

WORKING PAPER PSPHUB#001

Regionalização e otimização de rotas tecnológicas: uma análise sobre estimativas de custos para resíduos sólidos urbanos no Brasil

Rafael Igrejas, Yan Cattani, Leonardo de Santis, Daniel Komesu e Frederico Turolla

Abril 2023

Regionalização e otimização de rotas tecnológicas: uma análise sobre estimativas de custos para resíduos sólidos urbanos no Brasil

Rafael Igrejas, Yan Cattani, Leonardo de Santis, Daniel Komesu e Frederico Tuolla

Resumo: Este estudo tem como objetivo avaliar o potencial de impacto da necessidade de investimentos (CAPEX) e custos operacionais (OPEX) de consórcios públicos em operação no Brasil, mas os quais ainda não apresentavam rotas tecnológicas completas. Como base da seleção da amostras de consórcios avaliados, utilizou-se o Estudo de Modelagem de Projetos de Manejo de RSU em Arranjos Regionais produzido pelo Ministério da Economia em 2022. Sobre a amostra selecionada, aplicou-se uma rota tecnológica sugerida pelo estudo referencial com características básicas mas atingimento das metas do PLANARES até 2040. Dos 240 consórcios públicos, chegou-se a uma amostra de 18 consórcios públicos com atividades de manejo de resíduos sólidos urbanos, os quais ao longo de uma concessão comum de 35 anos necessitariam, em média, de um investimento de R\$ 1,6 bilhão para OPEX e R\$173 milhões para CAPEX. Como orientações para políticas públicas, o estudo ainda extrapola os resultados para realidade brasileira de 46 milhões de habitantes que ainda habitam em localidades sem disposição final adequada de resíduos sólidos, com necessidade de investimento total de R\$ 225 bilhões de reais ao longo de 35 anos de concessões.

Palavras-chave: Consórcios públicos, resíduos sólidos urbanos, otimização, avaliação econômico-financeira, estimativa de custos

1. Introdução

Em 2022, o Brasil gerou aproximadamente 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), o que corresponde a 224.000 toneladas diárias ou 1.043 kg por habitante. A dimensão territorial também pode explicar os grandes números de geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. Do total de geração, 39,5% (30,2 milhões de toneladas) ainda são descartados indevidamente em lixões e aterros controlados, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe, 2022). Os desafios relacionados à coleta de resíduos são ainda maiores, sobretudo considerando que a eficiência depende não apenas da capacidade de gestão, mas também das diversas condições geográficas de acesso, fatores econômicos, culturais e sociais (Passarini et al., 2011).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil (PNRS) estabelecida em 2010 pela Lei nº 12.305 já havia sido desenvolvida para tentar reverter este quadro. Entretanto, o tema da gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU) tornou-se mais urgente nos últimos anos e desencadeou a criação e a aprovação da Lei nº 14.026/2020 (O Novo Marco Legal de Saneamento Básico) e do Decreto nº 10.936/2022, que criou o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES). Estes instrumentos normativos também têm por princípio criar incentivos à cooperação para a prestação de serviços à população, seja para entidades nacionais, como aos subnacionais.

Devido às condições econômicas e políticas, muitos países buscam alternativas para tornar seus serviços de GRSU mais eficientes e de forma sustentável. Entre as alternativas à reestruturação do serviço público de RSU, que tem se observado como caminho para redução de custos e mitigação de impacto fiscal se destacam: a subcontratação; os arranjos cooperativos intergovernamentais (ACI); o desenvolvimento de políticas regionais; e as parcerias públicas (Plata-Díaz et al., 2014).

Neste contexto, o presente estudo sob a ótica da sustentabilidade econômico-financeira, tem como objetivo avaliar o potencial de impacto da necessidade de investimentos (CAPEX) e custos operacionais (OPEX) de consórcios em operação no Brasil, sendo estes uma modalidade de ACI. A amostra se limitou a avaliar os consórcios que até dezembro de 2022 apresentavam Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, mas ainda não apresentavam rotas tecnológicas completas e cujas estimativas de CAPEX e OPEX são indispensáveis para atingir as metas do PLANARES até 2040.

Para fins de análise de sustentabilidade econômico-financeira, este estudo se baseou nos resultados obtidos da ferramenta de pré-viabilidade financeira derivada do Estudo de Modelagem de Projetos de Manejo de RSU em Arranjos Regionais, EMPMRAR (ME, 2022)¹, desenvolvido pela secretaria Especial de Produtividade e Competitividade do Ministério da Economia (SEPEC/ME), por meio da Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI). A ferramenta já prevê a otimização de distâncias rodoviárias e de custos, oferecendo tarifas mínimas para cada arranjo regional proposto, de forma que a função objetivo é determinada para se obter a menor tarifa possível para cada arranjo.

¹Disponível em: <https://www.gov.br/produktividade-e-comercio-exterior/pt-br/choque-de-investimento-privado/investimentos-em-residuos-solidos>.

A principal contribuição do presente estudo é avaliar, sob a ótica econômico-financeira, o nível de recursos requeridos para atendimento as metas do PLANARES, pelos consórcios de RSU em operação no Brasil, que são considerados como críticos para atender tais metas até 2040. Os referidos consórcios, até 2022 não apresentavam rota tecnológica adequada, alguns ainda se encontram em pré-operação e todos apresentam desafios geográficos relevantes. Em meio as atuais discussões sobre restrições e desafios a implementação do novo marco do saneamento e a necessidade de formação de arranjos regionais para RSUs, o presente estudo busca lançar luz sob o tema e dar suporte aos tomadores de decisão públicos e privados do setor.

Após a introdução, o artigo está dividido em seis seções. A segunda parte fornece uma visão geral sobre a situação atual de consórcios de RSUs no Brasil e um breve referencial teórico sobre sustentabilidade financeira em operações de RSUs. A seção 3 trata da discussão sobre sustentabilidade financeira, enquanto a seção 4 sobre a metodologia utilizada. Na seção subsequente, são apresentados os resultados e discussões. Na seção 6 são observadas as considerações finais e orientações para políticas públicas.

2. Situação atual dos consórcios RSU no Brasil

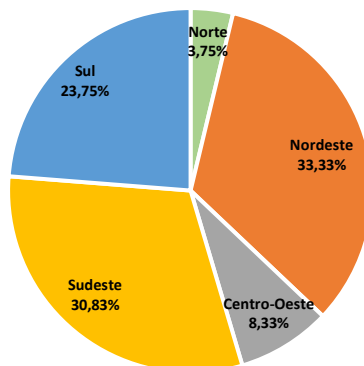
Para realizar uma análise do panorama situacional dos consórcios públicos com atuação em resíduos sólidos no Brasil, este estudo se baseou inicialmente nas informações do EMPMRAR, onde foram mapeados os dados existentes na base de dados do SNIS (2021), IBGE (2021), SINIR (2023) e através de pesquisa de campo.

Conforme ressalta-se em ME (2022), a necessidade de triangulação de informações (Flick, 2004) durante o estudo foi necessária devido ao fato de que as informações secundárias não disponibilizavam todas as informações de forma consolidada e padronizada sobre o tema, com diferentes anos-base e informações financeira e técnicas divergentes. Assim, houve a necessidade de validação de informações através de coleta primária, realizada por contatos telefônicos. Assim, este estudo considera que, ainda após a verificação de informações e dificuldades encontradas no levantamento de dados, as bases de dados consolidadas pelo EMPMRAR são as que mais se aproximam de um sistema de informações adequado.

A partir dos dados levantados e checados em 22 unidades federativas do país, foram avaliados 240 consórcios públicos entre unifinalitários (aqueles que atuam somente com resíduos sólidos) e multifinalitários (ou que agregam mais áreas de atuação, como saúde, assistência social, incentivos, educação, etc).

A região do Nordeste se destaca com 80 consórcios ativos (33,3% dos arranjos consorciados do país) e 1.222 municípios (Figura 1). A região Sudeste fica em 2º lugar em número de consórcios ativos, e apresentou 1.189 municípios vinculados aos seus 74 consórcios ativos (30,1%). A região Sul representa 23,75% e a região Centro-Oeste 8,33% do total. O Norte é a região que apresenta somente 9 consórcios ativos (3,8%) e 93 municípios consorciados (ME, 2022).

Figura 1 – Percentual do número de Consórcios ativos por região



Fonte: ME (2022)

Entre os arranjos consorciados, um total de 125 tiveram a população de sua área de abrangência contabilizada² - apresentam população de até 500.000 habitantes. A faixa populacional de até 250.000 habitantes predomina sobre as demais faixas. A Tabela 1 resume os dados dos consórcios ativos, consolidados por região. As informações foram divididas de acordo com as 4 (quatro) faixas populacionais estabelecida na Nota Técnica (NT) Conjunta nº 1/2020/SPPI/MMA/FUNASA.

² A população da área de abrangência foi extraída do SINIR (2023). Exceto para os Consórcios de Nascentes Pantanal/MT, Consórcio Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, Municípios Firminópolis, São Luis de M. Belos, Turvânia e Cachoeira de Goiás (CIGIRS/GO), Consórcio de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Sobral (CGIRS-RMS), Consórcio Regional de Resíduos Sólidos do Agreste Alagoano (CONAGRESTE), Consórcio Intermunicipal de Gestão e Desenvolvimento Ambiental Sustentável das Vertentes (CIGEDAS), Consórcio Intermunicipal para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (CONRESOL), Consórcio Intermunicipal de Saneamento da Região Central de Rondônia (CISAN Central), Consórcio Intermunicipal do Médio Vale do Itajaí (CIMVI), cuja população foi contabilizada com dados do IBGE (2021).

Tabela 1 – Número de Consórcios por região, segundo a população da área de abrangência.

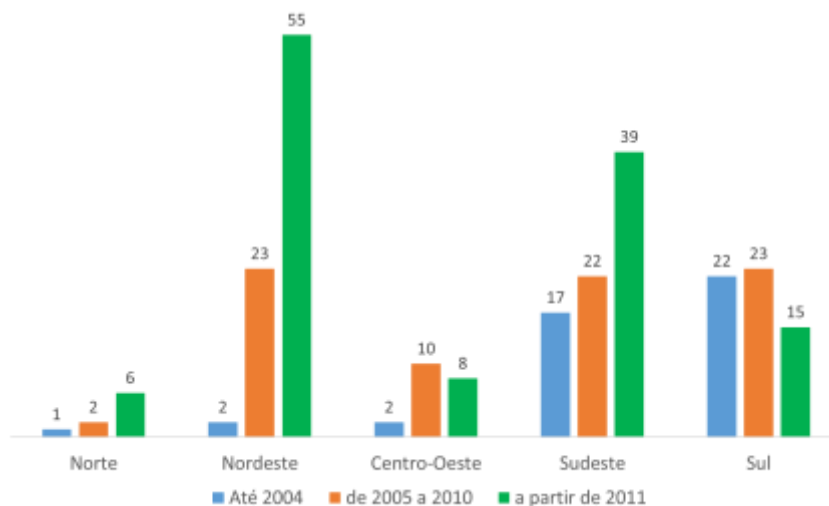
Região	Número de habitantes					Total
	Até 250.000	250.001 a 500.000	500.001 a 1.000.000	Acima de 1.000.000	Não localizado	
Norte	5	0	0	1	3	9
Nordeste	16	17	4	1	42	80
Centro-Oeste	10	4	0	0	6	20
Sudeste	26	14	8	5	21	74
Sul	25	8	1	2	21	57
Total	82	43	13	9	93	240

Fonte: ME (2022).

Até o ano de 2004, antes da Lei nº 11.107/2005 (Lei dos Consórcios), apenas 44 consórcios³ tinham sido instituídos, com as regiões Sul e Sudeste responsáveis, respectivamente por 50% e 38,6% dos arranjos consorciados existentes à época. Após a referida lei, o número de consórcios criados em 5 anos foi maior que o total existente até 2004 em todas as regiões. A partir de 2011, as regiões Nordeste e Sudeste passaram a ser responsáveis por 55,3% do número de arranjos consorciados criados nesse período (Figura 2). O número de consórcios públicos no Nordeste dobrou no período.

³ Chamados anteriormente de consórcios administrativos, estes possuíam estrutura juridicamente mais frágil, exclusivamente de direito privado, portanto diferenciada do atual consórcio público, que pode possuir atribuições tanto de direito público quanto do direito privado, além de ser considerado uma autarquia federativa com atividades-fim de Estado, entre outras especificidades.

Figura 2 – Número de consórcios criados por período em cada região



Fonte: ME (2022)

Em meio aos consórcios pesquisados, também foi avaliada a existência de rotas tecnológicas completas, relatórios contábeis, dados operacionais, forma de cobrança, conselhos existentes. Contudo, muitas dessas informações são precárias ou inexistentes (não disponibilizadas) e, dentre essas informações, apenas as rotas tecnológicas puderam ser avaliadas quanto a sua completude informacional. Assim, este trabalho buscará maior detalhamento na amostra que seguirá descrita na parte de Metodologia.

3. Sustentabilidade financeira

3.1 O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE FINANCEIRA

O conceito de sustentabilidade financeira na gestão de resíduos sólidos vem da abordagem de sustentabilidade que procura integrar as dimensões ambiental, econômica e social na tomada de decisão de projetos. No caso específico da gestão de resíduos sólidos, refere-se à necessidade de assegurar a viabilidade econômica e financeira dos sistemas de gestão de resíduos a longo prazo, através da geração de receitas suficientes para cobrir os custos operacionais e de investimento, e a busca de fontes sustentáveis de financiamento para a implementação de novas tecnologias e programas de gestão. Esta perspectiva procura assegurar que a gestão de resíduos sólidos seja ambientalmente sustentável, socialmente justa e economicamente viável a longo prazo (Hoornweg, 2012).

A sustentabilidade financeira das operações de resíduos sólidos urbanos na América Latina varia de acordo com o país e a região. Alguns países fizeram progressos significativos na implementação de sistemas de tarifas sustentáveis e financiamento para o gerenciamento de resíduos sólidos, enquanto outros ainda enfrentam desafios na obtenção de recursos financeiros e na implementação de políticas públicas e regulação adequada. Em geral, há uma necessidade de melhorar a gestão e o financiamento de projetos de resíduos sólidos, com foco na sustentabilidade financeira a longo prazo e na adoção de tecnologias sustentáveis e eficientes.

Para Collazos e Duque (2003) a sustentabilidade dos projetos de gestão de água e resíduos sólidos está relacionada a capacidade de proporcionar benefícios contínuos, com um uso mínimo de recursos e conservação do meio ambiente, sobre a confluência de três grandes dimensões imersas nos contextos político, jurídico e institucional: a comunidade, constituída por seus habitantes, cultura e instituições e que estabelece as condições para suas demandas por bens e serviços ambientais; o meio ambiente, no qual a comunidade vive, produz e gerencia seu desenvolvimento e que oferece seus recursos para uso racional; e a base de conhecimento, representada pela ciência e tecnologia orientada para a solução de problemas relacionados à vulnerabilidade e exposição ao risco (definida pela relação entre comunidade e meio ambiente), assim como à oferta e demanda de recursos através de serviços.

Na literatura global, alguns estudos recentes contribuíram para as discussões sobre a sustentabilidade financeira na gestão de resíduos sólidos. Correal e Laguna (2018) desenvolveram uma ferramenta para estimar os custos de coleta, transporte, triagem e embalagem de recicláveis com diferentes níveis de inclusão de organizações de catadores, e para identificar os custos e receitas dos arranjos identificados. Bartolacci et al. (2018) examinam a sustentabilidade financeira das atividades de gerenciamento de resíduos para entender se e como as escolhas e fatores ambientalmente orientados influenciam as receitas e custos das empresas de gerenciamento de resíduos, o que, por sua vez, afeta sua sustentabilidade financeira e, portanto, sua viabilidade. Jucá et al (2020) avaliaram quatro dimensões da sustentabilidade (social, ambiental, econômica e legal/institucional) utilizando indicadores de sustentabilidade para a gestão de RSU na Região Metropolitana do Recife (RMR) no Nordeste do Brasil.

Os autores demonstraram os avanços recentes relacionados ao fechamento de aterros sanitários, a redução da massa de RSU per capita coletada e o aumento da taxa de cobertura da coleta de resíduos sólidos domiciliares. Caicedo-Concha et al. (2021) avaliaram os impactos ambientais associados a um aterro sanitário na Colômbia, utilizando métodos de avaliação do ciclo de vida (ACV), com análise de cenários. Os autores demonstraram que a adoção de tecnologias de captura, queima e recuperação de energia deve ser considerada se há necessidade de reduções significativas de emissão de gases poluentes no setor de resíduos sólidos. Correal e Rihm (2022) propuseram uma metodologia de análise de viabilidade para orientar os municípios e os tomadores de decisão na seleção de tecnologias de recuperação de resíduos de acordo com cada contexto local. Além disso, o estudo apresenta recomendações para políticas públicas e a incorporação de tecnologias na América Latina e no Caribe. Abu-Qdai et al (2023) desenvolveram uma ferramenta para tomada de decisão para avaliar o impacto na estrutura tarifária gerado por políticas de economia circular e de alternativas *waste-to-energy* em países do Oriente Médio.

No Brasil, um desafio é a falta de investimento adequado em infraestrutura e tecnologia, o que leva a altos custos operacionais e baixas receitas com a venda de materiais recicláveis. Muitas regiões ainda dependem de lixões à céu aberto, que também implicam em custos adicionais para o transporte e eliminação de resíduos. Ademais, a falta de um planejamento e gerenciamento adequados muitas vezes resulta na escassez de coleta de resíduos, o que afeta ainda mais a sustentabilidade financeira das operações.

A fim de alcançar sustentabilidade financeira na gestão de resíduos sólidos, é necessário estabelecer mecanismos de cobrança adequados e eficientes, bem como assegurar a viabilidade técnica e econômico-financeira dos investimentos. O planejamento e a gestão adequada dos recursos são essenciais para garantir a sustentabilidade financeira na gestão de resíduos sólidos. Uma das formas de inicialmente endereçar o planejamento de projetos de infraestrutura é através de seus cálculos de pré-viabilidade financeira.

3.1 PRÉ-VIABILIDADE DE PROJETOS

Os estudos de pré-viabilidade de projetos de infraestrutura são decorrentes de planos estratégicos ou de compromissos assumidos por motivações de políticas governamentais. As dimensões chave da definição de conceitos e estudos prévios de viabilidade estão relacionadas a: estudos preliminares de mercado e avaliação de demanda; desenho de alternativas técnicas; estimativas de custos de capital; custos operacionais; fluxos de receitas potenciais; e análise preliminar de fontes de financiamento para o projeto. Um detalhamento que vá além dos pressupostos elencados pode conflitar com as estruturas internas de gestores públicos regionais, que muitas vezes não estão preparados para conduzir planos estratégicos de longo prazo, além de arranjos estratégicos regionais (GIHUB, 2018).

A modelagem do pré-viabilidade contribui para a priorização, identificação de requisitos para qualificação econômico-financeira, mapeamento preliminar de premissas e critérios para o planejamento de longo prazo. Para avaliação de todo o ciclo de vida do projeto, a modelagem precisará

ser mais robusta para estruturação e elaboração do contrato. Os modelos mais robustos e completos passam pela definição de inúmeros requisitos.

A análise de pré-viabilidade econômico-financeira de consórcios, realizada no presente estudo, prezou pela aplicação da metodologia do Fluxo de Caixa Descontado (FCD), que pressupõe que a dinâmica entre as entradas e saídas de caixa (FC) no longo prazo cheguem a um saldo positivo, quando analisados no mesmo momento no tempo. O modelo busca como função objetivo obter a tarifa mínima, que permita o valor presente líquido (VPL) ser igual a zero, dado uma taxa interna de retorno estimada. Este é o mesmo princípio de cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR). Ao simular cada consórcio na Rota Tecnológica Nível 2, o modelo traz, portanto, como resposta uma tarifa de referência que permite que o consórcio seja sustentável financeiramente (cobertura de custos e investimentos pelas receitas).

A TIR neste caso, assim como a tarifa estimada, representa uma referência para fins de análise de pré-viabilidade do projeto. A TIR continua sendo interpretada como a taxa de retorno esperada do projeto. No caso do presente estudo, após a estimativa da taxa de desconto, esta passa a ser a própria TIR do projeto. Para que o cálculo se viabilize, a tarifa média deve ser igual ao somatório de custos, despesas e investimentos (I) a cada período, para que ao ser multiplicada de forma ponderada pelo montante de resíduos, coletados, transportados e valorizados, finalmente se atinja o VPL zero do projeto.




$$VPL = 0 = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{E[FC_t]}{(1+TIR)^t} - \sum_{t=0}^{t=T} \frac{E[I_t]}{(1+TIR)^t} \quad (1)$$

Chamando os valores presentes do primeiro termo à direita da eq. (18) de V e do segundo termo de I , pode-se escrever a equação como $VPL = V - I$.

Os fluxos de caixa futuros trazidos a uma mesma data por uma taxa de desconto (custo de capital), permitem observar o indicador taxa interna de retorno (TIR). Para compreensão de duração de tempo até que o projeto consiga recuperar os investimentos realizados o *payback* pode ser calculado com uma estimativa.

Para os casos em que os fluxos de caixa do projeto sejam não convencionais (alternância entre fluxos positivos e negativos) é possível ainda calcular a TIR modificada (TIR-M), que permite reinvestimentos a diferentes taxas (Damodaran, 2007). A Figura 3 traz um resumo do método do FCD.

Figura 3 – Condições para análise do projeto por Fluxo de Caixa Descontado

	Conceito	Abordagens
Fluxo de Caixa		<p>Investimento: $FC_0 + FC_1 + \dots + FC_n > 0$ Financiamento: $FC_0 + FC_1 + \dots + FC_n < 0$</p>
VPL	Somatório do valor monetário de todos os FC projetados, descontados no tempo atual ou ao iniciar um investimento	$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{FC_t}{(1+i)^t}$
TIR/ MTIR	<ul style="list-style-type: none"> Taxa interna de retorno (TIR) obtida ao se descontar no tempo os fluxos projetados e o investimento inicial de um empreendimento MTIR: utilizada para fluxos não convencionais e diferentes taxas 	$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - I = 0$ $MTIR = \left[\frac{\sum_{t=0}^n R_t (1+i_t)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_t / (1+i_t)^t} \right]^{\frac{1}{n}} - 1$
Payback	Tempo para recuperar investimentos (somatemporal ou descontada)	
Fluxo de caixa livre	Soma de entradas e saídas do projeto	

Fonte: elaborado pelo autor com base em DAMODARAN (2007) e RADAR (2014).

4. Metodologia

4.1 DADOS E VISÃO GERAL DA METODOLOGIA DO EMPMRAR

A metodologia proposta no EMPMRAR teve como principal direcionador obter o valor tarifário mínimo a ser cobrado aos usuários, pelos serviços de gestão de resíduos sólidos urbanos (RSUs), por meio de arranjos consorciados municipais considerados críticos. O conceito de criticidade nestes casos diz respeito as limitações atuais para atendimento às rotas tecnológicas e metas previstas pelo Planares.

Tendo como base as metas do Planares e a revisão de literatura sobre o tema, a Ferramenta abrange as rotas tecnológicas: coleta de mistos, coleta de recicláveis, transbordo, triagem manual da coleta de secos, segregação mecanizada da fração orgânica, triagem mecanizada da coleta de mistos, produção de combustível derivado de resíduos (CDR), produção BIOCDR, compostagem, biodigestão anaeróbia, incineração - *mass burning*, incineração - TMB – BIOCDR, aterro sanitário.

Para identificação e segmentação das rotas tecnológicas, a Ferramenta de pré-viabilidade do EMPMRAR foi desenvolvida com ênfase no tratamento metodológico e levantamento documental para obtenção de normativos, relatórios técnicos e estudos acadêmicos. As bases de dados da Confederação Nacional dos Municípios – CNM e o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR foram consultadas para obtenção de dados e identificação da situação atual do setor de RSU no Brasil. Em função da ausência de uma única base de dados que agrupe e mantenha atualizadas as informações, foram acessadas várias outras fontes. Os dados complementares de saneamento básico, resíduos sólidos e informações populacionais foram coletados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE⁴). Os planos regionais concluídos até novembro de 2022 foram obtidos pelo banco de dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA⁵). A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE⁶) e a Associação Brasileira de Empresas Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE⁷) contribuíram com informações sobre o panorama no país e a destinação final dos resíduos sólidos. A pesquisa ainda levou em conta os Planos Regionais e Estaduais de Resíduos Sólidos, e de Coleta Seletiva Múltiplas, e os estudos de modelagem para concessões desenvolvidos no âmbito de Estados e do Fundo de Apoio à Estruturação e ao Desenvolvimento de Projetos de Concessão e Parcerias Público-Privadas da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios – FEP CAIXA⁸ do Governo Federal. Nos casos de disparidades de informações entre as diferentes fontes, os dados considerados foram os mais recentes, além de verificação e validação através de contatos telefônicos com as entidades responsáveis pelas informações.

Uma vez obtidos dados por município no Brasil, para desenvolvimento da Ferramenta tais dados foram validados por especialistas para subsequente estimativa de gravimetria para cada rota tecnológica,

⁴ <https://www.ibge.gov.br/>, com estimativa da população e informações sobre saneamento básico.

⁵ <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/item/10611-planos-estaduais.html>

⁶ <https://abrelpe.org.br/panorama/>

⁷ <https://abetre.org.br/atlas-da-destinacao-final-de-residuos-brasil-2020/>

⁸ <https://www.concessoes.caixa.gov.br/sifep-portal/#/estruturacaodeProjeto>

acompanhadas de levantamentos de custos e despesas operacionais (OPEX) e de investimento (CAPEX). As rotas tecnológicas e as estimativas de custos e investimentos puderam então ser propostas em linha com as metas do Planares. De forma complementar, foram realizadas entrevistas não estruturadas de validação de informações junto as associações do setor de resíduos sólidos urbanos (RSUs).

Em sequência aos dados e parâmetros obtidos, a ferramenta de cálculo de pré-viabilidade do EMPMRAR passou a incorporar um algoritmo de otimização de distâncias médias rodoviárias entre municípios, que prioriza e sugere a localização, como por exemplo, definindo os centros de transbordo de resíduos de cada arranjo, conforme PIB per capita e geração estimada de resíduos. O modelo também permite a definição de distância média de ida e volta de cada município sede para os demais municípios da região selecionada. Tal otimização permitiu a definição de arranjos consorciados regionais, considerando os que possuem plano regional e estão em operação, bem como os que apresentam plano, mas ainda não apresentam rotas tecnológicas completas ou até mesmo os que ainda não estão em operação. Por estas premissas, nas regiões que já possuem consórcios existentes na base de dados de SINIR não foram propostos novos arranjos regionais. Em contrapartida, para todos os demais municípios foram propostos arranjos regionais a partir dos critérios adotados pelo Sistema Único de Saúde (SUS) para instalação de unidades de atendimento.

As premissas e dados levantados serviram de base para as projeções de demonstrativos financeiros (Balanço Patrimonial, Demonstrativo de Resultados do Exercício e Demonstrativo de Fluxo de Caixa) de cada consórcio na Ferramenta. Para apoiar a tomada de decisão, foi desenvolvido um algoritmo que minimiza o valor de tarifa a ser paga por cada usuário, de acordo com cada consórcio e região do Brasil, e a depender do montante de toneladas estimadas para coleta até a destinação final de resíduos sólidos urbanos.

O processo de otimização de tarifas desenvolvido no modelo proposto na Ferramenta foi estruturado de tal forma que os custos, despesas e investimentos projetados para cada rota tecnológica e cada arranjo regional pelo prazo de 35 anos, gerassem receitas compatíveis com a remuneração mínima necessária para que as operações sejam sustentáveis financeiramente. Ainda como resultado de cada simulação do modelo é possível extrair indicadores econômico-financeiros, tais como: a taxa interna de retorno (TIR), o valor presente líquido (VPL), a retorno sobre Patrimônio Líquido (ROE), percentual Opex e Capex empregado, retorno sobre o capital investido (ROIC) e nível de reinvestimento. Para garantir a sustentabilidade financeira e minimizar o impacto tarifário, o *payback* descontado para todos os fluxos de caixa projetados foi considerado igual a 35 anos (vida útil máxima das rotas).

4.2 ROTAS TECNOLÓGICAS E QUANTITATIVOS DE GERAÇÃO DO EMPMRAR

As rotas tecnológicas para gestão de RSUs observadas na Ferramenta de Modelagem de Projetos de Manejo de RSU em Arranjos Regionais (ME, 2022) podem ser definidas como “um conjunto de processos, tecnologias e fluxos dos resíduos desde a sua geração até a sua disposição final, envolvendo circuitos de coleta de resíduos de forma indiferenciada e diferenciada e contemplando tecnologias de tratamento dos resíduos com ou sem valorização energética.” Desse modo, a rota tecnológica tem

início, necessariamente, com a geração e encerra com a disposição final em aterro sanitário, podendo haver, entre as etapas, uma ou mais formas ou tecnologias de tratamento (FADE-UFPE, 2014).

No modelo proposto, as rotas tecnológicas para municípios ou agrupamento de municípios foram definidas para as seguintes faixas populacionais:

- a) até 30.000 habitantes;
- b) 30.001 a 250.000 habitantes;
- c) 250.001 a 1.000.000 habitantes;
- d) 1.000.001 a 20.000.000 habitantes.

As rotas tecnológicas foram separadas em níveis, desenvolvidos de forma que diferentes rotas possam ser consideradas para consórcios com faixas populacionais distintas. A escolha pela rota mais completa indicada dependerá inicialmente da análise dos fatores limitantes e do grau de maturidade institucional da estrutura de prestação regionalizada. Assim, o modelo possibilita aos tomadores de decisão, através dos estudos completos de análise de viabilidade, optar pela rota tecnológica que apresente maior grau de sustentabilidade financeira, associada ao nível eficiência desejado e aos padrões de atendimento às metas do Planares. A separação das rotas tecnológicas em níveis tem como fundamento a Portaria nº 557/2016, e que instituiu normas de referência para a elaboração de estudos de viabilidade técnica e econômico-financeira (EVTE) para a contratação dos serviços de saneamento básico. No art. 3º⁹, a Portaria estabeleceu que os estudos devem conter análise de alternativas possíveis e que, dentre essas, deverá ser escolhida a que melhor atenda à realidade do município ou, nos casos de gestão associada, do conjunto de municípios. As diferentes rotas tecnológicas e níveis originaram uma matriz (Quadro 1), que permite a indicação de rotas tecnológicas para futuros estudos completos de viabilidade para contratações de serviços e melhoria de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.

A seguir são apresentadas características dos níveis propostos na matriz:

Nível 1 – corresponde a implementação de etapas consideradas mínimas necessárias para adequação à PNRS. Nível indicado para consórcios pequenos (até 250 mil habitantes), cujos recursos arrecadados com a cobrança dos serviços e fatores como escala e condições socioeconômicas, ainda não possibilitam a implementação de tecnologias de elevado custo de capital, operação e manutenção. Este nível pressupõe a implantação da coleta seletiva de recicláveis, de maneira universalizada na área de abrangência, seja nos modelos porta a porta ou ponto a ponto. Em relação à disposição final, uma alternativa que pode ser considerada não só no nível 1, mas em todos os outros, seria a utilização de aterros privados. Essa relação deve ocorrer por meio de contratos administrativos celebrados com o responsável pela unidade.

⁹ Art. 3º - O EVTE, além da comprovação da viabilidade técnica e econômico-financeira, tem por finalidade servir de referência para:

I - Prognóstico de viabilidade e seleção, dentre as alternativas estudadas, do modelo de prestação dos serviços públicos mais adequado para a realidade do município ou, nos casos de gestão associada, do conjunto de municípios; (Portaria nº 557/2016/MCidades - Grifo nosso).

Nível 2 – agrega o Nível 1 e incorpora ainda a coleta diferenciada de orgânicos, a compostagem e o aproveitamento energético do biogás do aterro sanitário. Também é indicado para consórcios pequenos (até 250 mil habitantes). Sugere-se que a coleta de orgânicos para realização da compostagem se inicie por rotas específicas como de grandes geradores, feiras livres e resíduos de podas. Os custos nesse nível tendem a se elevar em função de coletas diferenciadas e transporte, mas por outro lado a atividade de compostagem por sistemas extensivos¹⁰ tende a apresentar custos operacionais e de investimento mais baixos. A compostagem é essencial para tratamento de resíduos orgânicos, em função da diminuição da entrada de rejeitos no aterro sanitário e redução da geração de chorume nessas instalações. O aproveitamento energético do aterro sanitário entra como possibilidade a ser considerada nesta rota, devendo ter sua viabilidade técnica e econômico-financeira avaliada. Em função de pouca complexidade de operacional e de equipamentos de custo mais baixo no mercado nacional, esta RT tende a ser preferível para grande parte dos consórcios, além de atender em grande parte as metas do Planares.

Nível 3 - este nível contempla as rotas do Nível 2 e adicionalmente agrega a triagem mecânico-biológica e a produção de CDR (RT 3B). É um nível indicado para consórcios que possuam população entre 250 e 500 mil habitantes. Os consórcios que se enquadram nessa faixa populacional poderão, em razão da avaliação dos fatores limitantes e do grau de maturidade institucional, decidir pelas rotas dos níveis 1 e 2. Nesta RT, a implantação de Unidades de Tratamento Mecânico Biológico - UTMB permite a triagem mecanizada de resíduos recicláveis e de orgânicos provenientes da coleta de resíduos mistos. Em relação a produção do CDR, esta deve ocorrer a partir somente dos rejeitos das plantas de triagem, compostagem e UTMB. A produção de CDR requer a existência de um maduro sistema de coleta seletiva e triagem dos materiais. O CDR deve ser composto de material orgânico com baixa umidade, e não deve possuir frações de contaminação crítica. Além de reduzir o envio de materiais para o aterro sanitário, a comercialização do CDR representa uma receita acessória, que pode ser utilizada para abater os custos do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos e por consequência, diminuir o valor da tarifa a ser paga pelos usuários dos serviços.

No nível 3, foi realizada a subdivisão entre o nível 3A e 3B. No nível 3A, além de ser composto pelas condições tecnológicas apresentadas no nível 2, pode ser visto como uma rota na qual estima-se que seja possível implantar a triagem mecanizada de recicláveis na coleta seletiva e aumento no volume de compostagem. Já no nível 3B são consideradas as mesmas condições do 3A, incorporando a flexibilidade de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) para comercialização e geração de receitas acessórias. No entanto, cabe ressaltar que há necessidade de se formar um mercado ou obter clientes para esta comercialização.

Nível 4 – agrega a Digestão Anaeróbia (DA) em relação ao nível 3. É também indicado para consórcios com população entre 250 e 500 mil habitantes, mas que possuam uma condição econômico-financeira e capacidade de pagamento dos usuários que possibilite um investimento maior em infraestrutura de

¹⁰ Os sistemas extensivos são caracterizados pelo seu potencial de descentralização do gerenciamento dos resíduos orgânicos, que possibilita uma distribuição do tratamento em unidades de compostagem com tecnologias mais simples e de baixo custo, aplicáveis a menores quantidades de resíduos, de modo que esse tratamento possa ser realizado próximo aos núcleos geradores de resíduos (PLANSAB - Caderno temático 4 - Valorização de Resíduos Orgânicos).

tratamento de resíduos sólidos urbanos. Os Consórcios que se enquadram nessa faixa populacional também podem aderir as rotas dos níveis 2 e 3. A DA necessita de um maduro sistema de coleta seletiva e triagem dos materiais recicláveis e segregação de orgânicos na fonte (massa homogênea). Além de reduzir a fração de orgânicos a ser enviada ao aterro sanitário, a DA permite maior geração de biogás pode ser utilizado na geração de energia ou calor. A DA resulta ainda na produção de composto orgânico (receita acessória), que pode ser comercializado e o valor arrecadado abatido dos custos do gerenciamento dos RSUs.

No nível 4 também ocorre o desdobramento em subníveis A e B. O subnível 4A se diferencia do nível 3 pelo aumento de volume de resíduos, complexidade da rota, e pela incorporação da compostagem de sobra da digestão anaeróbia, como mais uma flexibilidade de aproveitamento energético. À medida que o "volume cresce é feita a compostagem do digestato, que a digestão anaeróbia pode vir a gerar. A digestão anaeróbica gera dois principais produtos: digestato e biogás." O digestato pode ser considerado o material remanescente da digestão anaeróbia comumente utilizado para produção de fertilizantes (EMBRAPA, 2022). No caso do subnível 4B, além da digestão anaeróbia, foi incorporada a flexibilidade de produção e venda do CDR, em função do crescimento de volume, quando comparado ao nível 3B.

Nível 5 – incorpora, em relação ao Nível 4, a recuperação energética dos resíduos por meio da Incineração. É indicado para Consórcios que possuam população acima de 500 mil habitantes. Os consórcios que se enquadram nessa faixa populacional, por limitações financeiras também poderão aderir a rota de Nível 4. A operação e monitoramento de uma planta de incineração requer mão de obra qualificada e a existência de um maduro sistema de coleta seletiva e triagem dos materiais recicláveis e segregação de orgânicos na origem. A implantação de unidades de incineração não deve limitar à ampliação da coleta seletiva e reciclagem dos materiais, os quais devem ser ampliados gradativamente, observando a ordem de prioridade estabelecido no art. 9º da PNRS. O alto percentual de orgânico no RSU dos municípios é um fator limitante para o funcionamento de plantas de incineração, ao contrário da DA, que quanto mais orgânico melhor. A viabilidade dessa tecnologia está muito atrelada ao poder calorífico inferior dos resíduos, o qual deve ser em média 7 MJ/kg (GIZ, 2017). Caso os resíduos sólidos possuam uma elevada taxa de umidade, estes devem ser submetidos a uma etapa de pré-tratamento, como secagem, para somente depois serem incinerados, o que torna o custo do sistema ainda mais caro. A quantidade de RSU a ser enviada para planta deve ser superior a 100.000 toneladas por ano para justificar os investimentos em tecnologia voltada para incineração (GIZ, 2017; UNEP, 2019). A incineração dos resíduos sólidos em condições controladas gera calor e/ou eletricidade, que pode ser utilizada na própria planta e comercializada, contribuindo como relevante receita acessória. Neste caso o mercado de energia elétrica é um ponto chave nessa equação. A incineração requer um complexo sistema de tratamento de gases para atender as legislações, o que torna os custos de implantação, operação e manutenção desse tipo de tecnologia, maior do que as outras opções de WtE, como a DA e o CDR.

O nível 5 também dividido em 2 subníveis, o subnível 5A compreende a rota tecnológica de aproveitamento energético pela incineração de RSU. O subnível 5B permite a flexibilidade entre incineração e produção do CDR. A incineração exige custos mais elevados e demanda volume

significativo de resíduos para justificar economicamente a viabilidade de implantação da tecnologia. No nível 5 a opção de aproveitamento energético para incineração do chamado “Bio CDR”, que é produzido após triagem mecânica-biológica e um processo de secagem da fração orgânica dos resíduos mistos.

A partir destas rotas tecnológicas definidas, ainda que todas sejam tecnicamente possíveis, para atender à meta 7 do Planares (universalização de metas dos orgânicos), ressalta-se que um arranjo regional que implemente inicialmente a rota 1 deverá evoluir gradativamente para rota nível 2 ou superior para atender aos critérios do Planares. No nível 2 estima-se que haja um aumento de volume proveniente de consórcios formados a partir de arranjos regionais formados por vários municípios. Este aspecto criaria a possibilidade da geração de compostagem e do aproveitamento energético por tratamento biológico em maior escala. Nesse caso, o aproveitamento energético da fração orgânica pode ser realizado por digestão aeróbia (compostagem). A RT de nível 2 teria ainda maior potencial de atender a requisitos de modicidade tarifária. Pelos aspectos apresentados, o nível 2 é destacado como um dos parâmetros escolhidos para análise de arranjos regionais críticos, objeto do presente estudo.

Figura 4 – Níveis de rotas tecnológicas utilizadas como matriz de tomada de decisão.

Processos/tecnologias	Rotas tecnológicas							
	Nível 1	Nível 2	Nível 3A	Nível 3B	Nível 4A	Nível 4B	Nível 5A	Nível 5B
Coleta de Mistos	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Coleta de Recicláveis	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Transbordo	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Triagem Manual Col Sel Secos	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Segregação Mecaniz. Fração Org.	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Triagem Mec. Coleta Mistos	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Produção de CDR TM	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
Produção BioCDR TMB	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM
Compostagem	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
Biodigestão Anaerobia	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO
Incineração Mass Burning	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO
Incineração TMB - BioCDR	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM
Aterro Sanitário	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Fonte: ME (2022).

4.2.1. ESTIMATIVAS DE BALANÇO DE MASSA E FLUXOS DE MASSA

Para aprimoramento das rotas tecnológicas propostas na Ferramenta de Modelagem de Projetos de Manejo de RSU em Arranjos Regionais (ME, 2022) foram realizadas estimativas de balanços de massa e fluxos de massa para cada nível e rota tecnológica de RSU. Essa etapa compreendeu a levantamento dos potenciais quantitativos de RSU no Brasil, desde a geração até a destinação final, passando por transporte, triagem, transbordos e aproveitamento energético. Tais estimativas resultaram na Ferramenta de Modelagem de Projetos de Manejo de RSU em Arranjos Regionais, disponível no antigo site do Ministério da Economia (ME, 2022). A referida ferramenta é utilizada como meio de avaliação de viabilidade financeira de consórcios no Brasil.

As premissas de “Geração de Resíduos” por cada município ou arranjo regional são definidas por cada nível a ser simulado e as premissas que preveem e condições iniciais a serem estudadas. Nas Tabelas 2 e 7 são observadas as premissas de geração de resíduos, composição gravimétrica que entram na RT nível 2, a partir da coleta seletiva de secos, pela coleta seletiva de orgânicos, a partir da coleta de mistos e a partir da coleta por varrição/poda. Além disso as tabelas apresentam exemplos da estruturação do Balanço Massa usado para o desenvolvimento do presente estudo, bem como o Fluxo de Massa avaliado para Rota Tecnológica e Nível 2.

Tabela 2 – Premissas iniciais para condição da rota tecnológica e nível simulado

Consórcio	Consórcio Regional de Resíduos Sólidos do Sertão de Alagoas - CRERSSAL
Rota	RT Nível 2

Dados Gerais: Geração RSU

população total (hab.)	161.739
% Pop. Urbana (Região)	73,10%
população atendida (hab.)	118.231
Ger per Capita RDO (Kg/hab/d)	0,90
Ger per Capita RPU (Kg/hab/d)	0,06
geração <i>per capita</i> de RSU (kg/hab.d)	0,96
massa total manejada por dia: RDO (t/d)	106
massa total manejada por dia: RPU (t/d)	7

massa diária de RSU considerada na rota (t/d) 113,5

Tipos de Coleta RSU

	%	t/d
coleta seletiva de recicláveis	2,5%	2,7
coleta seletiva de orgânicos	0,0%	0,0
coleta de mistos/rejeitos	97,5%	103,7
total RDO Gerado/Descartado p/ Município	100%	106,4
coleta de RPU: Varrição e Poda	100%	7,1
total de RSU a ser gerido pelo município	100%	113,5

Fonte: elaboração própria dos autores

Tabela 3 – Composição gravimétrica de resíduos gerados - RDO

RDO - GERAÇÃO Composição Grav. Resíduos Gerados/Descartados pelo Município: Massa Total em E22									
<i>(Utilizar dados primários, ou seja, a composição gravimétrica real do município ou consórcio em análise)</i>									
<i>(Dados "padrão Brasil", utilizar somente para simulações acadêmicas ou de treinamento, quando da ausência de dados primários)</i>									
Utilizar dados gravimétricos fornecidos pelo usuário <input type="text" value="Não"/> Padr. Reg NE									
Componentes	Composição — base úmida (%)								
	Dados do usuário	Utilizados nos cálculos	Padrão Brasil	Padr. Reg S	Padr. Reg CF	Padr. Reg CO	Padr. Reg NE	Padr. Reg N	
resíduos de alimentos	25,0%	48,4%	48,4%	48,4%	48,4%	48,4%	48,4%	48,4%	48,4%
resíduos verdes (jardins e parques)	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
papel, papelão	13,1%	13,1%	13,1%	13,1%	13,1%	13,1%	13,1%	13,1%	13,1%
plástico filme	8,9%	8,9%	8,9%	8,9%	8,9%	8,9%	8,9%	8,9%	8,9%
plásticos rígidos	4,6%	4,6%	4,6%	4,6%	4,6%	4,6%	4,6%	4,6%	4,6%
vidros	2,4%	2,4%	2,4%	2,4%	2,4%	2,4%	2,4%	2,4%	2,4%
metais ferrosos	2,3%	2,3%	2,3%	2,3%	2,3%	2,3%	2,3%	2,3%	2,3%
metais não ferrosos	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%
têxteis	47,0%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%
borracha, couro	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
fraldas descartáveis e similares	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%
madeira	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%
resíduos minerais	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%
outros	-21,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total (deve ser 100%)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: elaboração própria dos autores

Tabela 4 – Premissas de evolução de quantitativos e gravimetria

Definição Evolutivo Quantitativos & Gravimetrias p/ Dimensionamento das Rotas Tecnológicas												
DIRETRIZES & PARAMETRIZAÇÃO DO EVOLUTIVO DAS ROTAS TECNOLÓGICAS												
EVOLUÇÃO ANUAL QUANTITATIVOS												
ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Quantitativo Total(RDO+RPU)RSU (t/a)	41.428	41.635	41.844	42.053	42.263	42.474	42.687	42.900	43.115	43.330	43.547	43.765
GRAVIMETRIAS												
ROTA TECNOLÓGICA												
ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RT SERVIÇOS COLETA	41.428	41.635	41.844	42.053	42.263	42.474	42.687	42.900	43.115	43.330	43.547	43.765
RT Nível 2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
RT TECNOLOGIAS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
DIMENSIONAMENTO DOS CUSTOS ASSOCIADOS Á ROTA TECNOLÓGICA												
Capacidade Dimensionamento das Tecnologias												
-> dimensionado pelo Máximo no período de 35 anos												
	Unid	CAPEX	CAPEX	OPEX	OPEX	OPEX CF	OPEX CV					
	t/gd	Milh R\$	RS/t Entr	Milh R\$/a	RS/ t Entr	Milh R\$/a	RS/ t Entr					
SIM	Triagem Manual Col Sel Secos	15,39	7,79	1.617	0,00	3	4,98	1 --> Nr Plantas Triagem Manual; Premissa: Cap. Máx. 50/td				
SIM	Segregação Mecaniz. Fração Org	110,13	3,79	110	1,48	43	0,12					
NÃO	Triagem Mec. Coleta Mistos	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00					
NÃO	Produção de CDR Tratamento Mecânico	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00					
NÃO	Produção BioCDR Tratamento Mecânico Biológico(Bioseagem FORSU)	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00					
SIM	Compostagem	94,70	19,60	661	4,40	148	4,65					
NÃO	Biodigestão Anaerobia	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00					
NÃO	Incineração Mass Burning	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00					
NÃO	Incineração Precedido por TMB para BioCDR	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00					
SIM	Aterro Sanitário	51,21	9,01	562	7,45	465	0,02					
Total Rota Tecnológica		132,4	40,2	970,0	13,3	321,7	9,8					

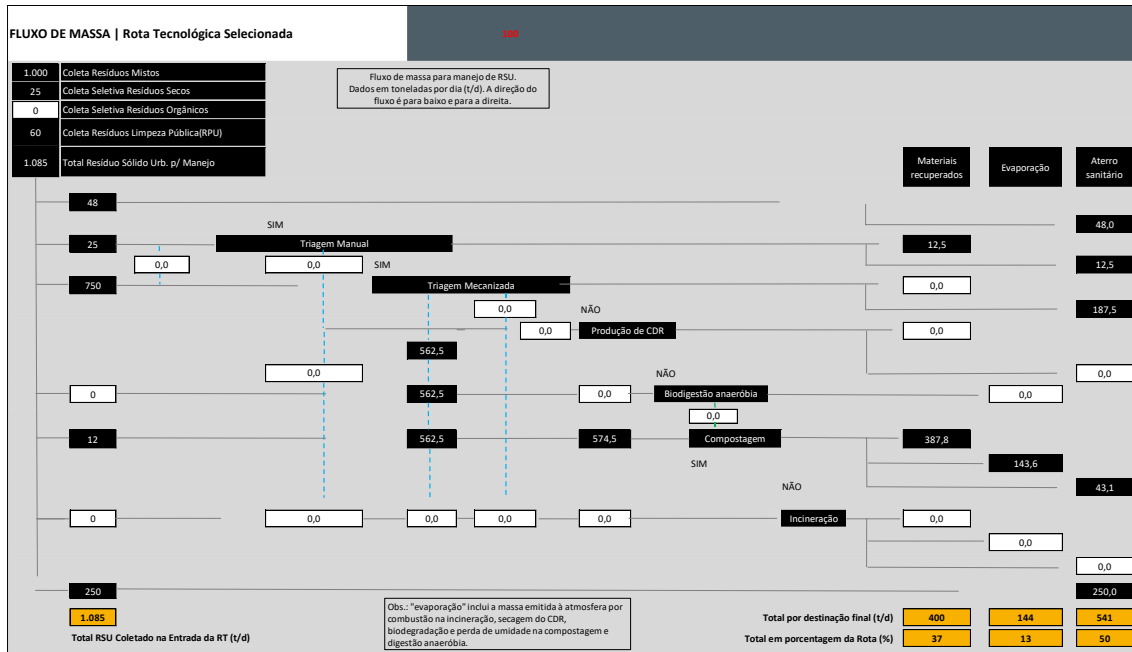
Fonte: elaboração própria dos autores.

Tabela 5 – Detalhamento do CAPEX e OPEX unitários das rotas tecnológicas.

Triagem Manual Coleta Seletiva Secos									
Dimensionamento TRIAGEM MANUAL		15,4	ú/d	4.816 t/a					
Qt. Resíduos Secos Col. Sel. a serem triados	t/a	783	1.565	3.130	4.695	4.726	7.825	10.955	15.650
Capac. Central Triagem Manual	t/Ed	2,5	5,0	10,0	15,0	15,1	25,0	35,0	50,0
Nr Triadores Totais	-	36	72	145	217	121	200	280	400
Dimensionamento Custos		Triagem Manual em Mesa				Triagem Manual em Esteira			
Detalhamento CAPEX		Infraestrutura Civil & Utilidades							
	R\$/t Entr	769	700	664	627	505	483	472	460
Detalhamento OPEX ANUAL									
Qt. Resíduos Secos Col. Sel. a serem triados	t/a	783	1.565	3.130	4.695	4.726	7.825	10.955	15.650
Capac. Central Triagem Manual	t/Ed	3	5	10	15	15	25	35	50
OPEX ANUAL									
"Opex Total"/t "Entr anual"	R\$/t Entr	1.661	1.661	1.459	1.475	1.071	995	947	923
"Opex Total" (Milh R\$/ano)	Milh R\$/a	1.299	2.599	4.568	6.926	5.063	7.821	10.379	14.442
"Opex Custo Fixo" (Milh R\$/ano)	Milh R\$/a	1.276	2.552	4.475	6.787	4.905	7.558	10.012	13.917
"Opex Custo Variável" (R\$/t Entr anual)	R\$/t Entr	29,7	29,7	29,7	29,7	33,5	33,5	33,5	33,5
Triagem Mecanizada de Orgânicos									
Dimensionamento Triagem Mecanizada Orgânicos		110,1	ú/d	34.471 t/a					
Qt. Resíduos Orgânicos a serem Segregados/Triados	t/a	7.825	15.650	31.300	62.600	109.550	234.750	469.500	
Capacidade Segregação/Triagem	t/Ed	25	50	100	200	350	750	1.500	
	o	0	0	0	0	0			

Fonte: elaboração própria dos autores.

Tabela 6 – Fluxo de massa RT Nível 2



Fonte: elaboração própria da equipe do projeto

Tabela 7 – Balanço de massa RT Nível 2

ROTA TECNOLÓGICA		ENTRADAS (t/d)	Recicláveis (t/d)	CDR (t/d)	Comp. Orgânico (t/d)	Evap. + P. Massa (t/d)	Rejeito (t/d)	Energia Elétrica (KwD)
RT Nível 2		1.085	12,5	0,0	387,8	143,6	541,1	0,0
		100%	1,2%	0,0%	35,7%	13,2%	49,9%	
ROTA TECNOLÓGICA		Qt. Dimens. (t/d)	Recicláveis (t/d)	CDR (t/d)	Comp. Orgânico (t/d)	Evap. + P. Massa (t/d)	Rejeito (t/d)	Energia Elétrica (KwD)
		1.085	12,5	0,0	387,8	143,6	541,1	0,0
		100%	1,2%	0,0%	35,7%	13,2%	49,9%	
NÃO	Resid. Col. Seletiva Org. env. Direto p/ Aterro	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0
SIM	Resid. Limp. Pública (afora Podas) p/ Aterro	48,0	48,0	0	0	0	48,0	0
SIM	Resíduo Coleta Mista env. Direto p/ Aterro	250,0	250,0	0	0	0	250,0	0
SIM	Triagem Manual Col Sel Secos	25,0	25,0	12,5	0	0	12,5	0
SIM	Segregação Mecaniz. Fração Org.	750,0	0	0	0	0	187,5	0
NÃO	Triagem Mec. Coleta Mistos	0,0	0	0	0	0	0,0	0
NÃO	Produção de CDR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SIM	Compostagem	574,5	0,0	0,0	387,8	143,6	43,1	0,0
NÃO	Biodigestão Anaerobia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NÃO	Incineração	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SIM	Aterro Sanitário	541,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Fonte: elaboração própria da equipe

Para resultar na Ferramenta RT, que está disponível do site do ME (2022), foram ainda levantados dados de mercado para estimativas de receitas acessórias potenciais, para poder estimar de valorização dos

resíduos sólidos urbanos. A valorização dos RSU se dá grande parte das vezes pela reciclagem, produção de CDR, compostagem e incineração.

Além das premissas de volume e gravimetria que resultaram em balanços de massa e fluxos de massa para cada rota tecnológica, nesta etapa foram ainda levantados dados de mercado para estimativas de receitas acessórias potencialmente observáveis, para fins de estimativa de valorização dos resíduos sólidos urbanos. A valorização dos RSU pode ser medida pelo nível de reciclagem, produção de CDR, compostagem e incineração.

4.2.2. – ESTIMATIVAS DE CUSTOS E INVESTIMENTOS

Para a estimativa dos custos e investimentos necessários para que os consórcios avaliados como críticos alcancem as metas do Planares são apresentadas algumas das equações utilizadas para avaliar as rotas tecnológicas, e sobretudo a Rota Tecnológica Nível 2, considerada no presente estudo como o nível mínimo de maturidade em gestão de resíduos sólidos urbanos, a ser atingido até 2040. Esta rota compreende a coleta e transporte de mistos e recicláveis, transbordo, triagem manual e segregação mecanizada, assim como Compostagem e destinação final de resíduos em aterro sanitário.

Em linha com o estudo de Correal et al. (2023), a quantidade de resíduos efetivamente coletados é estabelecida a partir da geração e nível de cobertura. Se a meta de cobertura for aumentada a cada ano, os resíduos coletados deverão aumentar. Cabe ressaltar que nesta RT nível 2, 100% dos resíduos coletados são destinados ao aproveitamento e valorização, respeitando a gradação das metas do Planares. Também foi necessário conhecer as características da população, as estimativas de crescimento do produto interno bruto (PIB) e de geração de resíduos. Deve-se observar que quanto mais atualizados forem os dados, mais precisa será a estimação dos custos. A quantidade de resíduos coletados e o grau de cobertura pode variar a cada ano. A equação 1 considera que a meta (μ) e a cobertura de coleta urbana (χ), ambas em percentual podem aumentar a cada ano. Os resíduos sólidos urbanos coletados (δ) em toneladas por ano deverão também aumentar, conforme a geração de resíduos sólidos urbanos (φ) aumente.

$$\chi\%_{ano_{i+1}} = \chi\%_{ano_i} + \mu\% \quad (2)$$

$$\delta_{(ton/ano)} = \chi\% \cdot \varphi_{(ton/ano)} \quad (3)$$

Em seguida, são calculados os custos de resíduos que serão levados diretamente à disposição final (F) e à estação de transferência (ET), assim como os resíduos que serão transportados de cada ET até a disposição final (F).

$$\Phi_{(ton/ano)} = \delta_{(ton/ano)} \cdot \Phi\% \quad (4)$$

$$ET_{(ton/ano)} = \delta_{(ton/ano)} \cdot \% ET \quad (5)$$

$$\text{Resíduos } ET \rightarrow \Phi_{(ton/ano)} = \text{Resíduos } \delta_{(ton/ano)} \cdot \% \text{ direto } \Phi \quad (6)$$

O OPEX dos resíduos que vão impactar o transporte até a disposição final (F) é calculado conforme volume em toneladas multiplicado pelo custo até a destinação final (Custo_θ). O cálculo similar é conduzido para o custo até as estações de transferência (Custo_{ET}).

$$\text{Custo}_{\Phi_{(RS/ano)}} = Q_{\Phi_{(ton)}} \cdot \text{Custo}_{\theta_{(RS/ton)}} \quad (7)$$

Finalmente, o custo OPEX para a atividade será a soma do custo do transporte direto até a disposição final, o custo do transporte até a estação de transferência e o custo do transporte de cada distância da estação de transferência até o local de disposição.

$$\text{OPEX}_{RT(r\$/ano)} = \text{Custo}_{RT \rightarrow \Phi} + \text{Custo}_{RT \rightarrow ET} + \sum \text{Custo}_{ET \text{ a } RT} \quad (8)$$

A partir das metas do Planares, se obtém o percentual de resíduos que vai para aterro sanitário (α), aterro controlado e lixão aberto, assim como o que se espera que seja desviado a cada ano para a valorização. Neste sentido, cabe calcular as toneladas que irão para cada destinação final, até atender a 100% das metas (m) do Planares:

$$\alpha\%_{(i+1)} = \alpha\%_i \pm \mu \quad (9)$$

$$\varphi_{AS(ton/ano)} = \alpha\% \cdot \varphi_{(ton/ano)} \quad (10)$$

Os custos são então estimados para cada um dos tipos de destinação final (F). Como o cálculo dos destinos corresponde a uma função de custo OPEX e CAPEX, primeiro o custo unitário deve ser calculado e depois o custo total deve ser estabelecido de acordo com o número de toneladas. O $IC\%$ é definido como impacto de custo no OPEX, gerado pelo fechamento de aterros controlados ou lixões. O custo de novos equipamentos de aterro sanitário (R\$/t) dado pelo coeficiente a é definido como a e o custo de novos equipamentos de aterro sanitário (R\$/t) é definido pelo coeficiente λ .

$$\text{OPEX}_{unit} \Phi_{AS(R\$/ton)} = (1 + IC\%) \cdot \frac{\lambda \cdot \text{Capacid}_i \cdot \alpha}{COEF.} \quad (11)$$

$$OPEX_{capacidade(R\$/ano)} = \delta\%_{capacidade} \cdot \delta_{AC} \cdot OPEX_{unit} \cdot \Phi_{AS} \quad (12)$$

$$OPEX_{AS(R\$/ano)} = \sum OPEX_{por\ capacidade} \quad (13)$$

O OPEX do fechamento de aterros controlados e lixões foi calculado e obtido pela multiplicação da quantidade de toneladas pelos custos de cada atividade de fechamento (FCA), somada aos custos adicionais (CA) de fechamento previstos nos contratos dos aterros e lixões. O exemplo para a atividade de fechamento de aterros controlados (AC) é dado por

$$OPEX_{FAC(R\$/ano)} = Q_{Ton\ até\ o\ fechamento} \cdot C_{FCA(R\$/ton)} + Q_{Ton\ até\ o\ fechamento} \cdot C_{AD} \quad (14)$$

Assim, a soma dos custos operacionais durante a vida útil somado aos custos de fechamento permitem chegar ao custo operacional total por local de disposição final.

A valorização de resíduos, como no caso da compostagem, tem uma função de custo que permite determinar, através de coeficientes, o custo unitário por tonelada da atividade e o custo total das toneladas a serem recuperadas no ano. Este custo unitário deve considerar a capacidade da planta. O OPEX da operação de uma planta de valorização de resíduos por compostagem (VRC) pode ser observado pela equação 14 e equação 15.

$$OPEX_{VRC(R\$/ton)} = \min \left(coef \cdot custo; \alpha + \frac{12\lambda}{Capacidade_i} \right) \quad (15)$$

$$OPEX_{VRC(R\$)} = Custo \ OPEX_{VRC(R\$/ton)} \cdot \delta\%_{capacidade_i} \cdot \Phi_{(ton)} \quad (16)$$

O custo total em OPEX ou CAPEX é então a soma de todas as atividades. Além disso, a soma total do CAPEX e OPEX resulta no total dos custos diretos (Equação 17).

$$OPEX_{TOTAL(R\$)} = \sum OPEX_{produtividade(R\$)} \quad (17)$$

$$Custos\ Diretos\ Totais_{(R\$)} = OPEX_{total(R\$)} + CAPEX_{total(R\$)} \quad (18)$$

4.3 OTIMIZAÇÃO DE DISTÂNCIAS E ARRANJOS REGIONAIS NO EMPMRAR

Nesse estudo objetivou-se a otimização da localização dos centros de transbordos, levando-se em conta o PIB per capita dos municípios e as distâncias rodoviárias em cada região de saúde do SUS. Para conseguir isso, foi essencial a construção de uma matriz de distância rodoviária entre as cidades, pois o custo de transporte é bastante significativo para a operação.

Para a estimação da quilometragem de vias dentro dos municípios que os caminhões poderiam percorrer durante a operação. Para estimar esse número utilizou-se a Base de Faces de Logradouros do Brasil (IBGE, 2022) e os Trajetos dos Recenseadores do Censo do Agropecuário (IBGE, 2017), ambos disponibilizados pelo IBGE. Ao utilizar essas duas bases de dados tem-se uma estimativa da distância que o caminhão teria que percorrer em cada município nas vias urbanas e rurais.

Essa matriz foi construída usando dados para promover a otimização da localização dos centros de transbordo e selecionar o município com maior PIB per capita (2019) de cada região de saúde, como sede. A regionalização foi escolhida seguindo as “Regiões do Sistema Único de Saúde” formadas por municípios fronteiriços que compartilham identidades culturais, econômicas e sociais, redes de comunicação e infraestrutura de transportes” (Brasil, 2022).

Após a seleção do município, obteve-se a distância média de ida e volta do município sede para os demais municípios da região de saúde. Matematicamente: $dist_{AB} = \frac{dist_{A \rightarrow B} + dist_{B \rightarrow A}}{2}$, onde $dist_{AB}$ é a distância média, em quilômetros, por estrada entre os municípios A e B , $dist_{A \rightarrow B}$ e $dist_{B \rightarrow A}$ representam, respectivamente, as menores distâncias, em quilômetros, por estrada do município A em direção ao município B e do município B para o município A . Esse procedimento foi feito pois o software de roteamento pode retornar rotas diferentes para a ida e a volta.

Assumindo a premissa de que um transbordo é necessário para distâncias superiores a 30 km, verificou-se a necessidade de transbordos para cada município da região em relação ao município sede. Formalmente, essa premissa pode ser escrita como:

$$transbordo(A, B) = \begin{cases} 1, & dist_{AB} > 30 \\ 0, & dist_{AB} \leq 30 \end{cases}$$

onde $transbordo(A, B)$ é uma função que gera uma variável *dummy* com valor igual a 1, caso a distância entre as cidades A e B seja maior que 30 km (sendo necessário o transbordo) e 0 caso contrário. Assim, para região de saúde obteve-se o município sede, as distâncias para cada um dos outros municípios da região em relação ao município sede e se é necessário transbordo para esses municípios.

Para a otimização da localização dos centros de transbordo foi selecionar o município com maior PIB per capita, em 2019, como sede. Após isso, obteve-se a distância média de ida e volta do município sede para os demais municípios da região de saúde. Assumindo que um transbordo é necessário para distâncias superiores a 30 km, calculou-se o número potencial de transbordos para o município sede da região. Assim, para os arranjos regionais que foram criados a partir do modelo do Sistema Único de Saúde, obteve-se o município sede, as distâncias para cada um dos outros municípios da região em relação ao município sede e a necessidade de transbordos para esses municípios.

4.4 DEFININDO A AMOSTRA

Conforme observado, dentre o universo de 240 consórcios públicos de RSU, um total de 187 não apresentaram Plano Municipal ou Regional e não se encontram operacionais. Dos que apresentaram Plano, 42 consórcios puderam ser avaliados como Ativos e em operação de acordo com ME (2022).

Ainda assim, apesar de muitos consórcios se encontrarem habilitados, grande parte não está em operação. Entre os consórcios operacionais, cada um possui particularidades que estão relacionadas a fatores econômicos, sociais e territoriais que influenciam diretamente na gestão integrada de resíduos sólidos. Assim, em meio a pesquisa foi verificado que não havia informações disponíveis sobre as rotas tecnológicas dos consórcios de gestão de resíduos sólidos. Diante a esta lacuna identificada, foi necessário realizar uma coleta de informações em nível primário no período de 11/04/2022 a 20/07/2022, onde foram analisados alguns consórcios públicos e realizados contatos diretamente aos consórcios a partir de contato telefônico e *e-mail* com os Consórcios.

Nesta etapa foi realizado um levantamento das informações secundárias via *site* do consórcio, pesquisas na internet e aos Plano(s) Intermunicipal(ais) de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PIGIRS (quando disponíveis). Muitas informações colhidas em *sites* não eram detalhadas quanto a operação do manejo pelo Consórcio, assim como foram observadas defasagens nos PIGIRS.

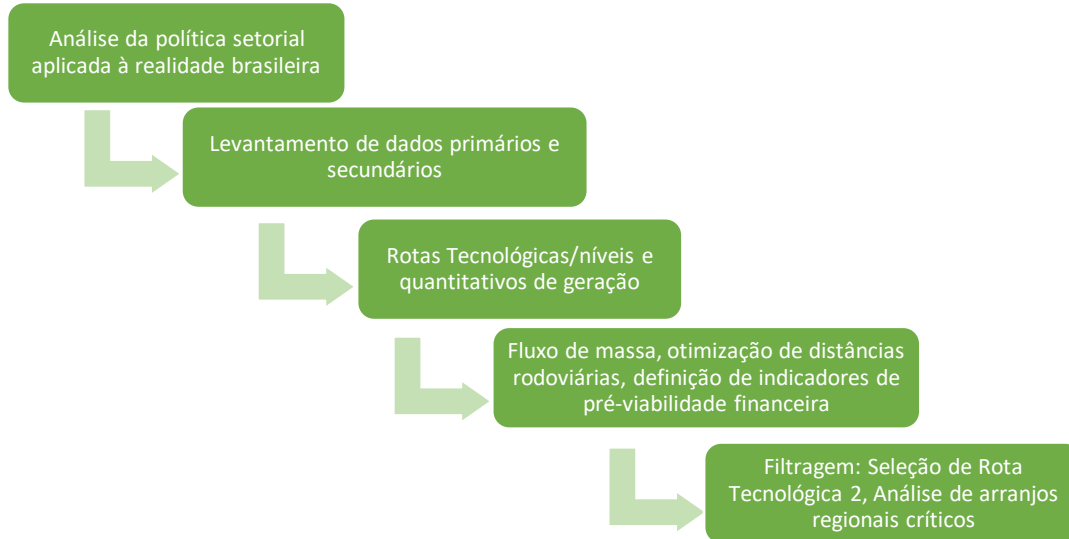
Dos 42 consórcios públicos com PIGIRS, em **18 consórcios** foi necessário realizar uma pesquisa mais aprofundada sobre a operação e observamos que estes **não apresentavam Rotas Tecnológicas completas para atender as metas do Planares**. Os 18 consórcios passaram a fazer parte do presente estudo para os quais foram avaliados os custos e investimentos necessários para que estes consórcios se adequem e atinjam as metas do Planares a partir da RT Nível 2 proposta pelo EMPMRAR (ME, 2022), que é utilizada para fins metodológicos.

Em função dos aspectos expostos, os resultados obtidos precisaram ser vistos com atenção às seguintes premissas:

- Os consórcios ativos são os que demonstraram CNPJ em situação cadastral “Ativo”. A maioria dos consórcios identificados têm competência para atuar em manejo de resíduos sólidos, mas apenas dispõem de instrumentos como planos, e/ou se encontram em fase de estruturação;
- As informações disponíveis/localizadas, em muitos casos, não permitiram identificar a completa atuação dos consórcios, especialmente nos consórcios multifinalitários;
- Em função de ano referência distintos entre as bases de dados utilizadas, alguns dados podem apresentar defasagem; e
- Os dados foram obtidos por fontes secundárias e desta forma dados que não foram relatados ou consórcios existentes não elencados, podem apenas não estar disponíveis nas bases de dados consultadas.

Realizado este diagnóstico sobre a realidade desses 18 consórcios, a análise de resultados e extrapolação das informações para realidade brasileira será feita na seção subsequente. Por fim, um resumo das etapas metodológicas pode ser observado na **Figura 5**.

Figura 5 – Etapas metodológicas simplificadas



Fonte: elaborado pelos autores.

5. Resultados e Discussão

Dos 240 consórcios públicos com atividades de RSU identificados inicialmente, entre unifinalitários e multifinalitários, verificou-se que a dispersão dos mesmos é relativamente grande, uma vez que há representatividade em 22 unidades federativas do país. Apenas nos estados do Amazonas, Acre, Amapá, Roraima e o Distrito Federal não foram identificados arranjos consorciados. Já para a amostra dos 18 consórcios públicos escolhida para análise, a configuração da dispersão ficou concentrada principalmente nos estados do Sudeste e Nordeste e totalizou uma população de cerca de 6,6 milhões de habitantes. Os consórcios escolhidos são os seguintes:

Tabela 8 – Consórcios públicos selecionados para análise

Consórcio Público	População	Porte	Estado	Região
CRERSSAL	161.739	Até 250.000	Alagoas	Nordeste
CONAGRESTE	654.356	500.001 a 1.000.000	Alagoas	Nordeste
CORSZAM	262.243	250.001 a 500.000	Alagoas	Nordeste
CONORTE	175.122	Até 250.000	Alagoas	Nordeste
COMARES-UCV	240.153	Até 250.000	Ceará	Nordeste
CONVALE	80.661	Até 250.000	Ceará	Nordeste
CORES - CARIRI ORIENTAL	217.621	Até 250.000	Ceará	Nordeste
CONDOESTE	503.557	500.001 a 1.000.000	Espírito Santo	Sudeste
CIGEDAS	232.705	Até 250.000	Minas Gerais	Sudeste
CORESAB	310.428	250.001 a 500.000	Minas Gerais	Sudeste
CODANORTE	1.289.576	Acima de 1.000.000	Minas Gerais	Sudeste
CISAN Central - RO	375.314	250.001 a 500.000	Rondônia	Norte
CIPAE G8	43.090	Até 250.000	Rio Grande do Sul	Sul
CIGAMERIOS	108.283	Até 250.000	Santa Catarina	Sul
CIRSOP	418.261	250.001 a 500.000	São Paulo	Sudeste
CISBRA	309.004	250.001 a 500.000	São Paulo	Sudeste
CONSIMARES	921.214	500.001 a 1.000.000	São Paulo	Sudeste
CONSAB	281.754	250.001 a 500.000	São Paulo	Sudeste
TOTAL: 18	6.585.081	-	-	-

Fonte: elaborado pelos autores. Obs.: o nome completo dos consórcios encontra-se no apêndice deste estudo.

Um ponto importante a se ressaltar é que, apesar de não divulgação de rota tecnológica completa em seus PIGIRS, os estados mostram mobilização para realizarem o consorciamento, estratégia adotada por muitos estados para realizarem regionalização das políticas de saneamento e resíduos sólidos em seus estados (Cattani, 2023), sendo um dos motivos de repetição dos estados na lista selecionada.

Tabela 9 – Concentração dos Consórcios Públicos selecionados por região

Porte	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	Total Geral
Até 250.000	62,5%	-	12,5%	25,0%	100,0%
250.001 a 500.000	16,7%	16,7%	66,7%	-	100,0%
500.001 a 1.000.000	33,3%	-	66,7%	-	100,0%
Acima de 1.000.000	-	-	100,0%	-	100,0%
Total	38,9%	5,6%	44,4%	11,1%	100,0%

Fonte: elaborado pelos autores.

Com relação à comparação por porte, a maior parte dos consórcios ficou concentrada na categoria de pequeno porte (até 250 mil habitantes) e de 250 até 500 mil habitantes (44,4% e 33,3%, respectivamente). apresentam população de até 500.000 habitantes, sendo o porte populacional de até 250.000 habitantes o predominante sobre as demais faixas. O aumento da escala tende a contribuir para as melhorias de sustentabilidade financeira de prestação dos serviços. Abaixo segue o resumo:

Tabela 10 – Concentração dos Consórcios Públicos selecionados por porte

Porte	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	Total Geral
Até 250.000	71,4%	0,0%	12,5%	100,0%	44,4%
250.001 a 500.000	14,3%	100,0%	50,0%	0,0%	33,3%
500.001 a 1.000.000	14,3%	0,0%	25,0%	0,0%	16,7%
Acima de 1.000.000	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	5,6%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: elaborado pelos autores.

Com relação aos dados agregados dos consórcios públicos selecionados, as informações financeiras dos indicadores de pré-viabilidade evidenciam os valores de investimento a serem realizados ao longo do critério de 35 anos – valor referencial para uma concessão comum na prática contemporânea utilizado como premissa do estudo referencial do ME (2022).

Começando pela avaliação do Opex médio, temos um total de R\$1,6 bilhões de reais, dispostos nas etapas configuradas para execução da Rota 2 da Ferramenta de Pré-viabilidade do EMPMRAR, conforme tabela abaixo:

Tabela 11 – Opex Médio (R\$ milhões) - 35 anos

Coleta de Mistos	R\$	363,7
Coleta de Recicláveis	R\$	255,7
Transbordo	R\$	170,1
Triagem Manual Col Sel Secos	R\$	-
Segregação Mecaniz. Fração Org.	R\$	246,6
Compostagem	R\$	224,6
Aterro Sanitário	R\$	356,0
Total	R\$	1.616,72

Fonte: elaborado pelos autores. Obs.: Os valores de Opex para Triagem Manual Coleta Seletiva de Secos estão zerados devido à premissa de modelagem financeira de que cooperativas assumem esse serviço.

Já para as informações de Capex, a média estimada de investimento é de R\$113,6 milhões por consórcio público. Considerando as séries sequenciais de reinvestimento, o valor é um pouco maior, de R\$ 173 milhões. A tabela a seguir resume as informações.

Tabela 12 – Capex Médio (R\$ milhões) - 35 anos

Coleta de Mistos	R\$	24,15
Coleta de Recicláveis	R\$	3,97
Transbordo	R\$	5,85
Triagem Manual Col Sel Secos	R\$	18,99
Segregação Mecaniz. Fração Org.	R\$	9,38
Compostagem	R\$	37,13
Aterro Sanitário	R\$	14,17
Total médio	R\$	113,62
Reinvestimento médio	R\$	59,39
Total com reinvestimento	R\$	173,01

Fonte: elaborado pelos autores. Obs.: Os valores de Capex para Triagem Manual Coleta Seletiva de Secos são positivos devido à premissa de modelagem financeira de que inicialmente o investimento é feito pelo consórcio e após isso, as cooperativas assumem investimentos de manutenção.

Em termos tarifários médios, temos uma tarifa média por habitante mensal de R\$ 17,98. Vale a pena ressaltar que tanto no estudo do ME (2022), como neste estudo, não há avaliação de uma estrutura tarifária e consequentes subsídios cruzados que poderiam ser usados para barateamento da tarifa residencial (principalmente). Adicionalmente, a ferramenta projeta uma tarifa considerando rotas tecnológicas completas desde a coleta, esta, por sua vez, dificilmente incorporada em cálculos de concessão. Portanto, o valor médio por habitante é apenas uma referência comum para análise de todos os consórcios avaliados.

Tabela 13 – Tarifa por Tecnologia (R\$/hab/mês)

Coleta de Mistos	R\$	3,55
Coleta de Recicláveis	R\$	1,86
Transbordo	R\$	2,04
Triagem Manual Col Sel Secos	R\$	0,78
Segregação Mecaniz. Fração Org.	R\$	1,59
Compostagem	R\$	3,77
Aterro Sanitário	R\$	4,39
Total	R\$	17,98

Fonte: elaborado pelos autores.

Em termos de estrutura de custos médios, levando em consideração a depreciação e reinvestimentos do Capex, temos uma divisão média de 26% dos custos de Capex e 76% do restante para Opex, evidenciando a intensidade em mão de obra dos investimentos do setor de resíduos sólidos.

Para os valores consolidados, os 18 consórcios somam R\$ 32,2 bilhões de reais, sendo os valores do Opex total de R\$ 29,1 bilhões e Capex (considerando o reinvestimento) de R\$ 3,1 bilhões.

Tabela 14 – Valor somado dos 18 consórcios públicos analisados

Valores totais	(R\$ milhões) - 35 anos
Opex Total	29.100,91
Opex médio (18 consórcios)	1.616,72
Capex Total	2.045,18
Capex médio (18 consórcios)	113,62
Capex com reinvestimento total	3.114,16
Capex médio com reinvest. (18 consórcios)	173,01
Total Investimento	32.215,08

Fonte: elaborado pelos autores.

Por fim, ressalta-se que estes são apenas consórcios públicos que não possuem rotas tecnológicas completas divulgadas na pesquisa realizada pelo estudo do ME (2022). Não há avaliação, portanto, de estruturas reais existentes, como por exemplo, a existência de um aterro sanitário funcional, ou ainda equipamentos de valorização energética, entre outras estruturas. Trata-se assim, de um exercício que estima, teoricamente, os custos da implementação da Rota nível 2 sugerida pelo estudo do ME (2022) em consórcios públicos que já possuem PIGIRS e portanto, avançados para iniciarem a operacionalização do manejo de RSU em suas localidades.

6. Conclusões e orientações para políticas públicas

Conforme proposto por Cattani (2023), a estruturação de consórcios públicos para resolução de problemas derivados da má implementação de políticas públicas no manejo de resíduos sólidos deve ser incentivada, uma vez que os efeitos de economicidade dos recursos orçamentários são visíveis e o controle de diversas doenças é mitigado através deste tipo de organização.

Como pode ser observado, o exercício deste estudo para a amostra em questão foi elucidativo, no sentido de exemplificar um montante de investimentos a ser realizado em arranjos regionais funcionais, no caso, através da estruturação de consórcios públicos de RSU. Adicionalmente, este estudo complementa os achados já desenvolvidos no próprio estudo base, EMPMRAR, uma vez que vai além da identificação dos consórcios sem rota tecnológica completa, trazendo empiricamente uma contribuição através da sugestão de rota tecnológica que tem como principal objetivo o enquadramento da destinação final adequada para os consórcios públicos em questão, passível de avaliação imediata para os gestores públicos de tais arranjos.

Pode-se dizer, portanto, que este estudo está em linha com estudos recentes que estimaram o montante de investimento para o setor de resíduos sólidos urbanos. Por exemplo, realizado em 2021, o Plano Integrado de Longo Prazo da Infraestrutura, o PILPI, preparado pelo Comitê Interministerial de Planejamento da Infraestrutura (CIP-INFRA)¹¹, divulgou um estudo de longo prazo, até 2050, para identificar os principais gaps de investimento na infraestrutura brasileira. Conforme consta no documento, o objetivo do PILPI é basicamente o de fornecer uma visão de longo prazo para orientar os investimentos em infraestrutura que envolva os seus diversos setores e atores, enfatizando qualidades ambientais, sociais e de governança dos projetos dos setores de infraestrutura, além de harmonizar as premissas e os cenários de longo prazo utilizados como base para o planejamento dos setores de infraestrutura.

Para Resíduos Sólidos Urbanos, as estimativas partiram de necessidades de investimentos apontadas no Plano de Saneamento Básico (PLANSAB), de R\$ 13,6 bilhões para reposição e R\$ 15,1 bilhões para expansão da infraestrutura, além de associações do setor. A Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE) e a Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública (ABLP), apontaram a necessidade de construção de 400 aterros sanitários para melhoria da disposição final adequada, com investimento de R\$ 15 bilhões. Já a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) apontou como política de valorização energética, a necessidade de construção de plantas de coprocessamento de resíduos sólidos vinculados a fábricas de cimento, com custo de R\$ 3,5 bilhões até 2030 e outros R\$ 2,5 bilhões entre 2031 e 2050. Já a Associação Brasileira do Biogás (ABiogás) estimou que para atingir o potencial de 1 GW de capacidade instalada através do gás de aterros sanitários, os investimentos devem ser na ordem de R\$ 6 e 9 bilhões, num horizonte de 10 anos.

¹¹ Comitê que abrange representantes da Casa Civil, Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos da Presidência, Ministérios da Economia, Infraestrutura, Minas e Energia, Comunicações, Ciência, Tecnologia e Inovações, Meio Ambiente, Desenvolvimento Regional e Controladoria-Geral da União

Mais recentemente, o Banco Interamericano de Investimento (BID), divulgou o relatório “Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos em América Latina y el Caribe” (Correal et al., 2023). O relatório tem como objetivo avaliar a estrutura de custos do serviço e estimativa dos recursos financeiros necessários para o cumprimento das Metas de Desenvolvimento Sustentável definidas pela Organização das Nações Unidas (ONU). No documento, o mesmo diagnóstico é dado para a realidade da América Latina: a falta de informações e de dados atualizados torna difícil definir planos, estratégias e orçamentos para o setor. Por conta disso, o estabelecimento de metas ou estimativas dos recursos necessários para universalizar a coleta de resíduos, garantir a disposição final adequada e aumentar a recuperação tornam-se verdadeiros desafios para os gestores públicos.

Como metodologia, Correal et al. (2023) determinaram indicadores-chave e metas de melhoria no setor até 2030, baseadas nas Metas de Desenvolvimento Sustentável associadas à gestão integrada de resíduos sólidos, no caso a Meta 6 do Objetivo 11, "Cidades e Comunidades Sustentáveis"¹², Metas 3 e 5 do objetivo 12, "Consumo e Produção Responsável"¹³, e Meta 1 do objetivo 14, "Vida Marinha"¹⁴. Especificamente, em termos de investimento, os recursos aumentariam a taxa de recuperação de resíduos de 4% para 30%, reduziriam a quantidade de resíduos dispostos em lixões abertos e locais não autorizados de 39% para 5%, aumentariam a taxa de cobertura de coleta de 95% para 99% em áreas urbanas e de 75% para 88% em áreas rurais. Assim, a disposição em aterros sanitários diminuiria de 57% para 46% dos resíduos gerados.

Os resultados indicam que para a América Latina e Caribe, é necessária uma média de US\$ 13,4 bilhões por ano para atingir as metas de 2030. Destes, US\$ 2,8 bilhões são para Capex, US\$ 10 bilhões são para Opex e manutenção, e os US\$ 600 milhões restantes são para fortalecimento institucional. Assim, a região precisará de uma estimativa de US\$ 34 bilhões nos próximos oito anos para atingir tais metas. Para o Brasil especificamente, os valores médios de investimentos ao longo de 10 anos (2021-2030), são de US\$ 1.012,5 para o Capex e US\$ 3.550,8 para o Opex, totalizando R\$ 231,8 bilhões de reais, uma média de R\$ 110 por habitante/ano, considerando custos para melhorias institucionais.

Por fim, como orientações para políticas públicas de RSU, algumas extrapolações podem ainda ser derivadas deste estudo. Ao levar em consideração os custos totais dos consórcios da amostra, ao dividirmos pelo total da população atendida (6.585.081) temos um valor por habitante total de R\$ 4.892,19 milhões, sendo Opex de R\$ 4.419,27 milhões e Capex R\$ 472,92 milhões ao longo de 35 anos.

Tomando esses valores como referenciais para o custo de implementação da rota tecnológica 2 deste estudo, a qual contempla o objetivo de instituir uma destinação final adequada em acordo com as metas do Planares, ao multiplicarmos pelo valor da população, de cerca de 46 milhões de pessoas que

¹² Até 2030, reduzir o impacto ambiental adverso per capita das cidades, inclusive prestando atenção especial à qualidade do ar e à gestão de resíduos municipais e outros.

¹³ Até 2030, reduzir à metade o desperdício alimentar global per capita no varejo e no consumidor e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e fornecimento, incluindo as perdas pós-colheita e; até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos através da prevenção, redução, reciclagem e reutilização

¹⁴ Até 2025, prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, em particular de atividades em terra, incluindo detritos marinhos e poluição por nutrientes

ainda residem em locais cuja a destinação final ainda é ambientalmente inadequada (SINIR, 2023)¹⁵, temos um valor total de R\$225 bilhões de investimentos a serem realizados até 2058 (horizonte de investimento das concessões com tarifa comum), sendo Opex R\$ 203,2 bilhões e Capex R\$ 21,7 bilhões, ou em termos por habitante, R\$ 6,4 bilhões, sendo R\$ 5,808,19 bilhões e R\$ 0,6 bilhões divididos entre Opex e Capex, respectivamente.

Tabela 15 – Cálculo da extrapolação do estudo para regiões do Brasil com destinação final inadequada.

(A) Valor somado (Amostra 18 Consórcios)	R\$ milhões
Opex Total	29.100,91
Capex Total	3.114,16
<i>Total Investimento</i>	<i>32.215,08</i>
(B) Investimento por habitante (Amostra) - 35 anos	R\$ milhões
Opex Total	4.419,27
Capex Total	472,92
<i>Total Investimento</i>	<i>4.892,19</i>
(C) Investimento por habitante da amostra - por ano (2023-2058)	R\$ milhões
Opex Total	126,26
Capex Total	13,51
<i>Total Investimento</i>	<i>139,78</i>
(A) X Pop. Em locais com destinação final inadequada	R\$ milhões
Opex Total	203.286,55
Capex Total	21.754,22
<i>Total Investimento</i>	<i>225.040,77</i>
(C) X Pop. Em locais com dest. final inadequada - por ano (2023-2058)	R\$ milhões
Opex Total	5.808,19
Capex Total	621,55
<i>Total Investimento</i>	<i>6.429,74</i>

Por fim, ressalta-se que o exercício de extrapolação de dados para identificação das necessidades de investimentos em localidades com destinação ambiental inadequada é apenas uma das aplicabilidades derivadas da ferramenta desenvolvida pelo ME (2022). Apesar das limitações de premissas e da generalização de informações para cálculos obtidos, entende-se que, no âmbito de debater estratégias e identificar prioridades de políticas públicas para melhoria da política do manejo de resíduos sólidos, este estudo pode ser uma referência válida para discussão de gestores públicos.

Assim, considera-se que o objetivo principal deste estudo, o de avaliar empiricamente a aplicabilidade da ferramenta de pré-viabilidade do EMPMRAR foi atingido, uma vez que traz à tona considerações

¹⁵ Considerou-se aqui neste estudo apenas os municípios declarantes do sistema do SINIR.

para aplicação de uma rota tecnológica minimamente viável para cumprimento da principal norma referencial de políticas públicas destinadas ao tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Referências Bibliográficas

Abrelpe (2022). Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>. Acesso: 15 de dezembro de 2022.

Abu-Qdais, H. A., Shatnawi, N., & Al-Shahrabi, R. (2023). Modeling the Impact of Fees and Circular Economy Options on the Financial Sustainability of the Solid Waste Management System in Jordan. *Resources*, 12(3), 32.

Bartolacci, F., Paolini, A., Quaranta, A. G., & Soverchia, M. (2018). Assessing factors that influence waste management financial sustainability. *Waste management*, 79, 571-579.

Brasil (2010). Lei nº 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso: 10 de Janeiro de 2023.

Brasil (2020). Lei nº 14.026/2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso: 10 de Janeiro de 2023.

Brasil (2022). Decreto nº 10.936/2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

Caicedo-Concha, D. M., Sandoval-Cobo, J. J., Stringfellow, A., & Colmenares-Quintero, R. F. (2021). An evaluation of final disposal alternatives for municipal solid waste through life cycle assessment: A case of study in Colombia. *Cogent Engineering*, 8(1), 1956860.

Cattani, Y. N. (2023). Institutionalism and Intergovernmental Cooperation: A Discussion About Public Consortia and the Jurisdiction Conflict In Brazilian Public Services. [Doctoral dissertation, ESPM – Escola Superior de Propaganda e Marketing]. Biblioteca ESPM-SP.

Collazos, H., & Duque, R. (2003). Análisis regional de los instrumentos económicos para el manejo integral de residuos sólidos en América Latina y el Caribe: Estudio de caso del manejo integral de residuos sólidos en Montebello, Antioquia. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, DC.

Correal, M, Laguna Andrea (2018). Estimación de costos de recolección selectiva y clasificación de residuos con inclusión de organizaciones de recicladores. Herramienta de cálculo y estudios de caso en América Latina y el Caribe. (Nota técnica del BID; 1433).

Correal, M.; Faleiro, C. ; Piamonte, C.; Rihm, A.; Zambrano, M. Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. IDB Working Paper Series; IDB-TN 2663. 2023.

Correal, Magda Carolina, Rihm, Juan Alfredo (2022). Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe: conceptos básicos, análisis de viabilidad y recomendaciones de políticas públicas. (Nota técnica del BID; 2402).

Damodaran, A. (2007). Valuation approaches and metrics: a survey of the theory and evidence. *Foundations and Trends® in Finance*, 1(8), 693-784.

EMBRAPA (2022). Embrapa Suínos e Aves - Digestato. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/fertilizantes/dejetos-fertilizantes/fertilizante-fluido/digestato>. Acesso em 10/07/2022.

FADE/UFPE. FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil Europa, Estados Unidos e Japão. Pernambuco, 2014. Disponível em: <http://protegeer.gov.br/biblioteca/publicacoes/gestao-integrada-de-rsu/50-analise-das-diversas-tecnologias-de-tratamento-e-disposicao-final-de-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-europa-estados-unidos-e-japao>. Acesso em: 15/06/2022.

Flick, U. (2004). Triangulation in qualitative research. *A companion to qualitative research*, 3, 178-183.

GIHUB, Global Infrastructure. Leading Practices in Governmental Processes Facilitating Infrastructure Project Preparation. 2018. Disponível em: <https://www.gihub.org/resources/publications/leading-practices-in-governmental-processes-facilitating-infrastructure-project-preparation/>. Acesso em 10/07/2022.

GIZ (2017). Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit. Opções em Waste-to-Energy na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos - Um Guia para Tomadores de Decisão em Países Emergentes ou em Desenvolvimento. Eschborn. Disponível em: <http://protegeer.gov.br/biblioteca/publicacoes/gestao-integrada-de-rsu/393-um-guia-para-tomadores-de-decisao-em-paises-emergentes-ou-em-desenvolvimento>. Acesso em: 24/03/2023.

Hoornweg, Daniel y Bhada-Tata, Perinaz (2012): "What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management". Banco Mundial.

IBGE (2021). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SIDRA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/187>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

IBGE (2023). Base de Faces de Logradouros do Brasil. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/28971-base-de-faces-de-logradouros-do-brasil.html>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

Jucá, J. F. T., Barbosa, K. R. M., & Sobral, M. C. (2020). Sustainability indicators for municipal solid waste management: A case study of the Recife Metropolitan Region, Brazil. *Waste Management & Research*, 38(12), 1450-1454.

ME (2022). Ministério da Economia. Investimentos em Resíduos Sólidos. Modelagem de Projetos de Manejo de RSU em Arranjos Regionais. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/choque-de-investimento-privado/investimentos-em-residuos-solidos/relatorio-2013-modelagem-de-projetos-de-manejo-de-rsu-em-arranjos-regionais/view>. Acesso em: 05 de janeiro de 2023.

Plata-Díaz, A. M., Zafra-Gómez, J. L., Pérez-López, G., & López-Hernández, A. M. (2014). Alternative management structures for municipal waste collection services: The influence of economic and political factors. *Waste Management*, 34(11), 1967-1976.

RADAR, P. P. P (2014). Guia prático para estruturação de programas e projetos de PPP. São Paulo: LSE Enterprise, Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo.

SINIR (2019). Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. Consórcios. Disponível em: <https://www.sinir.gov.br/perfis/consorcios/>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

SINIR (2023). MMA – Ministério do Meio-Ambiente. Disponível em: <https://sinir.gov.br/paineis/destinacao/>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

SNIS (2021). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2021 (ano base 2020). Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

SNIS (2021). SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO: 19º Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2020. Brasília.

UNEP (2019). UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. Waste to Energy - Considerations For Informed Decision-Making. Disponível em: <https://www.unep.org/ietc/resources/publication/waste-energy-considerations-informed-decision-making>. Acesso em: 16/03/2023, 2019.

Apêndice: nome dos consórcios

1. Consórcio Regional de Resíduos Sólidos do Sertão de Alagoas - CRERSSAL
2. Consórcio Regional de Resíduos Sólidos do Agreste Alagoano - CONAGRESTE
3. Consórcio Regional de Resíduos Sólidos da Zona da Mata Alagoana - CORSZAM
4. Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento da Região do Litoral Norte de Alagoas - CONORTE
5. Consórcio Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - COMARES-UCV
6. Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos Vale do Jaguaribe Unidade II - CONVALE
7. Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região Cariri Oriental - CORES - CARIRI ORIENTAL
8. Consórcio Público para Trat. e Dest. Final Adequada de Resíduos Sólidos da Região Doce Oeste do ES - Condoeste
9. Consórcio Intermunicipal e Gestão Desenvolvimento Ambiental Sustentável das Vertentes - CIGEDAS
10. Consórcio Regional de Saneamento Básico Central de Minas - CORESAB
11. Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento Ambiental Sustentável do Norte de Minas - CODANORTE
12. Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região Central de Rondônia - CISAN Central - RO
13. Consórcio Público Intermunicipal Para Assuntos Estratégicos do G8 - CIPAE G8
14. Consórcio Integrado de Gestão Pública do Entre Rios - CIGAMERIOS
15. Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos do Oeste Paulista - CIRSOP
16. Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas - CISBRA
17. Consórcio Intermunicipal de Manejo de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Campinas - CONSIMARES
18. Consórcio Intermunicipal na Área de Saneamento Ambiental - CONSAB

The logo for PSP Hub features the letters 'PSP' in a bold, black, sans-serif font. The letter 'P' is partially filled with a vibrant green color. To the right of 'PSP', the word 'Hub' is written in a green, lowercase, sans-serif font. A thin horizontal line is positioned directly below the 'PSP' portion of the logo.

PSP Hub

INFRASTRUCTURE AND URBANISM STUDIES