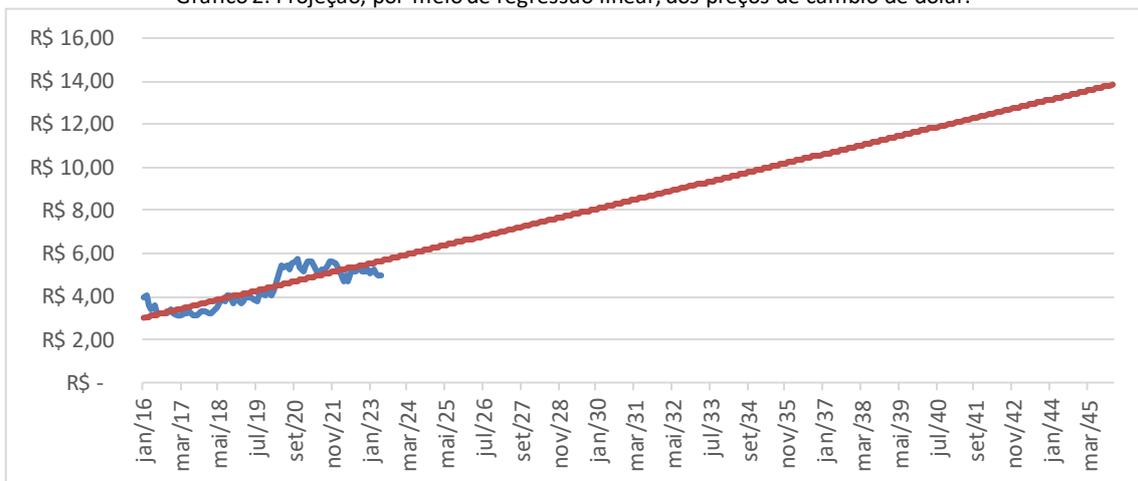
Gráfico 1: Projeção, por meio de regressão linear, dos preços de crédito de carbono de biogás.



Fonte: Autoria própria.

As cotações no mercado de crédito de carbono ocorrem em dólar. Desta forma, foi realizado, também, um cálculo de regressão linear para projetar as cotações do câmbio do dólar para os momentos futuros. A diferença é que neste histórico do câmbio o período com informações coletadas para o cálculo da regressão é maior, abrangendo de janeiro de 2016 até abril de 2023.

Gráfico 2: Projeção, por meio de regressão linear, dos preços de câmbio de dólar.



Fonte: Autoria própria.

Feito estes cálculos, foi possível fazer uma projeção, por meio de regressão linear, dos valores dos créditos de carbono, em dólar, e da cotação cambial do período de 2016 até 2045. Como as informações referentes ao quantitativo populacional inicia-se em 2021, conforme o exposto na tabela 2, foram utilizados os valores das projeções de 2021 até 2045.

Tabela 2: Projeção dos preços do crédito de carbono e da cotação cambial.

Ano	Preço do Crédito de Carbono	Cotação cambio US\$	Preço do Crédito em R\$
2021	\$ 2,93	R\$ 4,82	R\$ 14,14
2022	\$ 2,94	R\$ 5,51	R\$ 16,23
2023	\$ 2,95	R\$ 5,88	R\$ 17,35
2024	\$ 2,96	R\$ 6,21	R\$ 18,39
2025	\$ 2,97	R\$ 6,57	R\$ 19,52
2026	\$ 2,98	R\$ 6,93	R\$ 20,66
2027	\$ 2,99	R\$ 7,32	R\$ 21,90
2028	\$ 3,00	R\$ 7,66	R\$ 22,97
2029	\$ 3,01	R\$ 8,02	R\$ 24,13
2030	\$ 3,02	R\$ 8,38	R\$ 25,30
2031	\$ 3,03	R\$ 8,74	R\$ 26,48
2032	\$ 3,04	R\$ 9,10	R\$ 27,66
2033	\$ 3,05	R\$ 9,46	R\$ 28,85
2034	\$ 3,06	R\$ 9,83	R\$ 30,05
2035	\$ 3,07	R\$ 10,19	R\$ 31,26
2036	\$ 3,08	R\$ 10,55	R\$ 32,47
2037	\$ 3,09	R\$ 10,91	R\$ 33,69
2038	\$ 3,10	R\$ 11,27	R\$ 34,91
2039	\$ 3,11	R\$ 11,64	R\$ 36,14
2040	\$ 3,12	R\$ 12,00	R\$ 37,38
2041	\$ 3,13	R\$ 12,36	R\$ 38,63
2042	\$ 3,13	R\$ 12,72	R\$ 39,88
2043	\$ 3,14	R\$ 13,08	R\$ 41,14
2044	\$ 3,15	R\$ 13,45	R\$ 42,41
2045	\$ 3,16	R\$ 13,81	R\$ 43,68

Fonte: Autoria própria.

Considerando a contabilização de que no mercado de crédito de carbono, cada tonelada de CO₂ eq. corresponde a um crédito de carbono, na lógica de que cada tonelada que deixou de ser emitida permite que esta quantidade compense a emissão em outro local (MARTINS, SILVA, CARNEIRO, 2017; SOUZA, 2019), e, considerando os cálculos anteriores apresentados na tabela 2, com a projeção do crescimento populacional com a emissão de CO₂ eq./ano, foi possível calcular os valores com a venda dos possíveis créditos de carbono capturados (por meio do processo de utilização do biogás produzido em biodigestores no sistema de digestão anaeróbia).

Tabela 3: Projeção de ganhos/ano, considerando a variação da cotação do crédito e variação cambial.

Ano	População	Ton.CO2 eq./ano	Preço em R\$	Projeção de ganho/ano
2021	916.001	79.266	R\$ 14,14	-
2022	922.047	79.789	R\$ 16,23	-
2023	928.132	80.316	R\$ 17,35	-
2024	934.258	80.846	R\$ 18,39	-
2025	940.424	81.379	R\$ 19,52	-
2026	946.631	81.916	R\$ 20,66	R\$ 1.692.732,52
2027	952.878	82.457	R\$ 21,90	R\$ 1.806.082,47
2028	959.167	83.001	R\$ 22,97	R\$ 1.906.458,31
2029	965.498	83.549	R\$ 24,13	R\$ 2.016.197,32
2030	971.870	84.101	R\$ 25,30	R\$ 2.127.886,38
2031	978.285	84.656	R 26,48	R\$ 2.241.550,32
2032	984.741	85.214	R\$ 27,66	R\$ 2.357.214,22
2033	991.241	85.777	R\$ 28,85	R\$ 2.474.903,44
2034	997.783	86.343	R\$ 30,05	R\$ 2.594.643,61
2035	1.004.368	86.913	R\$ 31,26	R\$ 2.716.460,63
2036	1.010.997	87.486	R\$ 32,47	R\$ 2.840.380,70
2037	1.017.670	88.064	R\$ 33,69	R\$ 2.966.430,28
2038	1.024.386	88.645	R\$ 34,91	R\$ 3.094.636,11
2039	1.031.147	89.230	R\$ 36,14	R\$ 3.225.025,25
2040	1.037.953	89.819	R\$ 37,38	R\$ 3.357.625,01
2041	1.044.803	90.412	R\$ 38,63	R\$ 3.492.463,02
2042	1.051.699	91.009	R\$ 39,88	R\$ 3.629.567,19
2043	1.058.640	91.609	R\$ 41,14	R\$ 3.768.965,74
2044	1.065.627	92.214	R\$ 42,41	R\$ 3.910.687,19
2045	1.072.660	92.822	R\$ 43,68	R\$ 4.054.760,35

Σ R\$ 56.274.670,07

Fonte: Autoria própria.

Não foi considerado os ganhos nos anos de 2021 até 2025, considerando que de 2021 até 2023 são períodos já realizados, não sendo possível o ganho pretérito. E para os anos de 2024 e 2025 não foram contabilizados, visando uma carência de tempo necessária para a possível adoção de tal tecnologia e adequação ao projeto para a efetiva geração de crédito via projeto de captura de biogás por meio da digestão anaeróbia em biodigestores. De acordo com os cálculos realizados, foi possível identificar um potencial de ganho total, por um período de 20 anos, entre 2026 e 2045, de R\$ 56.274.670,07 (cinquenta e seis milhões, duzentos e setenta e quatro mil, seiscentos e setenta reais e sete centavos), apenas com a comercialização de créditos de carbono proveniente do sistema.

Ainda assim, é possível considerar um cenário ainda mais pessimista, considerando a menor cotação do crédito de carbono e um cenário de cotação cambial estática. Desta forma, ao considerarmos o menor valor registrado até então, de US\$ 1,80, e considerando uma cotação do câmbio em R\$ 4,95 (média do câmbio no período da realização da pesquisa), temos os seguintes valores.

Tabela 4: Projeção de ganhos/ano, considerando cotação do crédito e variação cambial fixos.

Ano	População	Ton.CO2 eq./ano	Preço fixo (US\$ 1,80 crédito e câmbio R\$ 4,95)
2021	916.001	79.266	-
2022	922.047	79.789	-
2023	928.132	80.316	-
2024	934.258	80.846	-
2025	940.424	81.379	-
2026	946.631	81.916	R\$ 729.875,85
2027	952.878	82.457	R\$ 734.693,03
2028	959.167	83.001	R\$ 739.542,01
2029	965.498	83.549	R\$ 744.422,99
2030	971.870	84.101	R\$ 749.336,18
2031	978.285	84.656	R\$ 754.281,80
2032	984.741	85.214	R\$ 759.260,06
2033	991.241	85.777	R\$ 764.271,17
2034	997.783	86.343	R\$ 769.315,36
2035	1.004.368	86.913	R\$ 774.392,84
2036	1.010.997	87.486	R\$ 779.503,84
2037	1.017.670	88.064	R\$ 784.648,56
2038	1.024.386	88.645	R\$ 789.827,24
2039	1.031.147	89.230	R\$ 795.040,10
2040	1.037.953	89.819	R\$ 800.287,37
2041	1.044.803	90.412	R\$ 805.569,26
2042	1.051.699	91.009	R\$ 810.886,02
2043	1.058.640	91.609	R\$ 816.237,87
2044	1.065.627	92.214	R\$ 821.625,04
2045	1.072.660	92.822	R\$ 827.047,76

 Σ R\$ 15.550.064,35

Fonte: Autoria própria.

Considerando o preço fixo, na menor cotação do crédito de carbono, até então, com uma cotação cambial fixa em R\$ 4,95, tem-se o resultado total de R\$ 15.550.064,35 (quinze milhões, quinhentos e cinquenta mil, sessenta e quatro reais e trinta e cinco centavos) de receita com a venda de crédito de carbono via projeto de captura de biogás por meio da digestão anaeróbia em biodigestores. Assim como na tabela 3, os valores dos anos de 2021 até de 2025 foram suprimidos, pelos motivos já explicitados.

Por meio da tabela 5 podemos fazer uma comparação entre os dois cálculos, com as projeções de acordo com regressão linear dos preços e câmbios e entre o valor fixo já descrito.

Tabela 5: Projeção de ganhos/ano, considerando cotação do crédito e variação cambial fixos e considerando a variação da cotação do crédito e variação cambial.

Ano	População	Ton.CO2 eq./ano	Projeção fixa/ano	Projeção variável/ano	Fixa per capita/ano	Variável per capita/ano
2021	916.001	79.266			R\$ -	R\$ -
2022	922.047	79.789			R\$ -	R\$ -
2023	928.132	80.316			R\$ -	R\$ -
2024	934.258	80.846			R\$ -	R\$ -
2025	940.424	81.379			R\$ -	R\$ -
2026	946.631	81.916	R\$ 729.875,85	R\$ 1.692.732,52	R\$ 0,77	R\$ 1,79
2027	952.878	82.457	R\$ 734.693,03	R\$ 1.806.082,47	R\$ 0,77	R\$ 1,90
2028	959.167	83.001	R\$ 739.542,01	R\$ 1.906.458,31	R\$ 0,77	R\$ 1,99
2029	965.498	83.549	R\$ 744.422,99	R\$ 2.016.197,32	R\$ 0,77	R\$ 2,09
2030	971.870	84.101	R\$ 749.336,18	R\$ 2.127.886,38	R\$ 0,77	R\$ 2,19
2031	978.285	84.656	R\$ 754.281,80	R\$ 2.241.550,32	R\$ 0,77	R\$ 2,29
2032	984.741	85.214	R\$ 759.260,06	R\$ 2.357.214,22	R\$ 0,77	R\$ 2,39
2033	991.241	85.777	R\$ 764.271,17	R\$ 2.474.903,44	R\$ 0,77	R\$ 2,50
2034	997.783	86.343	R\$ 769.315,36	R\$ 2.594.643,61	R\$ 0,77	R\$ 2,60
2035	1.004.368	86.913	R\$ 774.392,84	R\$ 2.716.460,63	R\$ 0,77	R\$ 2,70
2036	1.010.997	87.486	R\$ 779.503,84	R\$ 2.840.380,70	R\$ 0,77	R\$ 2,81
2037	1.017.670	88.064	R\$ 784.648,56	R\$ 2.966.430,28	R\$ 0,77	R\$ 2,91
2038	1.024.386	88.645	R\$ 789.827,24	R\$ 3.094.636,11	R\$ 0,77	R\$ 3,02
2039	1.031.147	89.230	R\$ 795.040,10	R\$ 3.225.025,25	R\$ 0,77	R\$ 3,13
2040	1.037.953	89.819	R\$ 800.287,37	R\$ 3.357.625,01	R\$ 0,77	R\$ 3,23
2041	1.044.803	90.412	R\$ 805.569,26	R\$ 3.492.463,02	R\$ 0,77	R\$ 3,34
2042	1.051.699	91.009	R\$ 810.886,02	R\$ 3.629.567,19	R\$ 0,77	R\$ 3,45
2043	1.058.640	91.609	R\$ 816.237,87	R\$ 3.768.965,74	R\$ 0,77	R\$ 3,56
2044	1.065.627	92.214	R\$ 821.625,04	R\$ 3.910.687,19	R\$ 0,77	R\$ 3,67
2045	1.072.660	92.822	R\$ 827.047,76	R\$ 4.054.760,35	R\$ 0,77	R\$ 3,78

Fonte: Autoria própria.

Nesta última tabela é possível fazer uma comparação por meio das duas projeções, uma mais otimista, considerando a projeções das cotações e câmbio de acordo com uma determinada série histórica e outra mais pessimista, considerando os ganhos com bases nestes valores congelados, crédito no menor patamar já alcançado e o dólar n uma cotação fixa.

Importante destacar que, principalmente na projeção com valores variáveis, mesmo parecendo ser o mais próximo da realidade de acordo com o histórico já conhecido, há o risco dos valores não se concretizarem, dado que o mercado se altera de acordo com oferta e procura. Quanto mais crédito entram no mercado, maior é a oferta, podendo puxar os preços para baixo caso não seja acompanhado de um aumento na procura. Igualmente, é possível que haja um aumento no número de compradores futuros, puxando a demanda e, conseqüentemente, os preços para cima. Desta forma, é possível que os valores reais que serão alcançados nos anos futuros sejam acima dos projetados, assim como também há o risco de ser abaixo.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados vão ao encontro dos objetivos propostos, de analisar o potencial de ganho financeiro por meio de créditos de carbono, uma vez implantando sistemas de biodigestores no sistema de disposição de RSU em Campo Grande – MS. Como descrito anteriormente, o objetivo não era analisar a viabilidade econômica por meio da implantação desta tecnologia, visto que isso já foi realizado em trabalhos anteriores que serviram de base para a formulação desta pesquisa. Considerando que EPE (2008) identificou a viabilidade econômica para a implantação de sistemas de aproveitamento energético, via biodigestores e via incineração, e Tenório (2015) via captação do biogás proveniente do aterro, objetivou-se,

então, pegar os dados já coletados para calcular o quanto seria possível se aproveitar, para além do aproveitamento energético, por meio da comercialização de créditos de carbono emitidos no processo de captura.

Partindo do pressuposto de que haja a implantação do sistema de biodigestores no sistema de coleta e disposição de RSU de Campo Grande, identificou-se o potencial de geração de biogás, de acordo com o volume de massa emitido e suas características gravimétricas. Com isso, foi possível calcular a montante de CO₂ eq. que seria evitado de ser despejado na atmosfera, por meio do aproveitamento energético do biogás. Assim, foram calculados dois cenários: um mais otimista e um mais pessimista.

No cenário otimista, foi calculado o montante de R\$ 56.274.670,07 (cinquenta e seis milhões, duzentos e setenta e quatro mil, seiscentos e setenta reais e sete centavos) gerados com a comercialização de crédito de carbono no decorrer de vinte anos, de 2026 até 2045. Todavia, por se tratar de um mercado volátil, estes preços podem oscilar para cima e para baixo, conforme as movimentações de oferta e procura existentes no momento.

No cenário pessimista, considerando a menor cotação do crédito de carbono utilizada e considerando a cotação do dólar fixa na média do momento da pesquisa, foi calculado o montante de R\$ 15.550.064,35 (quinze milhões, quinhentos e cinquenta mil, sessenta e quatro reais e trinta e cinco centavos) no decorrer do mesmo período de vinte anos. Igualmente, este preço pode se alterar para cima ou baixo, de acordo com a oscilações. Porém, dentro do que foi calculado, é pouco provável que o resultado real seja menor do que o previsto, tendendo a apresentar ganhos maiores.

Desta forma, esta pesquisa conseguiu atingir o objetivo proposto, demonstrando que é possível a receita de ganhos advindos da comercialização de crédito de carbono, uma vez adotado e implantado o sistema de biodigestores para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos de Campo Grande. Neste cenário, os ganhos reais obtidos do sistema de captação e destinação de RSU proveriam por meio da reciclagem, da venda da energia gerada por meio do biogás e por meio da comercialização de créditos de carbono, conseguindo, assim, realizar o tratamento de grande parte da massa de RSU gerada (via reciclagem e biodigestão), resultando em uma diminuição no volume de massa que seria de fato descartada no aterro.

Tais medidas, além de prolongar o tempo de vida útil do aterro, serviria de exemplo prático para a educação ambiental no município, podendo auxiliar na formação de futuras gerações mais conscientes.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020.

ALCÂNTARA, L. P.; ZANG, J. W.; ZANG, W. A. F.. A viabilidade econômica de modelos de biodigestores para a produção de biogás. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**. v. 13, n. 32, p. 1-50, 2022.

BRASIL, Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 01 mai 2023.

BRASIL, Decreto N° 11.075 de 19 de maio de 2022. **Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Disponível em: <<https://in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.075-de-19-de-maio-de-2022-401425370>>. Acesso em: 01 mai 2023.

CASSINI, S. T. (coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rio de Janeiro: ABES Rima, 2003.

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

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **População estimada por municípios (IBGE Cidades)**. 2021. Disponível em: < <https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/campo-grande.html>>. Acesso em: 01 mai 2023.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014**. Genebra, 2015. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2023.

MARTINS, L. O. S.; SILVA, L. T.; CARNEIRO, R. A. F.. Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de usina de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município de Santo Antônio de Jesus – BA. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**. v. 2, n. 2, p. 142-166, 2017.

MÜLLER, L. N. P. E S. et al. Uma análise multicritério de alternativas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos do município de Juazeiro do Norte no Ceará. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 159–170, jan. 2021.

PALERMO, G. C.; BRANCO, D. A. C.; FREITAS, M. A. V.. Comparação entre tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e balanço de emissões de gases de efeito estufa no município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 4, p. 635–648, jul. 2020.

SOUZA, S. L. V. B.. **Os créditos de carbono no âmbito do Protocolo de Quioto**. Curitiba: Appris, 2019.

TENÓRIO, R. O.. **Estudo para aproveitamento energético de biogás de resíduos sólidos urbanos em Campo Grande/MS**. Dissertação (Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade) Programa de Pós-graduação strictu sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2015.