



CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS: INOVAÇÃO E ECONOMIA CIRCULAR NO CONTEXTO URBANO

Ivone Borges Souza

Agronegócios e Sustentabilidade, UnB, Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil

Ivonebs3@gmail.com

Resumo:

O estudo proposto analisa a viabilidade de implementação de um centro de recursos para o tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em municípios do estado de Goiás e no entorno de Brasília, destacando os desafios e oportunidades no contexto da Economia Circular (EC). A metodologia considerou aspectos técnicos, financeiros, ambientais e sociais, com base nas diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e em modelos internacionais, como o alemão, para a recuperação de materiais e a geração de energia. Limitações como financiamento, burocracia e infraestrutura deficiente foram identificadas, junto a barreiras de aceitação pública e acesso a tecnologias adequadas. Alternativas para superação desses desafios incluem consórcios intermunicipais para otimização de recursos, a adoção de tecnologias sustentáveis e a implementação de práticas de logística reversa. Além disso, foi enfatizada a importância do engajamento comunitário e da transparência nos processos de gestão, bem como o papel de parcerias internacionais para o aprimoramento técnico. A análise da viabilidade econômica foi realizada com base na Taxa Mínima de Atratividade (TMA), no Valor Presente Líquido (VPL) e na Taxa Interna de Retorno (TIR), concluindo que a implementação de um centro de RSU pode ser sustentável e benéfica, desde que bem estruturada.

Palavras-chave: Economia Circular, Resíduos Sólidos Urbanos, Consórcios Intermunicipais, Viabilidade Econômica, Sustentabilidade Ambiental

1. Introdução

O crescimento populacional e os avanços tecnológicos impulsionam a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), causando riscos à saúde pública e impactos ambientais globais (Dolar et al., 2016). Estima-se que 2 bilhões de toneladas de RSU sejam produzidas anualmente, com 33% sem gerenciamento adequado (ONU, 2022). Coleta, tratamento e disposição final de resíduos são prioridades em políticas públicas, devido à projeção de aumento de emissões de metano dos aterros, que representam 11% das emissões globais e podem crescer 70% até 2050 (ONU, 2022). Embora aterros sejam amplamente utilizados, enfrentam limitações operacionais e ambientais. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) busca a eliminação de lixões e práticas seguras de gerenciamento (Brasil, 2010), mas desafios persistem, com mais de 50% dos municípios ainda usando depósitos inadequados de resíduos (Abrelpe, 2022).

Este estudo avalia o cenário da gestão de RSU no Brasil, especialmente em Goiás e entorno do Distrito Federal, sugerindo melhorias baseadas em práticas da Alemanha e da União Europeia. A economia circular (EC) e a Gestão de Fluxo de Materiais (MFM) são exploradas como



soluções para promover a reutilização e valorização energética, otimizando a gestão regional de resíduos com foco na sustentabilidade e na resiliência socioeconômica (Ghosh, 2020).

Objetivos da Pesquisa

O principal objetivo desta tese é desenvolver um estudo de pré-viabilidade para a implementação de um centro de recursos para o uso de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos municípios em Goiás. Esse centro pretende ser uma fonte de energia sustentável, com uma infraestrutura atualizada para gestão de RSU e projetos de Waste-to-Energy (WtE). Tecnologias como recuperação de gás de aterro, reciclagem, compostagem anaeróbica, gaseificação termodinâmica e incineração seriam aplicadas para gerar energia limpa.

Esse projeto cria um sistema de circuito fechado, onde os resíduos são coletados, processados e transformados em novos produtos, reduzindo a demanda por materiais virgens e a pegada ambiental das atividades de produção e consumo. Além de benefícios ambientais, o projeto também apresenta oportunidades econômicas e sociais, como criação de empregos e desenvolvimento de indústrias que utilizam materiais reciclados (Bandh et al., 2023). A reciclagem reduz o consumo de energia, resultando em menores emissões de gases de efeito estufa e uma redução geral da pegada de carbono (Nguyen et al., 2021).

As metas específicas incluem reduzir o impacto ambiental do chorume, diminuir as emissões de GEE e substituir o uso de combustíveis fósseis. Espera-se, também, melhorar a qualidade ambiental e econômica nos municípios da região, promovendo novas oportunidades de emprego e renda. Implementar um uso sustentável dos RSU, com base nos princípios da economia circular, busca garantir a proteção ambiental para as gerações futuras, reduzir custos de saúde pública e otimizar o tratamento a longo prazo, gerando economias de escala e promovendo a integração e capacitação de catadores e recicladores informais.

Questão de pesquisa

As questões de pesquisa aqui apresentadas foram desenvolvidas a partir de uma análise dos objetivos e da metodologia estabelecidos para este estudo de pré-viabilidade, que visa à implementação de um centro de recursos destinado à gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos municípios localizados em Goiás e na região do entorno de Brasília.

- a) Analisar a viabilidade da implementação de um centro de tratamento de RSU nos municípios em Goiás e no entorno de Brasília.
- b) Identificar os fatores que evidenciam a necessidade de um projeto dessa natureza no Brasil e compreender a situação atual da gestão de RSU tanto no país quanto nos municípios em Goiás e em torno de Brasília.
- c) Investigar os potenciais benefícios econômicos, sociais e financeiros que esse projeto poderia proporcionar aos municípios envolvidos.
- d) Discutir as partes interessadas essenciais para o sucesso dessa parceria e examinar o papel de cada uma na implementação e operação do centro.
- e) Avaliar como esse projeto pode assegurar que a legislação brasileira de resíduos sólidos seja plenamente respeitada e integrada, promovendo um futuro mais sustentável.



2. Fundamentação teórica

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), impulsionada pelo estilo de vida moderno e pelo modelo linear de produção, exige uma transição para a economia circular (EC) para reduzir a pressão ambiental e o esgotamento dos recursos naturais. A EC propõe substituir o modelo “extrair-fabricar-descartar” para maximizar o uso de materiais e promover a regeneração ambiental. O Atlas Global de Resíduos Sólidos de 2024 revela que 38% dos resíduos em países em desenvolvimento, como o Brasil, são descartados inadequadamente, destacando a urgência de políticas públicas eficazes (PNUMA, 2024; Bandh et al., 2023).

Os pilares da EC, que incluem a eliminação do desperdício, a extensão do ciclo de vida dos materiais e a regeneração do ambiente natural, são fundamentais para enfrentar a crescente demanda por recursos. Modelos de gestão, como o da Alemanha, priorizam a hierarquia de resíduos para redução, reutilização, reciclagem e recuperação energética, podendo servir de inspiração para o Brasil (Agência Federal do Meio Ambiente, 2014). No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o Programa Nacional Lixão Zero promovem uma abordagem integrada no tratamento de resíduos (Brasil, 2010).

A implementação da EC no Brasil enfrenta desafios, com cerca de 45% dos municípios destinando resíduos de forma inadequada, agravando problemas ambientais e de saúde pública (Abrelpe, 2022). O setor informal, responsável por 90% da reciclagem, carece de apoio e regulamentação formal. A formalização dos catadores em cooperativas com suporte governamental é essencial para o fortalecimento do setor (MNCR, 2024).

A logística reversa, central na EC, reintegra materiais ao ciclo produtivo, especialmente em setores como embalagens e eletrônicos. No Brasil, embora regulamentada, precisa de expansão para garantir a reincorporação dos materiais na cadeia de valor, reduzindo o impacto ambiental (Soler et al., 2024). O Gerenciamento de Fluxo de Materiais (MFM) é eficaz para monitorar resíduos e aumentar a eficiência dos recursos (Wagner & Enzler, 2005).

Além dos ganhos ambientais, a EC apresenta grande potencial econômico, com estimativas de ganhos de até US\$ 100 bilhões anuais globalmente até 2050. No Brasil, a recuperação de materiais recicláveis e energia pode gerar até R\$ 50 bilhões anuais até 2040, aproveitando a fração orgânica dos resíduos com tecnologias como a digestão anaeróbica (PNUMA, 2024; Abrelpe, 2022).

A PNRS reforça a importância do controle social e da responsabilidade compartilhada, essenciais para a sustentabilidade e engajamento social. A transparência nas informações de geração e descarte de resíduos incentiva a participação ativa da sociedade, como demonstrado pela governança integrada na Alemanha (Jacobi, 2012; Lima et al., 2023). A educação ambiental complementa essa estratégia, conscientizando sobre separação de resíduos e consumo responsável (Brasil, 2010).

A EC também impulsiona modelos de negócios sustentáveis, como a extensão da vida útil de produtos e “produtos como serviço”, promovendo uma cadeia de valor mais sustentável e vantajosa economicamente (Bandh et al., 2023).

A recuperação e valorização de resíduos, por meio de reciclagem, compostagem e conversão de resíduos em energia, são estratégicas para a EC e o MFM. O aproveitamento da fração



orgânica reduz custos e emissões de gases de efeito estufa, criando um ciclo de valor eficiente dentro da cadeia de resíduos (Bandh et al., 2023).

A hierarquia de gestão de resíduos, promovida pela Agência Europeia do Meio Ambiente, é essencial para a EC, priorizando a redução, reutilização e reciclagem. Países como a Alemanha exemplificam que tal abordagem conserva recursos e protege o ambiente, enquanto o Brasil, mesmo com a PNRS, ainda enfrenta desafios de infraestrutura e conscientização para sua plena implementação (Lima et al., 2023; Galavote et al., 2022).

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e Implementação Regional em Goiás e Entorno de Brasília

A PNRS, instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010, estabelece um marco legal para uma gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos no Brasil. A política promove reuso, reciclagem e disposição adequada, alinhada aos princípios da EC (Lima et al., 2023). Municípios de Goiás e do entorno de Brasília buscam alinhar suas práticas às diretrizes da PNRS, promovendo uma gestão ambientalmente responsável.

Princípios Fundamentais e Responsabilidade Compartilhada

A PNRS introduz o conceito de responsabilidade compartilhada, onde todos os atores da cadeia de produção e consumo devem mitigar impactos ambientais. O princípio do poluidor-pagador responsabiliza o gerador de resíduos, e o protetor-recebedor incentiva práticas sustentáveis com benefícios fiscais (Brasil, 2010). A logística reversa visa reintegrar materiais ao ciclo produtivo, minimizando o uso de aterros. Em Goiás, cooperativas de catadores e acordos setoriais fortalecem a EC (MNCR, 2024).

Instrumentos Operacionais e Logística Reversa

O artigo 8º da PNRS define instrumentos operacionais como planos de resíduos sólidos e sistemas de monitoramento que promovem transparência e eficiência. Em Goiás e entorno de Brasília, a logística reversa facilita o retorno de produtos e o reaproveitamento de recursos, monitorados pelo SINIR (SINIR, 2020).

Integração Regional e Consórcios Intermunicipais

Os municípios podem adotar consórcios intermunicipais para compartilhar infraestrutura e facilitar a criação de centrais de compostagem e reciclagem, conforme o Decreto nº 11.107/2005 (Lima et al., 2023).

Sustentabilidade Financeira e Saneamento Básico

A Lei nº 11.445/2007 destaca a sustentabilidade financeira dos serviços de saneamento, incluindo a gestão de resíduos sólidos, e a importância da cobrança de uma taxa específica para financiar a coleta, tratamento e investimento em reciclagem e compostagem (Brasil, 2024).

Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás e Gestão Regional

O Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás (PERS-GO) define metas sustentáveis, promovendo a eliminação de lixões e a adoção de tecnologias de triagem e compostagem (Brasil, PERS, 2024). Consórcios intermunicipais apoiam a criação de centros de reciclagem e compostagem, impulsionando a EC.

Transparência e Monitoramento



A transparência no uso de recursos é central para a PNRS, com a taxa de lixo monitorada pelo SNIS para garantir que fundos sejam direcionados exclusivamente à gestão de resíduos. A legislação regula o transporte de resíduos para mitigar riscos ambientais (Brasil, 2007).

Responsabilidade Social Corporativa e Colaboração Público-Privada

A colaboração entre setor público e privado é fundamental para o sucesso da EC, promovendo a responsabilidade compartilhada e incentivando práticas sustentáveis (Sachs, 2009). A PNRS integra a responsabilidade social corporativa para fortalecer a cadeia de reciclagem, promovendo um desenvolvimento sustentável e inclusivo, especialmente ao formalizar catadores na economia (Lima et al., 2023).

3. Metodologia

Para a aplicação da metodologia desta pesquisa, é fundamental compreender o contexto específico dos municípios em análise, considerando variáveis como localização geográfica, porte populacional, infraestrutura disponível e as práticas de gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) adotadas. Além disso, políticas públicas, regulamentações vigentes e as questões ambientais e sociais envolvidas também são elementos indispensáveis para o delineamento metodológico (Gil, 2008; Marconi e Lakatos, 2003). Nesse sentido, a pesquisa se concentrará em municípios de Goiás e no entorno de Brasília, dentro de um raio aproximado de 100 km, visando fornecer um panorama integrado e contextualizado dos desafios e oportunidades para a gestão de RSU.

A metodologia adotada inicia-se com uma investigação minuciosa dos aterros sanitários e demais infraestruturas de gerenciamento de resíduos presentes na região, incluindo visitas de campo e entrevistas com partes interessadas, como representantes governamentais e organizações locais. Esse método qualitativo permite obter informações ricas sobre as práticas de gestão de resíduos, além de levantar dados secundários, como relatórios municipais e históricos sobre as abordagens anteriores no gerenciamento de RSU (Yin, 2001). A partir dessa etapa, busca-se não apenas traçar o cenário atual, mas também identificar as limitações e potencialidades dos sistemas de disposição final de resíduos.

O principal objetivo deste estudo é avaliar os impactos ambientais e a viabilidade econômica de diferentes alternativas para o tratamento de RSU, considerando o contexto brasileiro. Para tanto, são exploradas tecnologias de recuperação de energia, com destaque para os métodos de tratamento bioquímico (como a fermentação e digestão anaeróbica – DA) e termoquímico, como a combustão, gaseificação e pirólise. A gaseificação, por exemplo, é descrita por Maya et al. (2016) como o processo de aquecimento de resíduos orgânicos para gerar um gás combustível, composto principalmente por hidrogênio (H₂) e monóxido de carbono (CO), com possíveis usos para geração de calor e eletricidade. As tecnologias de gaseificação, incluindo leito fixo, leito fluidizado e gaseificação de alta temperatura, apresentam eficácias energéticas variáveis, podendo alcançar entre 15% e 30%, dependendo da tecnologia e das condições operacionais.

Além da avaliação técnica, a análise econômica e a sensibilidade dos principais parâmetros que influenciam a viabilidade da recuperação energética são componentes centrais deste trabalho. Para isso, será empregada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), ferramenta



recomendada para avaliar e comparar os impactos ambientais de diferentes sistemas de recuperação energética de RSU (Finnveden et al., 2009). A LCA abordará impactos como o Potencial de Depleção Abiótica (ADP), Potencial de Aquecimento Global (GWP), Potencial de Depleção da Camada de Ozônio (ODP), Potencial de Toxicidade Humana (HTP), Potencial de Acidificação (ACP) e Potencial de Eutrofização (ETP), proporcionando uma visão abrangente dos efeitos ambientais associados a cada alternativa tecnológica (ISO 14040, 2006).

Por fim, a pesquisa enfatiza que o foco na conversão termoquímica de RSU para energia é parte de um gerenciamento de fluxo de materiais (MFM) mais amplo, aplicado ao sistema de resíduos urbanos. Segundo Maya et al. (2016), o tratamento térmico de resíduos traz diversos benefícios, como: (a) redução do volume de resíduos e preservação de espaço em aterros; (b) recuperação energética, maximizando o uso de materiais que não podem ser dispostos diretamente; (c) recuperação de minerais e produtos químicos que podem ser reutilizados ou reciclados; (d) eliminação de contaminantes presentes no fluxo de resíduos; e (e) minimização da necessidade de manuseio intensivo de resíduos. Esses fatores corroboram a relevância do tratamento térmico dentro de uma abordagem de economia circular, permitindo um ciclo sustentável de materiais e energia dentro do gerenciamento de RSU (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2016).

4. Resultados

Nesse estudo, serão empregados caminhões especializados para a coleta de resíduos verdes, destinados a recolher materiais domésticos e recicláveis, como metal, papel, vidro e plástico. A frequência de coleta será ajustada conforme as demandas específicas de cada município. Assim, a coleta de resíduos gerais ocorrerá semanalmente ou quinzenalmente em dias úteis, enquanto os materiais recicláveis seguirão o mesmo cronograma ou terão coletas adicionais conforme a necessidade identificada.

O processo operacional no Centro de Recursos de Resíduos (WRC) inicia-se com a chegada dos veículos de coleta, que são pesados ao entrar na instalação. Em seguida, os veículos são direcionados para a área de descarregamento, onde os resíduos coletados são despejados em um dispositivo chamado "sack-ripper". Esse equipamento foi projetado para abrir sacos de resíduos, facilitando a exposição do material que será posteriormente transportado por uma correia transportadora. Durante esse processo, trabalhadores realizam a triagem manual dos materiais recicláveis e recuperáveis, melhorando a eficiência da separação e tratamento dos resíduos.

Abaixo, são apresentadas figuras que ilustram, passo a passo, as futuras instalações e operações do centro de recursos de RSU.



Workshop Internacional

SUSTENTARE & WIPIS 2024

Sustentabilidade, Indicadores
e Gestão de Recursos Hídricos

www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
de novembro

Transmissão online • Evento gratuito

Realização

PUC
CAMPINAS

EESC • USP

Apoio Institucional

UNICAMP

PCJ
Agência das Águas PCJ



Figura 1 - Instalação principal do MSW Resource Central



Figura 2- Fase de triagem



Workshop Internacional

SUSTENTARE & WIPIS 2024

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
de novembro

Transmissão online • Evento gratuito

Realização

PUC
CAMPINAS

EESC - USP
ECONOMIA, ENGENHARIA E SOCIEDADE

Apoio Institucional

PCJ
PREFEITURA DE CAMPINAS

PCJ
PREFEITURA DE CAMPINAS



Figura 3- Fase de triagem 2



Figura 4 - Fase de secagem



Figura 5 - Fase de triagem 3

Em seguida, materiais pós-classificados, não recicláveis ou não recuperáveis continuam ao longo do transportador, onde são triturados para facilitar uma passagem mais suave pelo processo de tratamento térmico, reduzindo o tempo de processamento. O material triturado é então alimentado na instalação de tratamento central, que opera continuamente 24 horas por dia, 7 dias por semana.

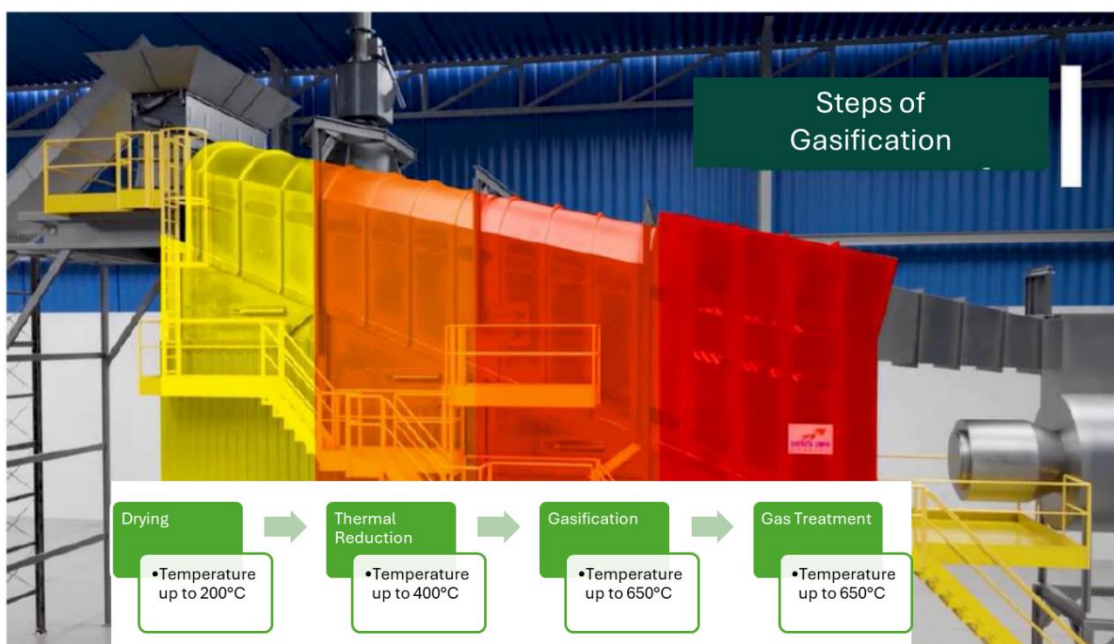


Figura 6 - Etapas da Gaseificação



Dentro desta instalação, os resíduos passam por uma série de processos térmicos:

- I. **Secagem**: Os resíduos são submetidos a temperaturas de até 200°C para remoção de umidade, preparando-os para o tratamento térmico.
- II. **Redução Térmica**: Em temperaturas que chegam a 400°C, os resíduos orgânicos são reduzidos a partículas menores, facilitando o tratamento térmico subsequente.
- III. **Gaseificação**: Em temperaturas de até 650°C, gases são produzidos. Esses gases, que incluem componentes ricos em energia, como hidrogênio e amônia, podem ser utilizados em outros processos.
- IV. **Tratamento de Gás**: Em temperaturas semelhantes, gases nocivos, como o CO₂, são removidos para evitar a poluição ambiental.



Figura 7 – Cinzas residuais

Após esses processos, as cinzas residuais permanecem, constituindo aproximadamente 10-15% da entrada inicial. Essas cinzas são removidas usando um tambor rotativo e coletadas em caçambas para transporte. Aplicações potenciais para essas cinzas incluem incorporação em asfalto, tijolos ou concreto.

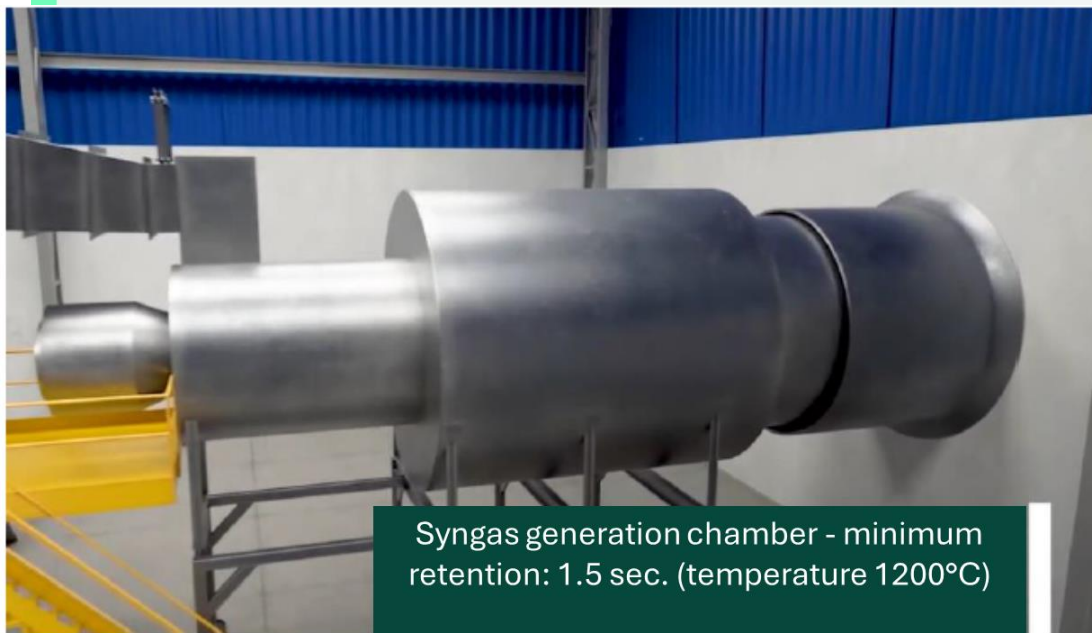


Figura 8 1- Câmara de geração de gás de síntese



Figura 9- Caldeira de recuperação para produção de vapor



Workshop Internacional

SUSTENTARE & WIPIS 2024

Sustentabilidade, Indicadores
e Gestão de Recursos Hídricos

www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
de novembro

Transmissão online • Evento gratuito

Realização

PUC
CAMPINAS

EESC • USP

Apoio Institucional

UNICAMP

PCJ
Agência das Águas PCJ

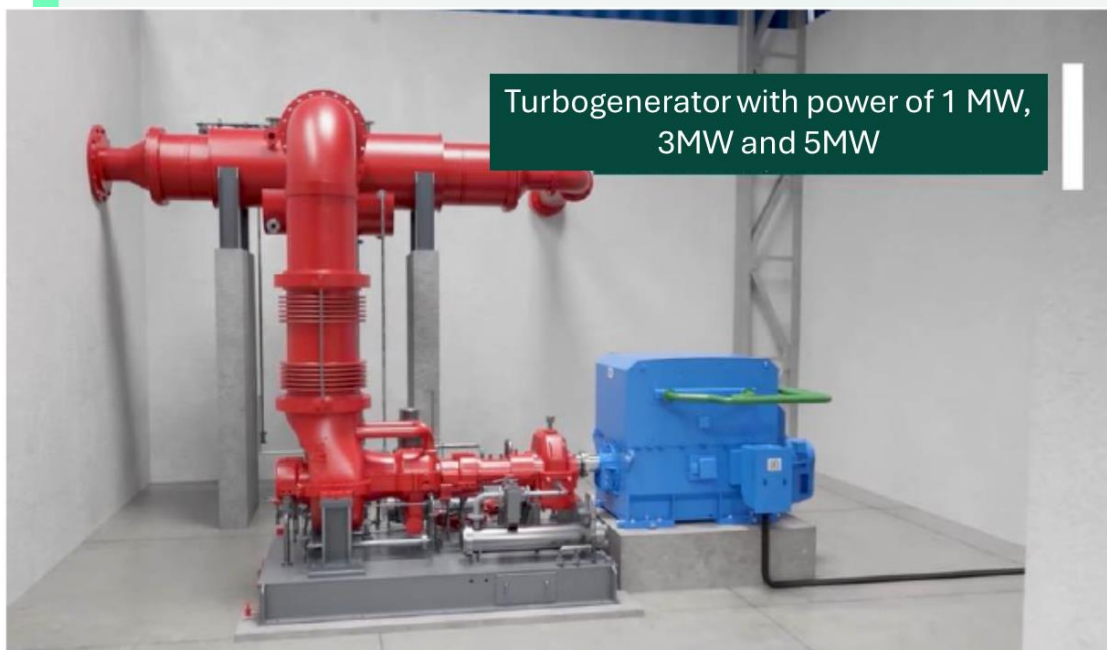


Figura 10 – Instalações Turbogenerador



Os gases tratados são aproveitados para geração de energia, criando um suprimento de energia mais sustentável. Materiais recicláveis, separados no início do processo, passam por tratamento, enfiamento e embalagem antes de serem despachados para indústrias para reutilização como matéria-prima. Após a conclusão do processo de tratamento, o veículo de resíduos é pesado novamente para determinar a quantidade de resíduos processados.



Plano Financeiro para Pré-Viabilidade Econômica do Centro de Recursos de RSU

Para a criação do plano financeiro deste projeto, a análise foi desenvolvida por Cristianderson Rodrigues da Vértice Soluções Energéticas, utilizando as taxas de câmbio e impostos vigentes em outubro de 2024, tanto em Reais (R\$) quanto em Euros (€) (ver Apêndice A, B e C). A viabilidade de um projeto de investimento, conforme destaca Deixe-me (2024), depende de sua capacidade de gerar lucros e retornos financeiros positivos. O objetivo é avaliar se o capital investido poderá atender às necessidades do projeto e ser recuperado de forma segura. Martins (2024) elenca quatro elementos essenciais para uma análise de viabilidade robusta: viabilidade técnica, econômico-financeira, de mercado e operacional. Esses elementos são indispensáveis para definir e ajustar aspectos do projeto, considerando as possíveis adversidades e soluções a serem implementadas.

No caso da estação de tratamento de resíduos, foi reportado um volume diário de 340 toneladas, das quais 10 toneladas são destinadas à reciclagem, enquanto as restantes 330 toneladas passam pelo tratamento térmico. Atualmente, os municípios destinam resíduos a aterros licenciados a um custo médio de R\$ 125,00 por tonelada, mas a estação de tratamento proposta apresenta uma taxa média de R\$ 45,90 por tonelada, proporcionando uma economia de R\$ 79,10 por tonelada aos municípios. O centro de recursos de RSU será também capaz de gerar energia para abastecer comunidades, indústrias e redes elétricas, reduzindo o custo da energia para o setor produtivo. No plano financeiro, foram incluídos impostos como ICMS, PIS, COFINS, CSLL, IRPJ e ISSQN, e não foram considerados benefícios fiscais para aumentar a lucratividade.

Os custos operacionais do centro de recursos abrangem despesas com maquinário, internet, suprimentos administrativos, alimentação, energia, pesagem, triagem, pessoal, manutenção, melhorias, marketing, treinamento e seguros, entre outros. O centro deverá contar com 78 funcionários distribuídos em várias funções, cujos custos foram estimados com base em uma média de 75% do custo salarial, incluindo provisões trabalhistas, como férias, 13º salário, FGTS, INSS e benefícios adicionais, conforme legislação trabalhista brasileira.

Para fins de análise financeira, o capital investido subtrai-se das despesas totais do centro, gerando o saldo anual com base no lucro operacional. O retorno do investimento é calculado por meio de duas metodologias: o retorno direto, obtido pela divisão do capital investido pela receita mensal, e o retorno indireto, que considera o capital investido dividido pelo lucro operacional anual.

A taxa mínima de atratividade (TMA) ou Hurdle Rate, mencionada por Lira (2023), representa uma taxa calculada com base em variáveis específicas que consideram as condições de mercado e os objetivos da empresa. Embora o cálculo da TMA envolva uma série de parâmetros que variam entre as organizações, é possível estabelecer um valor de referência. Nesse contexto, uma taxa de retorno mínima de 12% ao ano é considerada atrativa para o investimento. Em termos práticos, a análise do Valor Presente Líquido (VPL) revela o valor presente dos fluxos de caixa futuros, descontados a uma taxa pré-determinada. O VPL positivo indica que o valor dos fluxos de caixa projetados supera o investimento inicial, sugerindo a viabilidade econômica do projeto. Caso o VPL seja negativo, o projeto é financeiramente inviável, pois o valor atual dos fluxos de caixa projetados é inferior ao custo do investimento.



Além do cálculo do VPL, o indicador é frequentemente utilizado para decidir entre diferentes cenários de investimento. Em diferentes contextos, como fusões, aquisições, financiamentos e projetos ambientais, o VPL auxilia na escolha da opção mais vantajosa, considerando o valor temporal do dinheiro e a inflação. Assim, o VPL é um elemento crucial na análise de projetos e deve ser calculado considerando os períodos adequados para garantir uma análise precisa.

Complementando a análise econômica, a Taxa Interna de Retorno (TIR) também foi calculada. A TIR é a taxa de desconto que torna o VPL de um projeto igual a zero, determinando o retorno esperado que iguala o valor presente dos fluxos de caixa ao investimento inicial. Quando a TMA é superior à TIR, o projeto não se mostra viável; inversamente, se a TMA é inferior à TIR, o projeto é considerado financeiramente atrativo.

Essas métricas são fundamentais para a avaliação da viabilidade econômica do centro de recursos de RSU, pois permitem uma análise detalhada das projeções financeiras e do potencial de retorno do investimento, orientando as decisões estratégicas e aumentando a segurança do empreendimento.

5. Conclusões

A implementação de um centro de recursos para o tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) envolve diversos desafios, entre os quais destacam-se restrições financeiras, a necessidade de infraestrutura avançada e a adequação tecnológica. Em regiões com recursos limitados, a obtenção de financiamento adequado é um dos principais obstáculos, além dos custos elevados associados à construção e atualização das instalações e à aquisição de tecnologias apropriadas, que frequentemente requerem expertise e investimentos iniciais significativos.

Nesse contexto, a formação de consórcios intermunicipais surge como uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade e otimizar a gestão de resíduos. Os consórcios possibilitam a união de recursos, a divisão de custos e a cooperação na implementação de tecnologias avançadas, incentivados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que prioriza o acesso a financiamentos para municípios que adotam soluções colaborativas. Por meio de consórcios, municípios conseguem explorar economias de escala, reduzindo custos operacionais e maximizando a eficiência de projetos de gestão de resíduos.

Além disso, a integração de tecnologias inovadoras para tratamento e recuperação de resíduos é essencial para cidades que almejam uma estrutura inteligente e sustentável. Investimentos em tecnologia de ponta, como sistemas de monitoramento e avaliação contínuos, são fundamentais para otimizar processos, assegurar o cumprimento de padrões ambientais e permitir a constante evolução da infraestrutura de resíduos.

Para o sucesso de um centro de recursos de RSU, é indispensável o envolvimento ativo da comunidade local e a construção de parcerias estratégicas com ONGs e o setor privado, que proporcionam acesso a recursos, expertise e financiamento adicional. O engajamento comunitário, combinado com iniciativas de conscientização e comunicação, é essencial para mitigar possíveis resistências e promover o apoio público ao projeto. A adoção de políticas públicas de incentivo e a defesa de iniciativas nos níveis municipal, estadual e nacional também são aspectos centrais para criar um ambiente favorável à sustentabilidade.



Em suma, ao focar no uso inteligente de consórcios intermunicipais, no investimento em tecnologias de ponta e na integração comunitária, as cidades caminham para se tornarem mais inteligentes e sustentáveis, promovendo uma economia circular que reduz impactos ambientais e gera benefícios econômicos e sociais.

6. Referências bibliográficas

- Abrelpe. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2022.
- Agência Federal do Meio Ambiente. Waste Management Act. Alemanha, 2014.
- Brasil. Lei Federal nº 12.305/2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), 2010.
- Brasil. Lei Estadual nº 14.248/2002. Política Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás, 2002.
- Brasil. Lei nº 11.445/2007. Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico, 2007.
- Brasil. Decreto nº 11.107/2005. Consórcios Públicos para a Gestão de Resíduos, 2005.
- Brasil. Decreto nº 001/2024. Atualização da Unidade Fiscal Municipal (UFM) de Alexânia, 2024.
- Comissão Europeia. Diretrizes sobre Economia Circular e Gestão de Resíduos, 2017.
- Dias, D. Responsabilidade Compartilhada na Gestão de Resíduos. 2021.
- Fátima, R., et al. Aspectos Sociais na Gestão de Resíduos em Países em Desenvolvimento, 2023.
- Galavote, M., et al.. “A Gestão Sustentável de Resíduos e o Papel dos Consórcios.” 2022.
- Jacobi, R.P. Governança e Sustentabilidade na Gestão de Resíduos. 2012. Lima, J., et al. Práticas de Economia Circular e Sustentabilidade. 2023.
- Lira, J.P. Indicadores de Viabilidade Econômica para Gestão de Resíduos. 2023.
- Malinauskaite, J., et al. “Governança Multinível na Gestão de Resíduos.” Waste Management Journal, 2017.
- Maya, A., et al. Tecnologias para Tratamento Termoquímico de Resíduos Sólidos. 2016.
- MNCR. Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis. Relatório Anual, 2024.
- Nascimento, J.A.. “O Conceito de Desperdício Zero e a Economia Circular.” 2018.
- OCDE. Níveis de Extração de Recursos Naturais ao Longo do Tempo, Relatório de Desenvolvimento Sustentável, 2018.
- Parlamento Europeu. Diretrizes de Gestão de Resíduos e Economia Circular. 2017.
- PNUMA. Atlas Global de Resíduos Sólidos, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2023 e 2024.



Sachs, I. Desenvolvimento Sustentável: Economia, Sociedade e Meio Ambiente. 2009.

Soler, M., et al. A Logística Reversa no Contexto da Economia Circular. 2024.

SINIR. Sistema Nacional de Informações sobre Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente, 2020.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2022.

SWM. Estratégias para a Recuperação de Energia e Descarte de Resíduos. Suécia, 2023.

Vernadsky, V.. O Papel dos Resíduos e o Ciclo da Natureza. 1960.

Wagner, B., &ENZLER, S.. Material Flow Management and Circular Economy. 2005.