



Usina Integrada de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Viabilidade Financeira para o Consórcio Municipal de Comares

Integrated Plant for Urban Solid Waste Treatment: Financial Viability Study for the Municipal Consortium of Comares

Isadora Maria Fontenele Soares¹⁰

Julia Soares Silva¹¹

Sarah Mickaelly Santos de Souza¹²

Tamilly Vitória Martins Brito¹³

Resumo: Este artigo analisa a reestruturação do projeto do Consórcio Municipal para Aterro de Resíduos Sólidos (Comares), reconfigurado em uma usina de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), com a introdução da produção de biogás e biometano, além da incineração de rejeitos convertidos em energia elétrica. O estudo adota projeções prospectivas - otimista, intermediária e pessimista – considerando as incertezas técnicas e operacionais presentes em projetos dessa natureza. Fundamenta-se na avaliação sistemática de custos, receitas, riscos e retornos, utilizando indicadores como VPL, TIR e ACB para orientar decisões de investimento e maximizar valor do investimento. Os resultados indicam que a reciclagem e a produção de composto combinadas à geração de biogás ou biometano, não sendo viável a produção de ambos simultaneamente, configuram-se como a solução de maior viabilidade financeira no contexto da usina. Entretanto, a incineração dos rejeitos mostra-se inviável devido ao alto custo. Conclui-se que a reestruturação do projeto do Consórcio Municipal para Aterro de Resíduos Sólidos (Comares) em uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos possui potencial significativo para conciliar viabilidade financeira, sustentabilidade e benefícios sociais.

Palavras-chaves: Análise de Projetos; Manejo de RSU; Sustentabilidade; Biogás; Comares.

Abstract: This article analyzes the restructuring of the Municipal Solid Waste Landfill Consortium (Comares) project, which is being reconfigured into an Urban Solid Waste (USW) plant through the introduction of biogas and biomethane production, as well as the incineration

¹⁰ Graduanda em Ciências Econômicas (UnB); mariaisadora224@gmail.com;

¹¹ Graduanda em Ciências Econômicas (UnB); juliasoares.s2704@gmail.com;

¹² Graduanda em Ciências Econômicas (UnB); mickaellysarah0101@gmail.com;

¹³ Graduanda em Ciências Econômicas (UnB); tamilly.brito@outlook.com;



of rejects, the latter being converted into electrical energy. The study adopts prospective projections – optimistic, intermediate, and pessimistic – given the technical and operational uncertainties in projects of this nature. It is based on the systematic evaluation of costs, revenues, risks, and returns, using indicators such as NPV, IRR, and CBA to guide investment decisions and maximize investment value. The results indicate that recycling and compost production, combined with the generation of biogas or biomethane, as the simultaneous production of both is not viable, offer the solution with the greatest financial viability within the context of the plant. However, the incineration of residues proves unviable due to its high cost. It concludes that the restructuring of the Municipal Solid Waste Landfill Consortium (Comares) into an integrated solid waste treatment plant holds significant potential to reconcile financial viability, sustainability, and social benefits.

Keywords: Project Analysis; USW Management; Sustainability; Biogas; Comares.



1. A Política Nacional de Resíduos Sólidos: Breve Introdução

A Lei nº 12.305/2010 estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, fornecendo diretrizes para o manejo integrado e sustentável dos resíduos. A PNRS prioriza a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos, além de exigir a substituição dos lixões por aterros sanitários controlados. Determina, também, a logística reversa para setores específicos, obrigando fabricantes e comerciantes a recolherem produtos pós-consumo. Incentiva a reciclagem, a inclusão de catadores e a economia circular, seguindo o princípio do poluidor-pagador, que responsabiliza os geradores de resíduos pelos custos da destinação correta (Brasil, 2010).

Com o objetivo de reduzir os impactos dos lixões a céu aberto, o Congresso Nacional fixou prazo para a erradicação desses locais, que foi estendido até 2 de agosto de 2024. Segundo estimativa elaborada pelo Panorama dos Resíduos Sólidos 2023, existiam mais de 3 mil lixões em operação no país. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), seria necessário um investimento de R\$ 11,6 bilhões até 2031 para cumprir com o objetivo de tratamento e destinação final adequada dos resíduos. Além disso, considerando o que prevê a legislação, calculam-se custos anuais de operação e manutenção de R\$ 15,59 bilhões.

A Lei 11.107/2005 estabeleceu as diretrizes e normas para a formação e implantação de consórcios, e prestação de serviços públicos. Nesse sentido, as ações dessas entidades podem ser realizadas via gestão associada, nos termos do Decreto 6.017/2007 (art. 3º, IX):

o exercício das atividades de planejamento, regulação ou fiscalização de serviços públicos por meio de consórcio público ou de convênio de cooperação entre entes federados, acompanhadas ou não da prestação de serviços públicos ou da transferência total ou parcial de encargos, serviços, pessoal e bens essenciais à continuidade dos serviços transferidos.

À luz desse cenário, o Consórcio Municipal para Aterro de Resíduos Sólidos (Comares), localizado no estado do Ceará, propõe a implantação de uma usina de tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) com objetivo de promover soluções sustentáveis e economicamente viáveis para o manejo de resíduos gerados pelos municípios consorciados, buscando resolver o desafio dos resíduos descartados a céu aberto e sem o devido tratamento.

Dados coletados pelo Instituto Água e Saneamento (IAS), amparados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no ano de 2022, mostram a perspectiva atual da coleta de resíduos sólidos domiciliares nos nove municípios que integram o Consórcio Comares. Destaca-se o município de Nova Olinda, em que a totalidade de sua população é contemplada com esse serviço, ultrapassando a média do estado do Ceará de 78,39%. Por outro lado, os municípios do consórcio Farias Brito, Santana do Cariri e Altaneira apresentaram os piores desempenhos quanto ao recolhimento dos resíduos, onde menos de 80% dos habitantes têm acesso à coleta residencial. Por fim, é oportuno ressaltar que, em 2022, o município de Missão Velha não declarou se pratica coleta seletiva de resíduos sólidos.



O Consórcio chegou a realizar um estudo de viabilidade em seu Plano de Negócios Referencial para a implementação do aterro sanitário. Entretanto, até o momento, ainda não foi definida a localização do aterro, a tarifa a ser cobrada à população e o projeto não chegou a ser concretizado de fato. Isso faz com que seja relevante a existência de esforços que possam favorecer a sua continuação. Nessa perspectiva, a partir da análise do cenário atual de saneamento e gestão de resíduos sólidos nos municípios que integram o Consórcio, busca-se identificar necessidades e oportunidades para o desenvolvimento de uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos e assim, obter uma solução eficaz que aprimore a destinação desses materiais e contribua para a preservação ambiental.

Dessa forma, por meio da investigação do comportamento do mercado de resíduos e das características dos municípios, pretende-se desenvolver uma solução eficaz que aprimore a destinação desses materiais e contribua para a preservação ambiental. Portanto, verifica-se a necessidade iminente de alternativas de manejo dos RSU que atendam às demandas locais e promovam um impacto positivo na qualidade de vida da população e das futuras gerações, de onde se sugere o desenvolvimento de uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos.

Incorporar tecnologias de valorização energética, como a produção de biogás, biometano e a incineração de rejeitos para geração de energia elétrica pode colaborar para atender às exigências legais e ambientais, bem como viabilizar o empreendimento, diante das limitações orçamentárias e operacionais dos municípios envolvidos. A integração de diferentes formas de tratamento e aproveitamento de RSU colabora com a redução do volume destinado a aterros e melhora o processo de recuperação dos recursos.

Sob essa perspectiva, o presente artigo propõe realizar uma análise financeira de instalação de uma usina integrada, iniciando o processo com a coleta seletiva, seguida pela triagem dos resíduos em recicláveis, orgânicos e rejeitos. Os resíduos recicláveis são basicamente separados por tipo (papel, papelão, plástico, outros metais, alumínio e vidro), a maior parte é destinada à reciclagem, enquanto o restante é destinado para o aterro sanitário. Os resíduos orgânicos podem passar por compostagem ou por digestão anaeróbica, resultando na produção de biogás que, ao ser purificado, gera biometano para uso energético. Os rejeitos são encaminhados para combustão, originando cinzas e escórias, que podem ser parcialmente reutilizadas na construção civil, enquanto a parcela final é direcionada a aterros sanitários. A energia térmica proveniente da combustão é convertida em eletricidade.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo é analisar viabilidade financeira, por meio da introdução dos cenários: pessimista, intermediário e otimista, os impactos da incorporação da produção de biogás e biometano no atual projeto de saneamento e gestão de resíduos sólidos Comares Cariri.



2. Resíduos Sólidos Urbanos: Definições e Estratégias de Tratamento

A gestão de resíduos sólidos urbanos apresenta benefícios relevantes, sobretudo após a implementação da PNRS. Entre os principais aspectos positivos estão a redução dos impactos ambientais, como a contaminação do solo e das águas subterrâneas, além da melhoria da saúde pública e da qualidade de vida das comunidades. Outro ponto destacado é o estímulo à economia verde, com geração de empregos em setores como reciclagem e coleta seletiva, além da valorização de materiais recicláveis que podem ser reinseridos na cadeia produtiva (Brasil, 2010; JusBrasil, 2023).

Por outro lado, os desafios da gestão de RSU estão relacionados às fragilidades na implementação das políticas e à falta de integração entre os entes federativos. Muitos municípios ainda enfrentam dificuldades financeiras e operacionais, o que resulta em baixa taxa de reciclagem — inferior a 4% no Brasil — e na persistência de lixões que recebem cerca de 17% dos resíduos gerados nacionalmente. Além disso, há entraves como a ausência de vontade política, a escassez de recursos humanos qualificados e a dificuldade em incluir catadores de forma estruturada e digna nos sistemas de coleta e triagem. Esses fatores comprometem a sustentabilidade econômico-financeira e ambiental dos serviços, exigindo maior articulação entre políticas públicas, sociedade civil e investimentos tecnológicos (Silva; Oliveira, 2020).

É importante definir resíduos sólidos como materiais descartados em decorrência da atividade humana, presentes nos estados sólido e semi-sólido. Muitos desses resíduos podem ser reciclados ou tratados adequadamente, enquanto outros são considerados rejeitos e devem ser descartados de maneira segura. Como é uma parte inevitável dos processos produtivos e do consumo cotidiano, sua gestão eficiente é fundamental para a sustentabilidade ambiental e econômica (SNIS, 2023).

De acordo com a ABNT NBR 10004 (2004), os resíduos podem ser classificados de algumas formas, como origem, grau de degradabilidade e periculosidade, o que é fundamental para determinar sua destinação e manipulação mais adequada (Quadro 1 e Quadro 2).

Quanto ao tratamento de resíduos, o ponto de partida é a coleta realizada na origem. A NBR 12980 define os principais serviços de coleta de resíduos: domiciliar (residências e comércio), varrição (vias públicas), feiras/praias e serviços de saúde (hospitais e clínicas). Grandes geradores de resíduos, como indústrias, supermercados, shoppings e hospitais, devem realizar coleta particular, conforme o princípio do poluidor-pagador (CEMPRE, 2018).

Quadro 1 – Classificação dos resíduos de acordo com a origem

Origem	Descrição
Domésticos	Restos de alimentos, papéis, plásticos e outros materiais comuns do cotidiano
Comerciais	Embalagens, papelada, resíduos de alimentos etc.
Industriais	Materiais como metais, plásticos, resíduos químicos etc
Construção e Demolição	Entulho, madeira, tijolos, gesso etc



Saúde	Resíduos perigosos como materiais contaminados, seringas e produtos farmacêuticos
Agrícola	Restos de culturas, resíduos de pesticidas e fertilizantes
Mineração	Resultantes da extração e processamento de minerais, como rejeitos, estéril e resíduos de processamento
Eletrônicos	Equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos, como computadores, televisores e telefones

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10004 (2004).

Quadro 2 – Periculosidade

Tipo	Descrição
Resíduos Perigosos	Representam riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Incluem substâncias químicas, biológicas ou físicas que podem ser tóxicas, inflamáveis, corrosivas ou reativas
Resíduos Não Perigosos	Não apresentam riscos significativos à saúde ou ao meio ambiente. Exemplos incluem resíduos sólidos comuns, como papel, plástico e restos de alimentos

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10004 (2004).

A coleta dos resíduos sólidos pode ser dividida em duas categorias. A coleta convencional, também chamada de coleta indiferenciada, é caracterizada pelo recolhimento dos resíduos sem separação prévia, o que dificulta a triagem e o reaproveitamento, além de aumentar a quantidade de rejeitos destinados a aterros e o impacto ambiental (SINISA, 2024). Já a coleta seletiva, de acordo com a definição do Ministério do Meio Ambiente (MMA), é o processo de coleta de resíduos previamente separados conforme sua composição. Esse tipo de coleta é fundamental para o funcionamento eficiente de uma planta de tratamento de resíduos sólidos, pois facilita a triagem, aumenta o reaproveitamento dos materiais e contribui para a destinação adequada dos resíduos, reduzindo a quantidade de rejeitos encaminhados aos aterros sanitários e as emissões de carbono (CO₂).

Cabe destacar que, em 2022, dos 1.633 municípios com organizações de catadores mapeadas no Anuário da Reciclagem 2023, apenas 57% declararam ao SNIS possuir coleta seletiva institucionalizada. Entretanto, nem todos destinam os resíduos diretamente a essas organizações, como seria ideal. A Região Sul se sobressai, com 79% dos municípios implementando a coleta seletiva, enquanto as regiões Norte e Nordeste apresentam índices inferiores a 30%, evidenciando uma grande desigualdade regional na implementação desse sistema (Instituto Pragma, 2023).

A destinação dos RSU ainda tem sido predominantemente, em regiões mais vulneráveis do país, o lixão, que se caracteriza como a forma de disposição final de resíduos prejudiciais à sociedade e ao meio ambiente. Trata-se de um grande depósito a céu aberto, sem planejamento, sem controle ou medida de proteção ao meio ambiente e à saúde pública. Esse descarte inadequado tem como consequência impactos negativos, como a contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, contaminação do ar, além de atrair animais vetores de doenças.



Nessa perspectiva, estima-se que essa unidade tenha impactos diretos na saúde da população do entorno até um raio de abrangência que pode chegar a 60 km (Exame, s.d.).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos havia estabelecido um prazo para a erradicação dos lixões até 2014. Entretanto, em 2014 apenas 40% das cidades haviam cumprido essa regra. Com o Marco Legal do Saneamento um novo prazo foi estabelecido: capitais e regiões metropolitanas teriam até agosto de 2021 e cidades menores até 2024 para se regularizar e erradicar a presença de lixões. Como as metas não foram completamente alcançadas, surge então o Projeto de Lei 1323/24 que visa prorrogar por cinco anos o prazo para que os municípios com até 50 mil habitantes encerrem os lixões e adotem a destinação adequada dos resíduos sólidos (Câmara dos Deputados, 2024).

Como alternativas ambientalmente mais adequadas para o descarte dos resíduos, pode-se mencionar o aterro sanitário e o aterro controlado. O aterro sanitário é a melhor opção técnica para a disposição ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos, que oferece riscos mínimos para o meio ambiente e à saúde pública, quando bem operado. Nesse empreendimento, o solo é nivelado e impermeabilizado, os resíduos são recobertos com terra e há um sistema de drenagem e tratamento para o chorume e os gases liberados. Para ampliar a sua vida útil, o aterro sanitário deve ser a última destinação dos resíduos após serem esgotadas todas as alternativas de reaproveitamento e reciclagem (Exame, s.d.).

O aterro controlado é uma forma intermediária entre o aterro sanitário e o lixão, com algumas melhorias em lixões antigos. Alguns municípios contratam empresas para compactar os resíduos descartados em lixões e, em seguida, recobrir a área com terra. Essa prática é proibida pelos órgãos de controle ambiental, entretanto, há casos que obtiveram licenças de operação estaduais (Exame, s.d.).

3. Etapas de Tratamento dos RSU

Ao chegarem à estação, os resíduos passam por triagem, onde uma parte pode ser destinada a processos biológicos, como a compostagem aeróbia e a digestão anaeróbia, enquanto outra é encaminhado aos catadores, que separam os materiais recicláveis, como papel, plástico, vidro e metais, com base em seu potencial de reaproveitamento e valor de mercado. Os materiais recicláveis são então compactados e vendidos para indústrias, que os transformam em nova matéria-prima, promovendo a economia circular e o fechamento do ciclo da reciclagem (Conke; Nascimento, 2018, p. 2-3).

No entanto, existem resíduos que, mesmo após todas as possibilidades de recuperação, não podem ser reaproveitados. Esses são classificados como rejeitos e devem ser destinados a aterros sanitários, locais projetados para minimizar os impactos ambientais, ou, alternativamente, a processos como a incineração, quando viável (Conke; Nascimento, 2018, p.



2-3). A eficácia do processo depende do envolvimento direto de todos os agentes que geram RSU.

3.1. Compostagem e digestão anaeróbica

A compostagem é um processo natural de transformação da matéria orgânica em adubo, realizado por diversos organismos como minhocas, insetos e microrganismos. Na decomposição controlada, materiais como restos de alimentos, folhas e esterco são convertidos em um composto rico em nutrientes, útil para enriquecer solos. Esse método sustentável pode ser aplicado tanto em áreas rurais quanto urbanas, ajudando a reduzir o desperdício e melhorando a qualidade da terra de forma ecológica (IQSC-USP, 2022).

Além disso, parte da matéria orgânica também pode ser destinada ao processo de digestão anaeróbia em biodigestores, considerando que nem todos os resíduos orgânicos são adequados para a compostagem aeróbia. Esse processo, caracterizado pela ausência de oxigênio, permite a produção de biogás, uma mistura rica em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), que pode ser utilizada como fonte de energia (CEMPRE, 2018; Embrapa, 2022).

O biogás, pode ser obtido via processo de purificação, no qual são removidos o CO_2 e outros componentes indesejados, resultando no biometano. Esse gás possui qualidade energética comparável à do gás natural, podendo até ser utilizado como combustível para veículos ou injetado em redes de distribuição de gás (ANP, 2020; Embrapa, 2022).

3.2. Incineração

A incineração é um método de tratamento térmico de resíduos sólidos que consiste na queima controlada dos materiais a altas temperaturas, entre $450\text{ }^\circ\text{C}$ e $1.300\text{ }^\circ\text{C}$. Esse processo reduz significativamente o volume e a massa dos resíduos, transformando-os em cinzas. Em alguns casos, a incineração permite a recuperação de energia na forma de eletricidade ou calor, por meio da tecnologia conhecida como *Waste-to-Energy* (WTE) (Machado, 2015).

A incineração provoca a emissão de poluentes atmosféricos, durante a combustão, como dióxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio, que necessitam de sistemas de controle e tratamento adequados para evitar impactos ambientais (Machado, 2015).

A energia térmica gerada na queima é aproveitada por meio de caldeiras, que aquecem a água e produzem vapor que movimenta turbinas acopladas a geradores, convertendo energia térmica em energia mecânica e, posteriormente, em eletricidade.



Por fim, o material residual que não pode ser convertido em energia ou reaproveitado é destinado a aterros sanitários. Dessa forma, o processo busca maximizar o aproveitamento energético dos resíduos, ao mesmo tempo em que reduz o volume final descartado.

4. Metodologia

O estudo baseou-se em dados secundários, projeções estatísticas e parâmetros técnicos utilizados no setor de RSU. Essas informações foram utilizadas para construção do fluxo de caixa, a fim avaliar a viabilidade financeira a partir de indicadores de decisão, como o Valor Presente Líquido (VPL), a relação de Custo-Benefício (C/B) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

4.1. Delimitação da área de estudo

O Consórcio Municipal Comares foi criado em 2009 e tem por objetivo promover a gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos na região do Cariri, garantindo saúde ambiental e qualidade de vida para a população. A região abrangida pelo empreendimento engloba os municípios de Barbalha, Caririaçu, Crato, Farias Brito, Jardim, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda, Santana do Cariri e Altaneira, no estado do Ceará (Comares, s.d.). A gestão da região passou a ser competência da empresa Aegea e da Engop Ambiental pelos próximos 30 anos, após a realização do leilão de concessão do local em dezembro de 2022.

4.2. Coleta e Tratamento de Dados

Foram utilizados dados já estabelecidos pelo consórcio Comares e estimou-se anualmente o total da população de cada município com base na taxa de crescimento geométrico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Além disso, foram considerados apenas os valores da gravimetria apresentados na Tabela 1 e os preços dos materiais que mais impactam o cenário da reciclagem, como papel/papelão, plástico, vidro e outros metais, uma vez que esses representam a maior parte do total reciclado no Brasil, conforme pode ser observado na Tabela 2, com base no Anuário da Reciclagem de 2023.

Tabela 1 – Estimativa da Composição Gravimétrica dos RSU coletados no Brasil

Papel/ Papelão	Plástico	Metais	Alumínio	Vidro	Orgânicos	Rejeitos
13,1%	13,5%	2,3%	0,6%	2,4%	51,4%	16,70%

Fonte: Adaptado segundo PLANARES (2020) e IPCC (2006).

**Tabela 2**– Quantidade destinada à reciclagem, por região (em mil toneladas)

	Norte	Centro-Oeste	Nordeste	Sul	Sudeste
%	5,4%	6,8%	13,1%	26,2%	48,5%
Toneladas	96,6	121,2	232,9	464,3	859,8

Fonte: Banco de Dados do Anuário da Reciclagem 2023. Elaboração: Pragma.

Considerando o consórcio Comares, o Plano de Negócios Referencial proposto diz respeito à concessão comum para a prestação dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos do Cariri/CE, considerando um horizonte de concessão de 30 anos para a administração, manejo e gerenciamento da região. Foram estimados o crescimento da população dos municípios e do volume de resíduos e os preços dos insumos foram baseados em dados do SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil), Custo Unitário Básico (CUB), SEEACONCE, FIPE e ANP.

No Plano, destaca-se que a Central de Tratamento Regional de Resíduos (CTR) deverá ser construída numa área estimada de 207.000 m², contemplando também estruturas administrativas e operacionais. Além disso, a tecnologia utilizada na CTR prevê uma recuperação de 12% dos resíduos sólidos e recebimento de 25 toneladas por hora de resíduos a partir da coleta domiciliar.

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos varia conforme fatores como hábitos de consumo, características socioeconômicas da população e infraestrutura de coleta e destinação final disponíveis na região.

Diante da ausência de dados gravimétricos específicos da área estudada, adotou-se como referência a composição média dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, conforme apresentado pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), com base na análise do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, elaborado pela ABRELPE em 2020 (Giegrich, 2021).

A estimativa de geração de resíduos foi estimada com base nas populações atendidas pela coleta domiciliar de cada município, conforme dados do IBGE (2024) (Tabela 3).

A taxa de crescimento geométrico da população foi aplicada para projetar a geração anual de resíduos, considerando a produção per capita média (kg/hab/dia) para cada localidade (Tabela 4).

Tabela 3 - Estimativa da população, por município do consórcio, atendida com coleta de RSU

Município	População estimada (2024)	Crescimento geométrico da população %	População com coleta de resíduos sólidos %	População com coleta de resíduos sólidos
Crato	138.232	0,65%	83,88%	115.949
Altaneira	6.970	-0,09%	79,62%	5.550



Barbalha	80.217	2,54%	92,05%	73.840
Caririaçu	27.482	0,03%	88,28%	24.261
Farias Brito	18.557	-0,62%	74,11%	13.753
Jardim	28.707	0,26%	83,91%	24.088
Missão Velha	38.767	0,69%	78,39%*	30.389
Nova Olinda	15.960	0,69%	100,00%	15.960
Santana do Cariri	17.388	-0,13%	70,78%	12.307
Total	372.280	0,45%**	84,08%**	316.097

* Por falta de dados do município, foi utilizado como referência o valor médio do estado do Ceará. ** Média

Fonte: IBGE. Elaboração própria.

Tabela 4 – Estimativa da quantidade de RSU coletados nos municípios do consórcio

Município	Quant. coletada kg/hab./dia	Quant. coletada ton/dia	Quant. coletada ton/ano
Crato	0,93	108	39.359
Altaneira	0,34	2	689
Barbalha	0,79	58	21.292
Caririaçu	1,06	26	9.387
Farias Brito	1,06	15	5.321
Jardim	1,03	25	9.056
Missão Velha	1,13*	34	12.534
Nova Olinda	0,94	15	5.476
Santana do Cariri	1,43	18	6.424
Total	8	300	109.536

* Por falta de dados do município, foi utilizado como referência o valor médio do estado do Ceará.

Fonte: IBGE. Elaboração própria.

4.3. Estimativa da Produção e Receita por Tecnologia a ser implementada pela Comares

4.3.1. Queima de resíduos

Com base na composição gravimétrica dos resíduos, foi possível estimar a fração classificada como rejeitos, correspondente a 16,7% do total (Tabela 1). Dessa fração, subtraiu-se a porcentagem estimada de resíduos perigosos que não são adequados para a queima, adotando-se uma taxa conservadora de 4% (Tchobanoglous; Kreith, 2002).



Foram considerados os resíduos diferenciáveis que não apresentaram qualidade suficiente para a reciclagem. Essa fração pode ser incorporada ao cálculo para fins de queima de resíduos, caso essa destinação venha a ser adotada.

Para estimar a energia produzida e a receita gerada por meio da queima dos rejeitos, foram consideradas variáveis como o poder calorífico inferior (PCI) dos resíduos, que indica o potencial de geração de energia útil pela combustão do resíduo, a eficiência da caldeira e da turbina a vapor. O PCI é diferente de acordo com o tipo de resíduos, se são diferenciáveis ou não. A receita foi estimada seguindo um preço de referência para o megawatt-hora (MWh), corrigido pelo IPCA, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa de receita com a venda de energia elétrica

Variáveis	Cenários		
	Pessimista	Intermediário	Otimista
PCI (ton) - Resíduos indiferenciados ¹	4.870	6.500	8.200
PCI (ton) - Resíduos diferenciados ¹	3.790	5.540	6.860
Eficiência da caldeira (%) ²	60%	70%	85%
Eficiência da turbina a vapor (%) ³	27,5%	37,5%	50%
Preço de referência do megawatt-hora (MWh) ⁴	R\$ 743,73	R\$ 743,73	R\$ 743,73

Fonte: (1) SILVA *et al.*, 2019; (2) Coontrol; (3) CREF – UFRGS; (4) Enel CE. Elaboração própria.

4.3.2. Triagem de recicláveis

Dos resíduos diferenciados que chegam para a triagem, apenas uma parcela apresenta condições adequadas para ser destinada à reciclagem, percentual que varia conforme o tipo de material. Já a fração não apta ao reaproveitamento é classificada como rejeito e encaminhada para queima ou disposição em aterro sanitário. Para a estimativa de receita, foram considerados os preços médios por tonelada de cada material na região do Ceará corrigidos ao longo dos anos, conforme dados do Anuário da Reciclagem 2023.

Na estimativa, foram utilizados apenas os preços médios de materiais com valores consolidados, conforme Tabela 6. Resíduos classificados como “outros recicláveis” não foram considerados, pois representam uma fração menor e heterogênea, sem preço médio definido.

Tabela 6 – Média dos preços dos materiais, por tipo de material, em R\$ /ton

Papel/Papelão	Plástico	Alumínio	Outros metais	Vidro
R\$ 340,00	R\$ 1.820,00	R\$ 6.490,00	R\$ 1.030,00	R\$ 110,00

Fonte: Banco de Dados do Anuário da Reciclagem (2023).



4.3.3. Compostagem

Considerando que pouco mais da metade dos resíduos sólidos é composta por matéria orgânica (51,40%), conforme gravimetria adotada, e que a capacidade da planta de compostagem é de 16 toneladas por dia, equivalente a 5.840 toneladas por ano, torna-se evidente uma limitação na capacidade de processamento. Diante desse limite e da expectativa de crescimento populacional positivo, a proporção da matéria orgânica destinada à compostagem tenderá a diminuir ao longo dos anos. Em contrapartida, a fração direcionada à produção de biogás tenderá a aumentar, absorvendo o excedente e contribuindo para a manutenção da eficiência do sistema de tratamento.

Assim, para as estimativas relacionadas à compostagem, foram consideradas duas variáveis principais: a taxa de redução do volume inicial após a decomposição e o preço médio dos fertilizantes orgânicos, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Cenários relativo ao volume de compostagem e os preços de fertilizantes orgânicos

Variáveis	Cenários		
	Pessimista	Intermediário	Otimista
Taxa de Redução de Volume na Compostagem ¹	30%	45%	60%
Preço dos fertilizantes orgânicos (ton) ²	R\$ 200,00	R\$ 325,00	R\$ 450,00

Fonte: (1) Biocycle; (2) Média de preços. Elaboração própria.

4.3.4. Biogás e biometano

Com parte da matéria orgânica destinada à produção de biogás, é importante considerar que nem todo o material orgânico será convertido diretamente em biogás. No processo de digestão anaeróbica, a fração que efetivamente gera biogás é a Matéria Orgânica Volátil (MOV), que corresponde à parte biodegradável dos resíduos.

Dessa forma, foram utilizados a taxa de MOV, o rendimento em metros cúbicos (m³) por tonelada e o preço do biogás estimado para 2025 pelo Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE), que varia entre US\$ 8 e US\$ 9 por MMBTU, o que equivale aproximadamente a US\$ 0,15 a US\$ 0,18 por m³. Além disso, adotou-se uma taxa de câmbio fixa baseada na média dos últimos cinco anos.

O processo de transformação do biogás em biometano é chamado de *upgrading*, o qual remove gases indesejados como CO₂, vapor de água, sulfeto de hidrogênio (H₂S) e outros componentes. Após esse processo de purificação, o biometano resultante apresenta um teor de metano (CH₄) entre 90%-98%, tornando-se comparável ao gás natural fóssil, que possui aproximadamente 95%-98% de CH₄ (Embrapa, 2022).



Dessa forma, na produção foi considerado a proporção de CH_4 presente no biogás, a eficiência do processo de *upgrading*, o poder calorífico do biometano (em MJ/m^3) e a eficiência de conversão energética. Posteriormente, o conteúdo energético do biometano foi convertido para megawatts-hora (MWh).

Como não há dados específicos disponíveis sobre o preço do biometano no Brasil, utilizou-se, para fins de estimativa, a tarifa média do gás natural por metro cúbico, no período de junho de 2023 a setembro de 2024, considerando os setores industrial, automotivo, residencial, comercial e de serviços.

5. Diagnóstico da Situação Atual

5.1. Mercado de Resíduos Sólidos

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos 2023, a projeção é de que foram coletadas 71.729.871 toneladas de RSU. Com a emergência do debate da sustentabilidade, cresce a busca por soluções que promovam a minimização do impacto ambiental e das diversas formas de poluição, impulsionando o setor.

Puga e Castro (2018) apontam a dificuldade de sustentabilidade financeira, destacando a inadimplência das dívidas das prefeituras com empresas privadas, como uma barreira ao setor. Acentuam-se ainda, a fragilidade da relação entre agentes públicos e privados e a falta de planejamento de longo prazo como responsáveis pelo aumento de custos e pela redução de eficiência. Assim como, o problema de escala que afeta municípios menores, o volume de RSU gerado impacta diretamente a instalação das estações de tratamento e a viabilidade de operação (Silva; Capanema, 2019).

No Nordeste, a gestão de resíduos sólidos representa desafios particulares. A cobertura de programas de coleta seletiva é baixa e a região apresenta alguns dos menores índices de acesso à infraestrutura, como áreas adequadas à disposição de resíduos, recuperação de materiais recicláveis e disposição de resíduos, juntamente à região Norte. A região possui a segunda maior população e a terceira densidade demográfica, tendo, portanto, o Nordeste então a segunda maior produção de Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) e a terceira em resíduos recicláveis. Apesar dessa expansão populacional e econômica, o investimento na gestão de resíduos na região é relativamente baixo quando comparado a outras regiões do Brasil (Rigoldi; Lima, 2024; Silva et al., 2020).

O Governo do Estado do Ceará utiliza o Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) Ecológico para estimular iniciativas que adotam práticas focadas na redução de danos ambientais, incluindo a gestão de resíduos sólidos. Nesse sentido, municípios cearenses menores são capazes de competir com os outros municípios mais favorecidos para incrementar sua participação nos recursos quando investem na melhoria de suas condições ambientais. No



ano de 2022, o município de Sobral recebeu R\$ 377.884,44 de repasse relativo ao imposto, ao promover ações voltadas à gestão dos resíduos sólidos (CNM, 2023; Ipece, 2013).

Dados do SNIS, com ano base 2022, mostram que o custo da coleta para o Brasil é de 193,48 R\$/t e para o Ceará de 172,41 R\$/t. O custeio da administração de RSU deve ser feito a partir de uma cobrança de tarifa específica como previsto em lei (Brasil, 2010) mas também pela regionalização dos serviços, visando a redução da taxa e possibilitando ganhos de escala.

A Tabela 8 apresenta o custo da coleta em reais por quilogramas para os municípios participantes do consórcio Comares Cariri e para o Brasil.

Tabela 8 - Custo da coleta de RSU

Município	Custo da coleta (R\$ /t)
Altaneira	412,78
Barbalha	172,41*
Caririaçu	206,60
Crato	193,82
Farias Brito	149,24
Jardim	172,41*
Missão Velha	172,41*
Nova Olinda	337,88
Santana do Cariri	172,41*
Brasil	193,48

* Por falta de dados específicos do município, foi utilizado como referência o valor médio do estado do Ceará.

Fonte: SNIS (2022). Elaboração própria.

A Tabela 9 contém os preços médios de comercialização, por quilo, de cada tipo de material reciclável no Ceará.

Tabela 9 - Média dos preços dos materiais recicláveis

Média dos preços dos materiais (R\$ /kg)				
Papel/Papelão	Plástico	Alumínio	Outros Metais	Vidro
R\$ 0,34	R\$ 1,70	R\$ 6,49	R\$ 1,03	R\$ 0,11

Fonte: Banco de Dados do Anuário da Reciclagem (2023). Elaboração própria.

5.2. Mercados de Biogás e Biometano

Segundo o Panorama do Biogás no Brasil (2023), há crescimento efetivo do mercado de biogás com perspectiva de que o Brasil se torne uma potência global em biogás. A produção foi de 4,1 bilhões de metros cúbicos em 2023, com potencial mapeado de 84 bilhões de Mm³.



De acordo com Resíduos Sólidos Urbanos: Parte 1: Diagnóstico do Setor (2024), a recuperação energética dos RSU é mitigada pela necessidade de proximidade com o mercado consumidor e pela necessidade de uma escala mínima para gerar viabilidade econômico-financeira. Ademais, a presença de substitutos em conjunto com a precariedade da coleta seletiva e o custo alto de separação levam a um preço superior em relação às fontes disponíveis no mercado.

De maneira semelhante, o biometano caminha para uma fase de maturidade onde há atratividade econômica devido aos preços elevados do gás natural e se destaca em relação ao gás natural por sua origem renovável e por sua baixa intensidade de carbono. A capacidade total de produção de biometano atual é 417,1 mil Nm³ por dia, a entrada das 17 usinas de biometano em construção adicionaria por dia 761,9 mil Nm³ (Panorama do Biometano, 2023).

6. Usina Integrada

6.1. Proposta Inicial - Comares

O Comares desenvolveu um Plano de Negócios Referencial, no qual foi realizada uma modelagem da Concessão dos serviços de transbordo, transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos urbanos. Nessa perspectiva, foi selecionado pelo Poder Concedente o cenário que se demonstrou mais vantajoso para o município, considerando os ganhos sociais e ambientais da rota tecnológica e o atendimento dos planos setoriais acerca do tema (Comares, s.d.).

No projeto desenvolvido pelo Comares é elevada a estimativa de investimento em sua fase inicial, a geração de caixa ocorre de maneira mais robusta após a fase de implementação e a lucratividade cresce com o tempo e se mantém estável no longo prazo. Os aspectos analisados pelo consórcio sinalizam a viabilidade do projeto, apesar de não conter informações como a TIR e o VPL que poderiam fornecer constatações mais precisas.

Na análise proposta pelo presente estudo almeja-se agregar à proposta desenvolvida pelo Comares a integração de biogás e biometano, e a queima de rejeitos à Usina de Tratamento de Resíduos Sólidos. Tal integração almeja, principalmente, promover a transição para fontes de energia renováveis e sustentáveis.

6.2. Integração de Biogás e Biometano

Em um mundo em que fontes de energia renováveis tornam-se essenciais para a transição energética e para o alcance das metas de sustentabilidade a integração do biogás e do biometano demonstra-se extremamente benéfica. Isso porque ela é capaz de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, uma vez que evita a liberação de dióxido de carbono e metano pela decomposição da matéria orgânica. Ademais, tais gases podem ser utilizados diretamente no local onde são produzidos, reduzindo gastos e diminuindo a dependência de fontes externas como a



eletricidade convencional ou combustíveis fósseis, além de possuir um grande potencial de crescimento na atualidade (Green Eletron, 2025).

A análise dos dados do presente estudo permite inferir que o benefício econômico do biogás e do biometano apresentam uma tendência de crescimento ao longo dos anos. Ademais, em um cenário intermediário o biogás apresentou um rendimento de 445 m³/ ton e contou com um percentual que varia de 68% a 75% da quantidade de matéria orgânica destinada ao seu desenvolvimento.

Para o biometano, é válido destacar que nesse mesmo cenário ele apresentou uma eficiência do processo de *upgrading* e conversão de cerca de 93% e 45%, respectivamente. Outrossim, o seu volume produzido ao longo dos anos também apresentou uma tendência de crescimento gradual com implicações positivas no valor gerado de energia elétrica.

6.3. Integração da Queima de Rejeitos

A incineração de resíduos configura-se como uma opção de tratamento sustentável capaz de gerar uma solução rentável e ecológica ao diminuir as sobras e gerar energia. Com a queima de rejeitos, é possível observar uma redução de cerca de 70% a 90% dos resíduos, restando apenas material inerte (Cetrel, s.d.).

Em um cenário otimista, a integração da queima de rejeitos ao empreendimento proporcionou um aumento considerável na energia gerada ao longo do período, apresentando valores que variam de 55.826.046 MJ no primeiro ano a 74.231.806 MJ no último ano. Tal aspecto teve um impacto positivo no valor gerado ao longo do período em caso de distribuição na rede.

6.4. Investimentos Iniciais

Os custos iniciais de investimento podem ser divididos em dois fins: os que compõem a parte do aterro sanitário, da compostagem, da triagem, do transbordo e aqueles que fazem referência à transformação dos resíduos em biogás, biometano ou à sua incineração. Os primeiros foram retirados do Comares (2022), realizado pela empresa responsável pelo consórcio de Comares Cariri. Já os segundos foram extraídos da análise para uma usina que recebe 400 toneladas diárias conforme Santos (2014)¹⁴ e complementados com dados calculados.

Para a implantação do aterro sanitário e para a produção de composto e reciclagem, as maiores despesas de investimento são com a construção das Estações de Transferência de Resíduos (ETRs), que representam 48,47% do investimento inicial, seguidas pela implantação da unidade de triagem automatizada (25,51%), parte da CTR, e pelos galpões de triagem manual (11,78%).

¹⁴ Os preços de 2014 foram corrigidos a valores de 2024 com base na Calculadora do Cidadão, empregando o índice IGP-M.



Os investimentos para essa configuração totalizam R\$ 35.418.102,00, conforme detalhado na Tabela 10.

Tabela 10 - Investimentos iniciais: aterro, compostagem e reciclagem

Investimentos iniciais da usina – aterro, composto e reciclagem		
Investimento Inicial	Descrição	Valor do investimento (R\$)
Etr - transbordo - construção	Instalação de 4 ETRs.	R\$ 17.168.267,00
Ctr - triagem automatizada implantação de unidade	Alimentadores, plataformas de triagem primária e secundária, rasga sacos, peneira rotativa, separadores, prensa e pá carregadeira.	R\$ 9.033.789,00
Ctr - aterro sanitário – implantação do aterro sanitário	Rolo compactador, escavadeiras hidráulicas, pá carregadeira, retroescavadeira, caminhões basculantes, caminhão pipa e balanças.	R\$ 2.277.950,00
Cmr - implantação dos galpões de triagem manual	Implantação de 9 galpões de triagem manual com edificações para escritórios, sanitários, vestiários e refeitório.	R\$ 4.171.750,00
Cmr - implantação dos galpões compostagem aeróbia	Trituradores de galhos, balanças e pá carregadeira.	R\$ 1.695.462,00
Ctr - implantação das unidades de compostagem aeróbia	Instalação de 9 unidades de tratamento de resíduos orgânicos	R\$ 1.070.884,00
TOTAL	-	R\$ 35.418.102,00

Fonte: Comares Cariri (2022); Santos (2014); Dados Calculados. Elaboração própria.

Ao incluir a produção de biogás na estrutura, o investimento inicial continua sendo composto principalmente pela construção das 4 ETRs (26,65%) e pela implantação da unidade de triagem automatizada, 14,02% do total. Entretanto, os equipamentos industriais (18,89%) e a planta de biogás, com 18,63%, são incluídos como itens relevantes. No total, os componentes somam R\$ 64.415.145,29 em investimentos iniciais (Tabela 11).

**Tabela 11** - Investimentos iniciais: aterro, biogás, compostagem e reciclagem

Investimentos iniciais da usina – aterro, biogás, composto e reciclagem		
Investimento Inicial	Descrição	Valor do investimento (R\$)
Etr - transbordo - construção	Instalação de 4 ETRs.	R\$ 17.168.267,00
Ctr - triagem automatizada implantação de unidade	Alimentadores, plataformas de triagem primária e secundária, rasga sacos, peneira rotativa, separadores, prensa e pá carregadeira.	R\$ 9.033.789,00
Ctr - aterro sanitário – implantação do aterro sanitário	Rolo compactador, escavadeiras hidráulicas, pá carregadeira, retroescavadeira, caminhões basculantes, caminhão pipa e balanças.	R\$ 2.277.950,00
Cmr - implantação dos galpões de triagem manual	Implantação de 9 galpões de triagem manual com edificações para escritórios, sanitários, vestiários e refeitório.	R\$ 4.171.750,00
Cmr - implantação dos galpões compostagem aeróbia	Trituradores de galhos, balanças e pá carregadeira.	R\$ 1.695.462,00
Ctr - implantação das unidades de compostagem aeróbia	Instalação de 9 unidades de tratamento de resíduos orgânicos	R\$ 1.070.884,00
Alvenaria	Tanques para o processo de separação dos biofertilizantes.	R\$ 1.521.136,17
Equipamentos (instalação e aquisição)	Misturador, granulador, geradores de energia, compressores, bombas e forno rotativo.	R\$ 12.169.089,36
Mão de obra e instalação de equipamentos	Mão de obra.	R\$ 3.306.817,76
Planta de biogás	Planta de biogás	R\$ 12.000.000,00
TOTAL	-	R\$ 64.415.145,29

Fonte: Comares Cariri (2022); Santos (2014); Dados Calculados. Elaboração própria.

Considerando a produção tanto do biogás quanto do biometano, os valores acerca do investimento inicial que mais se destacam são a construção de ETRs, representando 23,71%, os equipamentos industriais (16,80%) e o sistema de *upgrading* (11,05%). O valor consolidado do investimento inicial total resulta em R\$ 72.415.145,29 (Tabela 12).

**Tabela 12 - Investimentos iniciais: aterro, biogás, biometano, compostagem e reciclagem****Investimentos iniciais da usina – aterro, biogás, biometano, combustão, composto e reciclagem**

Investimento Inicial	Descrição	Valor do investimento (R\$)
Etr - transbordo - construção	Instalação de 4 ETRs.	R\$ 17.168.267,00
Ctr - triagem automatizada implantação de unidade	Alimentadores, plataformas de triagem primária e secundária, rasga sacos, peneira rotativa, separadores, prensa e pá carregadeira.	R\$ 9.033.789,00
Ctr - aterro sanitário – implantação do aterro sanitário	Rolo compactador, escavadeiras hidráulicas, pá carregadeira, retroescavadeira, caminhões basculantes, caminhão pipa e balanças.	R\$ 2.277.950,00
Cmr - implantação dos galpões de triagem manual	Implantação de 9 galpões de triagem manual com edificações para escritórios, sanitários, vestiários e refeitório.	R\$ 4.171.750,00
Cmr - implantação dos galpões compostagem aeróbia	Trituradores de galhos, balanças e pá carregadeira.	R\$ 1.695.462,00
Ctr - implantação das unidades de compostagem aeróbia	Instalação de 9 unidades de tratamento de resíduos orgânicos	R\$ 1.070.884,00
Alvenaria	Tanques para o processo de separação dos biofertilizantes.	R\$ 1.521.136,17
Equipamentos (instalação e aquisição)	Misturador, granulador, geradores de energia, compressores, bombas e forno rotativo.	R\$ 12.169.089,36
Mão de obra e instalação de equipamentos	Mão de obra.	R\$ 3.306.817,76
Planta de biogás	Planta de biogás	R\$ 12.000.000,00



Sistema de <i>upgrading</i>	Sistema de <i>upgrading</i>	R\$ 8.000.000,00
TOTAL	-	R\$ 72.415.145,29

Fonte: Comares Cariri (2022); Santos (2014); Dados Calculados. Elaboração própria.

7. Resultados da Análise Financeira do Empreendimento.

Os resultados presentes nesta seção serão examinados a partir da ótica privada, em que a taxa de desconto utilizada no estudo é 10,73%, a taxa privada de desconto foi calculada com base na WACC (Tabela 13, 14 e 15). Os cenários considerados para todos os fluxos de caixa da seção são: compostagem no cenário otimista e biogás e biometano no cenário intermediário.

Tabela 13 - CAPM

Custo do capital próprio (CAPM)					
RF	β	$[E(RM)-RF]$	αBR	S_p	CAPM
3,72% ¹	0,78 ²	1,28% ³	2,28% ⁴	5% ⁵	12%

Fonte: (1) Bloomberg; (2) NYU; (3) Federal Reserve Bank; (4) Ipea; (5) Kroll. Elaboração própria.

Tabela 14 - RD

Custo do capital de terceiros (RD)		
RB	T	RD
10,65%	13,56%	9,20%

Fonte: B3; Comares Cariri (2022). Elaboração própria.

Tabela 15 - WACC

Capital próprio	Custo do capital próprio	Capital de terceiros	Custo do capital de terceiros	WACC
54,65%	12%	45,35%	9,20%	10,73%

Fonte: Comares Cariri (2022) e dados calculados. Elaboração própria.

Primeiramente, considerou-se a produção de somente reciclagem e composto na usina, para que fosse possível elaborar o fluxo de caixa (Tabela 16). Neste cenário, o VPL positivo na ordem de R\$ 15,68 milhões indica que os lucros gerados pelo projeto, ajustados à taxa de desconto,



superam os custos previstos. Paralelamente, o VPL das atividades financeiras também apresentou trajetória positiva, de R\$ 81,82 milhões. Ademais, o indicador Custo/Benefício (C/B) da usina foi de R\$ 1,88, sinalizando que para cada R\$ 1,00 investido, são gerados R\$ 1,88 em benefícios. Finalmente, a Taxa Interna de Retorno (TIR), 16,43%, foi maior que a Taxa de Desconto Privada, o que torna o projeto atraente, sugerindo que este é uma oportunidade de investimento.

Tabela 16 – Fluxo de caixa: aterro, compostagem e reciclagem

	0	1	15	30
(=) Receita Operacional Bruta		R\$ 47.804.700,90	R\$ 87.091.888,53	R\$ 168.033.044,38
Resíduos Recicláveis		R\$ 44.230.473,71	R\$ 81.131.719,73	R\$ 158.339.640,95
Resíduos Orgânicos		R\$ 3.574.227,19	R\$ 5.960.168,80	R\$ 9.693.403,43
Rejeitos (Combustão)		R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
(-) Impostos sobre faturamento	R\$ 0,00	-R\$ 6.812.169,88	-R\$ 12.410.594,12	-R\$ 23.944.708,82
(=) Receita Operacional Líquida	R\$ 0,00	R\$ 40.992.531,02	R\$ 74.681.294,42	R\$ 144.088.335,56
(-) Custos Operacionais	-R\$ 35.418.102,00	-R\$ 36.232.232,07	-R\$ 29.715.803,49	-R\$ 39.223.004,07
(=) EBITDA	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 4.760.298,95	R\$ 44.965.490,92	R\$ 104.865.331,48
(-) Depreciação/Exaustão		-R\$ 3.187.629,18	R\$ 0,00	R\$ 0,00
(=) EBIT	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 1.572.669,77	R\$ 44.965.490,92	R\$ 104.865.331,48
(=) EBT	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 1.572.669,77	R\$ 44.965.490,92	R\$ 104.865.331,48
(=) Lucro Líquido	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 1.061.962,05	R\$ 29.701.224,01	R\$ 69.235.118,78
Fluxo de Caixa Livre	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 4.249.591,23	R\$ 29.701.224,01	R\$ 69.235.118,78
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 2.262.989,89	R\$ 19.771.736,73	R\$ 69.235.118,78
Fluxo de Caixa Descontado	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 3.837.795,74	R\$ 6.438.650,46	R\$ 3.253.624,61
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras Descontado	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 2.262.989,89	R\$ 19.771.736,73	R\$ 69.235.118,78
Fluxo de Caixa Acumulado	-R\$ 35.418.102,00	-R\$ 33.155.112,11	R\$ 137.386.680,11	R\$ 789.823.343,53
Fluxo de Caixa Descontado Acumulado	-R\$ 35.418.102,00	-R\$ 31.580.306,26	R\$ 62.389.456,83	R\$ 129.026.721,98

Fonte: Dados calculados. Elaboração própria.



Em uma segunda análise, insere-se a produção de biogás na usina e novo fluxo de caixa é preparado (Tabela 17). Nesse contexto, os fluxos futuros permanecem positivos, contudo, sofrem reduções notáveis, para R\$ 4,55 e R\$ 65,96 milhões, no VPL e VPL das atividades financeiras. Por outro lado, o C/B aumentou para R\$ 1,89. Já a TIR reduziu-se para 11,75%, levemente acima da taxa de desconto privada. Esse conjunto de indicadores reflete que o projeto ainda é viável, entretanto, menos atrativo que a combinação apresentada anteriormente.

Tabela 17 – Fluxo de caixa: aterro, biogás, compostagem e reciclagem

	0	1	15	30
(=) Receita Operacional Bruta		R\$ 47.804.700,90	R\$ 99.071.998,35	R\$ 193.083.924,94
Resíduos Recicláveis		R\$ 44.230.473,71	R\$ 81.131.719,73	R\$ 158.339.640,95
Resíduos Orgânicos		R\$ 3.574.227,19	R\$ 17.940.278,62	R\$ 34.744.283,99
Rejeitos (Combustão)		R\$ -	R\$ -	R\$ -
(-) Impostos sobre faturamento	R\$ -	-R\$ 6.812.169,88	-R\$ 14.117.759,76	-R\$ 27.514.459,30
(=) Receita Operacional Líquida	R\$ -	R\$ 40.992.531,02	R\$ 84.954.238,58	R\$ 165.569.465,64
(-) Custos Operacionais	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 36.431.209,45	-R\$ 30.936.418,53	-R\$ 42.010.868,23
(=) EBITDA	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 4.561.321,58	R\$ 54.017.820,05	R\$ 123.558.597,41
(-) Depreciação/Exaustão		-R\$ 5.797.363,08	R\$ -	R\$ -
(=) EBIT	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 1.236.041,50	R\$ 54.017.820,05	R\$ 123.558.597,41
(=) EBT	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 1.236.041,50	R\$ 54.017.820,05	R\$ 123.558.597,41
(=) Lucro Líquido	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 1.236.041,50	R\$ 35.675.761,23	R\$ 81.572.674,29
Fluxo de Caixa Livre	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 4.561.321,58	R\$ 35.675.761,23	R\$ 81.572.674,29
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 948.276,08	R\$ 17.616.934,54	R\$ 81.572.674,29
Fluxo de Caixa Descontado	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 4.119.318,68	R\$ 7.733.814,48	R\$ 3.833.413,81
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras Descontado	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 948.276,08	R\$ 17.616.934,54	R\$ 81.572.674,29
Fluxo de Caixa Acumulado	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 63.466.869,21	R\$ 114.408.757,26	R\$ 862.622.726,01
Fluxo de Caixa Descontado Acumulado	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 60.295.826,61	R\$ 62.923.713,32	R\$ 142.913.629,62

Fonte: Dados calculados. Elaboração própria.



Por fim, são consideradas a produção de biogás e biometano, além de reciclagem e compostagem, resultando no fluxo de caixa demonstrado na Tabela 18. Alguns indicadores demonstram que o projeto deixa de ser viável. Inicialmente, o VPL apresentou-se negativo, enquanto o mesmo índice referente às atividades financeiras foi positivo. Já o C/B ficou próximo dos valores encontrados nos dois primeiros modelos, na ordem de R\$ 1,87. Entretanto, a TIR de 10,51%, abaixo da taxa de desconto, aponta que o projeto não é viável nessas condições.

Tabela 18 – Fluxo de caixa: aterro, biogás, biometano, compostagem e reciclagem

	0	1	15	30
(=) Receita Operacional Bruta		R\$ 47.804.700,90	R\$ 102.927.717,29	R\$ 195.022.758,47
Resíduos Recicláveis		R\$ 44.230.473,71	R\$ 81.131.719,73	R\$ 158.339.640,95
Resíduos Orgânicos		R\$ 3.574.227,19	R\$ 21.795.997,56	R\$ 36.683.117,52
Rejeitos (Combustão)		R\$ -	R\$ -	R\$ -
(-) Impostos sobre faturamento	R\$ -	-R\$ 6.812.169,88	-R\$ 14.667.199,71	-R\$ 27.790.743,08
(=) Receita Operacional Líquida	R\$ -	R\$ 40.992.531,02	R\$ 88.260.517,57	R\$ 167.232.015,39
(-) Custos Operacionais	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 36.418.506,83	-R\$ 31.642.346,39	-R\$ 42.706.933,71
(=) EBITDA	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 4.574.024,19	R\$ 56.618.171,18	R\$ 124.525.081,68
(-) Depreciação/Exaustão		-R\$ 6.517.363,08	R\$ -	R\$ -
(=) EBIT	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 1.943.338,89	R\$ 56.618.171,18	R\$ 124.525.081,68
(=) EBT	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 1.943.338,89	R\$ 56.618.171,18	R\$ 124.525.081,68
(=) Lucro Líquido	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 1.943.338,89	R\$ 37.391.992,98	R\$ 82.210.553,91
Fluxo de Caixa Livre	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 4.574.024,19	R\$ 37.391.992,98	R\$ 82.210.553,91
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 512.258,69	R\$ 17.090.361,23	R\$ 82.210.553,91
Fluxo de Caixa Descontado	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 4.130.790,38	R\$ 8.105.860,30	R\$ 3.863.390,23
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras Descontado	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 512.258,69	R\$ 17.090.361,23	R\$ 82.210.553,91
Fluxo de Caixa Acumulado	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 71.902.886,60	R\$ 106.824.485,83	R\$ 857.672.659,76
Fluxo de Caixa Descontado Acumulado	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 68.284.354,90	R\$ 60.609.051,56	R\$ 142.222.009,85

Fonte: Dados calculados. Elaboração própria.



Ademais, depreende-se dos resultados dos fluxos de caixa que a implementação de uma planta de incineração de resíduos não é factível em nenhum dos cenários apresentados, haja vista seu alto investimento inicial de R\$ 113,86 milhões. Isso posto, verifica-se que ambos os VPLs e a TIR obtiveram resultados consideravelmente desfavoráveis à concretização do projeto.

Em síntese, constata-se que os a produção de reciclagem e composto aliados ou ao biogás ou ao biometano são as melhores alternativas para o funcionamento da usina de tratamento de resíduos sólidos, ressaltando indicadores que confirmam a viabilidade do empreendimento. Por outro lado, devido ao seu alto custo de instalação, a incineração dos rejeitos não é executável dentro do projeto.

8. Conclusão

A análise financeira realizada evidência que a reestruturação do projeto do Consórcio Municipal para Aterro de Resíduos Sólidos (Comares) em uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos possui potencial significativo para conciliar viabilidade financeira, sustentabilidade e benefícios sociais.

Os resultados apontaram que a combinação de reciclagem e produção de composto, associada de forma exclusiva à geração de biogás ou biometano, é a alternativa mais promissora para garantir a atratividade do empreendimento. Essa rota tecnológica permite não apenas reduzir os impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada dos resíduos, mas também aproveitar recursos que seriam desperdiçados.

Por outro lado, a inclusão de uma planta de incineração demonstrou ser inviável financeiramente devido ao elevado custo de implementação e operação, o que reforça a importância de priorizar soluções que estejam alinhadas com a realidade econômica, técnica e produtiva dos municípios.

Nesse contexto, a proposta de implantação de uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos na região do Cariri representa uma estratégia alinhada à Política Nacional de Resíduos Sólidos, promovendo a economia circular, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a melhoria da qualidade de vida da população.

Por outra perspectiva, verifica-se que a implementação da usina está sujeita a diversas incertezas, que podem comprometer sua viabilidade. Apesar do estudo já endereçar parte dessas incertezas com a construção dos cenários otimista, intermediário e pessimista, faz-se essencial detalhar os riscos e estratégias de mitigação para garantir a viabilidade do projeto no longo prazo.

Inicialmente, nota-se que uma porção relevante das receitas da usina decorrem dos valores gerados pela comercialização dos materiais recicláveis. Isso posto, o preço desses itens está sujeito a flutuações macroeconômicas e demanda da indústria recicladora. Sendo assim, de



modo a suavizar a sensibilidade dos lucros do projeto, faz-se necessário a diversificação dos materiais vendidos, bem como o investimento em processos de beneficiamento dos resíduos recuperados, de maneira a agregar valor na produção desses bens.

Por outro lado, fica evidente o alto investimento inicial em infraestrutura, equipamentos de triagem e digestores, por exemplo, fundamental para a implantação da usina. Sendo assim, a adoção de parcerias público-privadas permite a dissolução do risco de investimento e operação para o agente privado, que assume o capital inicial e recebe remuneração de longo prazo a partir da performance do projeto.

Finalmente, ressalta-se que o presente trabalho está centrado na viabilidade financeira e técnica da usina integrada de resíduos sólidos. Visto isso, surgem limitações na análise, especialmente no que tange aos riscos operacionais e logísticos do projeto. Dessa maneira, estudos futuros podem explorar modelagens de programas de educação e conscientização que maximizem a adesão à coleta seletiva, de modo a garantir volume e qualidade do material triado. Além disso, também se manifesta como oportunidade a avaliação da localização em que a usina será construída, considerando as rotas de coleta mais eficientes e minimizando os custos de transporte e impacto ambiental.

Mesmo que desafios técnicos, institucionais e operacionais persistam, o estudo comprova que a adoção de modelos sustentáveis de gestão de resíduos é não apenas necessária, mas viável, desde que embasada em planejamento estratégico, parcerias intermunicipais e compromisso de longo prazo.



9. Referências

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023**. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama>. Acesso em: 02 ago. 2024.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <https://analiticaqm Cresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biometano**. Ministério de Minas e Energia, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biometano>. Acesso em: 13 abr. 2025.

Bloomberg. **United States rates & bonds**. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/markets/rates-bonds/government-bonds/us>. Acesso em: 19 set. 2024.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Calculadora do Cidadão — Correção de Valores. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>. Acesso em: 9 set. 2024.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Resíduos sólidos urbanos: parte 1: diagnóstico do setor**. Rio de Janeiro: BNDES, 2024. 11 p. (Estudos Especiais do BNDES; 30).

BRASIL. **Coleta Seletiva. Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento.html>. Acesso em: 10 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 02 ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). **Cooperação Técnica Brasil - Alemanha: Manual da Calculadora de Emissões de GEE para Resíduos**. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/copy_of_ManualdaFerramentadeGEE_02.08.2021.pdf. Acesso em: 19 set. de 2024.

B3. **Indicadores financeiros**. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/consultas/mercado-de-derivativos/indicadores/indicadores-financeiros/ Acesso em: 20 set. 2024.



CÂMARA DOS DEPUTADOS. Projeto prorroga em cinco anos o prazo para fim dos lixões nas cidades com até 50 mil habitantes. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/1058976-projeto-prorroga-em-cinco-anos-o-prazo-para-fim-dos-lixoes-nas-cidades-com-ate-50-mil-habitantes/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. Lixo Municipal – Manual de gerenciamento integrado. 4º edição, 2018. Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

CETREL. As vantagens da incineração como solução sustentável para tratamento de resíduos. Disponível em: <https://www.cetrel.com.br/as-vantagens-da-incineracao-como-solucao-sustentavel-para-tratamento-de-residuos/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

CIBIOGÁS. Panorama do biogás no Brasil 2023. Foz do Iguaçu: CIBiogás, 2024. 22 p. il. Color.

CIGRES. Disponível em: <https://www.cigres.com.br/portal/>. Acesso em: 31 mar. 2025.

COMARES CARIRI. Anexo XI – Plano de Negócios Referencial: Concessão comum para a prestação dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos do Cariri. [S.l.: s.n.], [s.d.]. **COMARES. Carta de Serviço ao Cidadão.** Disponível em: <https://comarescariri.ce.gov.br/cartaservicos>. Acesso em: 13 abr. 2025.

COMARES CARIRI. Estudos II – Relatório Econômico-Financeiro. Crato, CE, 2022. Disponível em: <https://comarescariri.ce.gov.br/licitacoes/1>. Acesso em: 13 abr. 2025.

CONKE, L. S.; NASCIMENTO, E. P. DO. A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 10, n. 1, p. 199–212, jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.AO14>. Acesso em: 11 abr. 2025.

CONTADOR, Cláudio. Projetos sociais. 4. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2000.

CNM - Confederação Nacional de Municípios. Consórcios Públicos Municipais: estrutura, prestação de contas e transparência, Brasília, 2020. Disponível em: <https://cnm.org.br/storage/biblioteca/Consortorios-publicos-intermunicipais-2ed.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

CNM - Confederação Nacional de Municípios. Nota Técnica nº 11/2023: ICMS Ecológico. Brasília: CNM, 09 out. 2023. Disponível em: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2023/Notas_tecnicas/202310_NT112023_MAMB_ICM_S_Ecologico.pdf?t=1696860240. Acesso em: 18 nov. 2025.

ECOTRES - Consórcio Público de Tratamento de Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://www.ecotres.com.br/>. Acesso em: 31 mar. 2025.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Biogás e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Brasília, 2022. Disponível em:



<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/243782/1/DOC-49-final-1.pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Panorama do Biometano**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-781/Panorama%20de%20Biometano.pdf>. Acesso em: 9 set. 2024.

EXAME. **Aterro sanitário, aterro controlado e lixo: qual a diferença?**. Disponível em: <https://exame.com/brasil/aterro-sanitario-aterro-controlado-e-lixao-qual-a-diferenca/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

FRED - Federal Reserve Bank of St Louis. **Federal Funds Effective Rate**. Disponível em: <https://fred.stlouisfed.org/series/FEDFUNDS>. Acesso em: 19 set. 2024.

GIEGRICH, Jürgen. **Manual da Calculadora de Emissões de GEE para Resíduos**. Ferramenta de Cálculo de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU para o Brasil – Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Cooperação Técnica Brasil–Alemanha, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/copy_of_ManualdaFerramentadeGEE_02.08.2021.pdf. Acesso em: 19 set. 2024.

GREEN ELÉTRON. **Transformando resíduos em energia: o potencial do biogás e biometano**. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/blog/transformando-residuos-em-energia-o-potencial-do-biogas-e-biometano/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

HENRICH, Joanni Aparecida; LIMA, Diana Vaz de; CUNHA, Marcus Vinicius. **Consórcios públicos intermunicipais: estrutura, prestação de contas e transparência**. 2. ed. Brasília: Confederação Nacional de Municípios – CNM, 2020. 164 p. ISBN 978-65-88521-01-4.

IPECE — INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Uma análise da consistência do ICMS Ecológico do Ceará**. Fortaleza: IPECE, maio 2013. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/05/UMA_ANALISE_DA_CONSISTENCIA_DO_ICMS_ECOLOGICO_DO_CEARA.pdf. Acesso em: 17 nov. 2025.

INSTITUTO PRAGMA. **Anuário da Reciclagem 2023**. Edição 2023. Disponível em: <https://anuariodareciclagem.eco.br/>. Acesso em: 09 set. 2024.

Ipeadata. **EMBI+ Risco-Brasil**. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=40940&module=M>. Acesso em: 19 set. 2024.

IQSC-USP - Instituto de Química de São Carlos. **Projeto Compostagem com Ciência: Manual de Compostagem**. São Carlos, 2022. Apoio: Santander. Disponível em: <https://sau.usp.br/wp-content/uploads/sites/646/2023/06/E-bookCompostagemComCienciav2.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2025.

JUSBRASIL. **Gestão de resíduos sólidos: desafios e soluções no Brasil**. JusBrasil, 2023. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/gestao-de-residuos-solidos-desafios-e-solucoes-no-brasil/3152143452>. Acesso em: 23 nov. 2025.



MACHADO, Camila Frankenfeld. **Incineração: Uma Análise do Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru/SP**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013010.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

NUNES, C. et al. **Kroll regularly reviews fluctuations in global economic and financial market conditions that warrant a periodic reassessment of the ERP and the accompanying risk-free rate**. Disponível em: <https://www.kroll.com/en/insights/publications/cost-of-capital/recommended-us-equity-risk-premium-and-corresponding-risk-free-rates>. Acesso em: 19 set. 2024.

NYU. **Betas by sector**. Disponível em: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html. Acesso em: 18 set. 2024.

PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavínia Barros de (Org.). **Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta**. 1. ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. 437 p. ISBN 9788587545640.

RIGOLDI, Kelly Cristina; LIMA, Valéria. Instrumentos de gestão e produção de resíduos sólidos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 8., 2024, São Paulo. **Anais do VIII Congresso Brasileiro de Geógrafos**. São Paulo: AGB, 2024.

SANTOS, Anderson Tiago do Carmo. **Estudo de viabilidade financeira de um projeto de usina integrada de resíduo sólido urbano: uma análise de escala**. 2014. 74 f., il. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) —Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SILVA, E. R. DA .; TONELI, J. T. DE C. L.; PALACIOS-BERECHE, R.. **Estimativa do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos usando modelos matemáticos de biodigestão anaeróbia e incineração**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 2, p. 347–357, mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019179023>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SILVA, Manoel Mariano Neto da et al. **Gestão dos resíduos sólidos no Nordeste brasileiro: desafios e perspectivas**. Research, Society and Development, v. 9, n. 8, p. e1796, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/1796>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SILVA, R. M.; OLIVEIRA, J. P. **Fragilidades e potencialidades na gestão dos resíduos sólidos urbanos**. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, Curitiba, v. 12, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/VphbjGPyh6QDYKDc4X6tK4m/?format=html>. Acesso em: 23 nov. 2025.

SILVA, Vanessa Pinto Machado e; CAPANEMA, Luciana Xavier de Lemos. **Políticas públicas na gestão de resíduos sólidos: experiências comparadas e desafios para o Brasil = Public policies in solid waste management: compared experiences and challenges for Brazil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. 25, n. 50, p. 153-200, set. 2019.



SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel de Indicadores 2023**. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/residuos_solidos/mapa-indicadores. Acesso em: 02 ago. 2024.

SINISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. **2024 Glossário de Termos Técnicos - Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos**. Ministério das Cidades, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/area-do-prestador/arquivos/copy_of_GLOSSRIO_TERMOS_TCNICOS_SINISA_RS.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, 2023**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 2023. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Snis/RESIDUOS_SO_LIDOS/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2023_ATUALIZADO.pdf. Acesso em: 04 ago. 2024.

TCHOBANOGLIOUS, George; KREITH, Frank. **Handbook of solid waste management**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2002.