

A EFICÁCIA DA COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU COM BASE NA ANÁLISE
GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS*The effectiveness of selective collection in the city of Blumenau based on gravimetric analysis of urban
solid waste*Igor Jensen Conzatti¹, Gustavo Gutierrez de Oliveira Rodrigues ², Natália Salamoni³ e Abrahão
Bernardo Rohden⁴**RESUMO**

Um município com aproximadamente 380 mil habitantes gera uma enorme quantidade de resíduos diariamente, o que faz refletir se os moradores de Blumenau estão separando corretamente todos estes resíduos. O objetivo deste trabalho visa justamente calcular as taxas de eficiência da coleta seletiva e orgânica nos bairros de Blumenau. Para isso foi utilizado como base de dados um estudo gravimétrico realizado pela empresa que realiza a Limpeza Urbana executado no ano de 2022. A análise da eficiência da separação mostrou que o potencial de separação chega a 90% para algumas rotas enquanto outras têm eficiência inferior a 50%. A eficiente gestão de resíduos pressupõem além de uma infraestrutura de coleta e separação de resíduos da conscientização da população quanto a importância da correta separação dos resíduos encaminhados tanto a coleta convencional quanto à coleta seletiva.

ABSTRACT

A city with approximately 380,000 inhabitants generates a huge amount of waste daily, which raises questions about whether the residents of Blumenau are separating all of this waste correctly. The objective of this study is to calculate the efficiency rates of selective and organic waste collection in the neighborhoods of Blumenau. For this purpose, a gravimetric study carried out by the company that performs Urban Cleaning in 2022 was used as a database. The analysis of separation efficiency showed that the separation potential reaches 90% for some routes, while others have efficiency below 50%. Efficient waste management presupposes, in addition to a waste collection and separation infrastructure, awareness among the population regarding the importance of correctly separating waste sent to both conventional and selective collection.

Palavras-chave:

coleta seletiva, resíduos sólidos, separação de resíduos.

Keywords:

selective collection, solid waste, waste separation.

¹Graduado em Engenharia Civil (2023) email: iconzatti@furb.br²Doutorando em Engenharia Ambiental (2022-2026), Mestre em Engenharia Ambiental (2022) e Graduado em Engenharia Civil (2018) email: ggorodrigues@furb.br³Doutoranda em Engenharia Ambiental (2023-2027), Mestre em Engenharia Ambiental (2023) e Graduada em Engenharia Civil (2020) email: nsalamoni@furb.br⁴Professor Doutor em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade de Blumenau email: arohden@furb.br

1. INTRODUÇÃO

Em meados do século XVIII o mundo presenciou um fenômeno que futuramente ficaria mundialmente conhecido como a primeira revolução industrial. Este foi um evento de extrema importância no que diz respeito à evolução humana, principalmente no que tange ao grande salto tecnológico dos meios de produção existentes na época e grande avanço industrial, dessa forma, possibilitando grandes feitos à humanidade. Fatos que apenas foram intensificados séculos após, com a vinda da segunda e terceira revolução industrial. No entanto, juntamente com os ideais comumente considerados capitalistas, como o consumismo, aliado ao constante avanço dos métodos de produção, vêm a problemática do aumento de resíduos gerados pela produção (Mcneill, 2000).

Juntamente com o advento da revolução industrial, houve um aumento significativo da população em escala mundial e no Brasil, o mesmo ocorreu. Em 1822 é estimado que havia cerca de 4,6 milhões de habitantes em terras brasileiras. Por volta do ano de 1950 este número já permeava a casa dos 50 milhões de brasileiros (crescimento de 10,87 vezes) e trazendo esses valores para a atualidade, o Brasil possui cerca de 215 milhões de habitantes. Se efetuada a divisão entre a população estimada do primeiro ano citado (4,7 milhões) pelo valor da população estimada atual (215 milhões) encontra-se a razão aproximada de 46, ou seja, esta representa a quantidade de vezes que a população brasileira aumentou em 200 anos, considerando o ano inicial sendo 1822 e o ano final 2022 (Alves, 2022).

Por volta de 1940 o Brasil possuía apenas cerca de 26% de sua população vivendo em áreas urbanas e 74% vivendo em áreas rurais. Atualmente, pode-se notar que a população que habita áreas urbanas aumentou para 84% e por consequência o percentual de habitantes de áreas rurais diminuiu para 16%. Este fenômeno conhecido como êxodo rural traz uma série de consequências para a infraestrutura de um município, dentre estas destaca-se o aumento significativo na geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) o Brasil gerou em 2010 cerca de 66,7 milhões de toneladas de RSU enquanto em 2018 o mesmo número passou para cerca de 79 milhões de toneladas, um crescimento de 17,44% em 9 anos. Executando o cálculo entre a geração de resíduos no ano de 2018 e a respectiva população brasileira (210,2 milhões de indivíduos) segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) encontra-se a razão média aproximada de 376 kg de resíduos produzidos anualmente por brasileiro, o que correspondendo a mais de 1 kg de resíduos gerados diariamente por habitante.

A Abrelpe também afirma que a cobertura da coleta destes resíduos passou de 88% (2010) para 92% (2019). Apesar deste índice, o estudo destaca que cerca de 4% dos resíduos que poderiam ser reciclados de fato são, enquanto países com condições semelhantes ao Brasil, possuem o mesmo índice em torno de 16%. No que diz respeito ao contexto da coleta seletiva pode-se afirmar que o Brasil está décadas atrasado quando comparado à países semelhantes (ABRELPE, 2022).

Afirma-se também que a eficiência do correto manuseio dos RSU, bem como elevados índices de reciclagem estão diretamente ligados ao desenvolvimento de uma nação. Países como Coreia do Sul, Alemanha e Bélgica possuem índices de reciclagem superiores à 50% (EMBAPEL, 2020). A própria PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos) destaca esta preocupação citada, tendo em vista que o correto manejo e destinação final para cada classificação de RSU diminui o uso e desperdício dos recursos naturais.

No caso de Blumenau/SC, um município com a população estimada em mais de 380 mil habitantes (IBGE, 2025) a RACLI Limpeza Urbana (Empresa A) é a empresa responsável pelos serviços de coleta seletiva, orgânica e especial (resíduos volumosos) no município através do contrato 2215/2018 firmado entre a empresa e a Prefeitura Municipal de Blumenau (PMB). Vale ressaltar que uma das obrigações contratuais presentes no projeto base da licitação em questão é a execução de estudos gravimétricos,

com a finalidade de identificar a composição dos resíduos que estão sendo gerados.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma análise do perfil dos resíduos gerados no município de Blumenau/SC, averiguando a presença de material orgânico presente em rotas da coleta seletiva e vice e versa. Além disso almejou-se analisar a situação de cada rota de coleta de resíduo, buscando identificar qual o potencial de eficiência de coleta de resíduos em diferentes regiões do município.

2. LEGISLAÇÃO E CONTEXTO MUNICIPAL

Com o crescente aumento de resíduos gerados pela população juntamente com a necessidade de dar a correta destinação aos RSU, o Brasil, na figura de seus representantes políticos, se viu obrigado a adotar medidas legais. Exemplo deste fato é a criação da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010). Esta é identificada como a lei que regulamenta a PNRS, alterando a Lei nº 9.605 (BRASIL, 1998) que descrevia sanções penais para crimes ambientais. A Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) dentre as diversas abordagens, pontua em seu Artigo 3º conceitos relacionados à destinação de resíduos. No Inciso V deste mesmo artigo é dado o conceito de coleta seletiva como a “coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição” e pontua o termo reciclagem como processo de transformação dos resíduos sólidos implica na modificação de suas características físicas, físico-químicas ou biológicas, visando sua conversão em insumos ou produtos novos, respeitando as normas estabelecidas pelos órgãos competentes do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente), e, quando aplicável, do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária) e do SUASA (Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária). Vale ressaltar que o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) é um sistema nacional que possui como objetivo: a defesa do meio ambiente ecologicamente equilibrado.

O município de Blumenau/SC possuía 60.415 empresas ativas, sendo que a principal categoria é de empresas do setor de serviços (cerca de 48%) e as empresas dos setores de manufatura; comércio e varejo; indústria da transformação (estas 3 categorias possuem valores absolutos 4 semelhantes) ocupam juntas a segunda posição. Somadas, as 3 supracitadas possuem cerca de 43,5% do total (Econodata, 2022). Considerando a estimativa realizada pelo IBGE para a atual população blumenauense bem como a média anteriormente citada de resíduos gerados per capita, afirma-se que anualmente é produzido cerca de 137 mil toneladas de resíduos no município, ou seja, um valor superior à 1kg de resíduos anuais por blumenauense.

2.1 Definição dos resíduos

Os Resíduos Sólidos são todos aqueles provenientes dos mais diversos tipos de atividades, incluídos nessa classificação subprodutos gerados de sistemas de tratamento de água além de líquidos sem viabilidade de lançamento na rede pública de esgoto por custos elevados para tal, ou por própria falta de tecnologia para efetuar-lo da forma correta (ABNT NBR10.004, 2004).

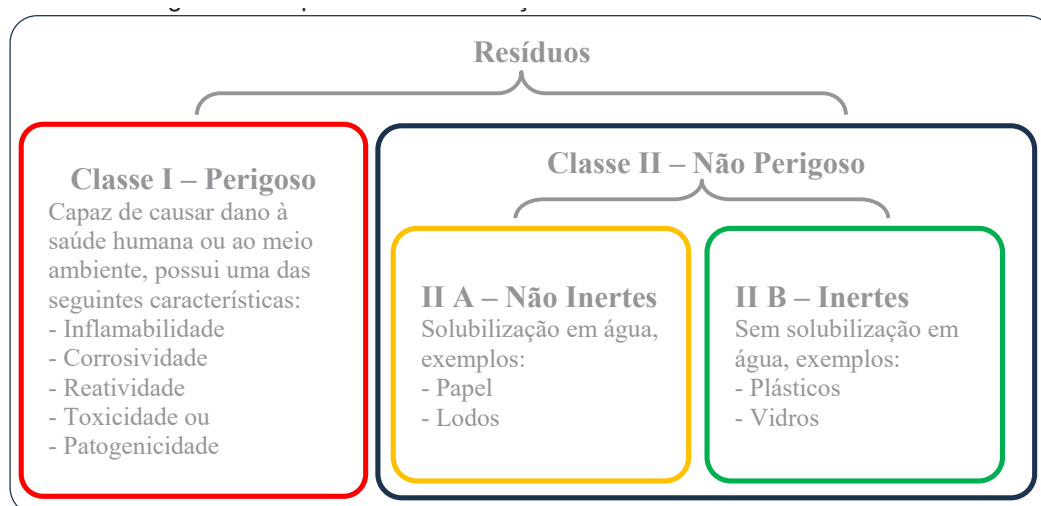
Os Resíduos Sólidos Urbanos (especificamente) são todos aqueles enquadrados na definição dada pela NBR 10004 (ABNT, 2004), no entanto como o próprio termo sugere, restringe-se o conceito àqueles resíduos de origem exclusivamente urbana. Desta forma, resíduos produzidos por restaurantes, indústrias e empresas (considerados “grandes geradores” ou “polos geradores”) de modo geral não são considerados nessa classificação, apenas os resíduos domésticos tais como restos de alimentos consumidos no dia a dia. Percebe-se, no entanto, que o conceito dado para o termo supracitado é demasiadamente amplo, por conta disso a própria NBR 10.004 classifica os resíduos entre: perigosos (classe I); não perigosos (classe II). Sendo de que os resíduos de classe II possuem subclassificações: não inertes (tipo A); inertes (tipo B). Para a classificação de um resíduo como perigoso, são utilizados

como critérios 5 comportamentos químicos dos materiais: inflamabilidade; corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, estes são classificados como D001, D002, D003, D004 e D005, respectivamente.

Os resíduos não perigosos e não inertes (classificados como II A) são todos aqueles que não estão englobados dentro da classe I (perigosos) ou à classificação II B (inertes). Estes resíduos em questão possuem como principal característica biodegradabilidade, solubilidade e/ou combustibilidade (NBR 10.004, 2004). Para este último termo, vale uma ressalva com relação à classificação quanto a inflamabilidade, a diferença entre inflamável e combustível diz respeito ao ponto de fulgor do material. Líquidos inflamáveis, por exemplo, são aqueles que apresentam ponto de fulgor inferior a 60°C, enquanto os líquidos combustíveis apresentam ponto de fulgor superior à mesma temperatura (NR 20, 2023). Por conta disso pode ser característica dos resíduos classe I a inflamabilidade, enquanto os resíduos classe II poderão apenas ser combustíveis.

Partindo para a definição dos resíduos não perigosos e inertes (classificados como II B) são aqueles que não possuem alterações no que tange ao seu aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor quando submetidos ao contato com água destilada ou deionizadas (NBR 10004, 2004) (Figura1).

Figura 1 - Esquema de classificação de resíduos conforme NBR 10004.



2.2 Definição dos resíduos

O manejo dos resíduos sólidos diante da situação global é uma temática cada vez mais presente nas pautas de organizações mundiais. Sistemas de análise de dados cada vez mais são implementados em políticas de governo de países como Canadá e Estados Unidos, além de modelos de engenharia na tentativa de criar o perfil dos resíduos gerados por uma determinada população, proporcionando desta forma um melhor solid waste management (SWM) (Marshall e Farahbakhsh, 2013).

Dentro do contexto de resíduos sólidos, esta análise de perfil nada mais é do que a obtenção numérica da parcela de cada componente categorizado de uma amostragem dos resíduos analisada quando comparada à sua totalidade (Monteiro, 2001). A importância da realização dos estudos gravimétricos está em conhecer o perfil dos resíduos gerados pela população de determinado local, de modo a guiar (logisticamente) as decisões de um município no que tange a destinação final dos mesmos (INEA, 2021).

Alguns estudos gravimétricos executam a divisão dos resíduos entre plástico; papel e papelão; metal; vidro (Alkmin e Ribeiro Junior, 2016). É comum também no mesmo tipo de estudo haver uma

única classificação para materiais orgânicos (normalmente classificados pela NBR 10.004 (2004) como sendo classe II A – não perigosos e não inertes) e rejeitos (Rezende et al., 2013).

Além disso dentro de uma amostragem de resíduos pode haver materiais que podem ser classificados como “entulho” (resíduos de processos realizados no que tange à construção civil, além de restos de porcelana de vasos, por exemplo, “contaminantes químicos ou biológicos” (pilhas, baterias, colas, óleos, entre outros) (Moura; Lima; Archanjo, 2012).

No que tange aos resíduos químicos, estes normalmente estão associados à materiais que tiveram uma destinação incorreta por falta de logística reversa, isto é, a empresa que fornece o produto deveria efetuar o serviço de recolhimento do resíduo gerado pelo seu produto (carcaça), como é o caso de pilhas e baterias por exemplo. Este procedimento é dado pelo Decreto nº10.936, de 12 janeiro de 2022 regulamentado pela Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010). Vale ressaltar que o Brasil possui o Programa Nacional de Logística Reversa coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente.

Acerca dos contaminantes biológicos pode-se afirmar que o processo ocorrido é semelhante ao anterior. Podem ser citados como exemplo desse tipo de contaminante: seringas; gases; curativos; algumas embalagens de remédios e analgésicos; luvas e outros equipamentos/resíduos médicos (Moura; Lima; Archanjo, 2012). Vale citar que a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) também engloba os subprodutos citados. O Artigo 8º desta Lei cita os instrumentos da PNRS e em seu inciso XV menciona o “Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos”.

2.3 Quarteamento

Um dos métodos comumente utilizados para encontrar a gravimetria dos RSU de uma determinada população é o método de quarteamento. A NBR 10.007 (ABNT, 2004) define o termo “quarteamento” como o processo que consiste em dividir uma amostra pré-homogeneizada em quatro partes iguais. Duas partes opostas são selecionadas para formar uma nova amostra, enquanto as outras partes são descartadas. As partes remanescentes são misturadas completamente, e o processo de quarteamento é repetido até alcançar o volume desejado.

Para execução deste método é necessário utilizar amostras de resíduos sólidos sempre superior ao montante de 5 toneladas. O montante inteiro deve ser descarregado apenas pelo motorista do caminhão-tanque (ABNT, 2004). Após o montante ser pesado e estar alocado no formato piramidal (Figura 2), 5 amostras devem ser retiradas (sendo preferencialmente uma amostra na parte superior do montante em forma piramidal e as 4 demais sendo retiradas da base). Tais amostras devem ser alocadas dentro de tambores de 100 litros. É importante ressaltar que há grande probabilidade de haver sacos plásticos lacrados na amostra, estes devem ser abertos e seu conteúdo despejado dentro dos tambores, entretanto o material plástico (sacola) deve continuar fazendo parte da amostra, o mesmo não deve ser retirado do monte.

Figura 2 - Descarga de resíduos para amostragem

Após a obtenção dos 5 tambores contendo 100 litros de resíduos cada, todo conteúdo é despejado novamente em uma pilha sobre de uma lona plástica, evitando contato com o solo e criando um ambiente impermeável. Este novo monte, é separado em quatro partes com volumes visualmente semelhantes. Dos quatro montes finais descartam-se dois, permanecendo apenas ou outros dois montes. Vale citar que os montes descartados devem ser opostos e possuir diagonais concomitantes (Figura 3).

Figura 3 – Separação da amostragem em quatro montes

Os resíduos remanescentes dos 2 montes são manualmente separados em montes menores de acordo com as classificações pré-definidas e materiais que possuam a mesma classificação são acumulados. Após realizada a separação por categorias individuais parte-se para a pesagem de cada tipo de resíduo separado e por fim para o cálculo de porcentagens de cada material dentro da amostragem (Figura 5).

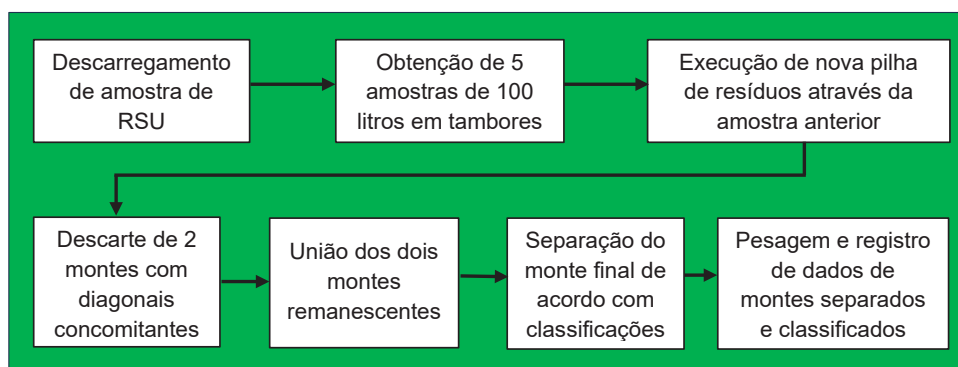
Figura 5 – Pesagem de amostras.



Fonte: Empresa A, 2022

O processo de separação de RSU obtidos na coleta orgânica é executada seguindo-se as seguintes classificações: Material Orgânico (restos de alimentos, cascas de frutas, putrescíveis, folhas, restos de poda); Rejeitos (papel higiênico usado, guardanapos usados, fraldas sujas); Recicláveis (papel limpo, plástico, vidro, metal, papelão); Outros (têxteis, couro, borracha, pilhas, baterias, lâmpadas, remédios, eletroeletrônicos). Já para a separação de RSU obtidos na coleta seletiva é importante especificar a fração de cada tipo de material reciclável, dessa forma a separação deste segue as classificações: Orgânico e Rejeito (restos de alimentos, cascas de frutas, putrescíveis, folhas, restos de poda e papel/papelão contaminado); Papel/Papelão (papel branco, papelão, jornais, revistas, papel pardo, tetra-pak); Plásticos (PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, isopor não contaminado, outros plásticos); Vidro (garrafas, vidro quebrado); Metal (latas de alumínio, aço, sucata de ferro, etc); Resíduos de Logística Reversa (embalagens de agrotóxicos, pilhas/baterias, lâmpadas, pneus, remédios, eletroeletrônicos); Outros e Textil (trapos, panos, restos de tecidos, resíduos têxteis, couro, borracha, sapatos/utensílios domésticos/livros/outros objetos em plenas condições de uso). Na Figura 6 são resumidas sequência de atividades do processo de quarteamento.

Figura 6: Fluxo de processos do método de quarteamento.

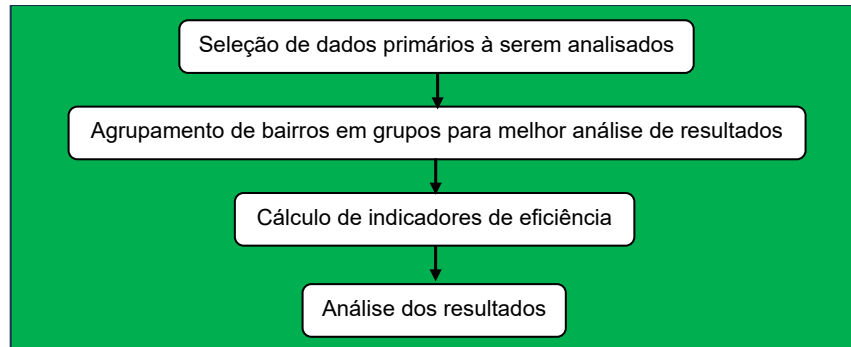


Fonte: Empresa A, 2025

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 7 são apresentadas as etapas da que compuseram a presente pesquisa. Na sequência cada etapa foi apresentada, destacando os principais cuidados e procedimentos adotados.

Figura 7: Fluxograma com as etapas da pesquisa



3.1 Seleção de dados primários à serem analisados

Para execução deste trabalho foram utilizados dados de estudos gravimétricos realizados pela Empresa A de limpeza urbana no ano de 2022 do Município de Blumenau. Para tanto foi necessário um entendimento do funcionamento da operação de coleta no município. As rotas de coleta realizadas pela Empresa A de limpeza urbana são divididas em 2 turnos, sendo o primeiro turno (T1) realizado no período diurno e o segundo turno (T2) realizado no período noturno. No que tange à coleta convencional, são realizadas diariamente 14 rotas no turno 1 e 14 rotas no turno 2. Sendo que a coleta de cada rota é executada 3 vezes por semana, de forma que na segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira as mesmas rotas são coletadas. O mesmo ocorre para a terça-feira, quinta-feira e sábados, totalizando 168 rotas (Tabela 1). Algumas rotas podem possuir vias em comum por conta do alto volume de resíduos gerados (Empresa A, 2022).

Tabela 1 – Estrutura semanal coleta convencional

2° Feira	3° Feira	4° Feira	5° Feira	6° Feira	Sábado	Domingo
Rotas Tipo "A"	Rotas Tipo "B"	Rotas Tipo "A"	Rotas Tipo "B"	Rotas Tipo "A"	Rotas Tipo "B"	Não há coleta

Fonte: Empresa A, 2025

A coleta seletiva possui um volume de resíduos consideravelmente menor, por conta disso há um número maior de rotas totais, no entanto cada uma é realizada apenas uma vez por semana (Tabela 2). Dessa forma são realizadas 4 (quatro) rotas no turno 1 e 4 (quatro) rotas no turno 2, totalizando 8 (oito) rotas diárias e 48 rotas semanais (Empresa A, 2022).

Tabela 2 – Estrutura semanal coleta seletiva

2° Feira	3° Feira	4° Feira	5° Feira	6° Feira	Sábado	Domingo
Rotas Tipo "A"	Rotas Tipo "B"	Rotas Tipo "C"	Rotas Tipo "D"	Rotas Tipo "E"	Rotas Tipo "F"	Não há coleta

Os dados resultantes do estudo gravimétrico realizado pela Empresa A, no ano de 2022 para coleta de resíduos convencionais é apresentado na Tabelas 3 para o turno 1 (Coleta diurna). Já na Tabela 4 são apresentados os dados do estudo gravimétrico realizado pela Empresa A, também no ano de 2022

para coleta de resíduos convencionais para coleta noturna. Nas tabelas 5 e 6 são apresentados os dados resultantes da análise gravimétrica realizada pela Empresa A (2022) para as diferentes rotas de coleta na seletiva diurna e noturna respectivamente.

Tabela 3 – Resultados gravimétricos coleta convencional por rota – coleta diurna

N	Rota	Orgânica (%)	Rejeitos (%)	Recicláveis (%)	Outros (%)
1	Garcia	47	15	37	1
2	Salto do Norte	10	10	33	47
3	Itoupavazinha	30	22	30	18
4	Passo Manso	36	20	36	7
5	Fidelis/Fortaleza	21	33	36	10
6	Salto do Norte	18	11	47	25
7	Vila Itoupava	35	19	28	19
8	Salto Weissbach	35	33	26	6
9	Progresso	30	28	20	23
10	Velha Grande	16	18	29	37
11	Fortaleza, Fortaleza Alta, Itoupava Norte, Nova Esperança, Ponta Aguda, Tribess, Vorstadt	42	34	9	16
12	Valparaíso	35	25	29	11
13	Itoupava Central	22	15	54	9
14	Progresso	23	21	23	33
15	Itoupava Central	19	12	34	34
16	Glória	24	51	11	15
17	Fidélis	0	20	67	13
18	Vorstadt	34	16	38	12
19	Passo Manso	30	19	34	18
20	Itoupavazinha	23	3	20	54
21	Badenfurt	17	36	27	20
22	Garcia	27	18	32	23
23	Vorstadt	16	10	63	11
24	Velha Grande	38	7	48	7
25	Velha Central	34	17	20	29
26	Itoupava Central	32	7	56	5
27	Garcia	37	20	17	26
28	Salto Weissbach	37	11	34	19

Fonte: Empresa A, 2022

Tabela 4 – Resultados gravimétricos coleta convencional por rota – coleta noturna

N	Rota	Orgânica (%)	Rejeitos (%)	Recicláveis (%)	Outros (%)
1	Nova Esperança/Ponta Aguda	31,30	48,91	14,48	5,31
2	Centro/Velha	40,33	23,13	25,98	10,56
3	Vitor Konder	48,58	20,18	26,32	4,93
4	Itoupava Norte / Fortaleza / Centro	48,98	21,34	26,20	3,48
5	Itoupava Norte / Fortaleza	45,63	18,85	32,43	3,09
6	Boa Vista / Tribess	49,21	14,36	24,91	11,52
7	Itoupava Norte / Fortaleza	38,23	19,54	26,00	16,23
8	Ponta Aguda / Garcia	37,78	23,11	27,61	11,51
9	Corredores	39,68	18,72	24,27	17,33
10	Itoupava Seca	42,83	20,88	25,00	11,29
11	Fortaleza / Tribess	36,49	29,65	20,98	12,88
12	Itoupava Norte / Fortaleza	36,47	21,45	28,05	14,03

Tabela 4 – Resultados gravimétricos coleta convencional por rota – coleta noturna (continuação)

13	Ponta Aguda	29,68	21,61	29,97	18,73
14	Itoupava Norte	32,23	20,11	31,13	16,53
15	Água Verde	44,13	14,86	33,83	7,18
16	Salto / Escola Agrícola	15,56	35,79	47,48	1,17
17	Escola Agrícola / Vila Nova	31,27	23,16	36,50	9,07
18	Itoupava Seca / Victor Konder	31,83	21,93	37,93	8,31
19	Salto / Escola Agrícola	30,15	21,09	37,23	11,53
20	Corredores	37,82	17,49	29,40	15,28
21	Velha / Centro / Jardim Blumenau	37,46	16,48	37,06	8,99
22	Velha Central / Velha / Petrópolis	22,29	15,44	52,80	9,46
23	Victor Konder	53,87	16,82	22,30	7,01
24	Velha Central	47,11	19,10	20,60	13,19
25	Água Verde / Velha	30,89	15,98	52,07	1,06
26	Água Verde / Vila Nova	56,34	3,84	30,35	9,48
27	Água Verde / Velha	48,08	23,61	24,57	3,74

Tabela 5 – Resultados gravimétricos coleta seletiva por rota – coleta diurna

N	Rota	Orgânicos e rejeitos (%)	Papel e papelão (%)	Plástico (%)	Vidro (%)	Metal (%)	Log. rev. (%)	Outros (%)
1	Coab/It. Central	29,55	6,67	10,77	9,91	10,68	8,58	23,83
2	Velha Pequena e Grande	41,86	7,16	19,68	21,11	4,47	2,15	3,58
3	Água Verde	35,29	2,79	8,67	11,87	18,37	1,03	21,98
4	Velha Central	13,23	10,58	11,11	21,83	19,18	7,41	16,67
5	Passo Manso	22,18	3,58	9,30	5,72	25,40	5,55	28,26
6	Salto do Norte	21,65	15,67	9,28	14,95	5,36	1,13	31,96
7	Itoupavazinha	33,23	14,60	16,62	12,08	8,56	1,61	13,29
8	Salto	7,32	14,27	9,15	22,87	10,06	10,06	26,26
9	Testo Salto	30,72	2,61	7,32	16,99	12,68	5,88	23,79
10	Vila Itoupava	9,66	19,09	18,16	9,81	14,22	2,63	26,43
11	Itoupava Central	12,97	8,32	18,59	14,99	7,87	8,62	28,64
12	Fidelis	11,66	3,69	11,93	14,34	17,29	5,23	35,86
13	Progresso	25,28	20,82	18,88	13,90	14,42	5,13	1,56
14	Valparaíso	15,30	12,32	15,20	2,57	15,20	11,60	27,82
15	Progresso	24,38	10,58	8,03	18,69	9,78	8,03	20,51
16	Glória	1,66	24,78	20,46	23,23	16,04	8,85	4,98
17	Fortaleza	25,78	10,94	20,65	17,98	15,89	7,04	1,71
18	Tribess	11,80	4,70	7,19	21,57	17,51	13,36	23,87
19	Itoupava Norte	4,80	16,93	20,87	31,17	9,03	1,41	15,80
20	Fortaleza	34,91	10,55	4,85	12,12	17,58	2,42	17,58
21	Água verde	10,77	7,30	18,16	15,36	12,17	4,40	31,84
22	Salto / Boa Vista	4,76	11,45	27,15	21,28	11,35	11,65	12,36
23	Escola Agrícola	9,18	14,31	20,22	8,71	24,42	3,27	19,91
24	Bom Retiro	16,73	19,23	16,73	17,69	3,85	2,69	23,08

Tabela 6 – Resultados gravimétricos coleta seletiva por rota – coleta noturna

N	Rota	Orgânico e rejeitos (%)	Papel e papelão (%)	Plástico (%)	Vidro (%)	Metal (%)	Log. rev. (%)	Outros (%)
1	Itoupava Seca / Itoupava Norte	8,09	39,69	21,20	19,47	4,04	2,89	4,62
2	Água Verde / Centro	12,99	18,03	27,55	27,66	9,74	2,69	1,34
3	Vila Nova / Centro	18,68	22,96	34,70	9,77	9,34	3,00	1,54
4	Asilo / Centro	5,82	18,86	33,70	13,84	25,78	1,10	0,90
5	Itoupavazinha / Itoupava Norte	13,08	20,31	30,95	21,88	9,59	2,88	1,31
6	Salto Weissback / Salto do Norte	21,28	28,21	22,85	12,40	8,05	4,72	2,50
7	Itoupavazinha / Centro	12,21	21,39	23,35	27,01	4,37	6,95	4,72

Tabela 6 – Resultados gravimétricos coleta seletiva por rota – coleta noturna (continuação...)

8	Badenfurt / Centro	22,14	21,79	19,81	16,90	6,99	3,26	9,09
9	Água Verde / Itoupava Seca	14,48	34,47	23,15	15,69	7,84	1,01	3,35
10	Salto / Centro	13,15	25,06	21,69	16,11	8,71	2,22	13,06
11	Salto / Itoupava Norte	14,24	28,15	38,16	9,44	4,06	1,82	4,14
12	Água Verde / Ponta Aguda	22,03	29,09	30,58	5,39	7,06	1,39	4,46
13	Ponta Aguda / Itoupava Seca	13,90	26,22	27,32	22,32	2,93	1,95	5,37
14	Centro	34,51	20,73	31,19	10,36	1,55	0,93	0,73
15	Garcia / Bom Retiro	26,39	33,66	11,25	21,26	5,13	1,41	0,91
16	Ponta Aguda / Centro	22,91	20,03	27,88	17,02	8,12	1,70	2,36
17	Itoupava Seca / Itoupava Norte	12,84	34,52	26,82	15,69	4,56	2,14	3,42
18	Itoupava Norte / Centro	10,70	35,12	26,56	14,69	8,27	1,36	3,31
19	Tribess / Centro	7,87	30,31	35,06	12,84	10,57	1,19	2,16
20	Itoupava Norte	23,83	24,77	17,27	18,74	8,57	3,08	3,75
21	Victor Konder	9,78	24,30	30,87	7,68	10,89	14,66	1,82
22	Centro	14,47	21,93	21,75	16,74	9,10	12,74	3,28
23	Testo Salto	12,86	25,82	31,38	12,65	3,40	11,52	2,37
24	Salto do Norte	4,12	24,49	35,33	11,32	8,57	10,51	5,66

3.2 Cálculo de indicadores

Para o cálculo dos indicadores citados foi necessário a criação de duas métricas distintas, uma para as rotas de coleta orgânica e uma para as rotas de coleta seletiva. Para a primeira será utilizada a seguinte equação

$$\% \text{ EFICIÊNCIA ORGANICO} = 100\% \text{ RECICLAVEL} \quad (1)$$

Sendo:

%Eficiência Orgânico: porcentagem de eficiência de uma rota de coleta orgânica;

%Reciclável: porcentagem de material reciclável encontrado em uma rota de coleta orgânica.

Já para a segunda ocasião (rotas de coleta seletiva) a eficiência da rota será avaliada através da seguinte equação 2:

$$\% \text{ EFICIÊNCIA SELETIVA} = 100\% - \% \text{ ORGÂNICO} - \% \text{ L. REV} - \% \text{ OUT} \quad (2)$$

Sendo:

%Eficiência Seletiva: porcentagem de eficiência de uma rota de coleta seletiva.

%Orgânico: porcentagem de material orgânico ou rejeito encontrado em uma rota de coleta seletiva.

%L.Rev: porcentagem de material de logística reversa encontrado em uma rota de coleta seletiva.

%Out: porcentagem de material classificado como “outro” encontrado em uma rota de coleta seletiva.

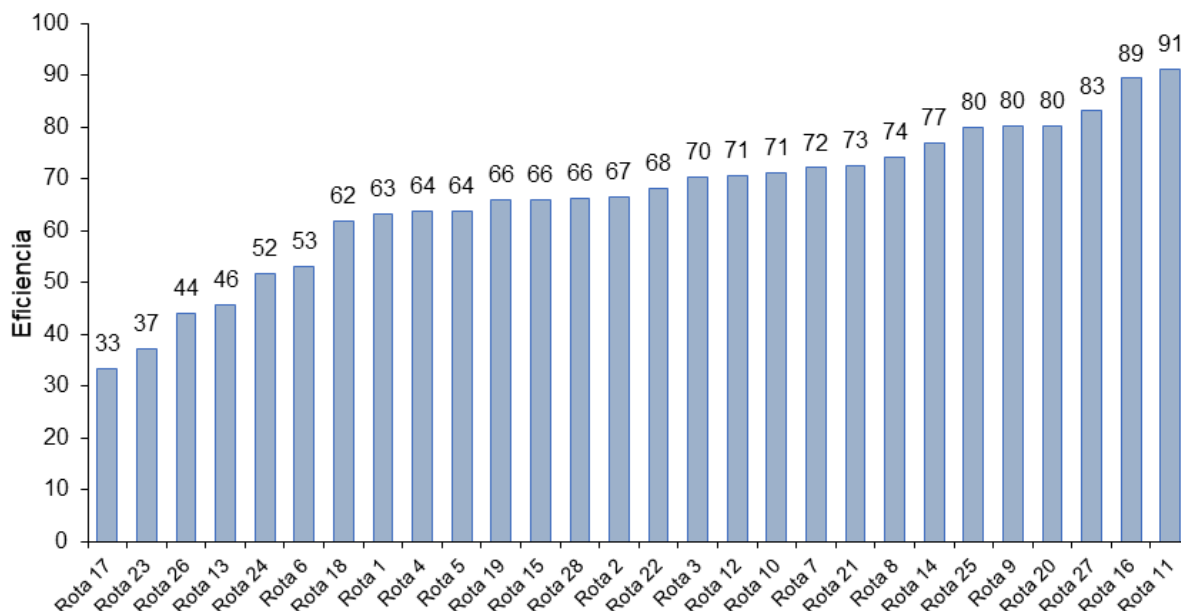
Para os grupos formados por mais de um bairro, o cálculo de eficiência foi realizado de forma ponderada, adotando a população do bairro como fator de ponderação.

4. ANÁLISE E RESULTADOS

4.1 Cálculo de indicadores de eficiência para coleta convencional

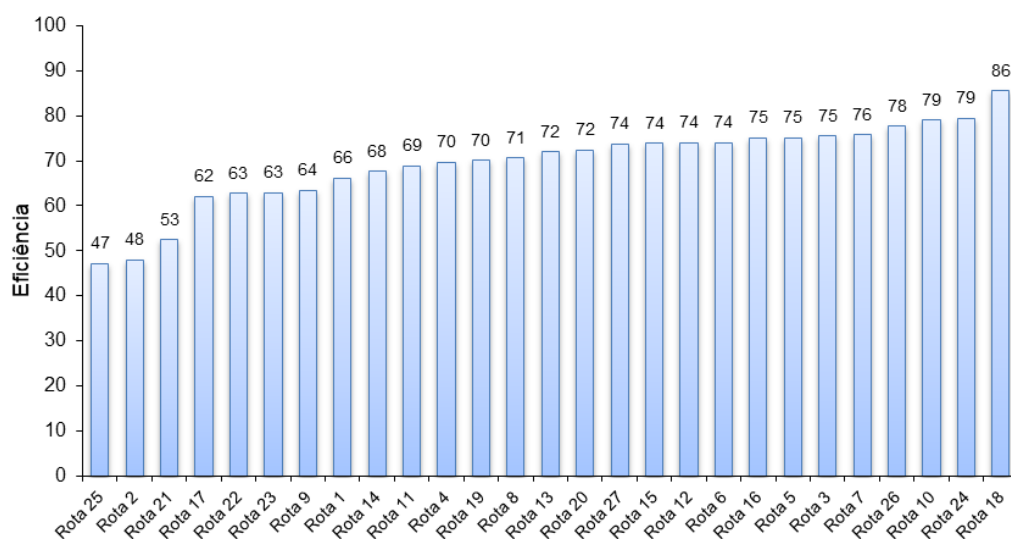
Após a aplicação da equação 1 nos dados apresentados para coleta de resíduos orgânicos foram calculados os percentuais de Eficiência na coleta convencional diurna apresentados na Figura 8. A rota mais eficiente foi a Rota 11, realizada na região da Margem Esquerda compreendendo os bairros de Fortaleza, Fortaleza Alta, Itoupava Norte, Nova Esperança, Ponta Aguda, Tribess, Vorstadt. Nesta rota o percentual de Eficiência foi de 91%. No extremo oposto tem-se a Rota 17, realizada no bairro Fidélis onde a eficiência foi de 33%.

Figura 8: Ranking de eficiência em coleta convencional – coleta diurna



Já para a coleta noturna a Rota 18 apresentou melhor resultado com 86 % enquanto a menor eficiência foi de 47% para a Rota 25, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9: Ranking de eficiência em coleta convencional – coleta noturna



O valor da eficiência média para as coletas realizadas no período diurno e noturno foi bastante próximo para as diferentes rotas estudadas (67% para amostragem diurna e 69% para amostragem noturna). Considerando como valor potencial de eficiência o maior valor calculado (91% calculado para

Rota 11 da amostragem diurna) considera-se que há um importante potencial a ser explorado de aumento da eficiência da coleta seletiva no Município de Blumenau. Na média para a coleta convencional a eficiência poderia melhorar 23%, este valor corresponde a diferença entre o valor médio encontrado e o valor potencial. Essa melhoria permitiria um melhor uso dos aterros sanitários já que uma menor quantidade de resíduos seria para eles destinada gerando um aumento de material reciclado.

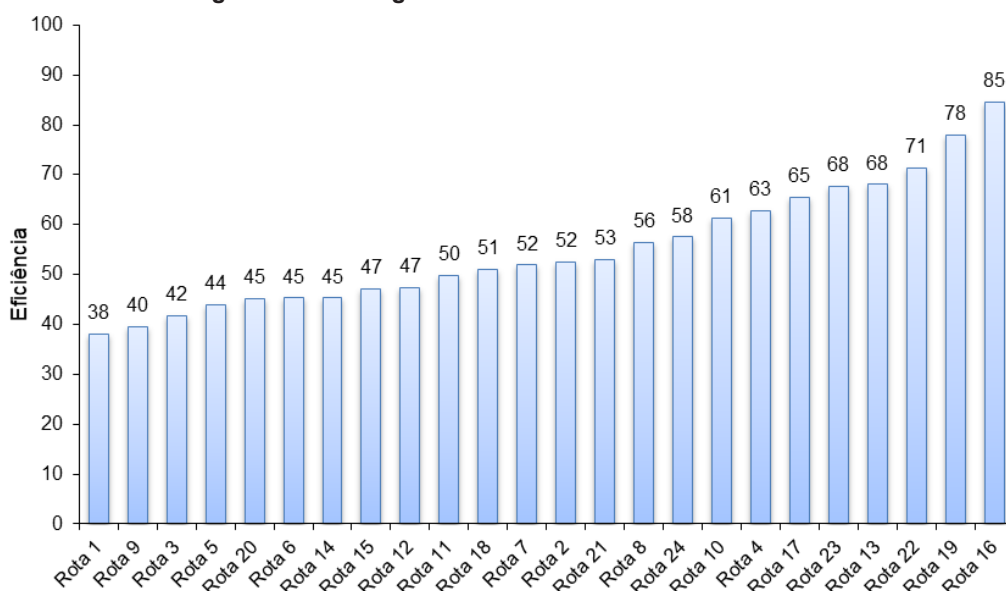
Algumas medidas como a implementação de educação ambiental, incentivos econômicos e tributários, e a gamificação podem ser utilizadas como estratégias para estimular a separação de resíduos recicláveis. A disponibilização de pontos de coleta seletiva junto com a educação ambiental tem potencial de aumentar a adesão da população a separação dos resíduos. Incentivos econômicos e tributários como programas que oferecem descontos em taxas de lixo para domicílios que participam da coleta seletiva, ou isenções fiscais para empresas que reciclam também são eficazes. Já a gamificação consiste em premiar o cidadão com pontos, descontos ou benefícios sociais por descartarem resíduos recicláveis corretamente.

Separar os resíduos entre orgânico e reciclável (coleta seletiva) desempenha um papel crucial tanto na preservação ambiental quanto na economia global. Sobre a óptica da sustentabilidade, essa prática reduz significativamente a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários. Além disso, facilita o processo de reciclagem, permitindo que materiais como papel, plástico, vidro e metal sejam reutilizados na fabricação de novos produtos, economizando recursos naturais e energia. Do ponto de vista econômico, a separação adequada dos resíduos contribui para a criação de empregos na indústria de reciclagem e na gestão de resíduos, promovendo o crescimento sustentável e a inovação tecnológica. Reduzir a quantidade de resíduos enviados para aterros também diminui os custos associados ao tratamento de resíduos, beneficiando governos, empresas e consumidores. Portanto, incentivar e praticar a separação correta dos resíduos não apenas protege o meio ambiente, mas também fortalece a economia.

4.2 Cálculo de indicadores de eficiência para coleta seletiva

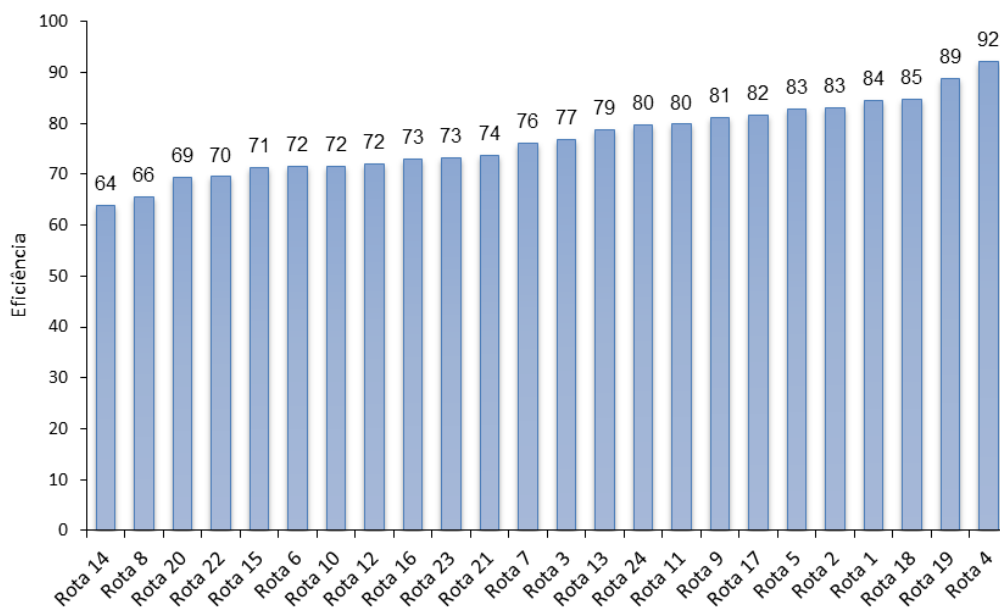
Com a aplicação da equação 2 calculou-se a eficiência para coleta seletiva de resíduos. A partir dos dados apresentados na Tabela 5 foram calculados e apresentados na Figura 10 os resultados da eficiência da coleta seletiva para cada uma das rotas estudadas da coleta diurna. A rota mais eficiente foi novamente a Rota 16 do bairro Glória com 85% de eficiência. Já no extremo oposto encontra-se a Rota 1 com eficiência da coleta seletiva de apenas 38%.

Figura 10: Ranking de eficiência em coleta seletiva – coleta diurna



Na Figura 11 são apresentados os valores de eficiência da coleta seletiva realizado no período noturno. O menor valor de eficiência encontrado foi de 64%, calculado para a rota 14 enquanto a maior eficiência foi de 92% para a Rota 4.

Figura 11: Ranking de eficiência em coleta seletiva – coleta noturna



Diferentemente do que foi observado para a coleta convencional para coleta seletiva se observou uma diferença grande entre a amostragem realizada no período diurno e a do período noturno. Enquanto a amostragem das coletas realizadas no período diurno oscilou entre 38% e 85% no período noturno essa variação foi de 64% a 92, ou seja, bastante menor.

Considerando-se que o potencial de eficiência da separação de coleta seletiva é 92% em média um aumento da eficiência de 26% poderia ser obtido. Esse aumento pode chegar a 54% para a Rota 1 da coleta seletiva diurna. Essa melhora potencial pode ser alcançada através da implementação de fiscalização e incentivos. O município poderia aplicar penalidades para quem misturar resíduos não recicláveis (em casos recorrentes) na coleta seletiva. Programas de recompensa também poderiam ser uma alternativa para estimular quem separa corretamente os resíduos recicláveis. A divulgação de feedback em condomínios, divulgando relatórios mensais quantificando a qualidade da separação também poderia contribuir para melhora na eficácia da separação.

Idealmente, uma eficiência próxima a 100% seria o objetivo final, onde todos os materiais recicláveis fossem separados corretamente e processados para reciclagem, minimizando ao máximo a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários. Na prática, alcançar essa eficiência é desafiador devido a várias razões das quais se destaca a falta de conscientização pública. No entanto, muitas comunidades e países estabelecem metas específicas de reciclagem e implementam políticas para aumentar a eficiência na separação de resíduos recicláveis. Essas políticas frequentemente incluem educação pública sobre práticas adequadas de separação de resíduos, investimentos em infraestrutura de coleta seletiva e incentivos econômicos para empresas e consumidores que adotarem práticas separação de resíduos recicláveis.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Blumenau possui cerca de 380 mil habitantes e não é tarefa fácil lidar com os re-

síduos gerados por esse número elevado de moradores. A análise de dados gravimétricos auxilia na identificação das rotas com melhor e piores eficiências da coleta orgânica e seletiva. A análise mostra que em determinadas rotas a eficiência chega ultrapassar 90% contudo em outras se encontram valores abaixo de 50%, ou seja, existe um potencial de melhoria que pode ser alcançado caso sejam criadas iniciativas que foquem no aumento da eficiência da separação dos resíduos.

No caso da coleta convencional o aumento da eficiência traria grandes benefícios ambientais para a cidade, como a diminuição do volume ocupado em aterros sanitários e consequentemente um aumento da coleta seletiva do município. Por outro lado, o aumento da eficiência da coleta seletiva traria benefícios econômicos ao município haja vista que os rejeitos não reciclados (que foram destinados a coleta seletiva) deverão encaminhados ao aterro sanitário. Como o custo da coleta seletiva é superior ao custo da coleta convencional aumentam-se os gastos com recursos públicos.

Por fim, destaca-se que uma gestão eficiente de resíduos pressupõem não somente uma infraestrutura de coleta e separação dos resíduos, mas também a conscientização da população quanto a importância da correta separação dos resíduos encaminhados tanto a coleta convencional quanto à coleta seletiva.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Índice de reciclagem no Brasil é de apenas 4%, diz Abrelpe. *Estado de Minas*, Belo Horizonte, 6 jun. 2022. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/nacional/2022/06/06/inter-na_nacional,1371426/indice-de-reciclagem-no-brasil-e-de-apenas-4-diz-abrelpe.shtml. Acesso em: 19/06/2025.

ALKMIN, D. V.; RIBEIRO JUNIOR, L. U. Análise dos impactos ambientais no solo e na água oriundos do lançamento de resíduos sólidos no lixão do município de Maria da Fé – MG. 2016. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Centro Universitário de Itajubá, Maria da Fé, 2016.

ALVES, J. E. D. A população nos 200 anos da Independência (1822-2022) do Brasil. *EcoDebate*, 06 jan. 2016. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2016/01/06/a-populacao-nos-200-anos-da-independencia-1822-2022-do-brasil-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. Acesso em: 19 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 21 p.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *Norma Regulamentadora nº 20 (NR 20) – Segurança e Saúde no Trabalho com inflamáveis e combustíveis*. Brasília, DF: MTE, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-20-atualizada-2023.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2025.

ECONODATA. Empresas em Blumenau/SC. Econodata, [s.l.], [2022]. Disponível em: <https://www.econodata.com.br/empresas/sc-blumenau>. Acesso em: 20 dez. 2022.

EMBAPEL. Os 5 países que mais reciclam no mundo. Embapel, [s.l.], 2023. Disponível em: <https://embapel.com.br/os-5-paises-que-mais-reciclam-no-mundo/>. Acesso em: 19 jun. 2025.

IBGE. Estimativa da população residente para os municípios brasileiros em 2025. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2024/estimativa_dou_2024.pdf.

Acesso em: 19 jun. 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. ISSN 2178-4353 (SÉRIE GESTÃO AMBIENTAL 12): Estudo da Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, 2021. 15 p.

MCNEILL, J. R. Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World. New York: W.W. Norton & Company, 2000.

MARSHALL, R. E.; FARAHBAKHS, K. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. Sciencedirect, Guelph, v. 33, n. 4, p. 783-1034, 2012.

MONTEIRO, D. P. Inversão gravimétrica 2d eficiente e estável do relevo do embasamento descontínuo. 2019. 37 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

MOURA, A. A.; ARCHANJO, C. R.; LIMA, W. S. Análise da composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso - município de Itaúna- MG. Synthesis: Revista Digital FAPAM, Pará de Minas, v. 0, n. 0, p. 1-13, 2012.

Rezende, J. H.; Carboni, M.; Murgel, M. A. T.; Capps, A. L. A. P.; Teixeira, H. L.; Simões, G. T. C.; Russi, R. R.; Lourenço, B. L. R.; Oliveira, C. A. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). Engenharia Sanitária e Ambiental, Jaú, p. 1-8, 11 mar. 2013.