UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TÂNIA GALAVOTE PINTO

ABORDAGEM INTEGRADA PARA APOIO DE POLÍTICAS PÚBLICAS VOLTADAS À GESTÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES: INTEGRAÇÃO ENTRE FATORES COMPORTAMENTAIS, INSTRUMENTOS POLÍTICOS E MODELAGEM DE SISTEMAS

VITÓRIA, ES
2026

TÂNIA GALAVOTE PINTO

ABORDAGEM INTEGRADA PARA APOIO DE POLÍTICAS PÚBLICAS VOLTADAS À GESTÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES: INTEGRAÇÃO ENTRE FATORES COMPORTAMENTAIS, INSTRUMENTOS POLÍTICOS E MODELAGEM DE SISTEMAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do grau de Doutora em Engenharia Ambiental.

Orientador:
Prof. Dr. Renato Ribeiro Siman

Coorientadora:
Profª. Drª. Gisele de Lorena Diniz Chaves

VITÓRIA, ES

2026

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

Galavote Pinto, Tânia, 1989-
G146a Abordagem integrada para apoio de políticas públicas voltadas à gestão de resíduos domiciliares: integração entre fatores comportamentais, instrumentos políticos e modelagem de sistemas / Tânia Galavote Pinto. - 2026.
320 p. : il.

Orientador: Renato Ribeiro Siman.
Coorientadora: Gisele de Lorena Diniz Chaves.
Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Coleta seletiva de lixo. 2. Administração local e política ambiental. 3. Gestão integrada de resíduos sólidos. 4. Educação ambiental. 5. Administração de recompensas e incentivos. 6. Analistas de comportamento. I. Siman, Renato Ribeiro. II. Chaves, Gisele de Lorena Diniz. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 628

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ABORDAGEM INTEGRADA PARA APOIO AO PLANEJAMENTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS VOLTADAS À GESTÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES: INTEGRAÇÃO ENTRE FATORES COMPORTAMENTAIS, INSTRUMENTOS POLÍTICOS E MODELAGEM DE SISTEMAS

TÂNIA GALAVOTE PINTO

Banca Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
RENATO RIBEIRO SIMAN
Data: 15/09/2026 16:06:50-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Renato Ribeiro Siman
Orientador e Presidente - PPGEA/CT/UFES

gov.br Documento assinado digitalmente
GISELE DE LORENA DINIZ CHAVES
Data: 15/09/2026 17:34:01-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Gisele de Lorena Diniz Chaves
Coorientadora - PPGEA/CT/UFES

gov.br Documento assinado digitalmente
RODRIGO DE ALVARENGA ROSA
Data: 16/09/2026 11:58:28-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Rodrigo de Alvarenga Rosa
Examinador Interno - UFES

gov.br Documento assinado digitalmente
MARIA CLAUDIA LIMA COUTO
Data: 16/09/2026 14:18:40-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Maria Cláudia Lima Couto
Examinadora Externa - IFES

gov.br Documento assinado digitalmente
KATIA SAKIHAMA VENTURA
Data: 16/09/2026 10:57:05-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Katia Sakihama Ventura
Examinadora Externa – UFSCar

gov.br Documento assinado digitalmente
RICARDO AUGUSTO CASSEL
Data: 16/09/2026 11:46:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Ricardo Augusto Cassel
Examinador Externo – UFSC

gov.br Documento assinado digitalmente
NEYVAL COSTA REIS JUNIOR
Data: 16/09/2026 15:27:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

NEYVAL COSTA REIS JUNIOR
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Vitória/ES, 10 de setembro de 2026

À criança que um dia fui: a realidade não permitia que você sonhasse tão longe. Mas, se pudesse ver onde chegamos, sei que teria muito orgulho de nós.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional ao longo de toda a minha trajetória. Sou profundamente grata pela dedicação, pelos esforços e pelos inúmeros sacrifícios que fizeram para me proporcionar oportunidades que vocês não tiveram. Nada disso seria possível sem o amor, o incentivo e a confiança que sempre depositaram em mim.

À minha família, agradeço pelo carinho, pelas palavras de incentivo e por estarem presentes, mesmo nos momentos mais desafiadores desta caminhada.

Aos queridos amigos que estiveram ao meu lado durante essa jornada, agradeço pelos conselhos, pelo apoio e pelos momentos de leveza e descontração, tão importantes para que eu pudesse seguir em frente.

A todos os amigos do Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental (LAGESA), agradeço por compartilharem experiências, desafios, aprendizados e inúmeras histórias ao longo dos anos em que estive no laboratório. O companheirismo, a amizade e o apoio de cada um tornaram essa caminhada mais leve e deixaram lembranças e ensinamentos que levarei para sempre.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato Ribeiro Siman, e à minha coorientadora, Profa. Dra. Gisele de Lorena Diniz Chaves, expresso minha sincera gratidão pela confiança, paciência, dedicação e disponibilidade ao longo dos sete anos de orientação. Os ensinamentos, as discussões e o incentivo de ambos foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao Dr. Rodrigo Pratte, agradeço por toda a ajuda oferecida ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os moradores da cidade de Vitória que participaram desta pesquisa, agradeço por dedicarem parte do seu tempo para responder aos questionários. A colaboração de cada participante foi essencial para a realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), agradeço pelo apoio financeiro, fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e fizeram parte desta importante etapa da minha vida.

"Você não pode esperar construir um mundo melhor sem melhorar os indivíduos. Para esse fim, cada um de nós deve trabalhar para o seu próprio aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, compartilhar uma responsabilidade geral por toda a humanidade."

Marie Curie

RESUMO

O manejo adequado dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) constitui um dos principais desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas, sobretudo em países em desenvolvimento, onde o crescimento populacional e a urbanização acelerada intensificam a geração de resíduos. Nesse cenário, a separação dos Resíduos Domiciliares (RDO) na fonte é etapa fundamental para viabilizar a reciclagem, a compostagem e a recuperação energética, dependendo do engajamento dos geradores e da eficácia das políticas públicas adotadas. Neste sentido, esta tese teve como objetivo geral integrar abordagens comportamentais e de modelagem para subsidiar o planejamento de políticas voltadas ao aumento da separação de RDO na fonte e ao aprimoramento da sustentabilidade ambiental e financeira dos sistemas de gestão de RSU em países em desenvolvimento.

Para tanto, a pesquisa foi estruturada em três estudos, organizados em forma de artigos e distribuídos em capítulos sequênciais. O primeiro investigou, com base na Teoria do Comportamento Planejado (TCP), os determinantes psicossociais da separação de RDO recicláveis secos e verdes, utilizando Modelagem de Equações Estruturais e análise de clusters. O segundo ampliou essa análise ao investigar a influência de fatores sociodemográficos, infraestrutura e instrumentos econômicos na participação em programas de coleta seletiva, propondo estratégias adaptadas às características territoriais. O terceiro integrou os conhecimentos anteriores a um modelo de Dinâmica de Sistemas, avaliando, por simulação de cenários e análise multicritério, os efeitos de longo prazo sobre o comportamento de separação, a recuperação de materiais, a redução da disposição em aterros e a sustentabilidade financeira.

Os resultados demonstraram que atitude e controle comportamental percebido são os principais determinantes da separação, com efeito não significativo das normas subjetivas; gerações mais velhas mostraram-se menos sensíveis a incentivos financeiros, enquanto pessoas de menor renda foram mais receptivas. Constatou-se também uma lacuna entre conscientização e prática: embora 98% dos participantes reconheçam a importância da separação dos resíduos, apenas 36% a realizam. Essa discrepância foi mais evidente entre jovens e grupos de menor renda, sendo associada principalmente à infraestrutura precária e à falta de informação. Além disso, observou-se que as gerações mais velhas tendem a preferir a cobrança por taxa fixa, enquanto os mais jovens demonstram maior aceitação da cobrança variável. A modelagem sistêmica demonstrou que a integração entre educação ambiental e expansão da coleta seletiva elevou a separação, a reciclagem e a compostagem, reduzindo a dependência de aterros. A venda de créditos de carbono mostrou potencial para reduzir déficits financeiros, embora

cenários mais eficientes ambientalmente apresentassem maiores custos, evidenciando *trade-off* entre desempenho ambiental e financeiro. Neste sentido, cenários intermediários destacaram-se por equilibrar esses aspectos, sendo mais compatíveis com contextos de restrições financeiras.

A efetividade das políticas públicas de gestão de RDO depende da interação entre o comportamento da população, suas preferências quanto aos instrumentos de gestão e a coordenação no planejamento e implementação dessas estratégias. A tese contribui cientificamente ao integrar múltiplas abordagens metodológicas em uma estrutura analítica única e, na prática, oferece a gestores públicos um instrumento de apoio à decisão para políticas mais eficientes e adaptadas a diferentes realidades locais.

Palavras-chave: Comportamento pró-ambiental; Coleta seletiva; Política pública; Dinâmica de Sistemas; Gestão de resíduos domiciliares.

ABSTRACT

Adequate management of Municipal Solid Waste (MSW) is one of the main challenges facing contemporary cities, particularly in developing countries, where population growth and rapid urbanization drive up waste generation. Source separation of Household Solid Waste (HSW) is essential for enabling recycling, composting, and energy recovery, and its success hinges on generator engagement and the effectiveness of public policy instruments. This thesis integrates behavioral and modeling approaches to support policy planning to increase HSW source separation and improve the environmental and financial sustainability of MSW management systems in developing countries.

The research was structured into three studies, organized as articles and presented in sequential chapters. The first study draws on the Theory of Planned Behavior (TPB) to examine the psychosocial determinants of separating recyclables and green waste, using structural equation modeling and cluster analysis. The second study extends this analysis by examining how sociodemographic factors, infrastructure, and economic instruments shape participation in selective collection programs, proposing implementation strategies tailored to local territorial characteristics. The third study integrates findings from the first two into a System Dynamics (SD) model to assess, through scenario simulation and multicriteria analysis, the long-term effects of different strategy combinations on separation behavior, material recovery, landfill diversion, and financial sustainability.

Results show that attitude and perceived behavioral control are the main determinants of separation behavior, while subjective norms have no significant effect. Older generations are less responsive to financial incentives, whereas lower-income individuals are more receptive to reward-based schemes. A gap emerged between awareness and practice: although 98% of respondents recognized the importance of waste separation, only 36% actively practiced it. This discrepancy was particularly evident among younger and lower-income groups and was associated with inadequate infrastructure and limited access to information. Additionally, older generations preferred flat-rate fees, whereas younger individuals showed greater acceptance of volume-based variable pricing. SD modeling shows that combining environmental education with expanded selective collection increases separation, recycling, and composting rates while reducing landfill dependency. Carbon credit sales show potential to offset financial deficits, though the most environmentally efficient scenarios also incur the highest operational costs, revealing clear trade-offs between environmental and financial performance. Intermediate

scenarios strike the best balance between these dimensions, making them more viable for financially constrained contexts.

The effectiveness of public policies for HSW management depends on the interaction between population behavior, preferences regarding management instruments, and coordinated strategy planning and implementation. This thesis contributes scientifically by integrating multiple methodological approaches into a single analytical framework and, practically, by offering public managers a decision-support tool for designing more efficient policies adapted to diverse local contexts.

Keywords: Pro-environmental behavior; Selective collection; Public policy; System Dynamics; Household solid waste management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura lógica da tese e relação entre os objetivos específicos e os artigos que a compõem. 33
Figura 2 - Modelo hipotético para o estudo do comportamento de separação na fonte. 42
Figura 3: Localização da área de estudo. 43
Figura 4 - Evolução do manejo de resíduos sólidos urbanos em Vitória entre 2010 e 2024. ..44
Figura 5 - Indicadores de manejo do RSU em Vitória: Custos, receitas e razão receita/custo do manejo de resíduos (2011–2024). 45
Figura 6 - Etapas do processo de análise dos dados. 50
Figura 7 - Resultados do modelo de equações estruturais para a separação de resíduos domiciliares (a) recicláveis secos e (b) verdes, com base na versão modificada da Teoria do Comportamento Planejado. 62
Figura 8 -Frequência de respostas positivas dos indicadores nos modelos de separação de resíduos domiciliares (a) recicláveis secos e (b) verdes. 67
Figura 9 - Comportamento de Separação de Resíduos Recicláveis (CSR) em função das Normas Subjetivas (NSR), da Atitude (ATR) e do Controle Comportamental Percebido (CCR), mantendo-se um dos construtos fixo em (a, d, g) 0,0; (b, e, h) 0,4; ou (c, f, i) 0,8. 69
Figura 10 - Comportamento de Separação de Resíduos Verdes (CSV) em função das Normas Subjetivas (NSV), da Atitude (ATV) e do Controle Comportamental Percebido (CCV), mantendo-se um dos construtos fixo em (a, d, g) 0,0; (b, e, h) 0,4; ou (c, f, i) 0,8. 70
Figura 11 - Representação dos perfis de comportamento de separação de resíduos. (a) Gráfico radar e (b) gráfico de dispersão. 76
Figura 12 - Influência da faixa etária sobre o nível de conscientização ambiental em relação à importância da separação dos resíduos recicláveis. 97
Figura 13 - Influência da faixa etária sobre a percepção dos canais mais eficazes para aquisição de informações relacionadas à separação dos resíduos sólidos domiciliares. 98
Figura 14 - Influência da faixa etária e da classe socioeconômica sobre (a) o conhecimento da localização dos Pontos de Entrega Voluntária próximos à residência e (b) a participação no programa municipal de coleta seletiva. 99
Figura 15 - Influência da faixa etária sobre a percepção das barreiras relacionadas à separação dos resíduos sólidos domiciliares na fonte. 100
Figura 16 - Disposição dos moradores em entregar resíduos recicláveis em Pontos de Entrega Voluntária convencionais e incentivados. 102

Figura 17 - Influência da faixa etária e da classe socioeconômica sobre a disposição em deslocar-se até os Pontos de Entrega Voluntária para destinação de resíduos recicláveis: (a) sem incentivos e (b) com incentivos financeiros. 103
Figura 18 - (a) Preferências dos moradores em relação aos incentivos para a separação dos resíduos sólidos domiciliares na fonte e (b) influência da faixa etária sobre essas preferências. 105
Figura 19 - Influência da (a) faixa etária e da (b) classe socioeconômica sobre as preferências pelos sistemas de cobrança dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares não separados. 108
Figura 20 - Disposição dos moradores em pagar pelos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares não separados antes e após receberem informações sobre o atual sistema municipal de cobrança. 109
Figura 21 - Influência da faixa etária e da classe socioeconômica sobre a disposição para pagar pela gestão dos resíduos sólidos domiciliares não separados. 110
Figura 22 - Priorização das estratégias propostas para a coleta seletiva por Região Administrativa do município de Vitória. 113
Figura 23 - Diagrama de causa e efeito para os principais fatores que influenciam financeiramente o manejo do RDO. 127
Figura 24 - Diagrama de estoque e fluxo para avaliação do impacto financeiro do manejo do RDO, composto pelos subsistemas: (a) comportamento de separação; (b) fluxo de massa do RDO separado e não separado; (c) estimativa dos custos e (d) das receitas. 129
Figura 25 - Resultados da análise de sensibilidade das variáveis de interesse ao longo do horizonte de 20 anos. 137
Figura 26 - Descrição dos grupos de cenários simulados. 138
Figura 27 - Evolução temporal da taxa de reciclagem do RDO reciclável seco em diferentes cenários. 141
Figura 28 - Cenários de estratégias de intervenção e seus efeitos sobre a reciclagem de secos e compostagem: (a) evolução temporal das taxas; (b) comparação entre comportamento de separação e reciclagem efetiva; e (c) eficiência do sistema em relação à condição i 142
Figura 29 - Distribuição do manejo de resíduos por cenário com instrumentos econômicos 145
Figura 30 - Evolução temporal do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares sob diferentes cenários de otimização operacional da coleta seletiva. 147
Figura 31 - Evolução temporal do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares sob diferentes cenários de valorização dos resíduos. 148

Figura 32 - Impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares sob diferentes cenários com inserção no mercado de crédito de carbono: (a) evolução temporal do impacto financeiro e (b) comparação entre custos e receitas no ano final (ano 20). 150
Figura 33 - Desempenho incremental dos grupos de cenários em relação ao cenário de referência (BAU) para indicadores econômicos, operacionais e ambientais 152
Figura 34 - Indicadores de custo dos grupos de cenários avaliados: (a) custo per capita e custo por tonelada destinada adequadamente; e (b) custo marginal por tonelada adicional desviada do aterro sanitário. 153
Figura 35 - Ranking multicritério dos cenários de manejo de RDO pelo método TOPSIS no ano final (20º ano). 154
Figura 36 - Importância relativa das políticas públicas para o Score TOPSIS estimada por Random Forest. 157
Figura 37 - Desempenho comparativo dos indicadores de gestão do RDO para o cenário BAU e os cenários avaliados. 158
Figura 38 - Tamanho mínimo da amostra para modelagem de equações estruturais. 237
Figura 39 - Avaliação do efeito de supressão no caminho direto entre Normas Subjetivas e o Comportamento de Separação de Resíduos Secos (SBR) em modelos simplificados. 238
Figura 40 - Avaliação do efeito de supressão no caminho direto entre Normas Subjetivas e o Comportamento de Separação de Resíduos Verdes (SBG) em modelos simplificados. 239
Figura 41 - Resultado do teste de consistência dimensional. 261
Figura 42 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) comportamento de separação do RDO seco e (b) comportamento de separação do RDO verde, em função do percentual de recicláveis secos e verdes no RDO. 262
Figura 43 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) geração total de RDO, (b) RDO seco reciclável separado e (c) RDO verde separado, em função da geração per capita de RDO. 263
Figura 44 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) disposição inadequado do RDO e (b) rejeito, em função do aumento da taxa de descarte inadequado. 264
Figura 45 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Rejeito, (b) RDO reciclável seco e (c) RDO reciclável verde, em função da expansão da coleta seletiva. 265
Figura 46 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) geração total de RDO e (b) aterro sanitário, em função da taxa de geração do RDO. 266
Figura 47 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) aterro Sanitário e (b) aproveitamento energético, em função do percentual de rejeito enviado para aterro. 267

Figura 48 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função do aumento da população atendida por estratégias de educação ambiental. 268
Figura 49 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função do custo da coleta seletiva. 269
Figura 50 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função dos custos da coleta convencional e manutenção dos pontos viciados. 270
Figura 51 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função dos custos de disposição final e produção de CDR. 271
Figura 52 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função dos custos de compostagem e triagem dos recicláveis secos. 272
Figura 53 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Receitas – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função do imposto sob propriedade. 273
Figura 54 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Receitas – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função das receitas com CDR 274
Figura 55 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Receitas – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função das receitas com a venda de materiais secos e composto 275
Figura 56 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Receitas – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função das receitas com crédito de carbono. 276
Figura 57 - Resultados do teste de erro de integração para as variáveis (a) Aterro Sanitário, (b) Receitas - Manejo do RDO e (c) Custos - Manejo do RDO 277
Figura 58 - Níveis de implementação da variável Efeito da Coleta porta a porta - RDO Seco. 301
Figura 59 - Níveis de implementação da variável Efeito da Coleta por ponto - RDO Seco. . 301
Figura 60 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental - RDO Seco. 302
Figura 61 - Níveis de implementação da variável Efeito da cobrança – manejo do RDO Seco. 302
Figura 62 - Níveis de implementação da variável Efeito da recompensa – entrega do RDO Seco. 303

Figura 63 - Níveis de implementação da variável Efeito da Coleta porta a porta - RDO Verde. 303
Figura 64 - Níveis de implementação da variável Efeito da Coleta por ponto - RDO Verde.304
Figura 65 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental - RDO Verde. 304
Figura 66 - Níveis de implementação da variável Efeito da cobrança – manejo do RDO Verde. 305
Figura 67 - Níveis de implementação da variável Efeito da recompensa – entrega do RDO Verde. 305
Figura 68 - Níveis de implementação da variável Ampliação CS RDO verde por pontos. ...306
Figura 69 - Níveis de implementação da variável Ampliação CS RDO verde porta a porta. 306
Figura 70 - Níveis de implementação da variável Ampliação CS RDO seco porta a porta. ..307
Figura 71 - Níveis de implementação da variável Ampliação CS RDO seco por pontos. 307
Figura 72 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes. 308
Figura 73 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos. 308
Figura 74 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental no descarte inadequado. 309
Figura 75 - Níveis de implementação da variável % População atendida por recompensas. .309
Figura 76 - Níveis de implementação da variável taxa de aterro. 310
Figura 77 - Níveis de implementação da variável % residências cobradas por meio de IPTU. 310
Figura 78 - Níveis de implementação da variável Otimização – CS Verde por porta a porta. 311
Figura 79 - Níveis de implementação da variável Otimização – CS Seco por porta a porta. 311
Figura 80 - Níveis de implementação da variável Otimização – CS Verde por ponto.....312
Figura 81 - Níveis de implementação da variável Otimização – CS Seco por ponto.....312
Figura 82 - Níveis de implementação da variável Variabilidade do Valor de CC. 313
Figura 83 - Níveis de implementação da variável % Valorização do CDR. 313
Figura 84 - Níveis de implementação da variável % Valorização do Compostado. 314
Figura 85 - Níveis de implementação da variável % Valorização dos recicláveis. 314
Figura 86 - Evolução temporal do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares recicláveis secos em diferentes cenários de estratégias de intervenção. 317

Figura 87 - Evolução temporal dos impactos financeiros do manejo de RDO recicláveis secos e verdes em diferentes cenários de estratégias de intervenção. 317
Figura 88 - Comparação do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares em diferentes cenários de intervenção: (a) resíduos recicláveis secos (Grupo I); e (b) resíduos recicláveis secos e verdes (Grupo II), considerando custos e receitas no ano final (ano). 318
Figura 89 - Evolução temporal do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares sob diferentes cenários com instrumentos econômicos. 318
Figura 90 - Comparação entre custos e receitas do manejo de resíduos domiciliares no ano final da simulação (ano 20) sob diferentes cenários de implementação de instrumentos econômicos. 319
Figura 91 - Comparação entre custos e receitas do manejo de resíduos domiciliares no ano final da simulação (ano 20) sob diferentes cenários de otimização da coleta seletiva. 319
Figura 92 - Evolução das receitas associadas à cobrança de resíduos (IPTU e PAYT) sob diferentes cenários. 320
Figura 93 - Comparação entre custos e receitas do manejo de resíduos domiciliares no ano final da simulação (ano 20) sob diferentes cenários de valorização de resíduos. 320

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações demográficas, econômicas e da estrutura etária por Região Administrativa do município de Vitória. 44
Tabela 2 - Caracterização da amostra (n = 392). 50
Tabela 3 - Cargas fatoriais e indicadores de confiabilidade e validade convergente dos modelos para resíduos recicláveis secos e verdes. 55
Tabela 4 - Validade discriminante avaliada pelo método HTMT. 56
Tabela 5 - Validade discriminante com base no critério de Fornell-Larcker. 57
Tabela 6 - Valores do Fator de Inflação da Variância (VIF) para os modelos de resíduos recicláveis e resíduos verdes. 57
Tabela 7 - Coeficientes de caminho, estatísticas t e resultados das hipóteses do modelo de equações estruturais por mínimos quadrados parciais. 59
Tabela 8 - Valores de Q^2 preditivo. 63
Tabela 9 - Efeitos de mediação e Variância Explicada pela Mediação (VAF) nos modelos de separação de resíduos recicláveis e resíduos verdes. 65
Tabela 10 - Análise de variância das variáveis demográficas. 66
Tabela 11 - Caracterização da amostra (n = 392). 92
Tabela 12 - Parâmetros de entrada do modelo no cenário base (BAU). 134
Tabela 13 - Matriz de correlação das variáveis latentes no modelo de equações estruturais para resíduos recicláveis. 240
Tabela 14 - Matriz de correlação das variáveis latentes no modelo de equações estruturais para resíduos verdes. 240
Tabela 15 - Cargas cruzadas (*cross-loadings*) dos indicadores associados ao modelo de resíduos recicláveis. 241
Tabela 16 - Cargas cruzadas (*cross-loadings*) dos indicadores associados ao modelo de resíduos verdes. 241
Tabela 17 - Estatísticas descritivas das variáveis latentes no modelo de equações estruturais para resíduos recicláveis. 242
Tabela 18 - Estatísticas descritivas das variáveis latentes no modelo de equações estruturais para resíduos verdes. 242
Tabela 19 - Razões HTMT e intervalos de confiança *bootstrap* (95%) para o modelo de resíduos recicláveis. 243

Tabela 20 - Razões HTMT e intervalos de confiança *bootstrap* (95%) para o modelo de resíduos verdes. 243
Tabela 21 - Índices de ajuste do modelo PLS-SEM (resíduos recicláveis secos). 244
Tabela 22 - Índices de ajuste do modelo PLS-SEM (resíduos verdes). 244
Tabela 23 - Resultados do teste de hipóteses para o estabelecimento da hierarquia das estratégias de política pública. 251
Tabela 24 - Coordenadas dos Pontos de Entrega Voluntária (PEV) por Região Administrativa. 252
Tabela 25 - Coordenadas dos Pontos de Entrega Incentivada (PEI) por Região Administrativa. 253
Tabela 26 - Resultados do teste de erro de integração. 278
Tabela 27 - Tipos de distribuições dos dados (Normal, Beta e Gama aleatórias), parâmetros e fontes utilizados na análise de sensibilidade. 279
Tabela 28 - Parâmetros utilizados para a confecção dos cenários. 297
Tabela 29 - Resultados dos indicadores utilizados na análise multicritério TOPSIS dos cenários simulados. 315

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Construtos do modelo modificado da Teoria do Comportamento Planejado e respectivas afirmações do questionário. 48
Quadro 2 - Estratégias para promover o comportamento de separação de resíduos na fonte pelos cidadãos 82
Quadro 3 - Classificação das estratégias para promover a separação do RDO na fonte e suas respectivas variáveis. 94
Quadro 4 - Priorização proposta das estratégias de políticas públicas para cada Região Administrativa do município de Vitória, ES, conforme definido neste estudo. 117
Quadro 5 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do questionário sobre fatores psicossociais que impactam na separação dos resíduos domiciliares..... 214
Quadro 6 - Questionário aplicado com base na Teoria do Comportamento Planejado (TCP) para avaliar a separação dos resíduos domiciliares. 215
Quadro 7 - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do questionário sobre a aceitação de políticas públicas para a separação dos resíduos domiciliares. 245
Quadro 8 - Questionário sobre a aceitação de instrumentos de políticas públicas para a separação dos resíduos domiciliares. 246
Quadro 9 - Classificação dos bairros do município de Vitória por Região Administrativa. .. 250
Quadro 10 - Lista de equações do subsistema de comportamento de separação do RDO. 254
Quadro 11 - Lista de equações do subsistema de fluxo de massa do RDO separado e não separado. 255
Quadro 12 - Lista de equações do subsistema de custos do manejo do RDO. 258
Quadro 13 - Lista de equações do subsistema de receitas decorrentes do tratamento e da destinação do RDO. 260
Quadro 14 - Cenários de gestão de resíduos recicláveis secos: educação ambiental e coleta seletiva. 282
Quadro 15 - Cenários do Grupo I: Gestão de resíduos secos com educação ambiental e expansão da coleta seletiva. 283
Quadro 16 - Cenários de gestão de resíduos recicláveis secos e verdes: educação ambiental e coleta seletiva. 285
Quadro 17 - Cenários do Grupo II: Gestão de resíduos secos com educação ambiental e expansão da coleta seletiva. 286

Quadro 18 - Cenários de gestão de resíduos recicláveis secos e verdes: educação ambiental, instrumentos econômicos e coleta seletiva. 288
Quadro 19 - Cenários do Grupo III: Gestão de resíduos secos com educação ambiental e expansão da coleta seletiva. 289
Quadro 20 - Cenários de alternativas de reequilíbrio econômico: otimização da coleta seletiva, valorização de produtos e mercado de carbono. 292
Quadro 21 - Cenários do Grupo IV: Alternativas de reequilíbrio econômico: otimização de coleta seletiva, valorização de produtos e mercado de carbono. 294
Quadro 22 - Equações derivadas dos valores apresentados na Tabela S5, utilizadas para a elaboração dos cenários analisados. 299

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEP	Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos
ANOVA	Análise de variância
ATR	Atitude dos Recicláveis secos
ATV	Atitude dos Resíduos verdes
AVE	Variância Média Extraída (*Average Variance Extracted*)
BAU	*Business as Usual*
BRL	Real brasileiro
CAE	Contribuição positiva do aproveitamento energético (t)
CAS	Contribuição positiva da redução da disposição em aterro sanitário (t)
CC	Crédito de Carbono
CCP	Controle Comportamental Percebido
CCR	Controle Comportamental Percebido dos Recicláveis
CCV	Controle Comportamental Percebido dos resíduos Verdes
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CIF	Contribuição positiva do impacto financeiro
CONEP	Comissão Nacional de Ética em Pesquisa
CRS	Contribuição positiva da reciclagem de resíduos secos (t)
CRV	Contribuição positiva da reciclagem da fração verde (t)
CS	Coleta Seletiva
CSR	Comportamento de Separação de Resíduos Recicláveis
CSV	Comportamento de Separação de Resíduos Verdes
DEN	Disposição de Entregar voluntariamente os resíduos para a coleta seletiva
DIN	Distância Ideal Negativa
DIP	Distância Ideal Positiva
DPA	Disposição a Pagar pela gestão dos resíduos
DPD	Disposição a Percorrer Distâncias até os pontos de coleta
DRI	Disposição a Receber Incentivos pela Entrega
EA	Educação Ambiental
EC	Economia Circular
GEE	Gases de Efeito Estufa

HTMT *Heterotrait-monotrait*

IA Inteligência Artificial

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IE Instrumentos Econômicos

IPCA Índice de Preços ao Consumidor Amplo

IPTU Imposto Predial e Territorial Urbano

MAE Erro Absoluto Médio (*Mean Absolute Error*)

MGA *Multi-Group Analysis*

MICOM *Measurement Invariance of Composite Models*

NS Norma Subjetiva

NSR Normas Subjetivas dos recicláveis secos

NSV Normas Subjetivas dos resíduos secos

OC Otimização da coleta seletiva

ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OPEX Despesa operacional (*Operational Expenditure*)

PAYT *Pay-As-You-Throw*

PCA Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis*)

PEI Pontos de Entrega Incentivada

PEV Pontos de Entrega Voluntária

PIB Produto Interno Bruto

PLS-SEM Modelagem de Equações Estruturais por Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Squares Structural Equation Modeling*)

PP Porta a Porta

RDO Resíduos Domiciliares

RMSE Raiz do Erro Quadrático Médio (*Root Mean Square Error*)

RSU Resíduos Sólidos Urbanos

SIG Sistemas de Informação Geográfica

SINISA Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TCP Teoria do Comportamento Planejado

TOPSIS *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*

USD Dólar americano

VAF Variância Explicada pela Mediação (*Variance Accounted For*)

VIF Fator de Inflação da Variância (*Variance Inflation Factor*)

VR	Valorização de resíduos sólidos
VRP	*Vehicle Routing Problem*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 29
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO 29
1.2 LACUNAS DA PESQUISA E MOTIVAÇÃO DA TESE 30
1.3 OBJETIVOS 31
1.3.1 Objetivo geral 31
1.3.2 Objetivos específicos 31
1.4 ESCOPO E ESTRUTURA DA TESE 32
2 DETERMINANTES DA SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES EM UM MUNICÍPIO BRASILEIRO COM BASE NA TEORIA DO COMPORTAMENTO PLANEJADO 35
2.1 INTRODUÇÃO 36
2.2 REFERENCIAL TEÓRICO E HIPÓTESES DE PESQUISA 38
2.2.1 Atitude 38
2.2.2 Controle Comportamental Percebido 39
2.2.3 Normas Subjetivas 40
2.3 MATERIAL E MÉTODOS 42
2.3.1 Área de estudo 42
2.3.2 Pesquisa de campo: elaboração e aplicação do questionário 46
2.3.3 Análise dos dados 50
2.3.3.1 Análise do comportamento de separação de resíduos na fonte 51
2.3.3.2 Análise da influência das variáveis demográficas 52
2.3.3.3 Desenvolvimento dos modelos preditivos 52
2.3.3.4 Análise dos perfis comportamentais 53
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 54
2.4.1 Análise do modelo de mensuração 54
2.4.2 Resultados do modelo estrutural 57
2.4.3 Teste das hipóteses 58
2.4.4 Análise de mediação 64
2.4.5 Contribuições das variáveis demográficas 65
2.5 DISCUSSÃO E IMPLICAÇÕES PARA O PLANEJAMENTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS 67
2.5.1 Efeito da Atitude 70

2.5.2 Efeito do Controle Comportamental Percebido 71
2.5.3 Efeito das Normas Subjetivas 72
2.5.4 Influência da idade e da condição socioeconômica 74
2.5.5 Estratégias para incentivar a separação de resíduos domiciliares com base nos perfis comportamentais 75
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 83
3 COMPREENDENDO OS FATORES QUE DETERMINAM A ACEITAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES: ESTRATÉGIAS PARA CIDADES SUSTENTÁVEIS 86
3.1 INTRODUÇÃO 87
3.2 MATERIAL E MÉTODOS 89
3.2.1 Coleta de dados 89
3.2.1.1 Elaboração do questionário 89
3.2.1.2 Aplicação do questionário 91
3.2.2 Análise dos dados 92
3.2.2.1 Análise da conscientização ambiental e das disposições comportamentais 92
3.2.2.2 Fatores sociodemográficos e priorização das estratégias de políticas públicas 93
3.2.2.3 Definição das estratégias de políticas públicas a serem implementadas 94
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES 95
3.3.1 Conscientização ambiental dos moradores 96
3.3.2 Disposição para entregar resíduos à coleta seletiva 98
3.3.3 Disposição para deslocar-se até os pontos de coleta: efeitos da distância e dos incentivos 101
3.3.4 Estratégias de incentivo: disposição para receber incentivos 105
3.3.5 Estratégias de incentivo e penalização: disposição para pagar pela gestão dos resíduos sólidos domiciliares não separados 107
3.4 IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS: ESTRATÉGIAS PARA PROMOVER O COMPORTAMENTO DE SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES NA FONTE E A PARTICIPAÇÃO EM PROGRAMAS DE COLETA SELETIVA 111
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 119
4 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES NA FONTE: MODELAGEM INTEGRADA DOS EFEITOS

SOBRE O COMPORTAMENTO AMBIENTAL, A RECICLAGEM E OS CUSTOS DO MANEJO.....122
4.1 INTRODUÇÃO.....123
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....126
4.2.1 Formulação do modelo de dinâmica de sistemas.....126
4.2.2 Formulação matemática do modelo.....128
4.2.3 Coleta e síntese dos dados.....133
4.2.4 Verificação e análise de sensibilidade do modelo.....135
4.2.5 Descrição dos cenários avaliados.....137
4.2.6 Avaliação comparativa e multicritério dos cenários.....139
4.3 RESULTADOS.....141
4.3.1 Manejo de resíduos recicláveis secos.....141
4.3.2 Manejo de resíduos recicláveis secos e verdes.....142
4.3.3 Instrumentos econômicos aplicados ao manejo de resíduos.....145
4.3.4 Estratégias de reequilíbrio financeiro do sistema.....146
4.3.4.1 Otimização operacional da coleta seletiva.....147
4.3.4.2 Valorização de resíduos sólidos.....148
4.3.4.3 Inserção no mercado de crédito de carbono.....149
4.4 DISCUSSÕES.....151
4.4.1 Análise integrada dos cenários.....151
4.4.2 Implicações e recomendações para políticas públicas.....160
4.4.3 Limitações do estudo.....163
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....164
5 CONCLUSÕES.....166
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....168
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DE FATORES PSICOSSOCIAIS.....214
APÊNDICE B – *SCRIPTS* DO *SOFTWARE* R.....218
APÊNDICE C – OUTROS RESULTADOS DO MODELO DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS.....237
APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS POLÍTICAS.....245
APÊNDICE E – OUTROS DADOS PARA AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS.....250

APÊNDICE F – DEENVOLVIMENTO DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMA.....254
APÊNDICE G – TESTES DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS.....261
APÊNDICE H – DESCRIÇÃO DETALHADA DOS CENÁRIOS.....281
APÊNDICE I – RESULTADOS ADICIONAIS DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS.....315

1 INTRODUÇÃO GERAL

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é reconhecida como um dos principais desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas, especialmente nos países em desenvolvimento. Nesses países, o crescimento populacional, a urbanização acelerada, o aumento da renda e as mudanças nos padrões de consumo têm intensificado a geração de resíduos e ampliado a demanda por sistemas de manejo mais eficientes e sustentáveis (ALZAMORA; BARROS, 2020; GALAVOTE *et al.*, 2023a).

Nesse contexto, a transição para modelos baseados na economia circular reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à prevenção da geração de resíduos, ao aumento da reciclagem, à recuperação de materiais e energia e à redução da disposição final em aterros sanitários (GALAVOTE *et al.*, 2024c). Entretanto, a realidade observada na maioria dos países em desenvolvimento ainda é marcada pela substituição gradual de formas inadequadas de destinação (lixões e vazadouros a céu aberto) pela disposição ambientalmente adequada em aterros sanitários (MARGALLO *et al.*, 2019; ZIEGLER-RODRIGUEZ *et al.*, 2019).

Contudo, a transição para sistemas de gestão mais sustentáveis envolve desafios que vão além da implantação de infraestrutura e da adoção de tecnologias de tratamento. O desempenho desses sistemas resulta da interação entre fatores sociais, econômicos, institucionais, ambientais e comportamentais, que influenciam todas as etapas do manejo dos resíduos sólidos (GALAVOTE *et al.*, 2024a; MASSUGA *et al.*, 2024; NUREEN *et al.*, 2022). Nesse contexto, a efetividade de estratégias como coleta seletiva, reciclagem, compostagem, recuperação energética e instrumentos econômicos está diretamente relacionada ao comportamento dos geradores de resíduos, à capacidade institucional dos municípios e à continuidade das políticas públicas implementadas (BESEN *et al.*, 2025; MOEINI *et al.*, 2023; YU *et al.*, 2025a).

Diante dessa complexidade, torna-se necessário compreender a gestão de resíduos como um sistema integrado, no qual decisões relacionadas ao planejamento, à implementação de instrumentos de gestão e ao comportamento da população produzem efeitos sobre toda a cadeia de manejo. Essa perspectiva demanda abordagens capazes de integrar diferentes dimensões do problema e subsidiar a formulação de políticas públicas mais eficientes e adaptadas às diferentes realidades municipais.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Como apresentado anteriormente, a gestão integrada de RSU constitui um sistema complexo, cujo desempenho resulta da interação entre inúmeros fatores. Entre os diversos componentes que compõem esse sistema, a separação dos resíduos na fonte destaca-se como

uma etapa fundamental, por viabilizar a reciclagem, a compostagem e a recuperação energética (GALAVOTE *et al.*, 2024a). A quantidade e qualidade dos materiais encaminhados para tratamento depende diretamente do engajamento dos geradores, sendo influenciada por aspectos como conhecimento ambiental, atitudes, normas sociais, percepção de controle, disponibilidade de infraestrutura e incentivos oferecidos (ALAM *et al.*, 2025; FONTAINE; LEGROS; FRAYRET, 2025; KNICKMEYER, 2020; LU; WANG, 2022).

Além da dimensão comportamental, diferentes instrumentos de políticas públicas têm sido utilizados para estimular a participação da população e aumentar a eficiência dos sistemas de gestão de resíduos. Entre eles destacam-se ações de educação ambiental, expansão da coleta seletiva, incentivos econômicos (mecanismos de cobrança e sistemas de recompensa) e estratégias voltadas à valorização dos resíduos (ALIMORADIYAN *et al.*, 2024; WANG; KIM; KIM, 2026; ZHANG *et al.*, 2024). Entretanto, a efetividade dessas intervenções depende das características socioeconômicas da população, da capacidade institucional dos municípios e da forma como esses instrumentos são implementados e combinados (FONTAINE; LEGROS; FRAYRET, 2024; ZHANG *et al.*, 2024).

Os efeitos dessas políticas extrapolam o aumento das taxas de reciclagem, influenciando o desempenho ambiental, operacional e econômico dos sistemas de gestão de resíduos. Alterações no comportamento da população podem modificar os fluxos de resíduos, reduzir a quantidade destinada aos aterros sanitários, ampliar a recuperação de materiais e energia, bem como alterar a dinâmica financeira dos serviços públicos de manejo de resíduos (ALSHAIKH; ABDELFATAH, 2024; LIU *et al.*, 2024; MALEK *et al.*, 2023; NG; YANG, 2023). Dessa forma, compreender as interações entre esses fatores torna-se fundamental para subsidiar o planejamento e a tomada de decisão.

1.2 LACUNAS DA PESQUISA E MOTIVAÇÃO DA TESE

O presente estudo teve origem em uma revisão sistemática e crítica da literatura desenvolvida previamente por Galavote et al. (2024a). Essa revisão identificou avanços importantes na literatura, mas também evidenciou que o conhecimento disponível permanecia fragmentado, concentrando-se, em grande parte, na análise isolada de aspectos específicos da gestão de RSU. Entre as principais lacunas identificadas destacam-se:

a. a escassez de estudos voltados à compreensão dos fatores internos que influenciam o comportamento de separação dos resíduos domiciliares em países em desenvolvimento, particularmente na América Latina;

b. a necessidade de investigar de forma integrada a aceitação da população em relação aos diferentes instrumentos de políticas públicas, considerando aspectos comportamentais e socioeconômicos;

c. a limitada utilização de abordagens capazes de integrar comportamento humano, políticas públicas e desempenho dos sistemas de gestão em modelos prospectivos de apoio à decisão.

Essas lacunas evidenciam a necessidade de pesquisas que integrem fatores comportamentais, instrumentos de políticas públicas e o desempenho dos sistemas de gestão de resíduos sólidos, contribuindo para o avanço do conhecimento científico e para o aprimoramento das políticas públicas voltadas ao setor.

1.3 OBJETIVOS

Com o propósito de responder às lacunas identificadas na revisão da literatura, esta tese foi estruturada em três estudos complementares e sequenciais. O primeiro investiga os fatores que influenciam a separação dos resíduos domiciliares na fonte; o segundo analisa a aceitação da população em relação a diferentes instrumentos de políticas públicas; e o terceiro integra esses conhecimentos em um modelo de Dinâmica de Sistemas para avaliar os impactos de diferentes estratégias de gestão sobre o desempenho dos sistemas de resíduos sólidos urbanos. A partir dessa estrutura, foram definidos o objetivo geral e os objetivos específicos apresentados a seguir.

1.3.1 Objetivo geral

Integrar abordagens comportamentais e de modelagem para subsidiar o planejamento de políticas públicas voltadas ao aumento da separação de resíduos domiciliares na fonte e ao aprimoramento da sustentabilidade ambiental e financeira dos sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos.

1.3.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

a. Identificar os fatores comportamentais que influenciam a separação de resíduos domiciliares recicláveis e verdes, bem como propor estratégias para incentivar essa prática considerando diferentes perfis da população;

b. Avaliar a influência de características sociodemográficas, da infraestrutura de coleta seletiva e da implementação de instrumentos econômicos sobre a participação da

população na separação de resíduos domiciliares, propondo estratégias de políticas públicas adaptadas às diferentes realidades locais;

c. Desenvolver um modelo de Dinâmica de Sistemas capaz de integrar fatores comportamentais, operacionais, ambientais e econômicos para avaliar os efeitos da implementação de diferentes políticas públicas sobre a recuperação de materiais, a redução da disposição em aterros sanitários, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a sustentabilidade financeira da gestão de resíduos sólidos urbanos.

1.4 ESCOPO E ESTRUTURA DA TESE

Esta pesquisa foi desenvolvida no formato de coletânea de três artigos científicos, organizados em capítulos de forma sequencial e complementar. Em conjunto, os estudos buscam apoiar o planejamento de políticas públicas voltadas ao aprimoramento da gestão de resíduos domiciliares (RDO) em países em desenvolvimento. Embora cada artigo apresente objetivos, métodos e resultados próprios, todos estão articulados em torno de um mesmo problema de pesquisa e foram concebidos para responder, de forma progressiva, às lacunas científicas e objetivos apresentados anteriormente.

O primeiro artigo concentra-se na dimensão comportamental da gestão do RDO. O estudo identifica os fatores que influenciam a separação na fonte do RDO reciclável seco e verdes, com base na Teoria do Comportamento Planejado (TCP). Além de identificar os principais determinantes desse comportamento, caracteriza diferentes perfis da população e propõe estratégias para incentivar a separação na fonte, contribuindo para o direcionamento de políticas públicas voltadas ao aumento da participação dos geradores na coleta seletiva.

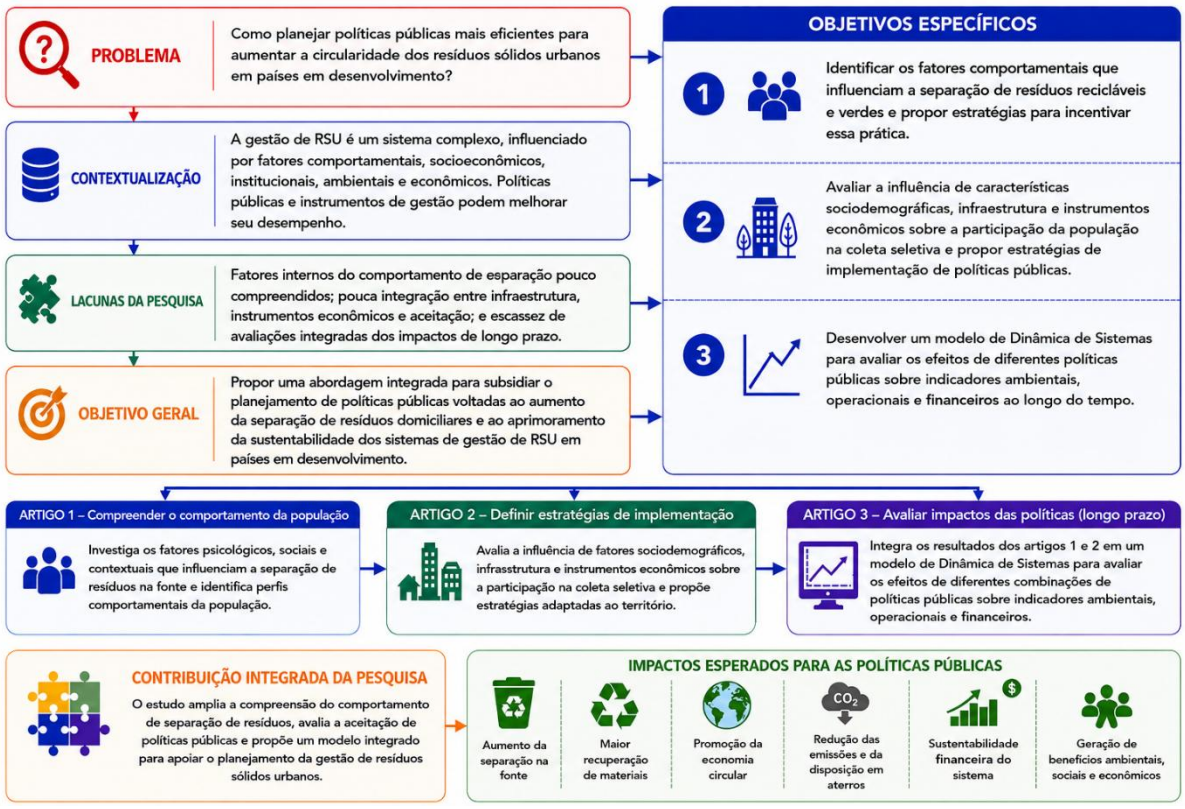
O segundo artigo amplia essa análise ao investigar como fatores sociodemográficos, a disponibilidade de infraestrutura e instrumentos econômicos influenciam a participação da população nos programas de coleta seletiva. Com base na avaliação da disposição dos moradores em participar do sistema, da influência da distância aos pontos de entrega voluntária e dos incentivos financeiros, o estudo propõe estratégias de implementação adaptadas às características territoriais, contribuindo para o planejamento de políticas públicas mais eficientes e direcionadas.

Cabe destacar que os dados utilizados nos dois primeiros artigos foram coletados na mesma campanha de campo, junto aos mesmos 392 respondentes, por meio de dois blocos de questionário com finalidades distintas: um voltado à mensuração dos construtos da Teoria do Comportamento Planejado (Apêndice A) e outro à avaliação da aceitação de instrumentos de política pública (Apêndice D). Essa estratégia permitiu otimizar a coleta de dados e assegurar

a comparabilidade entre os dois estudos, viabilizando a análise integrada realizada no terceiro artigo sobre a mesma população. Dessa forma, os achados dos dois primeiros estudos são interpretados, ao longo da tese, como perspectivas complementares sobre um mesmo grupo de respondentes, e não como replicações independentes.

No terceiro artigo, os conhecimentos produzidos nas etapas anteriores são incorporados a um modelo de Dinâmica de Sistemas desenvolvido para avaliar os efeitos, em longo prazo, da implementação de diferentes instrumentos de políticas públicas sobre o manejo do RDO. O modelo integra aspectos comportamentais, operacionais, ambientais e econômicos, permitindo analisar os impactos das estratégias sobre a separação na fonte, a recuperação de materiais, a redução da disposição em aterros sanitários, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a sustentabilidade financeira do sistema. Dessa forma, essa etapa integra os resultados obtidos nos estudos anteriores e possibilita avaliar como diferentes combinações de políticas públicas influenciam o desempenho global do sistema ao longo do tempo. A Figura 1 apresenta a estrutura lógica desta tese, evidenciando a relação entre as lacunas identificadas, os objetivos específicos e os artigos científicos que a compõem.

Figura 1 - Estrutura lógica da tese e relação entre os objetivos específicos e os artigos que a compõem.



Fonte: Autoria própria. Nota: Os elementos gráficos e ícones foram gerados com o auxílio de ferramentas de inteligência artificial, sendo posteriormente revisados, adaptados e validados pela autora.

Além dos três artigos, a tese é concluída com um capítulo de conclusões gerais, no qual os principais resultados são integrados e discutidos de forma conjunta. Nessa etapa, são apresentadas as contribuições científicas e práticas da pesquisa, suas limitações e recomendações para estudos futuros e para o aprimoramento das políticas públicas voltadas à gestão do RDO.

2 DETERMINANTES DA SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES EM UM MUNICÍPIO BRASILEIRO COM BASE NA TEORIA DO COMPORTAMENTO PLANEJADO

Resumo

Os países em desenvolvimento enfrentam inúmeros desafios para incentivar os geradores a separar os resíduos domiciliares (RDO). Diante disso, este estudo investigou os fatores que influenciam a separação do RDO reciclável seco e verde e propôs estratégias para promover essa prática. Um questionário foi aplicado a 392 moradores do município de Vitória no estado do Espírito Santo e, com base nos dados coletados, foram desenvolvidos dois modelos de equações estruturais para a separação do RDO: um para resíduos recicláveis e outro para resíduos verdes. Ademais, os perfis comportamentais dos moradores foram analisados por meio de análise de clusters. Os resultados revelaram que a atitude foi o preditor mais forte da separação do RDO, seguida pelo controle comportamental percebido. Em contraste, as normas subjetivas não apresentaram efeito direto sobre a separação do RDO, mas exerceram efeitos indiretos por meio da atitude e do controle comportamental percebido. Esse resultado pode estar associado às características das culturas ocidentais, consideradas mais individualistas, em oposição às sociedades orientais, mais coletivistas. Os resultados também mostraram que indivíduos mais velhos tendem a ser menos influenciados por incentivos financeiros, enquanto essas recompensas exercem um impacto mais significativo sobre indivíduos pertencentes às classes socioeconômicas mais baixas. Com base nos fatores e perfis comportamentais identificados, foram propostas estratégias para incentivar a separação do RDO. Além disso, os resultados podem subsidiar os tomadores de decisão na implementação mais eficaz de instrumentos de política pública relacionados à separação de resíduos e à coleta seletiva, especialmente em países em desenvolvimento, onde essas políticas ainda estão em processo de implementação. Adicionalmente, o estudo contribui para a literatura ao analisar os fatores internos que influenciam a separação de RDO em um contexto latino-americano, tema ainda pouco explorado nas pesquisas atuais.

Palavras Chaves: análise de clusters; RDO verde; RDO reciclável seco.

2.1 INTRODUÇÃO

A urbanização e o desenvolvimento econômico melhoraram as condições de vida e aumentaram o poder de compra da população ao longo dos anos. No entanto, esses mesmos fatores, aliados ao crescimento populacional, têm contribuído para o aumento da geração de resíduos (HU *et al.*, 2021, 2024). Segundo estimativas do Banco Mundial, a geração global de resíduos deverá atingir aproximadamente 3,4 bilhões de toneladas até 2050, representando um aumento de 73% em relação aos 2 bilhões de toneladas gerados em 2020 (WORLD BANK, 2025). Essa tendência de crescimento é ainda mais acentuada nos países em desenvolvimento, evidenciando a necessidade urgente de estratégias sustentáveis para gerenciar os resíduos de forma mais eficiente (BAZRBACHI *et al.*, 2023).

Diversos países em desenvolvimento, especialmente os membros das Nações Unidas, assumiram o compromisso de alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos na Agenda 2030, incluindo a redução da geração de resíduos e o aumento da eficiência da reciclagem (RAZALI *et al.*, 2020). Nesse contexto, esses países precisam desenvolver soluções eficazes para promover a gestão eficiente dos resíduos e o consumo sustentável (COHEN; GIL; ROSADO, 2025).

A implementação de estratégias eficazes para a valorização e reciclagem de resíduos, como o aprimoramento da eficiência dos sistemas de gestão de resíduos domiciliares, requer a adoção de políticas que envolvam ativamente os geradores de resíduos e promovam a separação na fonte (COHEN; GIL; ROSADO, 2025). Quando implementadas adequadamente, essas práticas podem reduzir os custos da gestão ambiental e favorecer o desenvolvimento de uma economia circular eficiente (LOU; ZHANG; ZHANG, 2024). Entretanto, os países em desenvolvimento enfrentam diversos desafios para a implementação da gestão do RDO, incluindo baixa conscientização ambiental, descarte inadequado dos resíduos, hábitos consolidados relacionados ao descarte, infraestrutura insuficiente e recursos financeiros limitados (NGUYEN; ZHU; LE, 2015).

Diante desses desafios, identificar os principais fatores que influenciam a separação do RDO na fonte torna-se fundamental, especialmente nos países em desenvolvimento, onde a adesão a essa prática ainda é reduzida (GALAVOTE *et al.*, 2024a). Os fatores externos incluem infraestrutura, condições climáticas e implementação de políticas públicas, enquanto os fatores internos estão relacionados aos aspectos psicológicos individuais (GOVINDAN; ZHUANG; CHEN, 2022). Compreender esses fatores internos fornece informações valiosas para o desenvolvimento de políticas públicas mais direcionadas e eficazes, voltadas ao aumento das taxas de separação do RDO (AO *et al.*, 2022; COHEN; GIL; ROSADO, 2025).

A Teoria do Comportamento Planejado (TCP) tem sido amplamente utilizada para analisar o comportamento de separação de resíduos na fonte. Diversos estudos investigaram a influência dos fatores internos sobre esse comportamento por meio da TCP, com destaque para pesquisas realizadas em países asiáticos, como China (CAI *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2023; LUO *et al.*, 2024), Malásia (BAZRBACHI *et al.*, 2023; RAZALI *et al.*, 2024), Indonésia (RAKHMAWATI *et al.*, 2023), Japão (HU *et al.*, 2024), Vietnã (NGUYEN, 2023), Tailândia (LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024), Paquistão (KHAN; AHMED; NAJMI, 2019) e Irã (TABAR; BRISCOE; SOHRABI, 2024).

No entanto, conforme destacado por Galavote et al. (2024a), apenas um estudo abordando essa temática sob a perspectiva da TCP foi identificado para países da América Latina (NEGASH *et al.*, 2021), que apresentam características econômicas, sociais e culturais distintas daquelas observadas nos países asiáticos. Além disso, alguns estudos apontam que a TCP apresenta limitações para capturar plenamente a complexidade dos fatores que influenciam o comportamento de separação de resíduos na fonte, especialmente no que se refere às suas variáveis centrais (HU *et al.*, 2024; LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024; MA; JIANG, 2022; PANZONE *et al.*, 2021; ZHANG; LUO; ZHANG, 2024). Galavote et al. (2024), por exemplo, destacaram a importância de incorporar elementos relacionados aos instrumentos de gestão e à implementação de políticas públicas, incluindo instrumentos educacionais, econômicos, punitivos e operacionais.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivos: (i) identificar os fatores que influenciam a separação de resíduos recicláveis e resíduos verdes domiciliares pelos moradores de um município brasileiro; e (ii) propor estratégias para incentivar o comportamento de separação de resíduos na fonte. Esta pesquisa busca apoiar os tomadores de decisão por meio da oferta de subsídios para a implementação de instrumentos de políticas públicas direcionados, fundamentados na identificação dos fatores que motivam ou dificultam o engajamento da população na separação de resíduos na fonte. Além disso, o estudo pretende contribuir para a literatura ao investigar os fatores que influenciam esse comportamento em um país da América Latina e compará-los aos resultados de estudos realizados em países asiáticos, que apresentam características culturais distintas. A escassez de pesquisas na América Latina torna essa análise essencial para compreender como esses fatores influenciam o comportamento dos indivíduos em contextos culturais diversos.

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO E HIPÓTESES DE PESQUISA

A TCP desenvolvida por Ajzen (1991), fornece um referencial teórico-conceitual para investigar sistematicamente os construtos comportamentais. Essa teoria possibilita a interpretação e a compreensão de comportamentos pró-ambientais, como a separação de resíduos na fonte (GOVINDAN; ZHUANG; CHEN, 2022; ZHANG *et al.*, 2022). Diversos estudos utilizaram a TCP para compreender e prever o comportamento dos moradores em relação à separação de RDO em diferentes países, incluindo Tailândia (LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024), China (LOU; ZHANG; ZHANG, 2024; ZHANG; LUO; ZHANG, 2024), Irã (TABAR; BRISCOE; SOHRABI, 2024), Japão (HU *et al.*, 2024), Vietnã (NGUYEN, 2023) e Malásia (BAZRBACHI *et al.*, 2023).

De acordo com a TCP, os construtos Atitude, Controle Comportamental Percebido e Normas Subjetivas exercem influência direta sobre a intenção comportamental. A intenção comportamental refere-se à predisposição do indivíduo para adotar o comportamento de separação de resíduos, representando a decisão deliberada tomada antes da execução efetiva da ação (ZHANG; LI; LOU, 2024). A intenção comportamental é considerada o principal preditor do comportamento pró-ambiental de separação de resíduos na fonte (GOVINDAN; ZHUANG; CHEN, 2022). Entretanto, diversos estudos têm demonstrado que esses construtos também podem exercer influência direta sobre o comportamento de separação de resíduos (BABAZADEH *et al.*, 2023; GOH *et al.*, 2022; LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024; RAZALI *et al.*, 2024; WANG; TZENG; MARDANI, 2022), além de influenciarem uns aos outros, especialmente os fatores internos Atitude, Controle Comportamental Percebido e Normas Subjetivas (ARKORFUL; LUGU; SHULIANG, 2023; BAZRBACHI *et al.*, 2023; CAO *et al.*, 2022; LI *et al.*, 2023; LIU *et al.*, 2023; NGUYEN, 2023).

2.2.1 Atitude

A atitude refere-se à avaliação geral, positiva ou negativa, que um indivíduo faz em relação a um determinado comportamento (SHEN *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2020). Com base nesse conceito, pressupõe-se que os indivíduos são mais propensos a realizar a separação do RDO na fonte quando percebem benefícios ambientais, como a redução dos impactos ambientais e o aumento da vida útil dos aterros sanitários, entre outros aspectos (GALAVOTE *et al.*, 2024a; LUO *et al.*, 2024). Assim, atitudes positivas podem ser fortalecidas por meio da disseminação de informações sobre os benefícios da separação de resíduos domiciliares na fonte (SHI *et al.*, 2021). Por exemplo, Shen et al. (2019) recomendaram iniciativas de educação

ambiental para aumentar a conscientização da população e promover atitudes positivas. Entre as iniciativas mais relevantes destacam-se campanhas públicas veiculadas por televisão, rádio, materiais impressos, outdoors, eventos comunitários, atividades escolares e competições de conhecimento (AO *et al.*, 2022; GALAVOTE *et al.*, 2024a; MA; YIN; MCBEAN, 2023).

No presente estudo, o construto Atitude refere-se ao grau em que os indivíduos avaliam de forma favorável ou desfavorável a separação de resíduos recicláveis domiciliares (ATR) e resíduos verdes provenientes da poda (ATV), bem como à sua disposição para encaminhar esses materiais aos sistemas de coleta seletiva. Assim, ATR e ATV refletem a percepção dos moradores sobre dois aspectos principais: (i) a convicção de que a separação dos resíduos contribui para a proteção ambiental; e (ii) a intenção de separar os resíduos quando informações adequadas e campanhas públicas estão disponíveis. Com base nesses pressupostos, este estudo investigou as atitudes pró-ambientais influenciam diretamente o comportamento de separação de resíduos na fonte. Dessa forma, foi proposta a seguinte hipótese:

Hipótese 1. A Atitude pró-ambiental exerce efeito positivo sobre o comportamento de separação de resíduos na fonte.

2.2.2 Controle Comportamental Percebido

O Controle Comportamental Percebido refere-se à percepção do indivíduo sobre o grau de facilidade ou dificuldade para realizar determinado comportamento (ZHANG *et al.*, 2020). Quanto maior for a percepção de facilidade ou conveniência da separação de resíduos domiciliares, maior será a probabilidade de o indivíduo adotar esse comportamento (RAZALI *et al.*, 2024). O Controle Comportamental Percebido pode ser fortalecido por meio da disponibilização de infraestrutura adequada, capaz de simplificar o processo de separação e torná-lo mais acessível (LUO *et al.*, 2024; MENG *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2021; ZHENG *et al.*, 2022). Em particular, a expansão dos serviços de coleta seletiva porta a porta e o aumento da disponibilidade de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) podem ampliar a percepção de controle e conveniência dos indivíduos (GALAVOTE *et al.*, 2024a; LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024; ZHENG *et al.*, 2022).

A acessibilidade e a disponibilidade de infraestrutura adequada exercem influência direta sobre o comportamento de separação de resíduos na fonte (ZHANG *et al.*, 2021; ZHENG *et al.*, 2022). Pesquisas realizadas em diferentes países corroboram essa relação: na Suécia, verificou-se que a conveniência foi um fator motivador mais importante do que a educação ambiental (BERNSTAD, 2014); no Irã, a distância até as instalações de recebimento de resíduos influenciou significativamente o comportamento dos moradores (TABAR; BRISCOE;

SOHRABI, 2024); e, na Indonésia, a ausência de infraestrutura adequada foi identificada como uma das principais barreiras à separação eficiente de resíduos (RAKHMAWATI *et al.*, 2023). De modo geral, quanto maiores são os obstáculos percebidos pelos indivíduos, menor é a probabilidade de adotarem a separação de resíduos domiciliares (NGUYEN, 2023).

Neste estudo, o Controle Comportamental Percebido refere-se à percepção dos indivíduos quanto à conveniência de separar e encaminhar resíduos recicláveis (CCR) e resíduos verdes (CCV) para a coleta seletiva. Os construtos CCR e CCV contemplam três dimensões: (i) a facilidade percebida para separar os resíduos em casa; (ii) a facilidade percebida para transportar os resíduos até um PEV; e (iii) a facilidade percebida para descartar os resíduos por meio da coleta seletiva porta a porta. Com base nessas dimensões, este estudo investigou se o Controle Comportamental Percebido exerce influência direta ou indireta sobre o comportamento de separação de resíduos na fonte. Assim, foram propostas as seguintes hipóteses:

Hipóteses 2.1. O Controle Comportamental Percebido exerce efeito positivo sobre o comportamento de separação de resíduos na fonte.

Hipóteses 2.2. O Controle Comportamental Percebido exerce efeito positivo sobre a Atitude.

2.2.3 Normas Subjetivas

As Normas Subjetivas referem-se à pressão social percebida pelos indivíduos quanto à realização ou não de determinado comportamento (ZHANG; LI; LOU, 2024). Essas pressões geralmente são exercidas por pessoas ou grupos de influência, como familiares, amigos, vizinhos e colegas de trabalho (SETIAWAN; AFIFF; HERUWASTO, 2021; XU *et al.*, 2017a). Além disso, a aplicação de leis e regulamentações pelos órgãos governamentais, incluindo incentivos econômicos e penalidades, pode reforçar essas influências sociais e estimular os indivíduos a adotarem práticas de separação do RDO (LUO *et al.*, 2024). Entre os instrumentos econômicos destacam-se a oferta de recompensas para incentivar a participação voluntária na separação de resíduos e a adoção de sistemas tarifários baseados no volume de resíduos gerados ou na frequência de utilização do serviço (GALAVOTE *et al.*, 2024a; MA; YIN; MCBEAN, 2023; ZHANG *et al.*, 2023). Em contrapartida, os instrumentos punitivos buscam estimular a participação da população por meio da aplicação de sanções, promovendo um sistema de autorregulação (ZHENG *et al.*, 2022).

Estudos realizados na China demonstraram que sistemas baseados em recompensas aumentam significativamente a adesão às práticas de separação de resíduos na fonte

(GOVINDAN; ZHUANG; CHEN, 2022; ZHANG *et al.*, 2021, 2022). Na Tailândia e em países da União Europeia, pesquisas indicam que moradores satisfeitos com os serviços de gestão de resíduos urbanos apresentam maior disposição para pagar por melhorias nesses serviços (MINELGAITĖ; LIOBIKIENĖ, 2019; VASSANADUMRONGDEE; KITTIPONGVISES, 2018). No Japão, verificou-se que a adoção de medidas punitivas, como multas, aumentou a participação da população em programas de separação de resíduos (HU *et al.*, 2024).

Neste estudo, as Normas Subjetivas referem-se a qualquer pressão exercida pela sociedade, comunidade e/ou governo para incentivar os moradores a separar resíduos recicláveis (NSR) e resíduos verdes (NSV) para a coleta seletiva. Assim, NSR e NSV refletem a percepção dos moradores em relação a quatro aspectos: (i) pressão exercida por familiares, amigos e governo; (ii) disposição para separar os resíduos visando à redução das tarifas dos serviços; (iii) disposição para separar os resíduos para evitar multas pelo descumprimento das normas; e (iv) disposição para separar os resíduos quando recompensas são oferecidas. Considerando esses fatores, este estudo investigou se as Normas Subjetivas exercem influência direta ou indireta sobre o comportamento de separação de resíduos na fonte. As seguintes hipóteses foram propostas:

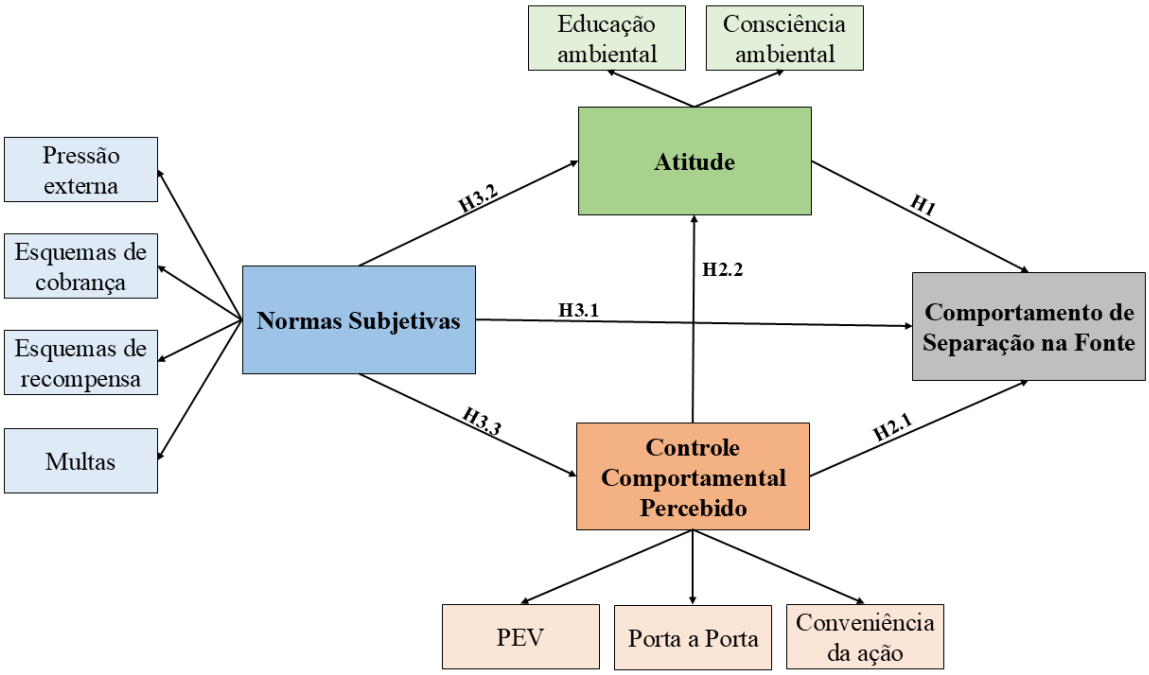
Hipóteses 3.1. As Normas Subjetivas exercem efeito positivo sobre o comportamento de separação de resíduos na fonte.

Hipóteses 3.2. As Normas Subjetivas exercem efeito positivo sobre a Atitude ambiental.

Hipóteses 3.3. As Normas Subjetivas exercem efeito positivo sobre o Controle Comportamental Percebido.

É importante destacar que este estudo adotou uma versão modificada da TCP, contemplando quatro variáveis centrais (comportamento de separação de resíduos na fonte, Atitude, Normas Subjetivas e Controle Comportamental Percebido) e seus efeitos de interação. Além disso, fatores externos relacionados a instrumentos de políticas públicas (como medidas educacionais, econômicas e punitivas) foram considerados conceitualmente na elaboração dos itens do questionário, especialmente nos construtos Atitude, Normas Subjetivas e Controle Comportamental Percebido, com o objetivo de refletir como esses instrumentos podem, hipoteticamente, influenciar o comportamento individual. Entretanto, esses elementos não foram modelados como construtos independentes, uma vez que o foco deste estudo está nos determinantes psicológicos internos. A Figura 2 apresenta uma representação esquemática das variáveis consideradas na versão modificada da TCP, seus indicadores e as hipóteses a serem testadas.

Figura 2 - Modelo hipotético para o estudo do comportamento de separação na fonte.



Fonte: Autoria própria.

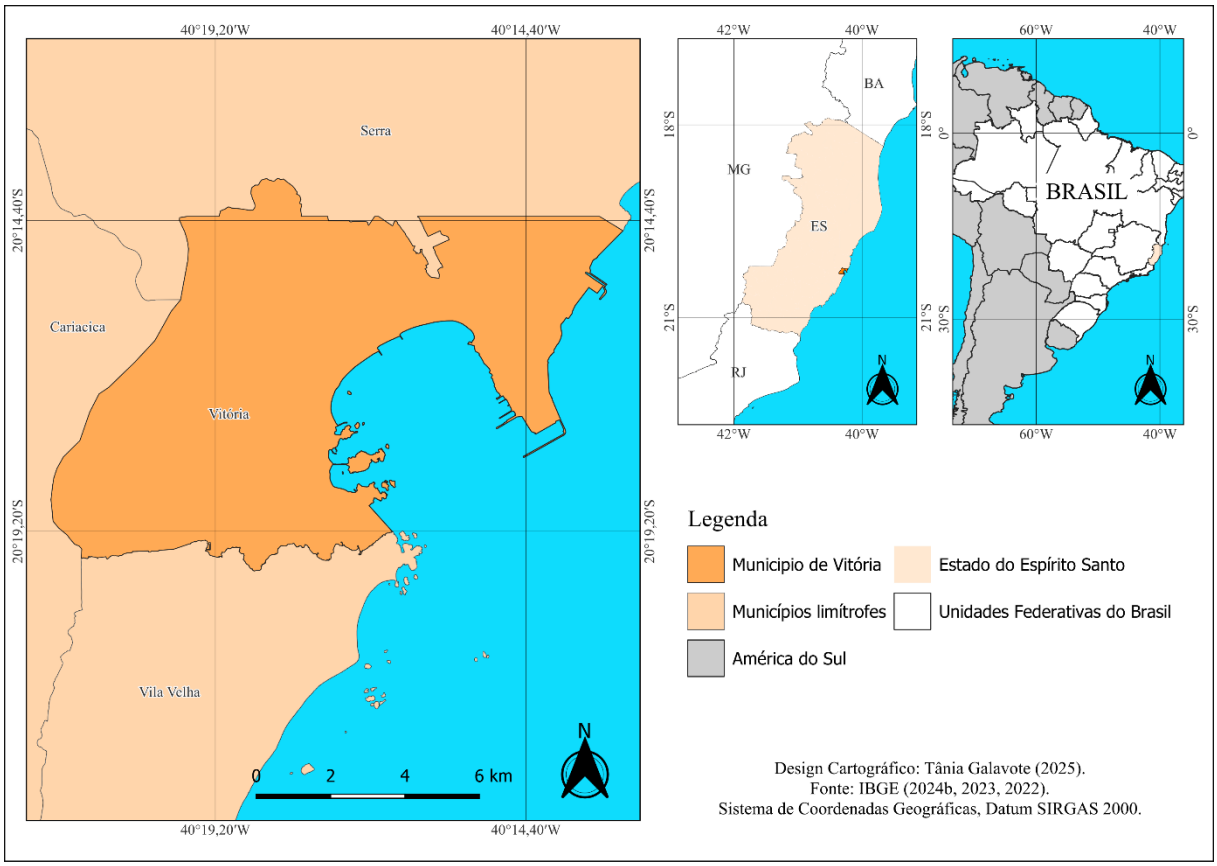
2.3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção apresenta, inicialmente, a área de estudo, correspondente ao município de Vitória, no estado do Espírito Santo, Brasil. Em seguida, são descritos o processo de elaboração do questionário aplicado aos moradores, os procedimentos de coleta de dados e os métodos analíticos utilizados para interpretação dos resultados.

2.3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o município de Vitória, capital do estado do Espírito Santo, localizado na região Sudeste do Brasil, conforme apresentado na Figura 3. O município possui área territorial de 97,1 km², dos quais aproximadamente metade corresponde a áreas urbanizadas. Segundo o Censo Demográfico de 2022, Vitória possuía 322.869 habitantes (IBGE, 2024a). Para 2024, a população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) era de 343.378 habitantes. No mesmo período, o município apresentava PIB per capita de R$ 87.520,35, referente ao ano de 2023 (IBGE, 2024b).

Figura 3: Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

O território municipal compreende 80 bairros, dos quais 78 são habitados, enquanto dois permanecem desabitados por abrigarem o parque industrial e o aeroporto. Administrativamente, Vitória está dividida em nove Regiões Administrativas: Centro, Santo Antônio, Jucutuquara, Maruípe, Praia do Canto, Goiabeiras, São Pedro, Jardim Camburi e Jardim da Penha. Entre elas, Maruípe, Jardim Camburi, Jardim da Penha e Praia do Canto concentram as maiores populações. A classificação dos bairros por Região Administrativa está apresentada no Apêndice E (Quadro 9).

Apesar de sua reduzida extensão territorial, Vitória apresenta elevada densidade populacional e intensa dinâmica urbana, características que impõem demandas significativas à infraestrutura municipal, especialmente aos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. O município também apresenta desigualdades socioespaciais, com maiores rendas médias mensais concentradas principalmente nas Regiões Administrativas da Praia do Canto, Jardim da Penha e Jardim Camburi (SGRANCIO; DA RODRIGUES; KOMATI, 2023).

A estrutura etária da população também varia entre as Regiões Administrativas. Santo Antônio, Maruípe, Goiabeiras e São Pedro apresentam maiores proporções de jovens adultos,

enquanto Centro, Praia do Canto e Jardim da Penha apresentam maiores percentuais de pessoas com 60 anos ou mais (IBGE, 2024a; IBGE, 2025). A Tabela 1 apresenta os principais indicadores demográficos, econômicos e etários das Regiões Administrativas de Vitória.

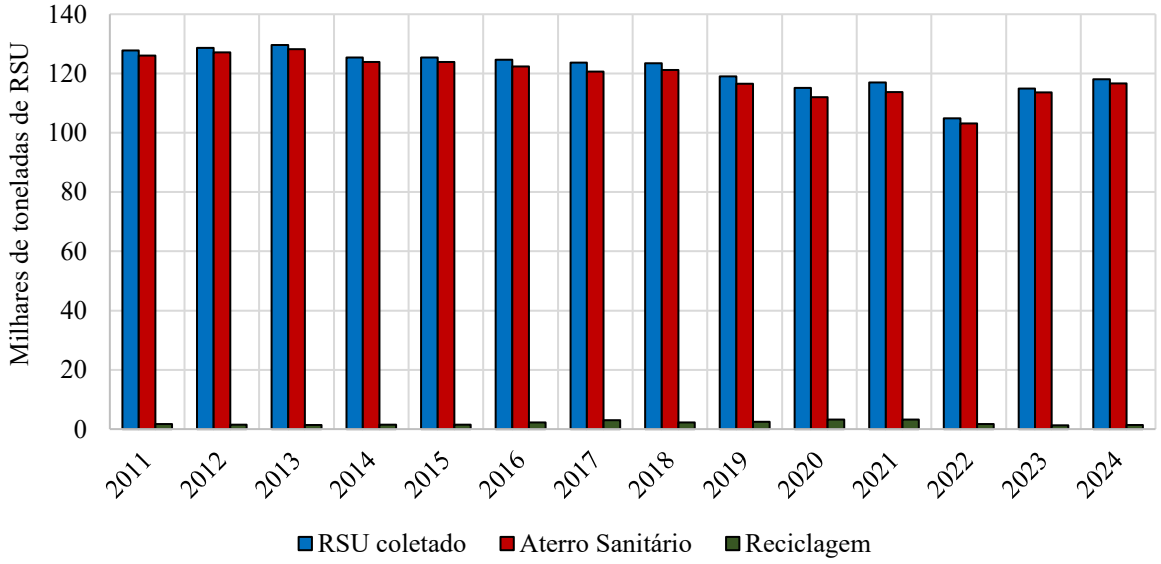
Tabela 1: Informações demográficas, econômicas e da estrutura etária por Região Administrativa do município de Vitória.

Regiões Administrativas	População	Densidade Populacional	Renda Média*	% Faixa Etária				
				18-27	28-43	44-59	60-78	>79
Centro	17498	8296	1 a 3	18%	23%	21%	20%	5%
Santo Antônio	33657	7583	1 a 3	21%	22%	20%	15%	2%
Jucutuquara	34069	7063	1 a 3	20%	24%	20%	15%	3%
Maruípe	51708	9081	1 a 3	22%	22%	19%	15%	3%
Praia do Canto	38391	6900	5 a 10	15%	24%	20%	21%	4%
Goiabeiras	19059	4589	1 a 3	23%	22%	19%	16%	3%
São Pedro	34743	9518	1 a 3	24%	23%	17%	11%	1%
Jardim Camburi	48286	18234	3 a 5	17%	29%	20%	17%	2%
Jardim da Penha	45458	11828	3 a 5	20%	23%	18%	23%	4%

Fonte: Adaptado de IBGE (2025), Sgrancio et al. (2023) e Vitória (2025). População: habitantes; Densidade Populacional: habitantes por quilômetro quadrado; Renda Média: número de salários mínimos. *Salário mínimo em 2025: BRL 1.518,00 (junho .de 2025).

A elevada densidade populacional e a intensa dinâmica urbana de Vitória impõem demandas significativas à gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Em 2024, o município coletou aproximadamente 116,7 mil toneladas de resíduos (Figura 4), das quais cerca de 117 mil toneladas foram destinadas a aterros sanitários e 1,4 mil toneladas encaminhadas para reciclagem, correspondendo a menos de 1,5% do total coletado (SINISA, 2026; SNIS, 2025).

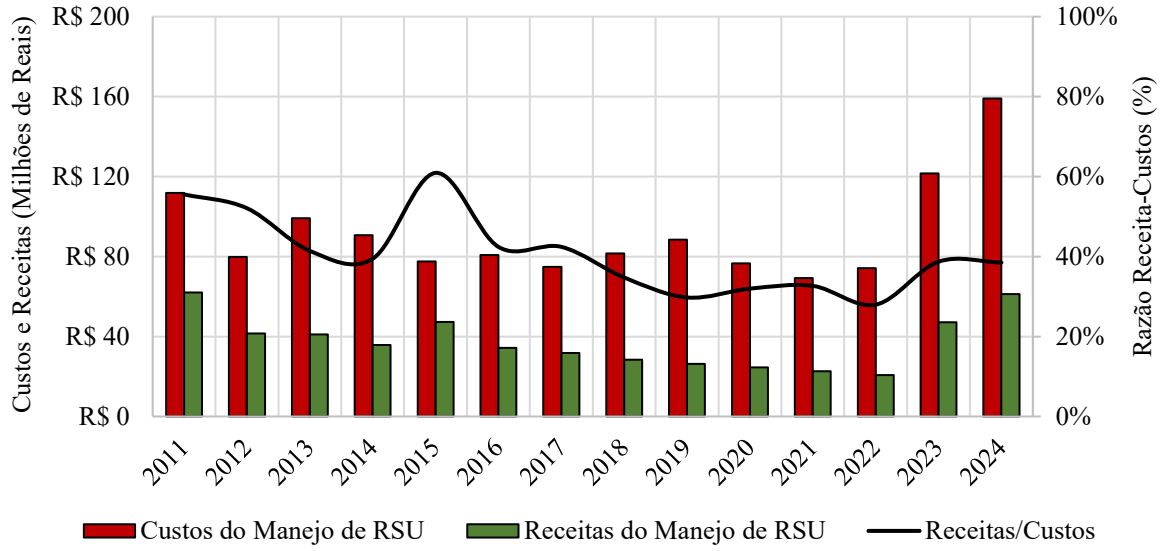
Figura 4 - Evolução do manejo de resíduos sólidos urbanos em Vitória entre 2010 e 2024.



Fonte: Elaborado a partir de SNIS (2025) e SINISA (2026).

Além dos desafios ambientais, o manejo de resíduos sólidos apresenta importantes implicações financeiras para o município. Os custos anuais de manejo oscilaram entre aproximadamente R$ 70 milhões e R$ 160 milhões, enquanto as receitas provenientes de taxas e tarifas variaram entre R$ 20 milhões e R$ 62 milhões (Figura 5). Como resultado, a razão entre receita e custo reduziu-se de aproximadamente 60% para 38% no período analisado, evidenciando o desafio de conciliar a sustentabilidade financeira dos serviços com a melhoria do desempenho ambiental da gestão de resíduos (SINISA, 2026; SNIS, 2025; VITÓRIA, 2026a).

Figura 5 - Indicadores de manejo do RSU em Vitória: Custos, receitas e razão receita/custo do manejo de resíduos (2011–2024).



Fonte: Elaborado a partir de SNIS (2025) e SINISA (2026).

Apesar da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRAZIL, 2010), as taxas de reciclagem em Vitória permanecem reduzidas, com aumento de apenas 1,5 ponto percentual desde 2010. Esse resultado contrasta com a adoção de diferentes instrumentos e iniciativas municipais voltados à separação dos resíduos na fonte e à reciclagem.

Desde 1990, o município vem implementando medidas relacionadas à gestão dos resíduos, incluindo a instituição de taxa específica para os serviços de limpeza urbana, posteriormente substituída pela Taxa de Coleta de Resíduos Sólidos em 2002 (VITÓRIA, 1990, 2022). Em 2007, foram estabelecidas possibilidades de convênios com cooperativas e associações de catadores (VITÓRIA, 2007), enquanto, em 2011 e 2012, foram instituídas medidas relacionadas à divulgação da coleta seletiva e à sua obrigatoriedade em determinados locais, como condomínios residenciais (VITÓRIA, 2011; VITÓRIA, 2012).

A partir de 2014, as ações foram ampliadas com a instituição da Política Municipal de Educação Ambiental, que incluiu diretrizes para a coleta seletiva (VITÓRIA, 2014), e com a incorporação de metas de reciclagem ao Plano Municipal de Saneamento Básico, em 2015 (VITÓRIA, 2015). Essas diretrizes foram posteriormente articuladas às metas do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (ESPÍRITO SANTO, 2019). Paralelamente, o município passou a desenvolver projetos de educação ambiental e gestão de resíduos, como o programa "Vitória Cidade Limpa" e o "Vitória Recicla com Você", além de iniciativas voltadas à educação escolar, aos ecopontos e ao apoio às organizações de catadores (VITÓRIA, 2025c, 2025a).

Atualmente, Vitória dispõe de PEVs para entrega de materiais recicláveis e de coleta seletiva porta a porta em determinados condomínios residenciais, com os materiais coletados encaminhados às organizações de catadores para triagem e comercialização (VITÓRIA, 2025c). Também foram desenvolvidas ações por empresas privadas, como Vale S.A. e ArcelorMittal Tubarão, envolvendo educação ambiental e integração de catadores às redes de reciclagem (ARCELORMITTAL, 2025; VALE, 2025).

Apesar desse conjunto de instrumentos e iniciativas, os resultados permanecem limitados. A fragmentação e a descontinuidade de algumas ações podem ter restringido sua efetividade, indicando a necessidade de maior integração entre educação ambiental, instrumentos regulatórios, infraestrutura de coleta e mecanismos de incentivo à separação na fonte.

2.3.2 Pesquisa de campo: elaboração e aplicação do questionário

O questionário foi elaborado de forma a garantir o anonimato dos participantes, em conformidade com as diretrizes éticas para pesquisas envolvendo seres humanos, estando, portanto, dispensado da necessidade de aprovação prévia por Comitê de Ética em Pesquisa (BRAZIL, 2016). O instrumento foi revisado e validado por oito especialistas, incluindo pesquisadores e gestores públicos com titulação mínima de mestre na área de gestão de resíduos. A versão final do questionário foi estruturada em três seções (Apêndice A).

A primeira seção apresenta informações sobre os objetivos da pesquisa, seu conteúdo e outros aspectos relevantes, além de um agradecimento pela participação dos respondentes. Essa seção também contempla o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, informando que os dados seriam utilizados exclusivamente para fins acadêmicos. A segunda seção reúne informações demográficas, como faixa etária e nível de escolaridade, além de dados destinados à classificação socioeconômica, conforme os critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP, 2024).

A terceira seção foi destinada à avaliação dos fatores que influenciam o comportamento de separação do RDO na fonte, tanto para resíduos recicláveis quanto para resíduos verdes. As afirmações foram elaboradas com base nas hipóteses apresentadas anteriormente e avaliadas por meio de uma escala Likert de cinco pontos, variando de "discordo totalmente" a "concordo totalmente". Considerando a ausência de programas formais de coleta seletiva, incentivos financeiros ou mecanismos de fiscalização na área de estudo, todas as afirmações foram intencionalmente redigidas utilizando a expressão "Pretendo...", com o objetivo de captar intenções hipotéticas ou condicionais. Essa abordagem permite que os respondentes indiquem sua predisposição para separar resíduos em diferentes cenários de políticas públicas ou de infraestrutura (por exemplo, caso fossem implementados sistemas de coleta seletiva, tarifas ou recompensas). Dessa forma, os itens avaliam predisposições condicionais, e não intenções comportamentais efetivas, refletindo a realidade local, na qual as práticas de reciclagem ainda não estão plenamente institucionalizadas.

Embora elementos relacionados às políticas públicas, como incentivos, multas e ações educativas, tenham sido incorporados a algumas afirmações, esses fatores foram tratados como condições contextuais hipotéticas inseridas nos construtos Atitude, Normas Subjetivas e Controle Comportamental Percebido, e não como construtos externos independentes no modelo. Essa decisão metodológica teve como objetivo avaliar de que forma cenários hipotéticos relacionados às políticas públicas poderiam influenciar os determinantes psicológicos internos do comportamento, sem ampliar a estrutura conceitual da TCP. Ressalta-se ainda que o construto Comportamento de Separação de Resíduos foi avaliado por apenas um indicador. Essa decisão foi tomada por razões práticas, visando reduzir o número total de questões do questionário, conforme recomendado por (HAIR *et al.*, 2021). A Quadro 1 apresenta os construtos do modelo modificado da TPB e as respectivas afirmações utilizadas no questionário.

Quadro 1 - Construtos do modelo modificado da Teoria do Comportamento Planejado e respectivas afirmações do questionário.

Constructo		Item	Afirmação	Referências
RDO reciclável seco	Comportamento de separação	CSR	Pretendo separar e destinar os resíduos secos para a coleta seletiva.	Hu et al. (2021)
	Atitude	ATR_1	Pretendo separar e destinar os resíduos secos para economizar recursos naturais e proteger o meio ambiente.	Vassanadumrongdee e Kittipongvises (2018)
		ATR_2	Pretendo separar e destinar resíduos secos se me forem fornecidas informações sobre os tipos de resíduos reciclados, como separar e os locais de entrega.	Tang et al. (2023)
	Normas subjetivas	NSR_1	Pretendo separar e destinar os resíduos secos se minha família, amigos ou governo me pressionarem para fazer.	Liao, Zhao e Zhang (2018)
		NSR_2	Pretendo separar e destinar resíduos secos para reduzir uma possível taxa de cobrança pela coleta de resíduos não separados.	Govindan et al. (2022b)
		NSR_3	Pretendo separar e destinar resíduos secos em caso de aplicação de multa por não separar e destinar os resíduos.	
		NSR_4	Pretendo separar e destinar resíduos secos em troca de brindes, dinheiro ou desconto.	Zhang et al. (2021a)
	Controle Comportamental Percebido	CCR_1	Pretendo separar e destinar resíduos secos pois considero uma atividade fácil de ser realizada.	
		CCR_2	Pretendo separar e destinar resíduos secos se o ponto de entrega dos resíduos for perto da minha casa.	Leknoi, Yiengthisong e Likitlersuang (2024)
		CCR_3	Pretendo separar e destinar resíduos secos se o caminhão de coleta passar na minha rua.	Nguyen (2023)
RDO verde	Comportamento de separação	CSV	Pretendo separar e destinar os resíduos verdes para a coleta seletiva.	Govindan et al. (2022b)
	Atitude	ATV_1	Pretendo separar e destinar os resíduos verdes para economizar recursos naturais e proteger o meio ambiente.	Meng et al. (2019a)
		ATV_2	Pretendo separar e destinar resíduos verdes se me forem fornecidas informações sobre os tipos de resíduos reciclados, como separar e os locais de entrega.	Tang et al. (2023)
	Normas subjetivas	NSV_1	Pretendo separar e destinar os resíduos verdes se minha família, amigos ou governo me pressionarem para fazer.	Govindan et al. (2022b)
		NSV_2	Pretendo separar e destinar resíduos verdes para reduzir uma possível taxa de cobrança pela coleta de resíduos não separados.	
		NSV_3	Pretendo separar e destinar resíduos verdes em caso de aplicação de multa por não separar.	
		NSV_4	Pretendo separar e destinar resíduos verdes em troca de brindes, dinheiro ou desconto.	
	Controle Comportamental Percebido	CCV_1	Pretendo separar e destinar resíduos verdes pois considero uma atividade fácil de ser realizada.	Wang et al. (2021)
		CCV_2	Pretendo separar e destinar resíduos verdes se o ponto de entrega dos resíduos for perto da minha casa.	Leknoi, Yiengthisong e Likitlersuang (2024)
		CCV_3	Pretendo separar e destinar resíduos verdes se o caminhão de coleta passar na minha rua.	Nguyen (2023)

Fonte: Autoria própria.

O questionário foi aplicado aos moradores de Vitória entre 11 de dezembro de 2024 e 18 de janeiro de 2025, utilizando duas estratégias de coleta de dados: (i) aplicação presencial, por meio de entrevistas face a face realizadas com moradores abordados aleatoriamente em centros comerciais, praças públicas, parques, praias, polos gastronômicos e outros espaços públicos; e (ii) aplicação on-line, por meio de um formulário eletrônico desenvolvido na plataforma Google Forms®, distribuído aleatoriamente por e-mail, mensagens de texto e grupos de aplicativos de mensagens.

O tamanho da amostra (isto é, o número de indivíduos necessário para representar a população da área de estudo) foi calculado por meio da Equação (1). Para esse cálculo, adotou-se uma margem de erro de 5% e um nível de confiança de 95%. Além disso, os parâmetros p e q foram fixados em 0,5, de modo a representar uma distribuição populacional mais heterogênea, conforme recomendado por Levine, Stephan e Szabat (2016). O tamanho amostral estimado foi de 384 indivíduos.

$$\eta = \frac{Npq(Z_{\alpha/2})^2}{pq(Z_{\alpha/2})^2+(N-1)E^2} \quad (1)$$

Em que:

η= número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$= valor crítico da distribuição normal padrão correspondente ao nível de confiança desejado;

p= proporção estimada da população com a característica de interesse;

q= complemento da proporção populacional;

E= margem de erro admissível.

A adequação do tamanho amostral de 384 indivíduos para a modelagem de equações estruturais foi verificada por meio do software G*Power® (HHU, 2023), considerando um preditor, poder estatístico de 0,80 e tamanho de efeito médio de 0,15 (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014). O tamanho amostral calculado foi posteriormente multiplicado por três para aumentar a robustez do modelo. Os resultados detalhados dessa verificação encontram-se no Apêndice C (Figura 38).

Após a coleta de dados, foram obtidos 402 questionários, sendo 374 entrevistas presenciais (93%) e 28 respostas on-line (7%). Em seguida, foi realizado um processo de triagem para excluir questionários incompletos, resultando em 392 respostas válidas, correspondendo a uma taxa efetiva de resposta de 97,5%. A utilização dessas duas estratégias de coleta teve como objetivo ampliar a diversidade dos participantes e alcançar, de forma

intencional, segmentos populacionais com maior nível de escolaridade, menor faixa etária e maior renda. Esse canal complementar permitiu equilibrar a composição da amostra, aproximando-a das proporções observadas no Censo Demográfico de 2022, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização da amostra (n = 392).

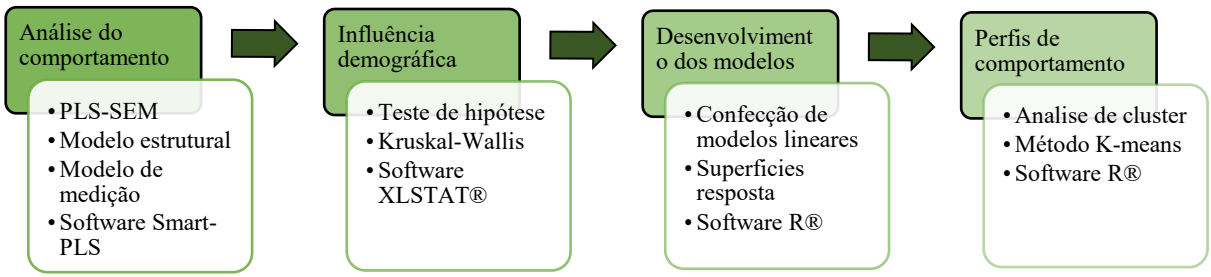
Características		Número de indivíduos	Percentual de indivíduos na amostra	Percentual de indivíduos no censo demográfico de 2022*
Sexo	Homens	177	45%	46%
	Mulheres	215	55%	54%
Grupo etário	<27 anos	92	23%	24%
	28 a 43 anos	116	30%	29%
	44 a 59 anos	91	23%	23%
	60 s 78 anos	79	20%	20%
	>79 anos	14	4%	4%
Classe Socioeconômica	A	15	4%	4%
	B1	26	7%	6%
	B2	69	18%	20%
	C1	82	21%	23%
	C2	114	29%	27%
	DE	86	21%	20%

Fonte: Elaborado a partir do perfil demográfico do município de Vitória e no Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2024, 2025)*.

2.3.3 Análise dos dados

Esta seção apresenta a análise do comportamento de separação de RDO na fonte para resíduos recicláveis secos e resíduos verdes. Além disso, examina a influência das variáveis demográficas sobre os indicadores analisados. Também foram desenvolvidos modelos lineares para predizer o percentual de separação de resíduos domiciliares na fonte e identificados os perfis comportamentais dos participantes. Os procedimentos analíticos adotados estão resumidos na Figura 6.

Figura 6 - Etapas do processo de análise dos dados.



Fonte: Autoria própria. Nota: PLS-SEM: Modelagem de Equações Estruturais por Mínimos Quadrados Parciais; K-means: algoritmo de agrupamento por médias. Fonte: Elaborado pelos autores

2.3.3.1 Análise do comportamento de separação de resíduos na fonte

O comportamento de separação do RDO na fonte pelos respondentes foi analisado por meio da modelagem de equações estruturais por mínimos quadrados parciais (PLS-SEM), utilizando o software SmartPLS® 4.0 (SmartPLS, 2023). Esse método tem sido amplamente empregado em estudos voltados à avaliação do comportamento do consumidor (GHAFFAR; ZAHEER ZAIDI; ISLAM, 2023; IBEABUCHI *et al.*, 2024; LIU; TENG; HAN, 2020; MA; YIN; MCBEAN, 2023; SHOWKAT *et al.*, 2025; ZHANG *et al.*, 2023) e das práticas de gestão de resíduos (EMMANOUIL *et al.*, 2024; FILIMONAU *et al.*, 2023; RAZALI *et al.*, 2020; SAPAWI *et al.*, 2024). A abordagem PLS-SEM compreende duas etapas principais: a análise do modelo de mensuração e a análise do modelo estrutural. O modelo de mensuração avalia as variáveis latentes ao descrever as relações entre esses construtos e seus respectivos indicadores, enquanto o modelo estrutural examina a direção e a intensidade das relações causais entre as variáveis latentes (EMMANOUIL *et al.*, 2024).

Em ambas as etapas foram seguidos os procedimentos recomendados por Ringle, Silva e Bido (2014). O modelo de mensuração foi avaliado por meio da análise fatorial confirmatória, que verifica o grau em que cada indicador se associa ao seu respectivo construto latente com base nas cargas fatoriais (HAIR *et al.*, 2021). A estimativa do modelo de mensuração foi realizada utilizando o Modo A, apropriado para indicadores reflexivos, conforme recomendado por Hair et al. (2021). Em seguida, a consistência interna e a confiabilidade composta foram verificadas por meio do alfa de Cronbach (α) e do coeficiente rho de Dillon-Goldstein (ρ), respectivamente (HAIR *et al.*, 2021). A validade convergente foi avaliada por meio da Variância Média Extraída (*Average Variance Extracted – AVE*) (HENSELER; RINGLE; SINKOVICS, 2009), enquanto a validade discriminante foi verificada utilizando o critério de Fornell-Larcker (FORNELL; LARCKER, 1981) e a razão *heterotrait-monotrait* (HTMT) das correlações (HAIR *et al.*, 2021).

O modelo estrutural foi avaliado em cinco etapas: (1) análise da multicolinearidade por meio do Fator de Inflação da Variância (*Variance Inflation Factor – VIF*), que pode ser estimado como VIF externo (*outer VIF*), para avaliar a colinearidade entre os indicadores, ou VIF interno (*inner VIF*), para avaliar a colinearidade entre as variáveis latentes; (2) avaliação da significância estatística dos caminhos estruturais (*structural paths*), utilizando intervalos de confiança ou valores de *p* (HAIR *et al.*, 2021); 3) avaliação do coeficiente de determinação (R^2), utilizado para examinar a proporção da variância das variáveis dependentes explicada pelas variáveis independentes, indicando o poder explicativo do modelo (COHEN, 1988a); (4) análise do tamanho do efeito (f^2), também conhecido como indicador de Cohen, que mede a

contribuição de cada variável preditora para o modelo; e (5) avaliação da relevância preditiva (Q^2), também denominada indicador de Stone-Geisser, por meio da técnica de *blindfolding*, utilizada para verificar a capacidade preditiva do modelo (HAIR *et al.*, 2021).

2.3.3.2 Análise da influência das variáveis demográficas

Nesta etapa, foi analisada a influência das variáveis demográficas (faixa etária e classe socioeconômica) sobre os indicadores relacionados à separação de resíduos na fonte. Inicialmente, a normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk, cujos resultados indicaram que os dados não apresentavam distribuição normal (KOUHI; ABBASI-TAJADDOD; GHOLAMI-BORUJENI, 2025). Diante disso, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal–Wallis (KRUSKAL, 1952) seguido pelo teste de comparações múltiplas de Dunn (DUNN, 1964), adotando-se nível de significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software XLSTAT®, uma extensão do Microsoft Excel (LUMIVERO, 2025). Ressalta-se que esses testes foram conduzidos no nível dos indicadores e tiveram caráter exclusivamente exploratório e descritivo, fornecendo evidências iniciais sobre a variação das respostas entre os diferentes grupos demográficos.

2.3.3.3 Desenvolvimento dos modelos preditivos

O comportamento de separação de resíduos domiciliares (CSR e CSV) foi avaliado por meio de dois modelos preditivos lineares, desenvolvidos com base nos coeficientes de caminho obtidos no modelo de equações estruturais. Esses modelos foram formulados de acordo com a Equação (2), adaptada de Neves (2018).

$$\mathrm{CS}_{R/V} = \mathrm{CS}_0 + \beta_1 \mathrm{AT} + \beta_2 \mathrm{NS} + \beta_3 \mathrm{CC} \quad (2)$$

Em que:

CSR/V = percentual de resíduos recicláveis e resíduos verdes separados na fonte;

CS_0 = nível inicial do comportamento de separação;

β_1, β_2 e β_3 = efeitos das variáveis latentes, correspondentes aos coeficientes de caminho (path coeficientes);

AT, NS e CC = construtos Atitude, Normas Subjetivas e Controle Comportamental Percebido, respectivamente.

Com base nesses modelos, foram geradas superfícies tridimensionais de resposta para cada construto associado ao comportamento de separação do RDO (CSR e CSV). Em cada simulação, dois construtos foram atribuídos aos eixos X e Y, enquanto CSR ou CSV foram

representados no eixo Z. O terceiro construto da TCP foi mantido constante em um de três níveis de referência normalizados (0,0; 0,4; e 0,8), selecionados com o objetivo de ilustrar os padrões gerais de interação entre os construtos, e não de representar percentis empíricos dos dados observados. Esses valores padronizados foram adotados para facilitar a comparação e a visualização dos resultados, proporcionando uma representação exploratória das interações entre os construtos. O valor máximo da escala foi fixado em 0,8, por representar, nas equações, as maiores taxas de separação de resíduos recicláveis e resíduos verdes consideradas mais realistas de serem alcançadas, com base em estudos anteriores realizados por Galavote et al. (2024c, 2024b). Os níveis iniciais do comportamento de separação foram fixados em 2% para CSR (CSR_0) e 0% para CSV (CSV_0), correspondendo às taxas atuais de separação de resíduos na fonte observadas no município de Vitória (SNIS, 2025).

2.3.3.4 Análise dos perfis comportamentais

Os perfis comportamentais dos respondentes em relação à separação de resíduos domiciliares foram analisados por meio da técnica de agrupamento *k-means* (García-Rández et al., 2023). Foram identificados três grupos distintos, sendo o número ótimo de *clusters* (k = 3) determinado pelos métodos do Cotovelo (Elbow) e da Silhueta Média (*Average Silhouette*), os quais indicaram um ponto de inflexão em k = 3 (soma total dos quadrados *intra-cluster* = 97,72; índice médio de silhueta = 0,409). Essa solução apresentou o melhor equilíbrio entre parcimônia e interpretabilidade, além de estar em consonância com evidências anteriores sobre a segmentação de comportamentos pró-ambientais (YU *et al.*, 2025b).

Os centroides dos clusters foram obtidos a partir dos escores das variáveis latentes estimadas pelo modelo PLS-SEM (Atitude, Normas Subjetivas, Controle Comportamental Percebido e Comportamento de Separação de Resíduos), assegurando total consistência entre o modelo estrutural e a análise de segmentação. A estabilidade da solução foi confirmada pela clara separação dos grupos no espaço definido pela Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis – PCA*) e pelas sucessivas inicializações do algoritmo, que produziram atribuições equivalentes dos respondentes aos respectivos grupos.

Para avaliar a robustez estatística da segmentação, foi realizada uma análise de variância de um fator (ANOVA) utilizando os escores dos fatores latentes. O Controle Comportamental Percebido foi o único construto que apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os clusters ($F = 5,88$; $p = 0,0029$), indicando que essa dimensão constitui o principal fator discriminante dos perfis comportamentais e reforçando a validade da solução composta por três grupos.

O algoritmo *k-means* é um método simples e eficiente para particionar dados em um número predefinido de grupos (k), atribuindo iterativamente cada observação ao *cluster* mais próximo com base na métrica de distância adotada (HAN *et al.*, 2021). Além disso, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) para reduzir a dimensionalidade dos dados e facilitar a visualização dos agrupamentos, conforme recomendado por Mondal e Mandal (2024). Os resultados foram apresentados em dois formatos: (i) um gráfico de dispersão bidimensional, ilustrando a distribuição espacial dos clusters; e (ii) um gráfico radar, comparando os valores médios de cada grupo em diferentes dimensões, incluindo os construtos da TCP e o comportamento de separação de resíduos na fonte.

Todas as análises foram realizadas utilizando o software R® (LUCENT TECHNOLOGIES, 2025), e os scripts empregados encontram-se disponíveis no Apêndice C.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Análise do modelo de mensuração

A modelagem de equações estruturais por mínimos quadrados parciais requer a avaliação do modelo de mensuração para assegurar a confiabilidade, a validade convergente e a validade discriminante do instrumento de pesquisa. Nesse sentido, as cargas fatoriais externas (*outer loadings*) e seus respectivos intervalos de confiança de 95% são apresentados na Tabela 3, confirmando a força e a confiabilidade das relações entre cada indicador e seu respectivo construto. Os indicadores NSR_1 e NSV_1 (apresentados no Quadro 1) apresentaram cargas fatoriais inferiores ao limite recomendado de 0,70 (HAIR *et al.*, 2021).

Observou-se também que esses indicadores afetavam negativamente os valores do alfa de Cronbach, do rho de Dillon-Goldstein (ρ) e da Variância Média Extraída (AVE). Além disso, conforme ilustrado na Figura 8**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, os indicadores NSR_1 e NSV_1 apresentaram as menores frequências de respostas positivas entre todos os itens de seus respectivos construtos, indicando baixo suporte empírico e reduzida representatividade da dimensão teórica subjacente. Dessa forma, em conformidade com as recomendações de Hair et al. (2021) e Ringle, Silva e Bido (2014), esses indicadores foram removidos de ambos os modelos de mensuração. Estatísticas descritivas adicionais e as matrizes de correlação das variáveis latentes para resíduos recicláveis e resíduos verdes são apresentadas no Apêndice C (Tabela 17 - Estatísticas descritivas das variáveis latentes no modelo de equações estruturais para resíduos recicláveis.Tabela 17 e Tabela 18).

Os pesos externos (*outer weights*) apresentaram valores próximos às cargas fatoriais padronizadas (*standardized outer loadings*) reportadas na Tabela 3, padrão esperado em

modelos de mensuração reflexivos estimados pelo Modo A (HAIR *et al.*, 2021), o que reforça a consistência da abordagem de estimação adotada.

Tabela 3 - Cargas fatoriais e indicadores de confiabilidade e validade convergente dos modelos para resíduos recicláveis secos e verdes.

Constructos		Item	Cargas fatoriais	95% CI Inferior	95% CI Superior	α de Cronbach	Confiabilidade composta		AVE
							ρ_a	ρ_c	
Resíduos Recicláveis Secos	Atitude	ATR1	0,909	0,886	0,929	0,704	0,734	0,869	0,769
		ATR2	0,844	0,766	0,902				
	Normas Subjetivas	NSR2	0,876	0,828	0,922	0,702	0,780	0,846	0,648
		NSR3	0,731	0,611	0,817				
		NSR4	0,801	0,711	0,858				
	Controle Comportamental Percebido	CCR1	0,740	0,657	0,820	0,732	0,700	0,830	0,619
		CCR2	0,806	0,703	0,873				
		CCR3	0,812	0,711	0,875				
Resíduos Verdes	Atitude	ATV1	0,895	0,854	0,927	0,724	0,727	0,878	0,783
		ATV2	0,875	0,824	0,915				
	Normas Subjetivas	NSV2	0,898	0,869	0,922	0,704	0,780	0,833	0,626
		NSV3	0,726	0,616	0,808				
		NSV4	0,739	0,641	0,813				
	Controle Comportamental Percebido	CCV1	0,746	0,688	0,797	0,759	0,755	0,861	0,675
		CCV2	0,850	0,780	0,900				
		CCV3	0,863	0,802	0,904				

Fonte: Autoria própria. Nota: A tabela apresenta as cargas fatoriais padronizadas, o alfa de Cronbach e os coeficientes de confiabilidade composta (ρ_a e ρc), utilizados para avaliar a consistência interna, bem como a Variância Média Extraída (AVE), empregada na avaliação da validade convergente. Todos os valores atenderam aos limites recomendados (cargas fatoriais > 0,70; α e ρc > 0,60; AVE > 0,50), confirmando a confiabilidade e a validade do modelo de mensuração baseado na versão modificada da Teoria do Comportamento Planejado (TCP). Os dados foram obtidos a partir dos resultados da modelagem de equações estruturais (SmartPLS, 2023).

O teste de confiabilidade avalia se a amostra está livre de vieses e se as respostas do conjunto de dados são consistentes e confiáveis (RAZALI *et al.*, 2020). Um modelo é considerado confiável quando os valores do alfa de Cronbach e da confiabilidade composta são superiores a 0,60 (HAIR *et al.*, 2021). Assim, tanto o modelo de separação de resíduos recicláveis quanto o de resíduos verdes apresentaram níveis adequados de confiabilidade. Por exemplo, os valores do alfa de Cronbach variaram de 0,702 (ATR) a 0,732 (CCR) no modelo de resíduos recicláveis secos e de 0,704 (NSV) a 0,759 (CCV) no modelo de resíduos verdes. Os valores de confiabilidade composta variaram de 0,830 (CCR) a 0,878 (ATV), sendo considerados elevados segundo Hair et al. (2021). Esses resultados indicam que todos os

construtos da TCP representam adequadamente suas respectivas variáveis latentes em termos de consistência interna.

A validade convergente avalia se os itens de uma determinada variável medem o mesmo construto subjacente (SAPAWI *et al.*, 2024). Essa propriedade é verificada por meio da Variância Média Extraída (AVE), cujo valor deve ser superior a 0,50, indicando que cada construto explica pelo menos 50% da variância de seus indicadores (HAIR *et al.*, 2021). Conforme apresentado na Tabela 3, todos os valores de AVE atenderam a esse critério. Portanto, os modelos de mensuração para resíduos recicláveis e resíduos verdes apresentaram confiabilidade individual e composta satisfatórias, além de validade convergente adequada.

A validade discriminante foi utilizada para avaliar o grau em que as variáveis latentes são distintas entre si, confirmando que os construtos não apresentam sobreposição conceitual (RAZALI *et al.*, 2020). Para essa avaliação foram empregados dois procedimentos: a razão HTMT (*Heterotrait-Monotrait Ratio*) e o critério de Fornell-Larcker. O método HTMT compara as correlações entre construtos com as correlações entre indicadores pertencentes ao mesmo construto. Valores inferiores a 0,85 indicam que os construtos da TCP são estatística e conceitualmente distintos (HENSELER; RINGLE; SARSTEDT, 2015). Conforme apresentado na Tabela 4, a validade discriminante foi confirmada para ambos os modelos (resíduos recicláveis secos e resíduos verdes) uma vez que todas as razões HTMT permaneceram abaixo do limite de 0,85.

Tabela 4 - Validade discriminante avaliada pelo método HTMT.

Constructo	**Resíduos recicláveis secos**			**Resíduos verdes**		
	ATR	**CCR**	**CSR**	**ATV**	**CCV**	**CSV**
Atitude						
Controle Comportamental Percebido	0,716			0,816		
Comportamento de Separação	0,815	0,492		0,726	0,532	
Normas Subjetivas	0,365	0,419	0,111	0,542	0,573	0,336

Fonte: Autoria própria. Nota: A tabela apresenta as correlações entre os construtos Atitude (ATR/ATV), Controle Comportamental Percebido (CCR/CCV), Normas Subjetivas (NSR/NSV) e Comportamento de Separação de Resíduos (CSR/CSV) para os modelos de resíduos recicláveis e resíduos verdes. Os dados foram obtidos a partir dos resultados da modelagem PLS-SEM.(SmartPLS, 2023).

A validade discriminante também foi avaliada por meio do critério de Fornell-Larcker. Segundo esse critério, as raízes quadradas dos valores de AVE de cada construto latente devem ser superiores às correlações entre esse construto e qualquer outro construto do modelo (Fornell e Larcker, 1981). A Tabela 5 apresenta as raízes quadradas da AVE, destacadas na diagonal principal, enquanto os elementos fora da diagonal representam as correlações entre os

construtos. Em todos os casos, as raízes quadradas da AVE foram substancialmente superiores às respectivas correlações entre construtos, indicando que o modelo atende aos requisitos de validade discriminante.

Tabela 5 - Validade discriminante com base no critério de Fornell-Larcker.

Constructo	Resíduos recicláveis secos				Resíduos verdes			
	ATR	CCR	CSR	NSR	ATV	CCV	CSV	NSR
Atitude	0,877				0,885			
Controle Comportamental Percebido	0,524	0,787			0,613	0,821		
Comportamento de Separação	0,702	0,446	1,000		0,623	0,480	1,000	
Normas Subjetivas	0,261	0,300	0,100	0,805	0,403	0,429	0,295	0,791

Fonte: Autoria própria. Nota: Os valores da diagonal (em negrito) representam as raízes quadradas da Variância Média Extraída (AVE) para cada construto: Atitude (ATR/ATV), Controle Comportamental Percebido (CCR/CCV), Normas Subjetivas (NSR/NSV) e Comportamento de Separação de Resíduos (CSR/CSV). Os valores fora da diagonal correspondem às correlações entre os construtos. Os dados foram obtidos a partir dos resultados da modelagem PLS-SEM (SmartPLS, 2023).

2.4.2 Resultados do modelo estrutural

Antes da avaliação do modelo estrutural, foram examinados os valores do VIF interno (*inner VIF*) para verificar a presença de multicolinearidade entre as variáveis latentes (GHAFFAR; ZAHEER ZAIDI; ISLAM, 2023). Os valores apresentados correspondem aos VIFs internos, utilizados para avaliar a colinearidade entre as variáveis latentes do modelo estrutural (HAIR *et al.*, 2021). Valores de VIF inferiores a 5 indicam que as variáveis não apresentam correlação excessiva entre si, evitando distorções na estimativa do modelo (HAIR *et al.*, 2021; SAPAWI *et al.*, 2024). Conforme apresentado na Tabela 6, os valores de VIF variaram de 1,000 a 1,435 para o modelo de resíduos recicláveis e de 1,000 a 1,711 para o modelo de resíduos verdes, confirmando a ausência de problemas de multicolinearidade.

Tabela 6 - Valores do Fator de Inflação da Variância (VIF) para os modelos de resíduos recicláveis e resíduos verdes.

Relação	Resíduos recicláveis secos	Resíduos verdes
Atitude → Comportamento de Separação na Fonte	1,402	1,668
Controle Comportamental Percebido → Atitude	1,099	1,225
Controle Comportamental Percebido → Comportamento de Separação na Fonte	1,435	1,711
Normas Subjetivas → Atitude	1,099	1,225
Normas Subjetivas → Controle Comportamental Percebido	1,000	1,000
Normas Subjetivas → Comportamento de Separação na Fonte	1,117	1,275

Fonte: Autoria própria. Os resultados foram obtidos por meio do SmartPLS (2023).

Embora o estudo tenha utilizado dados autorrelatados, diversas estratégias metodológicas foram adotadas para reduzir a probabilidade de ocorrência de viés de método comum (*common method bias*) (PODSAKOFF *et al.*, 2003). Entre essas estratégias destacam-se a garantia do anonimato dos participantes, a utilização de afirmações redigidas de forma neutra e objetiva, e a organização dos indicadores em seções distintas do questionário conforme o construto a que pertencem. Essa organização teve como objetivo minimizar efeitos de contexto entre os itens e reduzir a apreensão dos respondentes durante a avaliação. Tais procedimentos são amplamente reconhecidos na literatura como medidas eficazes para mitigar a variância decorrente do método comum em pesquisas baseadas em questionários de fonte única (MACKENZIE; PODSAKOFF, 2012; PODSAKOFF *et al.*, 2003).

2.4.3 Teste das hipóteses

As hipóteses foram testadas por meio da técnica de *bootstrap*, utilizando 5.000 reamostragens e nível de significância de 5%. As análises foram realizadas no software SmartPLS® 4.0 (SmartPLS, 2023). Esse procedimento permitiu obter os valores de t e p (Tabela 7), utilizados para avaliar a significância estatística dos coeficientes de caminho (β) entre as variáveis. Conforme indicado por Hair et al. (2021) valores de t superiores a 1,96 confirmam a significância estatística das relações. Os valores de f^2 foram utilizados para avaliar a magnitude da influência das variáveis exógenas sobre as variáveis dependentes (SAPAWI *et al.*, 2024). Segundo Cohen (1988a), valores de f^2 inferiores a 0,15 representam efeitos pequenos, valores entre 0,15 e 0,35 representam efeitos médios e valores iguais ou superiores a 0,35 indicam efeitos grandes.

Tabela 7 - Coeficientes de caminho, estatísticas t e resultados das hipóteses do modelo de equações estruturais por mínimos quadrados parciais.

Hipóteses		Variável	β	Média	DP	Valor-t	Valor-p	95% IC Inferior	95% IC Superior	Resultado do teste	f^2	Tamanho do Efeito
Resíduos recicláveis secos	H_{R1}	ATR→CSR	0,661	0,663	0,053	12,544	0,000	0,556	0,762	S	0,639	Grande
	$H_{R2.1}$	CCR→CSR	0,134	0,135	0,052	2,574	0,010	0,036	0,236	S	0,026	Pequeno
	$H_{R2.2}$	CCR→ATR	0,490	0,494	0,050	9,798	0,000	0,395	0,589	S	0,306	Grande
	$H_{R3.1}$	NSR→CSR	−0,113	−0,112	0,040	2,833	0,005	-0,187	-0,033	S	0,017	Pequeno
	$H_{R3.2}$	NSR→ATR	0,114	0,112	0,049	2,301	0,021	0,015	0,212	S	0,099	Pequeno
	$H_{R3.3}$	NSR→CCR	0,300	0,304	0,057	5,249	0,000	0,193	0,417	S	0,023	Pequeno
Resíduos verdes	Hv_1	ATV→CSV	0,522	0,522	0,059	8,915	0,000	0,402	0,636	S	0,279	Médio
	$Hv_{2.1}$	CCV→CSV	0,152	0,153	0,051	2,958	0,003	0,053	0,252	S	0,023	Pequeno
	$Hv_{2.2}$	CCV→ATV	0,540	0,542	0,048	11,242	0,000	0,447	0,633	S	0,397	Grande
	$Hv_{3.1}$	NSV→CSV	0,019	0,019	0,049	0,389	0,698	-0,075	0,120	NS	0,000	
	$Hv_{3.2}$	NSV→ATV	0,172	0,171	0,052	3,291	0,001	0,066	0,272	S	0,040	Pequeno
	$Hv_{3.3}$	NSV→CCV	0,429	0,433	0,048	8,930	0,000	0,334	0,525	S	0,225	Médio

Fonte: Autoria propria. Nota: A tabela apresenta os resultados dos testes de hipóteses da versão modificada da Teoria do Comportamento Planejado (TCP), contemplando as relações entre os construtos Atitude (ATR/ATV), Controle Comportamental Percebido (CCR/CCV), Normas Subjetivas (NSR/NSV) e Comportamento de Separação de Resíduos (CSR/CSV), para resíduos recicláveis e resíduos verdes. Os coeficientes de caminho (β), os valores de t e de p indicam a magnitude e a significância estatística de cada relação, sendo consideradas suportadas (S) as hipóteses com valor-t > 1,96 e valor-p < 0,05, e não suportadas (NS) as demais. Os tamanhos de efeito (f^2) foram classificados como pequenos ($f^2 < 0,15$), médios ($0,15 \leq f^2 < 0,35$) ou grandes ($f^2 \geq 0,35$) (COHEN, 1988a, 1988b). Os resultados foram obtidos por meio do SmartPLS (2023).

No modelo referente à separação de resíduos recicláveis, a Atitude (β = 0,661; t = 12,544; p < 0,05) exerceu efeito significativo sobre o comportamento de separação de resíduos na fonte, corroborando a hipótese H_{R1}. A Atitude também foi significativamente influenciada pelo Controle Comportamental Percebido (β = 0,490; t = 9,798; p < 0,05), confirmando a hipótese $H_{R2.2}$. Esses resultados foram reforçados pelos valores de f^2, que indicaram efeito de grande magnitude. Além disso, observou-se que o Controle Comportamental Percebido (β = 0,134; t = 2,574; p < 0,05) influenciou significativamente o comportamento de separação de resíduos, enquanto as Normas Subjetivas influenciaram tanto a Atitude (β = 0,114; t = 2,301; p < 0,05) quanto o Controle Comportamental Percebido (β = 0,300; t = 5,249; p < 0,05). Dessa forma, as hipóteses $H_{R2.1}$, $H_{R3.2}$ e $H_{R3.3}$ foram confirmadas, embora os respectivos efeitos tenham sido classificados como pequenos. Em contrapartida, a hipótese $H_{R3.1}$ não foi corroborada, uma vez que as Normas Subjetivas apresentaram efeito negativo e de magnitude muito reduzida sobre o comportamento de separação de resíduos na fonte.

O modelo referente à separação de resíduos verdes apresentou resultados semelhantes. A Atitude (β = 0,522; t = 8,915; p < 0,05) exerceu influência significativa sobre o comportamento de separação de resíduos, confirmando a hipótese H_{V1}. Da mesma forma, a hipótese $H_{V2.2}$ foi validada, uma vez que o Controle Comportamental Percebido (β = 0,540; t = 11,242; p < 0,05) exerceu forte influência sobre a Atitude. Diferentemente do observado para os resíduos recicláveis, as Normas Subjetivas (β = 0,429; t = 8,930; p < 0,05) exerceram influência significativa sobre o Controle Comportamental Percebido, confirmando a hipótese $H_{V3.3.}$ Esses resultados foram respaldados pelos valores de f^2, que indicaram efeitos médios para H_{V1} e $H_{V3.3}$, e efeito grande para $H_{V2.2}$. Além disso, o Controle Comportamental Percebido (β = 0,152; t = 2,958; p < 0,05) apresentou efeito pequeno, porém significativo, sobre o comportamento de separação de resíduos ($H_{V2.1}$), enquanto as Normas Subjetivas (β = 0,172; t = 3,291; p < 0,05) influenciaram a Atitude ($H_{V3.2}$). Embora estatisticamente significativos, esses efeitos também foram classificados como pequenos. Por fim, a hipótese $H_{V3.1}$ não foi confirmada, uma vez que os valores de t e p não atingiram os critérios de significância estabelecidos. Assim, as Normas Subjetivas não parecem exercer influência direta sobre o comportamento de separação de resíduos domiciliares, tanto para resíduos recicláveis quanto para resíduos verdes.

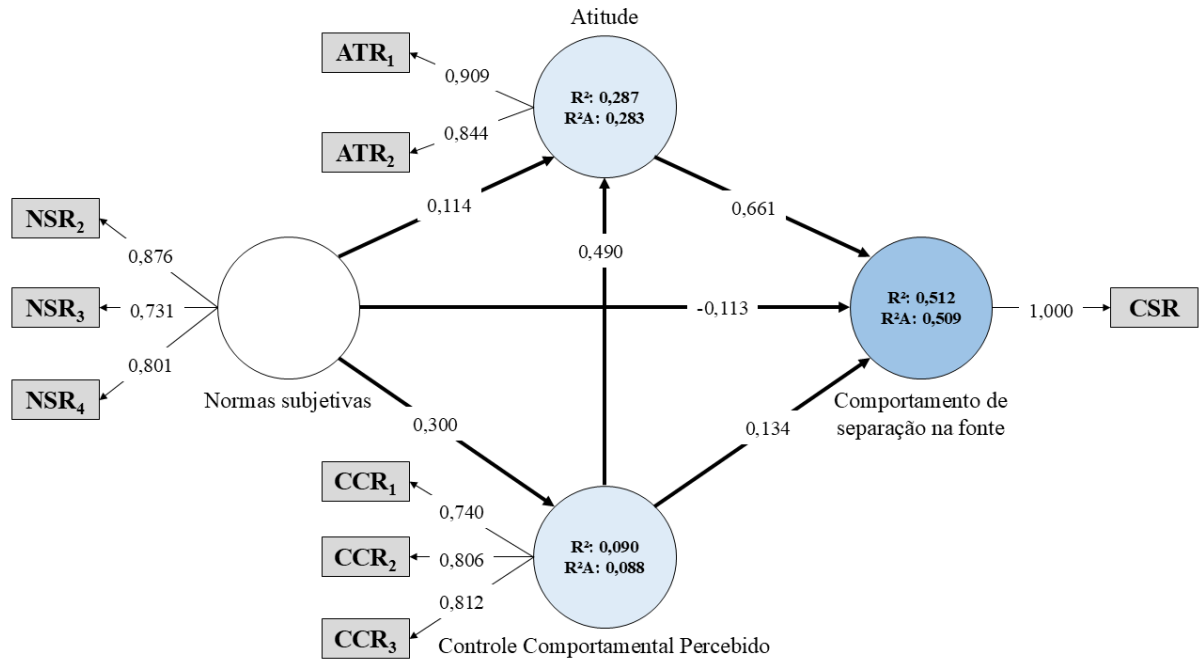
Embora os efeitos diretos das Normas Subjetivas sobre o comportamento tenham sido fracos ou não significativos em ambos os modelos, análises adicionais (apresentadas no Apêndice C,Figura 39 e Figura 40) demonstraram que esses coeficientes são instáveis e refletem um efeito de supressão (*suppression effect*). Quando modelos simplificados foram reestimados,

o caminho direto entre Normas Subjetivas e comportamento tornou-se positivo, mantendo, contudo, pequena magnitude. Esse resultado indica que os coeficientes negativos ou nulos observados nos modelos completos decorrem de um processo de mediação competitiva. Nesse processo, mediadores com forte influência, como a Atitude e o Controle Comportamental Percebido, absorvem a variância compartilhada. Como consequência, o efeito direto da variável preditora acaba mascarado ou invertido, fenômeno amplamente documentado na literatura sobre modelos multivariados (MACKINNON; KRULL; LOCKWOOD, 2000).

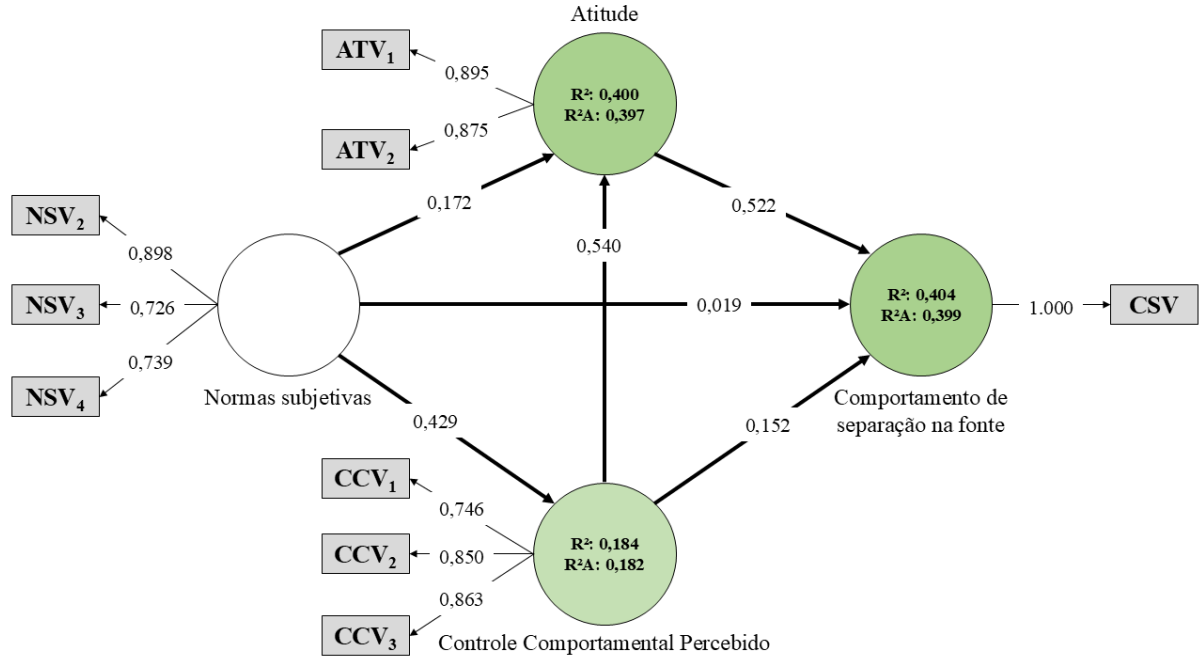
A Figura 7 apresenta os modelos de equações estruturais referentes ao comportamento de separação de resíduos domiciliares com base na versão modificada da TCP. O coeficiente de determinação (R^2) encontra-se apresentado no centro de cada variável latente. O R^2 representa a proporção da variância da variável dependente explicada por seus preditores, enquanto o R^2 ajustado refina essa estimativa ao considerar o número de variáveis preditoras do modelo, fornecendo uma medida mais conservadora e comparável do poder explicativo (HAIR *et al.*, 2021). Valores de R^2 inferiores a 0,30 indicam baixo poder explicativo, valores entre 0,30 e 0,60 indicam poder explicativo moderado, e valores superiores a 0,60 representam elevado poder explicativo. A intensidade das cores da figura corresponde a essa classificação (EMMANOUIL *et al.*, 2024; KHAN; AHMED; NAJMI, 2019).

Neste estudo, os valores de R^2 e R^2 ajustado para o Comportamento de Separação de Resíduos foram de 0,512 e 0,509 no modelo de resíduos recicláveis (Figura 7**Erro! Fonte de referência não encontrada.**a), e de 0,404 e 0,399 no modelo de resíduos verdes (Figura 7b). Esses resultados indicam que ambos os modelos apresentam poder explicativo moderado, sendo o modelo de resíduos recicláveis secos ligeiramente superior. Para o construto Atitude, o modelo de resíduos recicláveis apresentou baixo poder explicativo (R^2 = 0,287; R^2 ajustado = 0,283), enquanto o modelo de resíduos verdes apresentou nível moderado (R^2 = 0,400; R^2 ajustado = 0,397). Por fim, ambos os modelos apresentaram baixo poder explicativo para o Controle Comportamental Percebido, com valores de R^2 = 0,090 (R^2 ajustado = 0,088) para resíduos recicláveis e R^2 = 0,184 (R^2 ajustado = 0,182) para resíduos verdes. As pequenas diferenças entre os valores de R^2 e R^2 ajustado indicam que a capacidade explicativa dos modelos é estável e não foi inflada pelo número de variáveis preditoras. Ainda assim, os resultados devem ser interpretados com cautela, sobretudo em razão das magnitudes moderadas observadas para os diferentes construtos.

Figura 7 - Resultados do modelo de equações estruturais para a separação de resíduos domiciliares (a) recicláveis secos e (b) verdes, com base na versão modificada da Teoria do Comportamento Planejado.



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria. Nota: R²: coeficiente de determinação; R²A: coeficiente de determinação ajustado. Atitude (ATR/ATV), Controle Comportamental Percebido (CCR/CCV), Normas Subjetivas (NSR/NSV) e Comportamento de Separação de Resíduos (CSR/CSV), para resíduos recicláveis e resíduos verdes, respectivamente.

Adicionalmente, Figura 7 apresenta também as cargas fatoriais (*loadings*), que indicam a força e a direção da relação entre cada variável latente e seus respectivos indicadores

(variáveis observadas), bem como os coeficientes de caminho (*path coefficients*), que representam a magnitude e a direção das relações entre as variáveis latentes, isto é, entre os construtos do modelo (HAIR *et al.*, 2021). Tanto as cargas fatoriais quanto os coeficientes de caminho foram discutidos detalhadamente nas seções anteriores.

A validade preditiva do modelo foi avaliada por meio do indicador de Stone-Geisser (Q^2), cujos valores devem ser superiores a zero para confirmar a capacidade preditiva do modelo (HAIR *et al.*, 2021; IBEABUCHI *et al.*, 2024). Os resultados, apresentados na Tabela 8, indicaram que os construtos preditores (Atitude, Normas Subjetivas e Controle Comportamental Percebido) contribuíram efetivamente para predizer o comportamento de separação de resíduos domiciliares, tanto para resíduos recicláveis quanto para resíduos verdes. Destaca-se que o modelo de resíduos verdes apresentou valores de Q^2 superiores em todos os indicadores, sugerindo maior relevância preditiva e maior precisão na estimativa dos dados observados.

Tabela 8 - Valores de Q^2 preditivo.

		Q^2 preditivo	**PLS-SEM_RMSE**	**PLS-SEM_MAE**	**LM_RMSE**	**LM_MAE**
Resíduos recicláveis	**ATR_1**	0,011	0,763	0,592	0,763	0,601
	ATR_2	0,086	0,725	0,554	0,728	0,551
	BCR_1	0,014	1,052	0,796	1,056	0,798
	BCR_2	0,066	0,835	0,622	0,836	0,622
	BCR_3	0,082	0,803	0,594	0,803	0,596
	SBR	0,003	0,927	0,720	0,930	0,721
Resíduos verdes	**ATV_1**	0,062	0,847	0,634	0,845	0,639
	ATV_2	0,179	0,720	0,547	0,722	0,550
	CCV_1	0,065	1,080	0,852	1,076	0,855
	CCV_2	0,160	0,844	0,609	0,846	0,620
	CCV_3	0,141	0,849	0,616	0,849	0,624
	CSV	0,080	1,009	0,775	1,010	0,770

Fonte: Autoria própria. Nota: A tabela apresenta os valores de Q^2 obtidos por meio do indicador de Stone-Geisser para avaliar a relevância preditiva de cada construto da versão modificada da Teoria do Comportamento Planejado (TCP): Atitude (ATR/ATV), Controle Comportamental Percebido (CCR/CCV) e Comportamento de Separação de Resíduos (CSR/CSV). Valores superiores a zero indicam capacidade preditiva adequada. A tabela também compara o desempenho do modelo PLS-SEM com o de um modelo de regressão linear, utilizando a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o erro absoluto médio (MAE). Valores inferiores de RMSE e MAE para o PLS-SEM confirmam sua maior precisão preditiva. Os resultados foram obtidos por meio do SmartPLS (2023).

Adicionalmente, o desempenho do modelo PLS-SEM proposto foi comparado ao de um modelo de regressão linear. Embora ambos tenham apresentado desempenho semelhante, o modelo PLS-SEM apresentou valores inferiores de RMSE e MAE, indicando precisão preditiva

ligeiramente superior. Em sua forma padrão, o PLS-SEM estima relações lineares entre construtos latentes; neste estudo, não foram especificados termos de interação ou componentes não lineares, uma vez que o referencial teórico adotado se concentra em efeitos lineares diretos e mediados, em conformidade com a Teoria do Comportamento Planejado (MA; WANG; KONG, 2020). Apesar da diferença modesta nas métricas preditivas, o PLS-SEM oferece vantagens adicionais, especialmente por sua capacidade de lidar com modelos complexos contendo múltiplas variáveis latentes, estimar simultaneamente os modelos de mensuração e estrutural e proporcionar maior facilidade de interpretação (HAIR *et al.*, 2021). Dessa forma, a abordagem PLS-SEM foi considerada a mais adequada e robusta para atender aos objetivos desta pesquisa.

2.4.4 Análise de mediação

A Variância Explicada pela Mediação (*Variance Accounted For – VAF*) foi utilizada para avaliar em que medida os efeitos das Normas Subjetivas e do Controle Comportamental Percebido sobre o Comportamento de Separação de Resíduos ocorrem por meio dos mediadores propostos. O VAF representa a proporção do efeito total explicada pelo caminho indireto, indicando a intensidade da mediação. De acordo com os limites comumente adotados em estudos que utilizam PLS-SEM (Hair et al., 2021), valores de VAF inferiores a 20% indicam ausência de mediação, valores entre 20% e 80% indicam mediação parcial, e valores superiores a 80% indicam mediação total.

Neste estudo, todas as estimativas de VAF, tanto para o modelo de resíduos recicláveis quanto para o modelo de resíduos verdes, situaram-se no intervalo de 20% a 80% (Tabela 9), demonstrando que a Atitude e o Controle Comportamental Percebido mediam parcialmente os efeitos das Normas Subjetivas sobre a intenção de realizar a separação de resíduos na fonte. Esses resultados confirmam as expectativas teóricas da Teoria do Comportamento Planejado (TCP) e reforçam o papel central dos determinantes psicológicos internos na formação das intenções condicionais dos indivíduos em diferentes cenários de gestão de resíduos.

Informações técnicas complementares que dão suporte aos modelos de mensuração e estrutural, incluindo as matrizes de correlação (Tabela 13 e Tabela 14), as cargas cruzadas (*cross-loadings*) (Tabela 15 e Tabela 16), as estatísticas descritivas (Tabela 17 e Tabela 18), as razões HTMT com intervalos de confiança de 95% (Tabela 19 e Tabela 20) e os índices de ajuste do modelo (Tabela 21 e Tabela 22), encontram-se disponíveis no Apêndice C.

Tabela 9 - Efeitos de mediação e Variância Explicada pela Mediação (VAF) nos modelos de separação de resíduos recicláveis e resíduos verdes.

Caminho de Mediação		Efeito Indireto	Efeito Total (Real)	VAF	Interpretação
Recicláveis	**CCR → ATR → CSR**	0,324	0,458	70,7%	Mediação parcial forte
	NSR → ATR (+CCR) → CSR	0,213	0,313	68,1%	Mediação parcial forte
	NSR → CCR → CSR	0,137	0,313	43,8%	Mediação parcial
Verdes	**CCV → ATV → CSV**	0,282	0,434	64,9%	Mediação parcial forte
	NSV → ATV (+CCV) → CSV	0,276	0,571	48,3%	Mediação parcial
	NSV → CCV → CSV	0,186	0,571	32,6%	Mediação parcial

Fonte: Autoria propria. Nota: A Variância Explicada pela Mediação (VAF – Variance Accounted For) representa a proporção do efeito total explicada pelo efeito indireto (mediado). O VAF é calculado pela razão entre o efeito indireto e o efeito total. Os critérios de interpretação amplamente utilizados em análises de mediação são: VAF < 20% = ausência de mediação; 20%–80% = mediação parcial; VAF > 80% = mediação total (HAIR *et al.*, 2021).

2.4.5 Contribuições das variáveis demográficas

O teste de Kruskal–Wallis foi aplicado para avaliar a influência das variáveis demográficas, especialmente faixa etária e classe socioeconômica, sobre os indicadores dos construtos. Foram consideradas duas hipóteses: a hipótese nula (H_0), que pressupõe distribuições iguais entre os grupos, indicando que as médias não diferem significativamente; e a hipótese alternativa (H_1), segundo a qual pelo menos um dos grupos apresenta distribuição diferente dos demais, indicando diferenças estatisticamente significativas entre as médias ($p < 0,05$). Na Tabela 10, as influências estatisticamente significativas estão destacadas em verde.

Os resultados indicam que a faixa etária influenciou significativamente os indicadores NSR_4, CCR_1 e CCR_3 no modelo de separação de resíduos recicláveis, bem como os indicadores NSV_4, CCV_1 e CCV_3 no modelo de separação de resíduos verdes. A classe socioeconômica, por sua vez, exerceu influência significativa apenas sobre o indicador NSR_4. Esses resultados indicam que a idade influencia significativamente a percepção de facilidade para separar os resíduos, a percepção dos benefícios pessoais associados às recompensas e a predisposição em utilizar Pontos de Entrega Voluntária. Já a classe socioeconômica influencia significativamente a percepção dos benefícios pessoais decorrentes da separação de resíduos.

Tabela 10 - Análise de variância das variáveis demográficas.

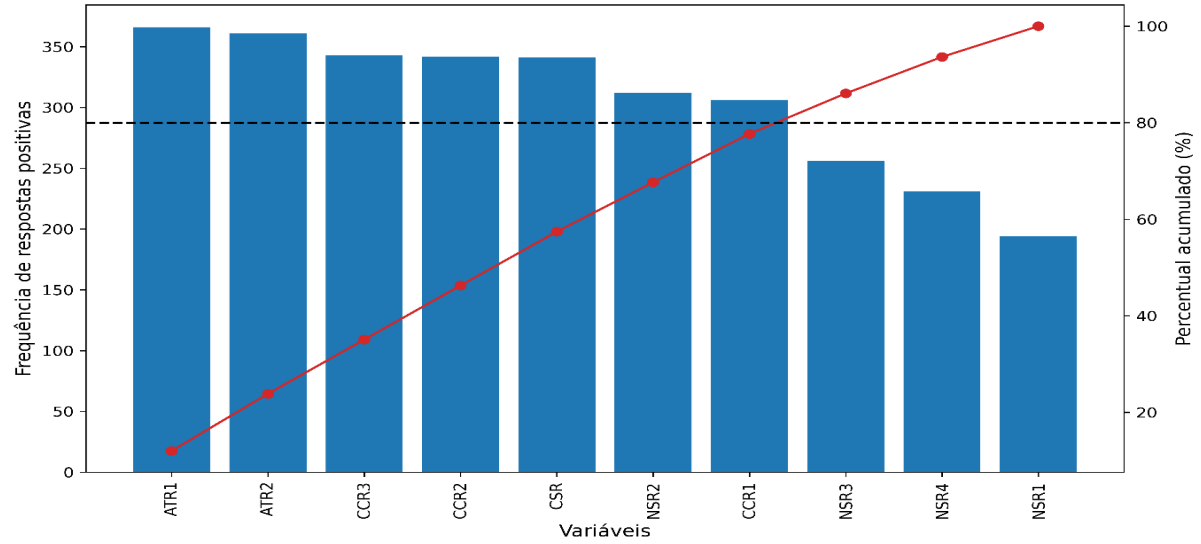
Constructos		Itens	Grupo Etário (anos)						Classe Socioeconômica						
			Médias					p	Médias						p
			<27	28–43	44–59	60–78	>79		A	B1	B2	C1	C2	DE	
Resíduos recicláveis secos	Atitude	ATR_1	4.3	4.4	4.5	4.5	4.4	0.228	4.7	4.4	4.4	4.5	4.4	4.3	0.064
		ATR_2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.3	0.445	4.7	4.5	4.2	4.4	4.4	4.2	0.231
	Normas Subjetivas	SNR_2	3.9	4.2	4.1	3.8	3.9	0.129	4.3	4.0	3.9	3.8	4.2	4.0	0.230
		SNR_3	3.8	3.6	3.6	3.7	3.6	0.895	3.8	3.9	3.4	3.7	3.8	3.7	0.669
		SNR_4	3.6	3.7	3.6	3.0	2.7	0.001	3.1	3.5	3.4	3.1	3.8	3.5	0.009
	Controle Comportamental Percebido	BCR_1	3.6	3.9	4.2	4.4	4.6	0.000	4.1	3.5	4.2	4.0	4.0	3.9	0.063
		BCR_2	4.0	4.2	4.2	4.3	4.4	0.073	4.0	3.7	4.2	4.2	4.3	4.2	0.209
		BCR_3	4.0	4.1	4.2	4.5	4.1	0.007	4.2	3.5	4.1	4.2	4.3	4.3	0.092
Resíduos verdes	Atitude	ATV_1	4.1	4.2	4.3	4.3	3.8	0.366	3.8	4.3	4.0	4.3	4.3	4.2	0.111
		ATV_2	4.2	4.4	4.2	4.2	3.9	0.451	4.3	4.3	4.1	4.3	4.3	4.2	0.246
	Normas Subjetivas	SNV_2	3.8	4.0	4.0	3.6	3.3	0.146	4.1	3.9	3.7	3.6	4.0	4.0	0.192
		SNV_3	3.8	3.6	3.6	3.6	3.1	0.561	3.7	3.8	3.4	3.7	3.7	3.6	0.857
		SNV_4	3.5	3.6	3.6	3.0	2.9	0.011	3.3	3.5	3.3	3.1	3.7	3.4	0.096
	Controle Comportamental Percebido	BCV_1	3.5	3.9	4.0	4.2	4.1	0.000	3.5	3.4	3.9	4.0	4.0	3.9	0.191
		BCV_2	4.1	4.2	4.0	4.2	4.0	0.274	3.9	3.5	4.1	4.2	4.2	4.2	0.132
		BCV_3	4.0	4.2	4.1	4.3	3.7	0.022	3.9	3.6	4.2	4.1	4.2	4.3	0.257

Fonte: Autoria propria. Nota: São apresentados os valores médios e os valores de p obtidos pelos testes de Kruskal–Wallis e Dunn para os construtos Atitude (ATR/ATV), Controle Comportamental Percebido (CCR/CCV) e Normas Subjetivas (NSR/NSV). Os resultados estatisticamente significativos ($p < 0,05$) estão destacados em verde.

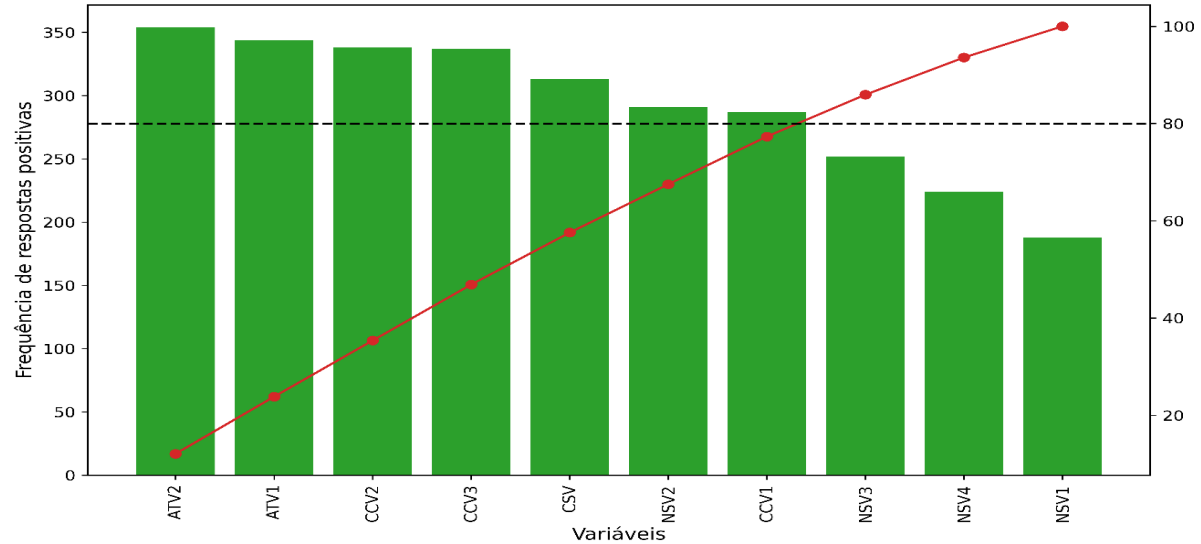
2.5 DISCUSSÃO E IMPLICAÇÕES PARA O PLANEJAMENTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Os modelos PLS-SEM propostos apresentaram desempenho semelhante na validação do comportamento de separação de resíduos na fonte. No entanto, o modelo de separação de resíduos recicláveis secos apresentou um ajuste ligeiramente superior ao modelo de resíduos verdes, conforme evidenciado pelos coeficientes de caminho (Figura 7) e pela maior frequência de respostas positivas (Figura 8) relacionadas ao comportamento de separação de resíduos recicláveis secos (CSR), em comparação com a separação de resíduos verdes (CSV).

Figura 8 -Frequência de respostas positivas dos indicadores nos modelos de separação de resíduos domiciliares (a) recicláveis secos e (b) verdes.



a)



b)

Fonte: Autoria propria. Nota: A figura compara a frequência de respostas positivas (barras) e os percentuais acumulados (linhas vermelhas) para os construtos da Teoria do Comportamento Planejado modificada — Atitude (ATR/ATV), Controle Comportamental Percebido (CCR/CCV), Normas Subjetivas (NSR/NSV) e Comportamento de Separação de Resíduos (CSR/CSV). A linha tracejada indica o limiar acumulado de 80%, utilizado para identificar os indicadores mais influentes.

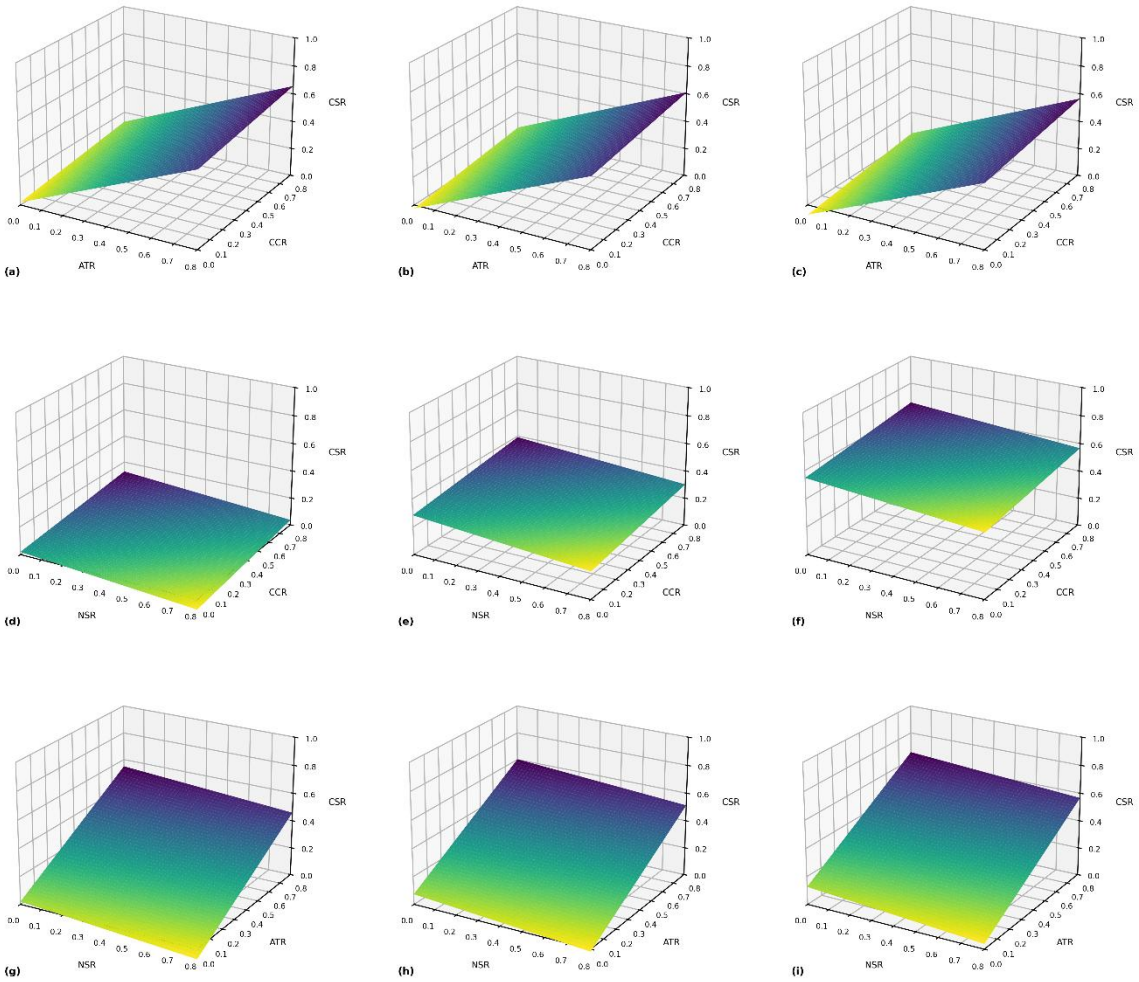
Observa-se que os indicadores relacionados à Atitude (indicadores 1 e 2) e às Normas Subjetivas (indicadores 2 e 3) apresentaram maior frequência de respostas positivas no modelo de separação de resíduos recicláveis (Figura 8**Erro! Fonte de referência não encontrada.**a) do que no modelo de separação de resíduos verdes (Figura 8b). Além disso, a correlação de Pearson entre o comportamento de separação de resíduos na fonte e os demais construtos foi mais elevada no modelo de separação de resíduos recicláveis, sugerindo uma relação mais robusta entre os fatores investigados.

Essa diferença de desempenho pode ser atribuída à maior familiaridade dos respondentes com a separação de resíduos recicláveis secos, prática obrigatória em condomínios residenciais desde 2012 (VITÓRIA, 2002). Em contraste, a separação de resíduos verdes ainda não é obrigatória, o que pode explicar a menor frequência de respostas positivas. Pereira e Fiore (2022) confirmaram que o hábito constitui um fator determinante na separação de resíduos, destacando que essa prática tende a consolidar-se ao longo do tempo por meio da repetição. Nesse sentido, tanto a obrigatoriedade normativa quanto a familiaridade com a prática desempenham papel central na promoção da separação de resíduos domiciliares na fonte. Assim, a ausência de medidas obrigatórias para a separação de resíduos verdes pode explicar sua menor adesão, evidenciando a necessidade de incentivos específicos que favoreçam a consolidação desse comportamento como um hábito.

Com o objetivo de evidenciar o efeito dos construtos da TCP sobre a taxa de separação de resíduos recicláveis domiciliares, representada pela variável CSR, a Figura 9 apresenta superfícies de resposta que descrevem as relações entre Normas Subjetivas (NSR), Atitude (ATR) e Controle Comportamental Percebido (CCR). Nessas superfícies, dois construtos variam simultaneamente, enquanto o terceiro permanece constante. Especificamente, a variável Normas Subjetivas permanece fixa nas Figura 9 (a, b, c) a Atitude permanece fixa nas Figura 9 (d, e, f); e o Controle Comportamental Percebido permanece fixo nas Figura 9 (g, h, i). Os níveis atribuídos a cada variável foram 0,0 (Fig. a, d, g), 0,4 (Fig. b, e, h) e 0,8 (Fig. c, f, i). O valor máximo de 0,8 foi adotado para representar, de forma mais realista, as maiores taxas de separação de resíduos que podem ser alcançadas na prática. As superfícies de resposta foram geradas com base na Equação 3, estruturada a partir dos coeficientes de caminho obtidos no modelo estrutural apresentado na Figura 7.

$$\mathrm{CSR} = 0{,}02 + 0{,}661\mathrm{ATR} - 0{,}113\mathrm{NSR} + 0{,}134\mathrm{CCR} \quad (3)$$

Figura 9 - Comportamento de Separação de Resíduos Recicláveis (CSR) em função das Normas Subjetivas (NSR), da Atitude (ATR) e do Controle Comportamental Percebido (CCR), mantendo-se um dos construtos fixo em (a, d, g) 0,0; (b, e, h) 0,4; ou (c, f, i) 0,8.



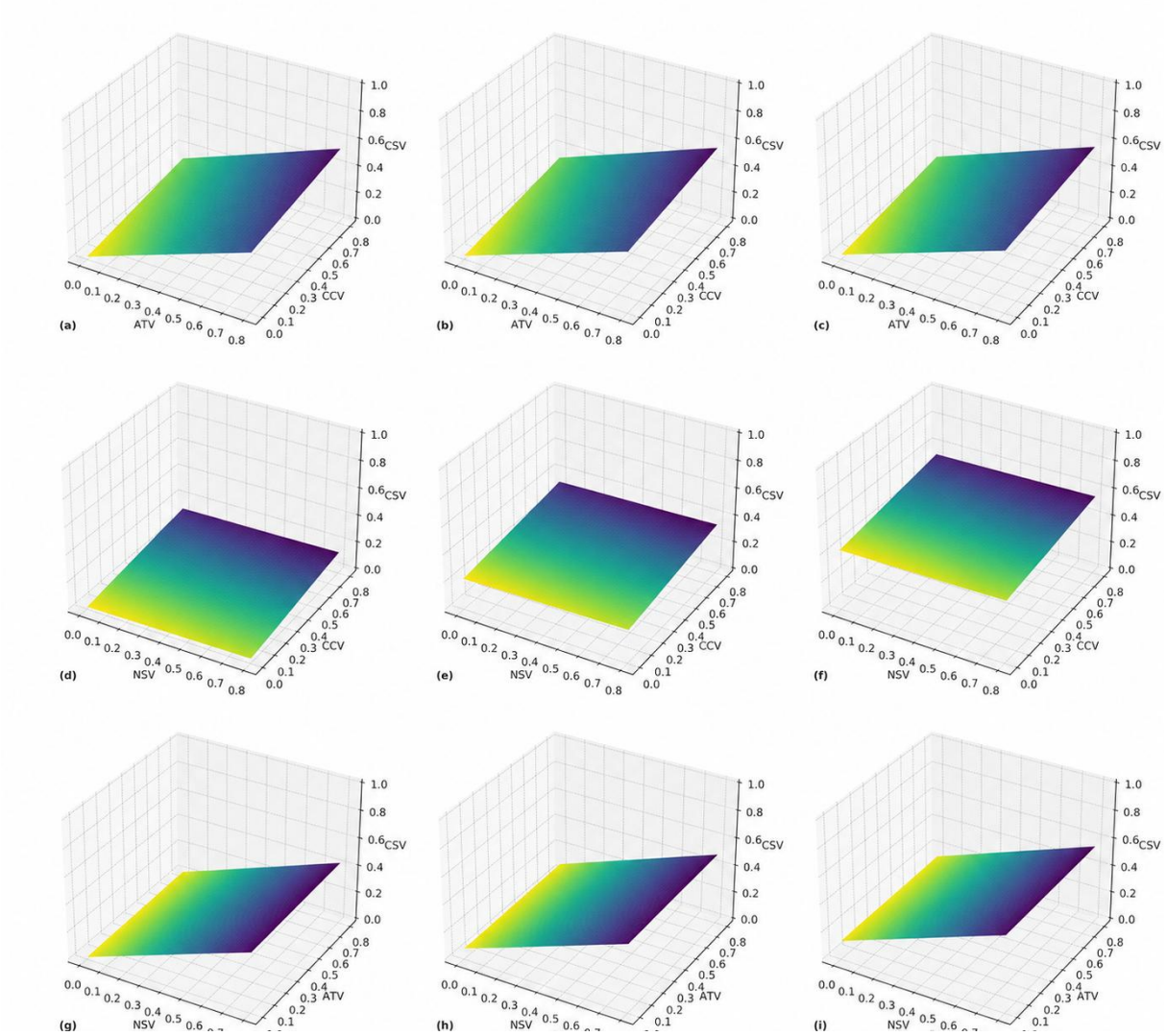
Fonte: Autoria propria.

A Figura 10 apresenta a taxa de separação de resíduos verdes (CSV) em função de três construtos da TCP: Normas Subjetivas (NSV), Atitude (ATV) e Controle Comportamental Percebido (CCV). As superfícies tridimensionais de resposta ilustram como a CSV varia em função da interação entre dois desses construtos, enquanto o terceiro permanece constante em três níveis: 0,0 (Figura 10a, d, g), 0,4 (Figura 10b, e, h) e 0,8 (Figura 10c, f, i). Especificamente, as Normas Subjetivas permanecem constantes nas Figura 10 (a, b, c); a Atitude permanece constante nas Figura 10 (d, e, f); e o Controle Comportamental Percebido permanece constante nas Figura 10 (g, h, i). Conforme destacado anteriormente, o valor máximo de 0,8 foi adotado para representar de forma mais realista a taxa de separação de resíduos verdes. As superfícies

de resposta foram geradas com base na Equação 4, desenvolvida a partir dos coeficientes de caminho estimados pelo modelo estrutural apresentado na Figura 7**Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

$$\mathrm{CSV} = 0.0 + 0.522\mathrm{ATV} + 0.019\mathrm{NSV} + 0.152\mathrm{CCV} \quad (4)$$

Figura 10 - Comportamento de Separação de Resíduos Verdes (CSV) em função das Normas Subjetivas (NSV), da Atitude (ATV) e do Controle Comportamental Percebido (CCV), mantendo-se um dos construtos fixo em (a, d, g) 0,0; (b, e, h) 0,4; ou (c, f, i) 0,8.



Fonte: Autoria própria.

2.5.1 Efeito da Atitude

A Atitude destacou-se como o preditor mais significativo do comportamento de separação de resíduos domiciliares, apresentando o maior coeficiente de caminho entre os construtos da TCP em ambos os modelos. Esse resultado é evidenciado nas Figura 9a–i e Figura

10a–i, que apresentam modelos preditivos para estimar os percentuais de Comportamento de Separação de Resíduos Recicláveis (CSR) e de Resíduos Verdes (CSV) com base nos construtos da TCP, respectivamente. Quando a Atitude é fixada em 0,0 (Figura 9d e Figura 10d), os percentuais de separação de resíduos não ultrapassam 10% tanto para resíduos recicláveis quanto para resíduos verdes. Em contrapartida, quando a Atitude é fixada em 0,8, esses percentuais superam 50%, correspondendo a uma taxa de reciclagem de aproximadamente 25% do total de resíduos domiciliares, de acordo com a composição gravimétrica dos resíduos no Brasil (ALVES *et al.*, 2023; BRAZIL, 2022).

Esses resultados estão em consonância com aqueles apresentados na literatura, indicando que os indivíduos, em geral, possuem uma percepção positiva em relação à separação de resíduos domiciliares na fonte (CUDJOE; ZHANG; WANG, 2023; LIU *et al.*, 2023; NEGASH *et al.*, 2021). Em outras palavras, acreditam que essa prática proporciona benefícios ambientais, como a redução do volume de resíduos destinados aos aterros sanitários, a conservação dos recursos naturais, a diminuição do consumo de energia, a proteção da biodiversidade, a melhoria da qualidade do solo e a promoção da economia circular (EMMANOUIL *et al.*, 2024; TANG *et al.*, 2023).

Considerando que a Atitude ambiental constitui o principal fator determinante do comportamento de separação de resíduos, as políticas públicas devem enfatizar continuamente os benefícios da separação na fonte por meio de campanhas sistemáticas e frequentes de sensibilização, voltadas ao fortalecimento de atitudes pró-ambientais. Galavote et al. (2024) propuseram fornecer à população informações periódicas sobre os resultados das campanhas de coleta seletiva e reciclagem, de modo a reforçar atitudes positivas e incentivar a participação daqueles que ainda não adotaram práticas de separação de resíduos. Além disso, programas de comunicação e educação ambiental devem ser incorporados de forma sistemática aos processos de educação formal e não formal, contribuindo para o desenvolvimento de atitudes positivas desde as fases iniciais da formação dos indivíduos (SHEN *et al.*, 2019).

2.5.2 Efeito do Controle Comportamental Percebido

O Controle Comportamental Percebido exerceu influência direta sobre o comportamento de separação de resíduos domiciliares, corroborando os resultados apresentados por Zhang et al. (2024). No entanto, em consonância com estudos anteriores, sua influência foi menos expressiva do que a da Atitude (EMMANOUIL *et al.*, 2024; GOH *et al.*, 2022; RAZALI *et al.*, 2020). Por exemplo, conforme ilustrado na Figura 9g e Figura 10g, quando o Controle Comportamental Percebido é fixado em 0,0, as taxas de separação de resíduos na fonte

permanecem próximas de 40% tanto para resíduos recicláveis quanto para resíduos verdes. Resultados semelhantes são observados quando essa variável é fixada em 0,8 (Figura 9i e Figura 10i), com valores próximos de 50%. Esses achados sugerem que, embora o Controle Comportamental Percebido seja um fator relevante, especialmente em relação à facilidade de separar os resíduos na fonte e encaminhá-los à coleta seletiva, o fortalecimento de atitudes positivas em relação à separação de resíduos é essencial para promover mudanças efetivas no comportamento dos indivíduos.

Verificou-se ainda que o Controle Comportamental Percebido exerce influência significativa sobre a Atitude, em concordância com estudos realizados na China (LIU *et al.*, 2023) e Malásia (BAZRBACHI *et al.*, 2023). Esse resultado demonstra que o Controle Comportamental Percebido influencia indiretamente o comportamento de separação de resíduos por meio da Atitude. Em outras palavras, indivíduos que percebem a separação e o descarte de materiais recicláveis como atividades fáceis e acessíveis tendem a desenvolver atitudes mais favoráveis em relação a esse comportamento.

Nesse contexto, qualquer iniciativa voltada ao aprimoramento da infraestrutura e da acessibilidade para a separação de resíduos pode não apenas reduzir barreiras operacionais, mas também aumentar o engajamento voluntário dos indivíduos em práticas sustentáveis, conforme sugerido por Tabar et al. (2024) e Tang et al. (2023). Além disso, ações como programas de educação ambiental e a disseminação de informações sobre a correta separação e classificação dos resíduos desempenham papel fundamental nesse processo, contribuindo para minimizar os desafios e obstáculos que dificultam a participação efetiva da população (XU *et al.*, 2017b).

2.5.3 Efeito das Normas Subjetivas

Em contraste com diversos estudos realizados em países orientais, como Malásia (RAZALI *et al.*, 2020; SAPAWI *et al.*, 2024), Vietnã (NGUYEN, 2023) e China (ZHANG; LI; LOU, 2024; ZHANG; LUO; ZHANG, 2024), o presente estudo constatou que as Normas Subjetivas não exercem influência positiva sobre o comportamento de separação de resíduos domiciliares. Resultados semelhantes foram reportados em pesquisas conduzidas em países com cultura ocidental e do Oriente Médio, como Austrália (CHAN; BISHOP, 2013), Estados Unidos (PARK; HA, 2014) e Irã (BABAZADEH *et al.*, 2023). Essa constatação é evidenciada pelos gráficos preditivos do comportamento de separação de resíduos apresentados na Figura 9 (a, c) e Figura 10 (a, c), nos quais as Normas Subjetivas permanecem fixadas em 0 e 0,8, enquanto as taxas de separação de resíduos recicláveis e resíduos verdes permanecem praticamente constantes, acima de 50%, em ambas as condições.

Esses resultados sugerem que os indivíduos são pouco influenciados por familiares, grupos sociais ou pelas expectativas do governo quando se trata da separação de resíduos domiciliares na fonte. Essa característica é típica de sociedades com padrões de comportamento predominantemente individualistas, conforme discutido por Liu et al. (2023) e Tabar et al. (2024). Em contrapartida, sociedades coletivistas, como aquelas encontradas em diversos países asiáticos, incluindo China, Japão e Coreia do Sul, tendem a apresentar maior coesão social, na qual os indivíduos são mais sensíveis às expectativas de suas comunidades e das autoridades governamentais (NGUYEN, 2023).

Esses resultados reforçam a relevância teórica de avaliar a TCP em diferentes contextos socioculturais. Em sociedades individualistas, como os ocidentais, o comportamento pró-ambiental tende a ser motivado principalmente por valores pessoais, atitudes e percepção de controle, e não pela pressão social. Dessa forma, os instrumentos de políticas públicas devem priorizar o fortalecimento das convicções individuais, do senso de responsabilidade e da percepção de conveniência por parte dos cidadãos, por meio, por exemplo, de campanhas educativas que enfatizem os benefícios ambientais da separação de resíduos ou da implantação de sistemas de coleta mais práticos e acessíveis (EMMANOUIL *et al.*, 2024; LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024).

Por outro lado, em sociedades coletivistas, a conformidade com as normas sociais e o desejo de preservar a harmonia do grupo fortalecem os comportamentos sustentáveis quando as expectativas coletivas são claramente estabelecidas. Nesses contextos, instrumentos de políticas públicas que promovam o senso de responsabilidade coletiva e enfatizem a cooperação social tendem a ser mais eficazes. Exemplos incluem programas de reconhecimento público para comunidades com elevadas taxas de separação de resíduos e o estabelecimento de metas coletivas de desempenho ambiental (TANG *et al.*, 2023; ZHANG; LUO; ZHANG, 2024).

Além disso, embora as Normas Subjetivas não tenham apresentado influência direta sobre o comportamento de separação de resíduos domiciliares neste estudo, verificou-se que elas exercem influência indireta por meio da Atitude e do Controle Comportamental Percebido, em concordância com os resultados obtidos por Arkorful, Lugu e Shuliang (2023). Assim, caso o governo pretenda implementar incentivos econômicos para estimular a separação de resíduos, será fundamental adotar estratégias que, simultaneamente, fortaleçam as atitudes ambientais e ampliem os fatores relacionados ao Controle Comportamental Percebido.

2.5.4 Influência da idade e da condição socioeconômica

Os resultados deste estudo revelaram importantes diferenças no comportamento de separação de resíduos domiciliares em função da idade e da condição socioeconômica. Indivíduos mais velhos, especialmente aqueles pertencentes à geração *Baby Boomer* (60–78 anos) e à Geração Silenciosa (79 anos ou mais), mostraram-se menos influenciados por incentivos financeiros, como recompensas pela entrega de resíduos recicláveis. Esse comportamento pode ser atribuído à predominância de motivações intrínsecas, como o senso de dever, a responsabilidade social e a adesão a valores e hábitos tradicionais, conforme sugerido por Diprose et al. (2019) e Owen e Büchs (2024). Em contrapartida, as gerações mais jovens, como os *Millennials* e a Geração Z (menores de 43 anos), tendem a responder mais favoravelmente a motivações extrínsecas, incluindo recompensas tangíveis e outros tipos de incentivos econômicos que estimulem a adoção de práticas sustentáveis.

Esse padrão é consistente com os resultados obtidos por Alhaj Ali et al. (2022) nos Emirados Árabes Unidos, que observaram maior propensão à reciclagem entre jovens e estudantes quando recompensas financeiras eram oferecidas, e por Alhassan, Kwakwa e Owusu-Sekyere (2020) em Gana, que identificaram menor motivação monetária entre indivíduos mais velhos. Em contrapartida, Kuo, Nah e Hsu (2025), em Taiwan, verificaram que pessoas idosas tendem, em geral, a reciclar menos; entretanto, quando o fazem, costumam ser motivadas por recompensas tangíveis. Esses resultados evidenciam a importância de realizar estudos em diferentes contextos socioculturais para verificar se esses padrões motivacionais se mantêm consistentes ou variam em função das normas locais, dos incentivos adotados e das características demográficas de cada população.

A condição socioeconômica também se mostrou um fator relevante. Indivíduos pertencentes às classes de menor renda (C, D e E) apresentaram maior propensão a separar resíduos e participar de programas de coleta seletiva quando lhes eram oferecidos incentivos financeiros, como brindes, recompensas monetárias ou descontos tributários. Esse comportamento pode refletir uma maior sensibilidade aos benefícios financeiros imediatos, que tendem a exercer impacto mais significativo sobre o orçamento familiar. Esses resultados estão em consonância com os achados de Bazrbachi et al. (2023) e Concari et al. (2023), que observaram padrões semelhantes entre populações de menor renda.

Em relação à infraestrutura para descarte de resíduos, os Pontos de Entrega Voluntária foram preferidos pelos Baby Boomers, que destacaram como principal vantagem a possibilidade de descartar os resíduos em qualquer horário, característica não oferecida pela coleta seletiva porta a porta. Por outro lado, indivíduos da Geração Silenciosa demonstraram

menor interesse pela utilização desses pontos, provavelmente em razão das limitações de mobilidade frequentemente associadas à idade avançada. Além disso, os adultos mais velhos apresentaram uma percepção mais positiva quanto à facilidade de separar os resíduos, sugerindo que pessoas com maior experiência de vida tendem a perceber essa prática como menos desafiadora, resultado também corroborado por Tabar, Briscoe e Sohrabi (2024).

Esses resultados evidenciam a necessidade de desenvolver estratégias direcionadas que considerem os perfis motivacionais específicos dos diferentes grupos etários e socioeconômicos, aumentando, assim, a efetividade e a inclusão das políticas públicas destinadas à promoção da gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos.

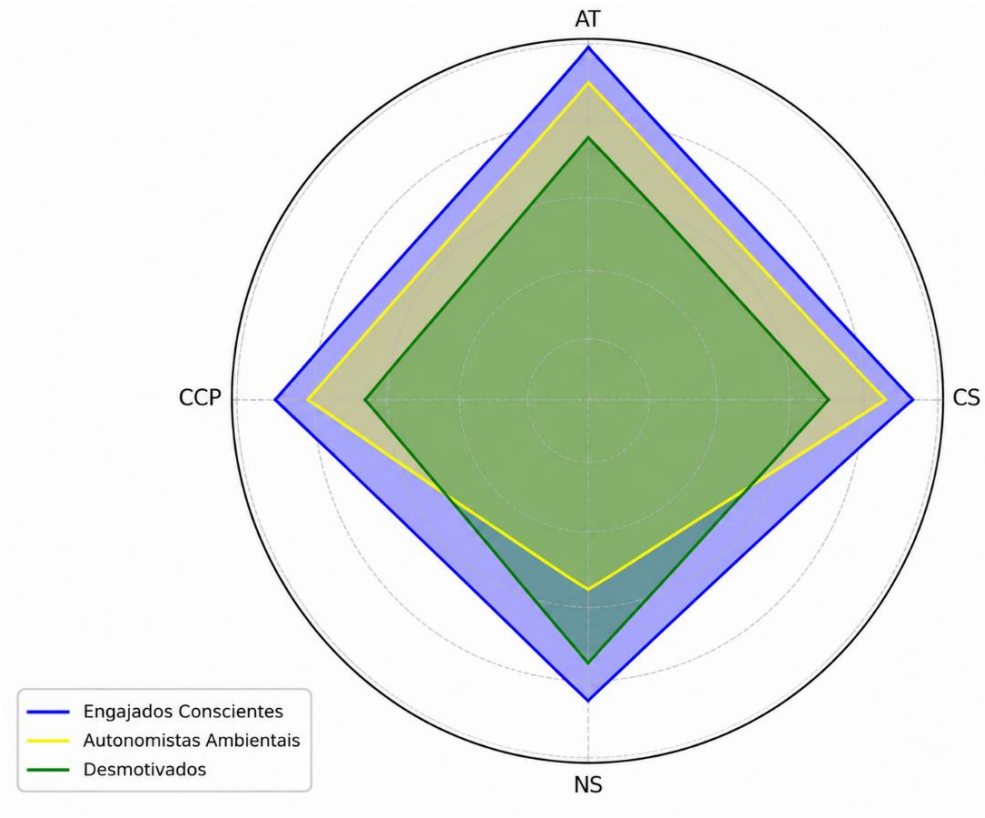
2.5.5 Estratégias para incentivar a separação de resíduos domiciliares com base nos perfis comportamentais

A análise comportamental dos moradores de Vitória identificou três perfis distintos de comportamento em relação à separação de resíduos domiciliares: engajados conscientes, autonomistas ambientais e desmotivados. A Figura 11a apresenta os resultados da análise de clusters em um gráfico de dispersão bidimensional, no qual cada ponto representa um respondente e as cores indicam o respectivo agrupamento. Os engajados conscientes (azul) formam um agrupamento mais coeso, sugerindo elevado grau de homogeneidade em suas características. Em contrapartida, os autonomistas ambientais (amarelo) apresentam maior dispersão, refletindo maior variabilidade entre os membros do grupo. O grupo dos desmotivados (verde) encontra-se posicionado de forma mais central, indicando sobreposição parcial com os demais perfis, embora em menor intensidade.

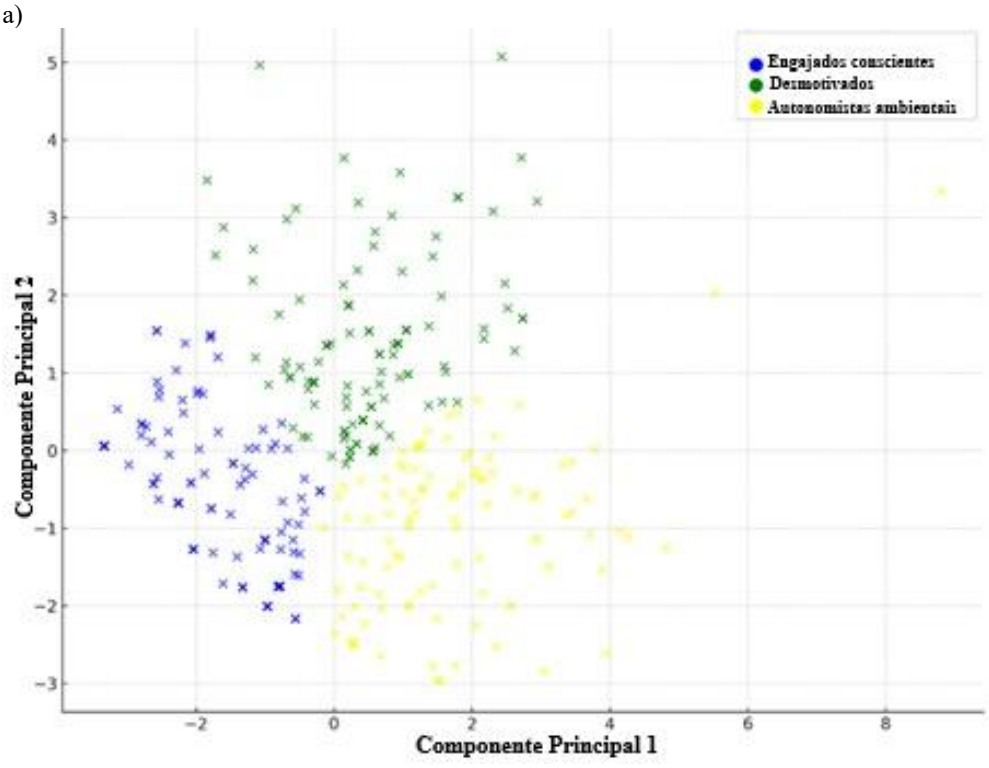
A Figura 11b apresenta um gráfico radar comparando os valores médios dos clusters em diferentes dimensões, incluindo os construtos da TCP e o comportamento de separação de resíduos. Os engajados conscientes destacam-se pelo elevado comprometimento com a separação de resíduos domiciliares na fonte, sendo fortemente influenciados pela Atitude, pelo Controle Comportamental Percebido e pelas Normas Subjetivas, todos com médias superiores a 4,0. Os autonomistas ambientais também demonstram tendência à separação de resíduos, porém motivados principalmente por convicções pessoais. Seus escores para comportamento de separação, Atitude e Controle Comportamental Percebido foram superiores a 4,0, enquanto os escores de Normas Subjetivas ficaram próximos de 2,0, indicando influência mínima da pressão social. Por fim, o grupo dos desmotivados apresentou a menor propensão à separação de resíduos. Esses indivíduos não percebem benefícios ambientais, não sentem pressão social e consideram o processo de separação difícil. Seus escores médios para comportamento de

separação, Controle Comportamental Percebido, Normas Subjetivas e Atitude foram inferiores a 3,5.

Figura 11 - Representação dos perfis de comportamento de separação de resíduos. (a) Gráfico radar e (b) gráfico de dispersão.



a)



b)

Fonte: Autoria propria.

Essa segmentação evidencia a necessidade de estratégias diferenciadas e adaptadas a cada perfil comportamental, de modo a promover de forma mais eficaz a separação de resíduos na fonte e ampliar a participação da população em práticas sustentáveis. Os engajados conscientes são indivíduos altamente motivados que necessitam, principalmente, de estratégias voltadas ao reforço do comportamento já existente, como a oferta de infraestrutura adequada para a coleta seletiva. A ampliação do número de recipientes de coleta para reduzir a distância de deslocamento, associada à manutenção periódica, limpeza, acessibilidade e remoção regular dos resíduos, pode garantir o funcionamento adequado do sistema e evitar frustrações que poderiam desestimular a continuidade da participação (COHEN; GIL; ROSADO, 2025; IBRAHIM, 2020). Além disso, a disponibilização de guias informativos nos PEVs, contendo instruções claras sobre os tipos de resíduos aceitos e as regras de separação, pode simplificar o processo e minimizar erros (EMMANOUIL *et al.*, 2024).

A motivação desse grupo pode ser fortalecida por meio do reconhecimento de seus esforços. A realização de competições entre bairros, escolas ou condomínios residenciais pode reforçar o valor social da separação de resíduos na fonte, transformando-a em uma prática valorizada e amplamente reconhecida (TANG *et al.*, 2023). Além disso, a oferta de benefícios, como melhorias na infraestrutura local, criação de espaços de lazer e incentivos comunitários, pode aumentar o engajamento e evidenciar o impacto coletivo dos comportamentos sustentáveis. Na China, por exemplo, o governo adota essa abordagem ao selecionar comunidades e cidades-modelo em separação de resíduos domiciliares, promovendo um sentimento de prestígio entre os moradores (ZHANG; LUO; ZHANG, 2024).

Os moradores pertencentes a esse perfil também podem ser incentivados a atuar como agentes de mudança, exercendo o papel de influenciadores locais e líderes comunitários na promoção da separação de resíduos como uma prática importante, acessível e socialmente valorizada. Nesse sentido, a criação de grupos comunitários ou redes virtuais para compartilhamento de experiências e dicas práticas pode reduzir incertezas e tornar o processo mais simples e acessível. Essas estratégias podem fortalecer a percepção de que a separação de resíduos é uma prática comum e viável, ampliando o senso de responsabilidade e pertencimento da comunidade (ZHENG *et al.*, 2022).

Entre os perfis identificados, os engajados conscientes representam o grupo mais fácil de mobilizar e o menos oneroso para a gestão pública, pois já possuem elevada motivação para separar os resíduos. As intervenções necessárias concentram-se principalmente na manutenção e no adequado funcionamento da infraestrutura existente. Como esse grupo não demanda investimentos significativos em campanhas educativas ou estratégias de mudança

comportamental, priorizá-lo nas políticas de incentivo constitui uma estratégia eficiente e de baixo custo, capaz de gerar resultados expressivos no curto prazo por meio da remoção de barreiras operacionais.

Os autonomistas ambientais tendem a agir com base em convicções pessoais, uma vez que as Normas Subjetivas exercem pouca influência sobre esse grupo. Assim, é essencial enfatizar os impactos positivos da separação de resíduos e adotar estratégias voltadas à redução da dificuldade percebida durante o processo. As campanhas educativas devem destacar os benefícios ambientais, econômicos e sociais da separação de resíduos, como a redução da sobrecarga dos aterros sanitários, a conservação dos recursos naturais, a mitigação da poluição, e a geração de emprego e renda para os catadores de materiais recicláveis (EMMANOUIL *et al.*, 2024; ZON *et al.*, 2020). Essas campanhas também podem esclarecer dúvidas frequentes e oferecer soluções práticas, tornando o processo mais acessível e reduzindo as barreiras percebidas (EMMANOUIL *et al.*, 2024).

Para fortalecer ainda mais a Atitude desse grupo, é fundamental disponibilizar informações transparentes e acessíveis sobre o desempenho da gestão de resíduos, incluindo a quantidade de materiais reciclados ou compostados, os recursos financeiros arrecadados e sua destinação, bem como as metas estabelecidas. Essa transparência aumenta a percepção de que a separação de resíduos constitui uma ação positiva e relevante para a melhoria da comunidade, fortalecendo a confiança da população no sistema de gestão de resíduos (NGUYEN, 2023). Além disso, divulgar os avanços obtidos e estabelecer novas metas coletivas contribui para reforçar o senso de responsabilidade compartilhada e de realização coletiva (EMMANOUIL *et al.*, 2024).

O grupo dos autonomistas ambientais representa um desafio maior para a gestão pública em termos de esforço, custo e tempo quando comparado aos engajados conscientes. Nesse caso, apenas disponibilizar infraestrutura adequada não é suficiente; torna-se necessário investir continuamente em campanhas educativas, estratégias de comunicação e iniciativas de transparência. Essas ações, voltadas ao fortalecimento dos benefícios percebidos da separação de resíduos e à redução das barreiras percebidas, exigem maior aporte de recursos financeiros, técnicos e humanos, além de um horizonte temporal mais longo para produzir mudanças efetivas.

O grupo dos desmotivados apresenta baixo nível de conscientização sobre os benefícios ambientais da separação de resíduos, percebe essa prática como difícil e é pouco influenciado pelas Normas Subjetivas. Para fortalecer a Atitude ambiental desse grupo, recomenda-se a adoção de estratégias persuasivas baseadas em apelos emocionais, por meio de campanhas

visuais impactantes. A utilização de imagens e vídeos que evidenciem as consequências negativas do descarte inadequado dos resíduos, bem como os benefícios decorrentes da separação correta, pode aumentar a conscientização ambiental e tornar os indivíduos mais propensos a adotar esse comportamento (ZHANG; LUO; ZHANG, 2024)

O Controle Comportamental Percebido pode ser fortalecido por meio de campanhas educativas que apresentem demonstrações claras e práticas sobre como separar, armazenar e destinar corretamente os resíduos domiciliares nos programas de coleta seletiva. Estratégias como oficinas interativas demonstrando técnicas adequadas de separação, compostagem doméstica e reaproveitamento de resíduos podem tornar essas práticas mais familiares e acessíveis, aumentando os benefícios percebidos e promovendo atitudes mais favoráveis à separação (TANG *et al.*, 2023). Além disso, jogos educativos e kits domésticos de separação contendo instruções claras podem facilitar o aprendizado e reforçar crenças positivas relacionadas à separação dos resíduos.

Redes comunitárias de apoio também devem ser incentivadas para prestar assistência e esclarecer dúvidas de indivíduos que apresentam dificuldades na separação e destinação adequada dos resíduos sólidos domiciliares (LEE *et al.*, 2024). Esse apoio social fortalece as Normas Subjetivas e reduz a complexidade percebida da separação de resíduos ao demonstrar que essa prática é valorizada e amplamente adotada pela comunidade. As instituições governamentais podem desempenhar papel fundamental ao estabelecer diretrizes claras e normas acessíveis para a separação de resíduos domiciliares. A divulgação contínua dessas normas contribui para consolidar uma cultura de separação e fortalecer o senso de identidade e responsabilidade dos cidadãos na adoção de comportamentos sustentáveis (ZHANG; LUO; ZHANG, 2024).

Outras estratégias persuasivas incluem incentivos financeiros, como redução de tributos para participantes de programas de reciclagem, sistemas de cobrança conforme a quantidade de resíduos gerados (PAYT) e aplicação de multas pelo descumprimento das políticas de coleta seletiva. Contudo, para que esses instrumentos influenciem positivamente o comportamento de separação, seus benefícios devem ser comunicados de forma clara (EMMANOUIL *et al.*, 2024; LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024). As campanhas devem enfatizar que os recursos arrecadados serão reinvestidos em melhorias para a comunidade, como infraestrutura urbana sustentável, ampliação dos serviços de reciclagem e apoio a iniciativas ambientais locais.

Apesar disso, esse perfil representa o maior desafio para a gestão pública, uma vez que a ampla variedade de estratégias necessárias para modificar seu comportamento demanda

elevado esforço. Além de campanhas emocionais, iniciativas educativas, redes de apoio comunitário e incentivos financeiros, é indispensável disponibilizar e manter infraestrutura adequada. Em conjunto, essas intervenções exigem investimentos expressivos de tempo, recursos financeiros e capital humano, sendo esperado que mudanças comportamentais significativas ocorram apenas no médio e longo prazo.

A aplicação de estratégias específicas para cada perfil comportamental é essencial para aumentar a eficácia das ações voltadas à separação de resíduos sólidos urbanos, uma vez que cada grupo demanda diferentes níveis de esforço e recursos, além de produzir resultados distintos quanto ao tempo necessário e à magnitude dos impactos. Assim, para elevar as taxas de separação de resíduos, os gestores devem priorizar inicialmente as ações que apresentam maior potencial de impacto e maior capacidade de disseminação por meio do exemplo dos agentes de mudança. Isso não significa que as demais estratégias devam ser negligenciadas, mas sim que, em geral, elas demandam mais tempo para produzir resultados, requerem maior esforço e recursos e tendem a gerar efeitos apenas no médio e longo prazo. Cada perfil apresenta características e barreiras específicas que influenciam seu comportamento ambiental. Portanto, a segmentação das estratégias permite uma abordagem mais direcionada, aumentando o engajamento da população na separação de resíduos na fonte.

O Quadro 2 presenta uma visão geral das estratégias recomendadas, alinhadas às relações identificadas no modelo de equações estruturais.

As variáveis psicológicas discutidas neste estudo estão diretamente relacionadas às percepções dos indivíduos sobre as políticas públicas. Essas percepções, por sua vez, podem ser influenciadas por aspectos como efetividade, transparência, credibilidade e continuidade dessas políticas (LIN *et al.*, 2025). Países com maior confiança institucional e mecanismos de monitoramento mais robustos, como Japão, Suécia e Inglaterra, alcançaram níveis mais elevados e consistentes de participação da população na separação de resíduos domiciliares (COHEN; GIL; ROSADO, 2025; HU *et al.*, 2024; PANZONE *et al.*, 2021). Esses países não apenas mantêm programas contínuos de comunicação e educação ambiental, mas também oferecem infraestrutura adequada e promovem uma governança participativa, fortalecendo Atitudes positivas, Normas Subjetivas e o Controle Comportamental Percebido.

No contexto brasileiro, essas percepções são frequentemente influenciadas pela implementação inconsistente das políticas públicas e pela limitada continuidade das iniciativas governamentais. Quando as políticas ambientais são percebidas como pouco transparentes, ineficazes ou descontínuas, tendem a enfraquecer essas variáveis psicológicas, comprometendo a adoção de comportamentos sustentáveis (CETRULO *et al.*, 2018). Em contrapartida, políticas

percebidas como confiáveis e transparentes aumentam a confiança da população e fortalecem sua motivação para separar os resíduos na fonte. Essa relação entre percepção e comportamento torna-se ainda mais evidente no Brasil, onde a descontinuidade das iniciativas públicas frequentemente compromete os avanços previamente alcançados.

É importante destacar que iniciativas voltadas à promoção da separação de resíduos domiciliares na fonte, quando interrompidas, evidenciam um padrão recorrente no Brasil, no qual o comportamento da população tende a regredir, comprometendo os avanços anteriormente obtidos. Esse cenário reflete uma deficiência persistente na abordagem adotada pelo país, caracterizada pela implementação de ações isoladas, sem a garantia de sua continuidade ao longo do tempo, principalmente em decorrência da descontinuidade das agendas políticas. Conforme destacado por Besen et al. (2025), nos últimos 14 anos o Brasil passou por quatro governos federais, cada um com diferentes visões sobre mudanças climáticas, gestão de resíduos e rotas tecnológicas, contribuindo significativamente para o não cumprimento das metas estabelecidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Essa realidade também se reflete na baixa cobertura dos serviços de coleta seletiva: apenas 32% dos municípios brasileiros oferecem esse serviço, concentrado principalmente nas regiões Sul (58%) e Sudeste (41%) (SNIS, 2025).

No âmbito municipal, os municípios enfrentam diversas limitações que comprometem a efetividade das ações voltadas à separação de resíduos domiciliares na fonte. A instabilidade financeira restringe os investimentos tanto na infraestrutura necessária quanto em programas permanentes de educação ambiental e fiscalização. Essa situação é agravada pela escassez de profissionais qualificados capazes de planejar, implementar e monitorar essas iniciativas de forma eficiente. Além dos desafios operacionais, persistem barreiras de natureza política, uma vez que a gestão de resíduos frequentemente perde prioridade diante de outras demandas consideradas mais urgentes, reduzindo sua presença na agenda pública. Nesse contexto, torna-se evidente que os avanços dependem não apenas do engajamento da população, mas, sobretudo, da continuidade das ações, do planejamento de longo prazo, da estabilidade política e do suporte técnico e financeiro por parte de todas as esferas de governo, condições indispensáveis para a obtenção de resultados efetivos e duradouros.

Quadro 2 - Estratégias para promover o comportamento de separação de resíduos na fonte pelos cidadãos

Influência	Estratégias para incentivar o comportamento de separação de resíduos na fonte
Atitude ↓ Comportamento de separação de resíduos na fonte	Destacar os impactos positivos da separação de resíduos na fonte por meio de campanhas educativas direcionadas.
	Apresentar imagens e vídeos que ilustrem de forma clara os danos ambientais causados pela disposição inadequada dos resíduos.
	Enfatizar os benefícios ambientais, econômicos e sociais da separação de resíduos na fonte.
Controle Comportamental Percebido ↓ Atitude	Oferecer demonstrações claras e práticas sobre como separar, armazenar e destinar corretamente os resíduos para a coleta seletiva.
	Realizar oficinas interativas que ensinem habilidades práticas, como a correta separação dos resíduos e técnicas de compostagem.
	Distribuir jogos educativos e kits domiciliares para separação de resíduos com instruções claras sobre a correta segregação dos materiais.
Normas Subjetivas ↓ Controle Comportamental Percebido	Estimular o desenvolvimento de redes de apoio comunitário para auxiliar os moradores na adoção da separação de resíduos.
	Promover a formação de grupos de reciclagem em bairros, escolas e condomínios.
	Dar visibilidade à atuação de influenciadores locais e lideranças comunitárias engajados na prática da separação de resíduos.
	Estabelecer diretrizes claras e padrões acessíveis para a separação dos resíduos domiciliares na fonte.
Normas Subjetivas ↓ Atitude	Realizar campanhas educativas que evidenciem os benefícios dos incentivos financeiros vinculados à gestão adequada dos resíduos.
	Divulgar informações sobre melhorias na comunidade possibilitadas pelos recursos arrecadados.
	Promover competições entre bairros, escolas ou condomínios para reforçar o valor social da separação de resíduos.
	Oferecer benefícios tangíveis, como melhorias na infraestrutura local, áreas de lazer ou incentivos comunitários.
	Assegurar a divulgação transparente e acessível de dados relacionados à gestão dos resíduos domiciliares.
	Comunicar de forma clara o montante arrecadado e a destinação dos recursos provenientes das iniciativas de coleta seletiva.
Controle Comportamental Percebido ↓ Comportamento de separação de resíduos na fonte	Ampliar a disponibilidade de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs).
	Garantir que os PEVs sejam funcionais, limpos, acessíveis e recebam manutenção periódica.
	Disponibilizar orientações de fácil compreensão nos PEVs, com informações claras sobre os tipos de resíduos aceitos e os procedimentos corretos de separação.

Fonte: Autoria própria.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo principal investigar os fatores que influenciam a separação de RDO e propôs estratégias para incentivar essa prática, utilizando o município de Vitória, Espírito Santo, Brasil, como estudo de caso. Para isso, foi aplicado um questionário aos moradores e, com base nos dados coletados, foram desenvolvidos dois modelos de equações estruturais para analisar a separação de resíduos recicláveis e resíduos verdes. Ambos os modelos apresentaram confiabilidade individual e composta satisfatórias, bem como validade convergente e discriminante, confirmando sua adequação para examinar os determinantes do comportamento de separação de resíduos na fonte. Com base nos resultados, foram identificados três perfis comportamentais: engajados conscientes, autonomistas ambientais e desmotivados.

Os resultados mostraram que a Atitude foi o preditor mais forte e significativo do comportamento de separação de resíduos na fonte, seguida pelo Controle Comportamental Percebido. Em contrapartida, as Normas Subjetivas não exerceram influência direta sobre o comportamento, possivelmente em razão da orientação mais individualista característica das sociedades ocidentais, em contraste com as sociedades orientais, nas quais o coletivismo é mais fortemente enraizado. Esse resultado sugere que, em contextos ocidentais, estratégias voltadas ao fortalecimento de atitudes positivas e da percepção individual de controle sobre a separação de resíduos podem ser mais eficazes do que aquelas fundamentadas na pressão social. Ainda assim, verificou-se que as Normas Subjetivas exerceram influência indireta sobre o comportamento, mediada pela Atitude e pelo Controle Comportamental Percebido.

Além disso, o estudo constatou que indivíduos pertencentes às gerações Baby Boomers e Silent Generation tendem a ser menos influenciados por incentivos financeiros, enquanto pessoas de menor renda apresentam maior receptividade a sistemas de recompensas. Adicionalmente, os Baby Boomers demonstraram preferência pelos Pontos de Entrega Voluntária em detrimento da coleta seletiva porta a porta. Esses resultados indicam que as estratégias de incentivo devem considerar diferenças geracionais e socioeconômicas, adaptando as iniciativas às preferências e motivações específicas de cada grupo, a fim de ampliar a participação na separação de resíduos na fonte.

Foram propostas estratégias direcionadas com base nos fatores motivadores e inibidores da separação de resíduos na fonte e nos perfis comportamentais identificados. Essa abordagem busca apoiar os tomadores de decisão na implementação de instrumentos de políticas públicas voltados à coleta seletiva. O mapeamento dessas estratégias pode auxiliar os órgãos governamentais na elaboração de diretrizes mais detalhadas para os planos de gestão de

resíduos, possibilitando o estabelecimento de metas mais realistas e contribuindo para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável relacionados à redução da geração de resíduos e ao aumento da eficiência da reciclagem. Entretanto, diversas barreiras devem ser consideradas na implementação dessas estratégias, desde a instabilidade das agendas políticas voltadas à promoção da separação de resíduos domiciliares na fonte até limitações decorrentes da insuficiência de recursos financeiros e humanos. Essas restrições dificultam não apenas a implementação, mas também a manutenção, em longo prazo, dos programas de coleta seletiva e educação ambiental nos municípios.

Este estudo contribui para a literatura ao examinar os fatores que influenciam o comportamento de separação de resíduos em um contexto latino-americano e compará-los aos resultados obtidos em estudos realizados em países asiáticos. Considerando a escassez de pesquisas na América Latina, essa análise é fundamental para aprofundar a compreensão de como fatores internos moldam o comportamento em contextos culturalmente distintos. Além disso, incentiva o desenvolvimento de novas pesquisas na região e fortalece o referencial teórico existente.

É importante destacar que este estudo se concentrou especificamente na influência dos instrumentos de políticas públicas no contexto da Teoria do Comportamento Planejado. Dessa forma, recomenda-se que pesquisas futuras investiguem os efeitos independentes de diferentes tipos de instrumentos de políticas públicas, como instrumentos educacionais, econômicos, punitivos e operacionais, por meio da aplicação de modelos estendidos da TPB. Também se recomenda que estudos futuros adotem uma abordagem quantitativa para investigar a disposição dos moradores em pagar pelos serviços, uma vez que o presente estudo realizou apenas uma análise qualitativa dos indicadores econômicos. Além disso, é fundamental avaliar como essas estratégias afetam a sustentabilidade financeira dos governos municipais, bem como sua influência sobre o comportamento de separação de resíduos. Nesse contexto, também se faz necessária a avaliação dos efeitos de longo prazo das diferentes estratégias de políticas públicas, considerando que seus impactos não são imediatos e variam de acordo com a natureza de cada instrumento.

Por fim, como limitação metodológica, as comparações entre grupos demográficos foram exploratórias e realizadas no nível dos indicadores. Estudos futuros devem aplicar o procedimento Measurement Invariance of Composite Models (MICOM) e a Multi-Group Analysis (MGA) para avaliar formalmente as diferenças entre grupos no contexto da modelagem por mínimos quadrados parciais (PLS-SEM). Adicionalmente, as simulações por superfície de resposta adotaram níveis normalizados dos construtos para fins de visualização

exploratória. Pesquisas futuras devem aperfeiçoar essa abordagem utilizando valores empíricos baseados em percentis e incorporando a incerteza por meio de técnicas de bootstrapping, a fim de aumentar a precisão quantitativa das análises.

3 COMPREENDENDO OS FATORES QUE DETERMINAM A ACEITAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES: ESTRATÉGIAS PARA CIDADES SUSTENTÁVEIS

DOI: 10.1016/j.cities.2026.107210

Resumo

Ampliar o desvio da fração reciclável dos resíduos domiciliares (RDO) dos aterros sanitários continua sendo um grande desafio para a gestão pública, especialmente na busca pelos objetivos de desenvolvimento sustentável. Assim, o presente estudo teve como objetivo identificar os fatores que influenciam a separação do RDO na fonte e, com base nesses achados, propor estratégias de política pública adequadas ao perfil sociodemográfico da população. Foi conduzida uma pesquisa quantitativa por meio de questionários estruturados para avaliar as percepções ambientais dos respondentes em diferentes classes sociais e faixas etárias, e analisar sua associação com a disposição para participar da coleta seletiva, seja de forma voluntária ou mediante incentivo financeiro. Os resultados revelaram uma lacuna entre percepção e comportamento: embora 98% dos participantes reconhecessem a importância da separação de resíduos, apenas 36% participavam da coleta seletiva. As principais barreiras identificadas foram a falta de infraestrutura nos pontos de entrega e a limitada disponibilidade de informações públicas sobre o funcionamento do sistema. Em contrapartida, entre os incentivos econômicos, as recompensas se destacaram como os motivadores mais eficazes, enquanto as medidas punitivas não foram percebidas como impulsionadoras eficazes da participação. Notavelmente, na ausência de incentivos, a disposição para entregar os resíduos diminuiu 40% a cada 1.000 metros adicionais de distância até o ponto de entrega; com incentivos, essa redução foi de apenas 20%, evidenciando o papel dos incentivos financeiros na superação de barreiras logísticas. Com base nas características sociodemográficas de cada região administrativa, as principais recomendações estratégicas incluem a ampliação da coleta seletiva e a oferta de campanhas informativas direcionadas. Este estudo contribui para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes ao considerar tanto fatores contextuais quanto comportamentais, e amplia a compreensão dos determinantes da separação de RDO em países em desenvolvimento.

Palavras Chaves: Consciência ambiental; Gestão de resíduos domiciliares; Disposição a pagar; Disposição a aceitar; Disposição para deslocamento.

3.1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, associado à rápida urbanização, ao aumento da renda domiciliar e às mudanças nos padrões de consumo, tem contribuído significativamente para o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos últimos anos (LYE; NG; LAW, 2024; ZOUMPOULIS *et al.*, 2024). Segundo estimativas do Relatório Global sobre a Gestão de Resíduos 2024, a geração de RSU deverá crescer aproximadamente 80% até 2050, atingindo cerca de 3,8 bilhões de toneladas (UNEP, 2024). Nesse contexto, a gestão de RDO tornou-se um desafio crescente para as cidades, especialmente nos países em desenvolvimento, onde a gestão de resíduos pode consumir entre 20% e 50% das receitas municipais (LYE; NG; LAW, 2024; WORLD BANK, 2025).

Paralelamente, os países-membros das Nações Unidas assumiram o compromisso de alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, comprometendo-se a implementar políticas que incentivem a reciclagem (RAZALI *et al.*, 2020; SHARIFI *et al.*, 2024). Entretanto, as cidades desses países enfrentam desafios na implementação dessas políticas, especialmente devido a fatores que influenciam a participação pública em programas de separação na fonte e coleta seletiva (SHEN *et al.*, 2023; ZHANG; MU; LIU, 2022). A separação na fonte é um componente essencial para viabilizar a coleta seletiva e a reciclagem, contribuindo para reduzir a dependência de aterros sanitários, conservar recursos naturais e mitigar impactos ambientais (GUTBERLET; BRAMRYD, 2025; REINGEWERTZ; AYALON, 2025).

Para viabilizar a reciclagem por meio da separação na fonte, diversos métodos de coleta seletiva têm sido implementados em diferentes contextos urbanos, diferindo quanto à participação dos cidadãos e à logística de coleta. A coleta porta a porta (PP), por exemplo, é amplamente utilizada em países desenvolvidos e envolve coletas programadas diretamente nos domicílios (FERRONATO; TORRETTA, 2019). Os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) consistem em instalações fixas distribuídas pela cidade, como estações ou contêineres de reciclagem, onde os moradores podem descartar materiais recicláveis de forma contínua e conforme sua conveniência. No modelo ponto a ponto, os indivíduos entregam os materiais recicláveis diretamente a cooperativas ou centros de triagem (TCHONOBANOGLOUS; KEITH, 2002). Esses métodos de coleta constituem a base operacional dos programas de coleta seletiva e influenciam tanto a participação pública quanto a eficiência do sistema (FIORILLO, 2013).

Assim, fortalecer os fatores que influenciam a adesão dos moradores às estratégias que incentivam a separação do RDO na fonte é essencial para o sucesso dos programas de coleta

seletiva (GALAVOTE *et al.*, 2024a; PIERINI *et al.*, 2021; ZHANG; MA; DU, 2023). Essa aceitação pode estar relacionada ao nível de conscientização ambiental, à Disposição dos moradores a Entregar voluntariamente os resíduos para a coleta seletiva (DEN), à Disposição a Percorrer Distâncias até os pontos de coleta (DPD), à Disposição a Receber Incentivos pela Entrega (DRI) e à Disposição a Pagar pela gestão do RDO (DPA).

O nível de conscientização ambiental está associado à compreensão dos indivíduos sobre a importância da separação do RDO na fonte e às suas atitudes em relação à coleta seletiva, como a separação e o descarte adequados (HENAO-RODRÍGUEZ; LIS-GUTIÉRREZ; SIERRA, 2024). A DEN refere-se à intenção de separar e destinar materiais recicláveis à coleta seletiva, seja de forma voluntária ou por meio de mecanismos baseados em incentivos, como recompensas financeiras ou benefícios sociais (REINGEWERTZ; AYALON, 2025; ZHAO; VAN DE WALLE, 2024). A DPD até os pontos de coleta representa a prontidão dos indivíduos para superar voluntariamente barreiras de conveniência e percorrer certas distâncias a fim de garantir o descarte ambientalmente adequado dos materiais recicláveis (YALCINKAYA; UZER, 2022). Por fim, a DPA pela gestão do RDO não separado reflete a intenção dos indivíduos de custear financeiramente a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final desses resíduos, reconhecendo os custos ambientais e operacionais associados à ausência de separação na fonte (GHIMIRE *et al.*, 2024).

Diversos estudos têm abordado sistematicamente o nível de conscientização ambiental (HENAO-RODRÍGUEZ; LIS-GUTIÉRREZ; SIERRA, 2024; KAUR; KAUR, 2024; LYE; NG; LAW, 2024; PIERINI *et al.*, 2021) e a disposição a entregar voluntariamente resíduos recicláveis (LI *et al.*, 2020; REINGEWERTZ; AYALON, 2025) ou a fazê-lo em troca de recompensas (LING; XU; YANG, 2024; SHEN *et al.*, 2023; ZHANG; MU; LIU, 2022; ZHAO; VAN DE WALLE, 2024), além da disposição a pagar pela gestão do RDO (BAI; LIN, 2022; GHIMIRE *et al.*, 2024; XU *et al.*, 2023; ZHANG *et al.*, 2023). Entretanto, poucos estudos investigam de forma abrangente a influência combinada desses fatores sobre a aceitação de estratégias de gestão do RDO. Por exemplo, Henao-Rodríguez et al. (2024) destacam que os países em desenvolvimento carecem de procedimentos adequados para atender às demandas sociais, particularmente na gestão de resíduos. Portanto, são necessárias pesquisas adicionais para aprofundar a compreensão desses fatores, possibilitando o desenvolvimento de estratégias de política pública mais eficazes e específicas ao contexto.

Nesse contexto, o presente estudo tem os seguintes objetivos: (i) analisar o nível de conscientização ambiental dos geradores de resíduos em relação à coleta seletiva do RDO; (ii) investigar a disposição dos moradores para entregar voluntariamente resíduos recicláveis à

coleta seletiva, para receber incentivos por isso, para pagar pela gestão do RDO e para percorrer distâncias até os pontos de coleta a fim de entregar materiais recicláveis; (iii) examinar o impacto de variáveis como idade e classe econômica sobre a conscientização ambiental e sobre esses comportamentos de disposição; e (iv) propor ações que incentivem a separação do RDO na fonte e aumentem a participação dos moradores em programas de coleta seletiva, considerando seus perfis sociodemográficos.

Este estudo oferece contribuições valiosas para os tomadores de decisão, ao fornecer orientações práticas para o desenho e o aprimoramento de políticas que promovam a separação do RDO na fonte, considerando as perspectivas dos próprios geradores de resíduos. Além disso, propõe uma metodologia que gestores locais de resíduos podem aplicar antes da implementação de políticas, garantindo que as ações estejam mais alinhadas com as realidades locais e aumentando a adesão dos moradores às práticas de coleta seletiva. Do ponto de vista acadêmico, o estudo contribui para a literatura ao ampliar a compreensão dos fatores que influenciam a aceitação de estratégias de separação do RDO, apresentando uma abordagem integrada que considera tanto variáveis socioeconômicas quanto comportamentais.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Coleta de dados

3.2.1.1 Elaboração do questionário

A coleta de dados foi realizada por meio de um questionário estruturado, aplicado de forma anônima aos moradores de Vitória, Brasil. Devido às suas características metodológicas, o estudo foi dispensado de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) e à Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), conforme o Artigo 1º, Inciso I, da Resolução nº 510/2016 (BRAZIL, 2016). Para garantir a clareza do instrumento e sua adequação aos objetivos da pesquisa, o questionário foi revisado por especialistas antes da aplicação. Após a implementação das revisões recomendadas e a validação de conteúdo, o questionário foi organizado em três seções e está disponível no Apêndice D.

A primeira seção do questionário apresenta informações introdutórias sobre os objetivos e a estrutura da pesquisa, além de outros detalhes relevantes, bem como um agradecimento aos participantes. Essa seção também inclui o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que informa que todos os dados coletados serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos, garantindo o anonimato e a confidencialidade dos respondentes.

A segunda seção destina-se à coleta de dados sociodemográficos, como a idade dos participantes. Também reúne informações para a posterior classificação socioeconômica dos

respondentes com base no "Critério Brasil", metodologia recomendada pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP, 2024). Esse método identifica grupos populacionais de acordo com seu poder de compra, classificando os domicílios por meio de indicadores padronizados e objetivos, recomendados para descrever a realidade brasileira. Esse indicador considera o tipo e o número de banheiros no domicílio, o acesso à água tratada, o tipo de piso, a disponibilidade de energia elétrica, a presença e a quantidade de eletrodomésticos (geladeiras, máquinas de lavar, computadores etc.), o acesso à internet, além do grau de instrução do chefe da família e a informação sobre se a rua é pavimentada. Essa abordagem oferece uma avaliação mais abrangente e confiável do status socioeconômico domiciliar do que a renda isolada, frequentemente subdeclarada ou sujeita a variações (ABEP, 2024; RIBEIRO; KASMIRSKI; AYED, 2023).

A terceira seção do questionário foi composta por três tipos de perguntas: itens de priorização, em que os respondentes classificaram alternativas; perguntas fechadas de múltipla escolha sem ordenação; e perguntas relacionadas às práticas de descarte. Essa seção teve como objetivo avaliar o nível de conscientização ambiental dos participantes e sua disposição a entregar voluntariamente resíduos recicláveis para a coleta seletiva, a receber incentivos por isso, a pagar pela gestão dos resíduos domiciliares residuais e a percorrer distâncias até os pontos de coleta.

Para isso, os participantes foram questionados sobre seu nível de conscientização ambiental e sua participação no programa municipal de coleta seletiva. Para aqueles que indicaram não participar dos programas de coleta seletiva, o questionário investigou os motivos subjacentes, apresentando uma lista de possíveis barreiras. Estas incluíam falta de tempo, espaço insuficiente em casa para armazenar os resíduos separados, distância até os pontos de coleta mais próximos, dificuldade em mudar hábitos, falta de conhecimento ou orientação sobre como separar os resíduos corretamente, e ceticismo quanto à eficácia do sistema.

Além disso, o questionário investigou os meios preferidos pelos respondentes para receber informações sobre a separação adequada de resíduos, como internet, televisão, campanhas educativas, materiais impressos ou instituições religiosas. Também identificou os tipos de incentivo ou infraestrutura que mais motivariam sua participação, e a distância que estariam dispostos a percorrer para entregar materiais recicláveis, com ou sem compensação financeira. Por fim, avaliou a disposição dos respondentes a pagar por serviços de coleta de resíduos não separados, incluindo diferentes modelos de precificação e suas preferências quanto às estruturas de cobrança municipais.

3.2.1.2 Aplicação do questionário

Para determinar um tamanho amostral representativo da população da área de estudo, foi aplicada a Equação 5, proposta por Levine et al. (2016). O cálculo considerou uma margem de erro de 5% e um nível de confiança de 95%. Para os parâmetros p e q, adotou-se o valor de 0,5, refletindo a máxima variabilidade populacional, conforme recomendado pelos autores citados. Com base nesses critérios, a amostra final foi composta por 384 moradores.

$$\eta = \frac{N.p.q.(Z\alpha_{/2})^2}{p.q.(Z\alpha_{/2})^2+(N-1).E^2} \quad (5)$$

Em que:

η = número de moradores na amostra.

Z α/2 = valor crítico correspondente ao nível de confiança desejado.

p = proporção populacional de indivíduos na categoria de interesse.

q = proporção populacional de indivíduos fora da categoria de interesse.

E = margem de erro.

O questionário foi aplicado entre 11 de dezembro de 2024 e 18 de janeiro de 2025. A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas presenciais em locais públicos selecionados aleatoriamente, como shoppings, praças, parques, praias e um parque gastronômico. Uma abordagem complementar foi adotada por meio de uma versão on-line do questionário via Google Forms®. Nesse formato, o instrumento foi distribuído por e-mail, mensagens de texto e grupos de aplicativos de mensagens instantâneas.

Essa dupla abordagem teve como objetivo aumentar a diversidade dos respondentes e alcançar especificamente segmentos populacionais caracterizados por maior nível educacional, faixas etárias mais jovens e rendas mais altas. Esse canal adicional proporcionou acesso deliberado a indivíduos específicos, garantindo que a amostra refletisse a proporção de indivíduos no censo demográfico de 2022 para cada grupo descrito na Tabela 11.

Após a coleta de dados, foi realizada uma triagem preliminar dos questionários para identificar e excluir respostas que apresentassem sinais de inconsistência, incompletude ou falta de seriedade. Após essa etapa, foram obtidas 374 respostas válidas por meio da aplicação presencial, e 28 por meio do formato on-line. No total, 392 questionários foram considerados válidos para análise, representando uma taxa efetiva de resposta de 97,5%.

Tabela 11 - Caracterização da amostra (n = 392).

Características		**Número de Indivíduos**	**Percentual de indivíduos na amostra**	**Percentual de indivíduos no censo demográfico de 2022***
Sexo	Masculino	177	45%	46%
	Feminino	215	55%	54%
Faixa etária	<27 anos	92	23%	24%
	28 a 43 anos	116	30%	29%
	44 a 59 anos	91	23%	23%
	60 a 78 anos	79	20%	20%
	>79 anos	14	4%	4%
Classe socioeconômica	A	15	4%	4%
	B1	26	7%	6%
	B2	69	18%	20%
	C1	82	21%	23%
	C2	114	29%	27%
	DE	86	21%	20%

Fonte: Dados elaborados com base no perfil demográfico do município de Vitória e no Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2024, 2025).

3.2.2 Análise dos dados

Para a análise de dados, os participantes foram agrupados por geração conforme a idade: Geração Z (18-27 anos), Millennials (28-43 anos), Geração X (44-59 anos), Baby Boomers (60-78 anos) e Geração Silenciosa (79 anos ou mais) (KIM *et al.*, 2024). Quanto ao grupo socioeconômico, os participantes foram classificados em A, B, C e DE, listados em ordem decrescente de poder de compra, sendo a Classe A representativa de indivíduos de renda mais alta e a Classe DE indivíduos de renda mais baixa (ABEP, 2024).

3.2.2.1 Análise da conscientização ambiental e das disposições comportamentais

A análise da conscientização ambiental, bem como das variáveis DEN, DPD, DRI e DPA, baseou-se em respostas ao questionário estruturadas em torno de três tipos principais de perguntas: priorização, múltipla escolha sem ordenação, e disposição a percorrer distâncias para entregar materiais recicláveis.

Para as perguntas de priorização, foi aplicado o Método de Borda. Esse método, amplamente utilizado em processos de tomada de decisão coletiva, identifica a alternativa mais preferida somando as pontuações atribuídas de acordo com a posição de cada item no ranking (OUFELLA, 2024; SAARI, 2023). As perguntas de múltipla escolha sem ordenação foram analisadas por meio de análise de frequência absoluta e relativa, permitindo avaliar a distribuição da percepção dos participantes nos diferentes temas abordados (DEAN; ILLOWSKY; ORG, 2010). Quanto à disposição a percorrer distâncias para entregar resíduos

recicláveis, foi adotada uma abordagem de análise por limiares. Essa técnica segmenta a população de acordo com diferentes intervalos de distância, facilitando a identificação de padrões comportamentais tanto em cenários com incentivo quanto sem incentivo (HUANG *et al.*, 2020; LEEABAI *et al.*, 2019).

Adicionalmente, a variável Disposição a Pagar foi analisada em dois contextos distintos: não motivado e motivado. No contexto não motivado, os moradores foram questionados se estariam dispostos a pagar pela gestão dos resíduos domiciliares e, em caso afirmativo, quanto estariam dispostos a pagar. No contexto motivado, os participantes foram inicialmente informados sobre os custos reais do serviço de coleta em Vitória. Especificamente, foi explicado que a prefeitura cobra uma Taxa de Coleta de Resíduos Sólidos de R$ 47,52 por 100 kg de resíduo gerado, cobrada juntamente com o IPTU, conforme a Lei Municipal nº 5.814/2002 (VITÓRIA, 2002). A estimativa foi baseada em uma residência de 300 m² com dois moradores, produzindo em média 730 kg de resíduos anualmente (SNIS, 2024).

Por fim, todas as análises foram ilustradas por meio de diferentes tipos de gráficos, incluindo gráficos de barras simples e agrupadas, gráficos de pizza, gráficos radar, gráficos de distribuição e mapas de calor, com apoio de planilhas eletrônicas e ferramentas estatísticas básicas, como o Excel®.

3.2.2.2 Fatores sociodemográficos e priorização das estratégias de políticas públicas

Para examinar as possíveis influências sociodemográficas, particularmente idade e classe socioeconômica, sobre a conscientização ambiental, DEN, DPD, DRI e DPA, foram realizadas análises comparativas por meio de tabulação cruzada entre variáveis. Quando pertinente, aplicou-se o teste qui-quadrado (χ^2) para identificar associações estatisticamente significativas entre variáveis categóricas. Adotou-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) para o teste qui-quadrado. Assim, quando $p < 0,05$, rejeita-se a hipótese nula (H_0), indicando uma associação significativa entre as variáveis; quando $p \geq 0,05$, H_0 não é rejeitada (SHEN; PANDA; VOGELSTEIN, 2022).

Além disso, identificaram-se as estratégias de política pública mais priorizadas, bem como a presença de diferenças estatisticamente significativas entre as opções, a fim de evidenciar as preferências mais fortes da população. Para isso, as estratégias foram agrupadas em quatro categorias: instrumentos operacionais, educacionais, econômicos e de comando e controle (GALAVOTE *et al.*, 2024a, 2024c), cada uma acompanhada de perguntas e alternativas de resposta específicas (Quadro 3). Em seguida, foi conduzida uma análise descritiva das respostas para identificar as opções mais frequentemente selecionadas. Nesse

contexto, também foi aplicado um teste qui-quadrado de aderência para determinar se a distribuição das respostas diferia significativamente entre as alternativas.

Quadro 3 - Classificação das estratégias para promover a separação do RDO na fonte e suas respectivas variáveis.

Instrumento	**Estratégias de política pública**	**Mecanismos de implementação**	**Variáveis**
Educacional	Fornecer informações aos geradores de resíduos:	Campanhas educativas nas escolas.	Nível de conscientização ambiental
		Eventos de conscientização, palestras e feiras.	
		Internet e plataformas de redes sociais.	
		Materiais impressos (outdoors, cartazes, faixas etc.).	
		Televisão e mídias de transmissão.	
Operacional	Ampliação da coleta seletiva:	Por meio de pontos de entrega	Disposição a Percorrer Distâncias
		Por meio da modalidade de coleta porta a porta	
Econômico	Incentivos para a destinação de resíduos recicláveis via coleta seletiva:	Brindes e prêmios.	Disposição a Receber Incentivos
		Créditos em cartões de transporte público ou descontos em impostos.	
		Doações para instituições de caridade.	
		Compensação monetária.	
		Troca por alimentos.	
	Cobranças pela gestão do RDO:	Calculada com base no IPTU	Disposição a Pagar
		Calculada com base no consumo de água ou energia elétrica.	
		Baseada no peso ou volume de resíduos gerados.	
		De acordo com a frequência de coleta e a destinação dos resíduos.	
		Taxa fixa anual.	
Comando e controle	Fiscalizações para identificar o descumprimento:	Implementação de medidas punitivas.	

Fonte: Elaborado com base em Galavote et al. (2024a, 2024c), Henao-Rodriguez, Lis-Gutiérrez e Sierra (2024), Reingewertz e Ayalon (2025) Zhao e Van de Walle (2024), Ghimire et al. (2024) e Yalcinkaya e Uzer (2022).

3.2.2.3 Definição das estratégias de políticas públicas a serem implementadas

A definição das estratégias de política pública para cada Região Administrativa baseou-se nos resultados das etapas anteriores, que incluíram a conscientização ambiental, DEN, DPD, DRI e DPA, bem como a influência da idade e da classe socioeconômica, além da priorização das estratégias de política pública pelos moradores. Ao considerar esses achados em conjunto com as características sociodemográficas de cada região, foi possível identificar, com maior precisão, as estratégias de política pública mais adequadas para cada contexto específico.

As estratégias relativas ao instrumento operacional foram representadas em um mapa temático do município de Vitória, desenvolvido com o software QGIS® (QGIS, 2025). Para a elaboração do mapa, foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística os shapefiles com os limites federal, estadual e municipal dentro do estado do Espírito Santo, com

foco em Vitória (IBGE, 2024b; IBGE, 2023, 2022). Os dados foram processados, recortados conforme os limites municipais e classificados tematicamente de acordo com as estratégias definidas para cada Região Administrativa.

Na elaboração do mapa, foram considerados dois métodos de coleta seletiva: coleta porta a porta e pontos de entrega, analisados sob dois cenários distintos. O primeiro cenário considera um Ponto de Entrega Voluntária localizado a uma distância máxima de 250 metros, conforme recomendado por autores como Erfani et al. (2018) e Yalcinkaya e Uzer (2022). O segundo cenário refere-se a um ponto de entrega vinculado a um sistema baseado em recompensas, situado a uma distância máxima de 500 metros. Para realizar a estimativa do número necessário de pontos de entrega voluntários e incentivados em cada Região Administrativa, foi utilizada a ferramenta Pontos Regulares do QGIS, configurada com espaçamento de 250 metros entre os PEVs e 500 metros entre os pontos incentivados.

A estimativa dos níveis de adesão nos cenários não incentivado e incentivado foi baseada nos dados do questionário. A relação entre distância e participação foi modelada por meio de uma regressão exponencial, conforme apresentado na Equação 6.

$$Adesão = a.e^{-b.distância} \quad (6)$$

Em que Adesão representa o percentual de participação na coleta seletiva, e distância corresponde à distância, em metros, até o ponto de entrega. Os parâmetros a e b foram estimados por meio de ajuste de regressão não linear. As curvas ajustadas foram plotadas junto aos dados simulados para ambos os cenários, permitindo avaliar como o comportamento de participação varia com a distância. A qualidade do ajuste foi avaliada por meio do coeficiente de determinação (R^2). Além disso, os intervalos de confiança (95%) para as taxas de participação observadas em cada distância foram calculados por meio do método da proporção binomial, a fim de quantificar a variabilidade dos dados empíricos.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os achados sobre a conscientização ambiental dos moradores em relação à separação do RDO na fonte. Examina não apenas suas percepções gerais e fontes de informação, mas também sua disposição a participar de práticas adequadas de descarte de resíduos, como entregar materiais recicláveis em pontos de coleta designados, percorrer distâncias específicas para isso e responder a incentivos ou taxas. Além disso, são examinados os fatores sociodemográficos que podem influenciar esses comportamentos.

3.3.1 Conscientização ambiental dos moradores

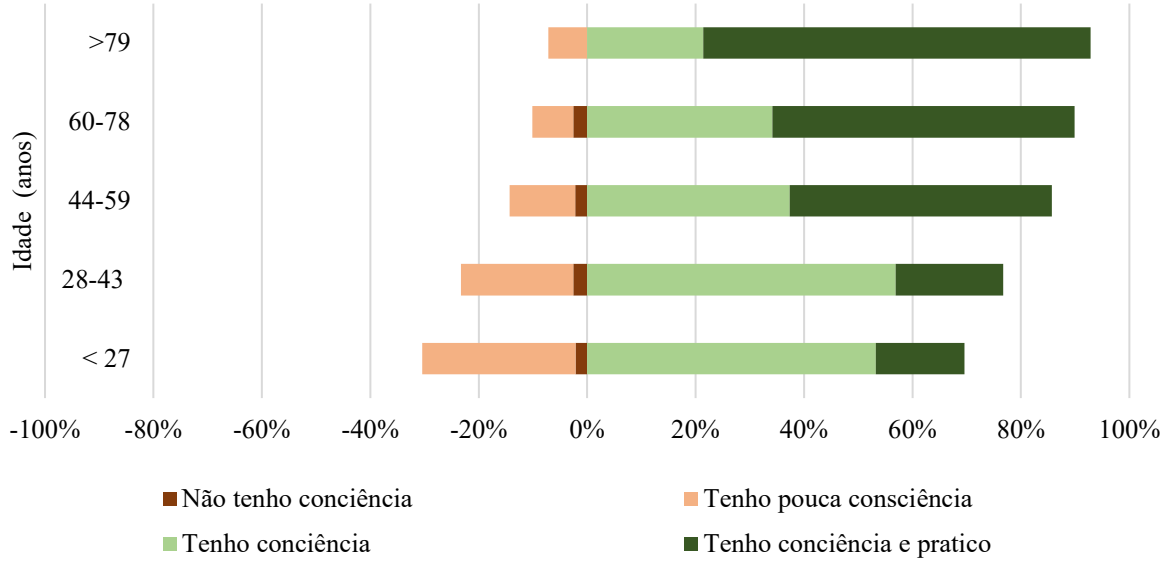
Embora 98% dos respondentes tenham relatado possuir algum nível de conscientização ambiental quanto à importância de separar e descartar adequadamente os resíduos recicláveis, apenas 36% afirmaram realizar essa separação e destiná-la à coleta seletiva. Isso evidencia uma discrepância entre conhecimento e prática. Comumente identificada na literatura como a lacuna atitude-comportamento, essa diferença sugere que a conscientização ambiental, embora necessária, não é suficiente para garantir a adoção de comportamentos sustentáveis (PARK; LIN, 2020; SAJID; ZAKKARIYA; ERTZ, 2024). Fatores como infraestrutura inadequada, facilidade percebida da ação e rotinas diárias, entre outros mencionados pelos moradores durante as entrevistas, podem interferir na conversão da intenção em comportamento real, conforme também apontado por Wang (2021).

Em consonância com essa interpretação, os dados municipais ilustram ainda mais a magnitude dessa lacuna. Embora 36% dos respondentes tenham relatado participar da coleta seletiva, apenas cerca de 3% dos resíduos domiciliares são efetivamente reciclados no município, aproximadamente 1,7 mil toneladas por ano (SINISA, 2026). Essa discrepância sugere uma possível superestimação no comportamento autorrelatado, mas também reflete limitações estruturais do sistema local. As altas taxas de rejeição (cerca de 40%) e a infraestrutura insuficiente das organizações de catadores reduzem a capacidade de processamento, desviando materiais recicláveis para a disposição em aterros (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; ZON *et al.*, 2020). Além disso, restrições operacionais levam essas organizações a priorizar grandes geradores, como condomínios residenciais, em detrimento da coleta dispersa a partir dos PEVs (ANDRADE *et al.*, 2020; CALDERÓN MÁRQUEZ; SILVA DE SOUZA LIMA CANO; RUTKOWSKI, 2021; GUTBERLET *et al.*, 2021; SIMAN *et al.*, 2020). Em conjunto, esses fatores indicam que a lacuna atitude-comportamento em Vitória é moldada não apenas pelas práticas individuais, mas também por barreiras operacionais que limitam a efetividade da coleta seletiva.

Além disso, os resultados do teste de hipóteses indicaram influência significativa da idade sobre o nível de conscientização ambiental quanto à importância da separação do RDO na fonte. Conforme mostra a Figura 12, indivíduos de gerações mais velhas, como a Geração Silenciosa (acima de 79 anos), os Baby Boomers (60-78 anos) e a Geração X (44-59 anos), apresentaram níveis mais elevados de conscientização ambiental em comparação aos Millennials (28-43 anos) e à Geração Z (18-27 anos). Segundo Lin et al. (2024), essa diferença pode estar relacionada a fatores sócio-históricos, como maior exposição a campanhas ambientais, experiências de vida marcadas pela escassez e maior estabilidade residencial, o que

tende a facilitar a internalização de práticas sustentáveis. Esses fatores, combinados a uma maior estabilidade socioeconômica, podem contribuir para o desenvolvimento de comportamentos pró-ambientais mais consistentes e enraizados ao longo do tempo.

Figura 12 - Influência da faixa etária sobre o nível de conscientização ambiental em relação à importância da separação dos resíduos recicláveis.



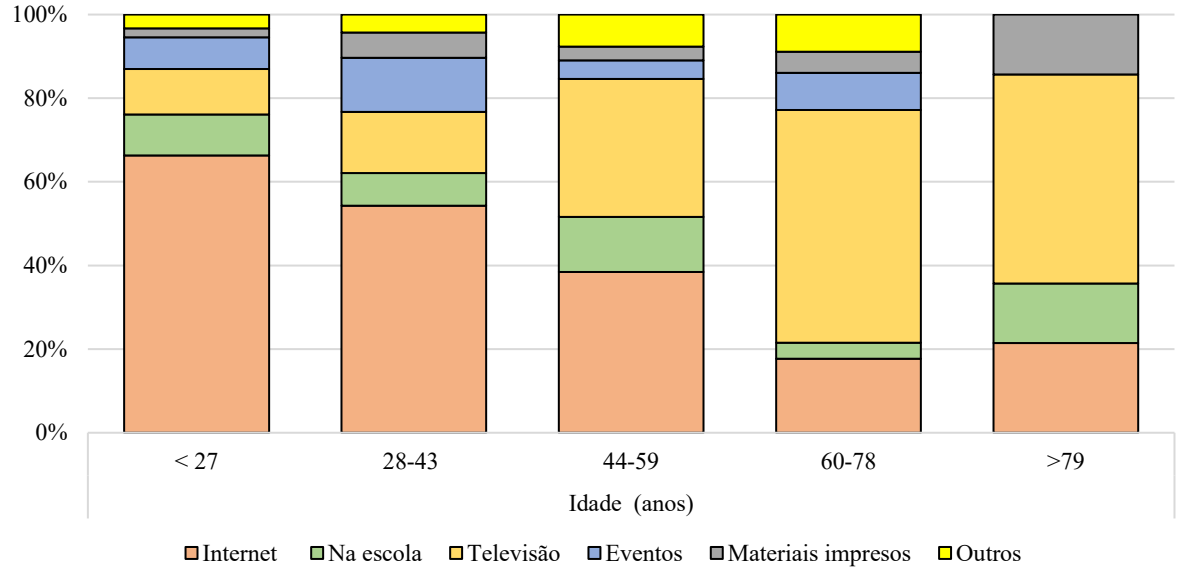
Fonte: Autoria própria.

A separação adequada do RDO exige que os moradores possuam conhecimento sobre as categorias específicas de resíduos envolvidas (HU *et al.*, 2024). A ausência desse conhecimento é uma das principais barreiras à participação em programas de separação na fonte, limitando o engajamento público (KUSHWAH *et al.*, 2023; RAKHMAWATI *et al.*, 2023). Este estudo identificou, por meio do teste qui-quadrado de aderência (Apêndice E – Tabela 23), uma diferença significativa nos canais de informação preferidos pelos moradores para aprender sobre a gestão adequada de resíduos. As fontes mais frequentemente citadas foram internet e redes sociais (43%), seguidas por televisão e outras mídias de transmissão (28%), campanhas educativas nas escolas (9%), eventos de conscientização como palestras e feiras (8%) e materiais impressos como outdoors, faixas, cartazes e panfletos (5%).

Quanto à influência sociodemográfica, o teste de hipóteses revelou que diferentes gerações percebem de forma distinta os meios mais eficazes para adquirir conhecimento sobre a separação do RDO. A Figura 13 mostra que os Millennials (28-43 anos) e a Geração Z (18-27 anos) preferem a internet, enquanto gerações mais velhas, como os Baby Boomers (60-78 anos) e a Geração Silenciosa (79 anos ou mais), tendem a recorrer mais à televisão. Essa disparidade decorre de fatores sociotecnológicos, particularmente do contexto de socialização

e do grau de familiaridade com tecnologias digitais entre as gerações mais jovens. Esses achados estão alinhados com os de Loos e Ivan (2024), que se referem aos indivíduos mais jovens como parte da geração de "difusão tecnológica".

Figura 13 - Influência da faixa etária sobre a percepção dos canais mais eficazes para aquisição de informações relacionadas à separação dos resíduos sólidos domiciliares.



Fonte: Autoria própria.

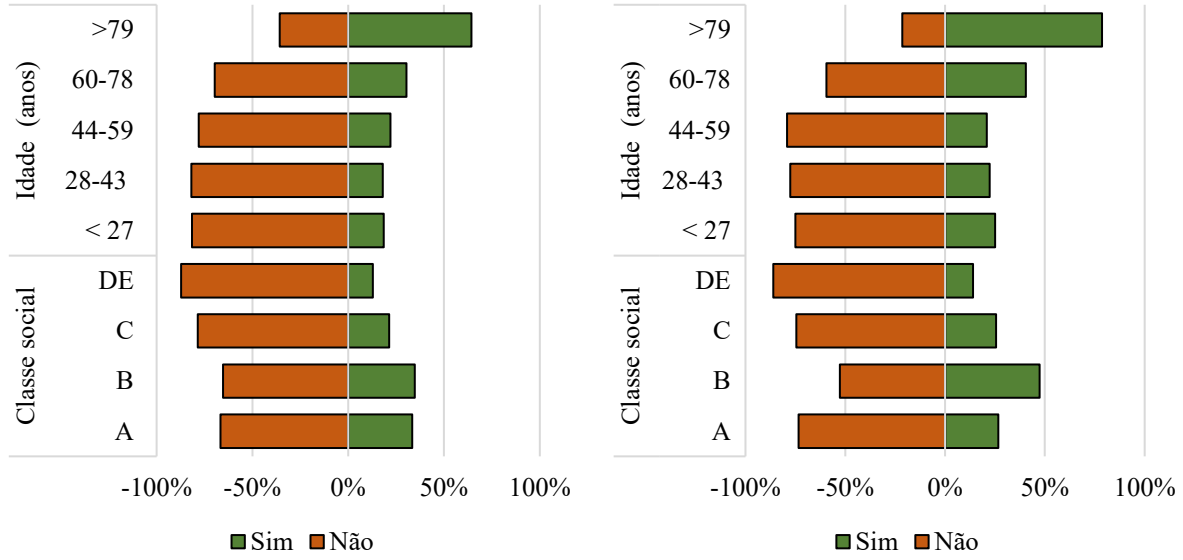
3.3.2 Disposição para entregar resíduos à coleta seletiva

O município opera 41 PEVs distribuídos em 21 dos 78 bairros da cidade (VITÓRIA, 2025c) indicando que, embora exista infraestrutura de coleta, sua cobertura territorial ainda é limitada. Em consonância com essa cobertura parcial, a pesquisa revelou que apenas 23% dos respondentes tinham conhecimento da existência de pontos de entrega próximos às suas residências, enquanto 77% não os conheciam. Isso sugere que tanto a distribuição espacial restrita das instalações quanto barreiras de comunicação ou visibilidade limitam a conscientização pública. Consequentemente, a participação no programa municipal de reciclagem permanece baixa: 72% dos respondentes relataram não participar, enquanto apenas 28% afirmaram participar.

Os resultados do teste de hipóteses indicam que tanto a idade quanto a classe socioeconômica afetam significativamente o conhecimento dos moradores sobre os pontos de entrega em sua área e sua participação no programa municipal de coleta seletiva (Figura 14). Pessoas de grupos socioeconômicos mais baixos apresentaram maior probabilidade de desconhecer os PEVs em seus bairros (Figura 14a), o que se reflete em sua menor participação no programa municipal de reciclagem (Figura 14b). Em contrapartida, moradores mais velhos,

especialmente aqueles da geração Baby Boomer (60-78 anos) e da Geração Silenciosa (79 anos ou mais), demonstraram maior conhecimento sobre a localização dos PEVs (Figura 14a) e maior engajamento com o programa municipal de coleta (Figura 14b).

Figura 14 - Influência da faixa etária e da classe socioeconômica sobre (a) o conhecimento da localização dos Pontos de Entrega Voluntária próximos à residência e (b) a participação no programa municipal de coleta seletiva.



Fonte: Autoria própria.

Esses achados estão alinhados com estudos recentes que destacam a influência das características sociodemográficas sobre o comportamento de separação do RDO. Leknoi et al. (2024) constataram que fatores como atitude e confiança no sistema de reciclagem são determinantes-chave do engajamento dos moradores na separação de resíduos na Tailândia, com variações observadas entre faixas etárias e classes socioeconômicas. De forma semelhante, Yuhuan et al. (2024) relatam que gerações mais velhas tendem a apresentar práticas de separação do RDO mais consistentes, refletindo um nível mais profundo e sustentado de engajamento no Sri Lanka.

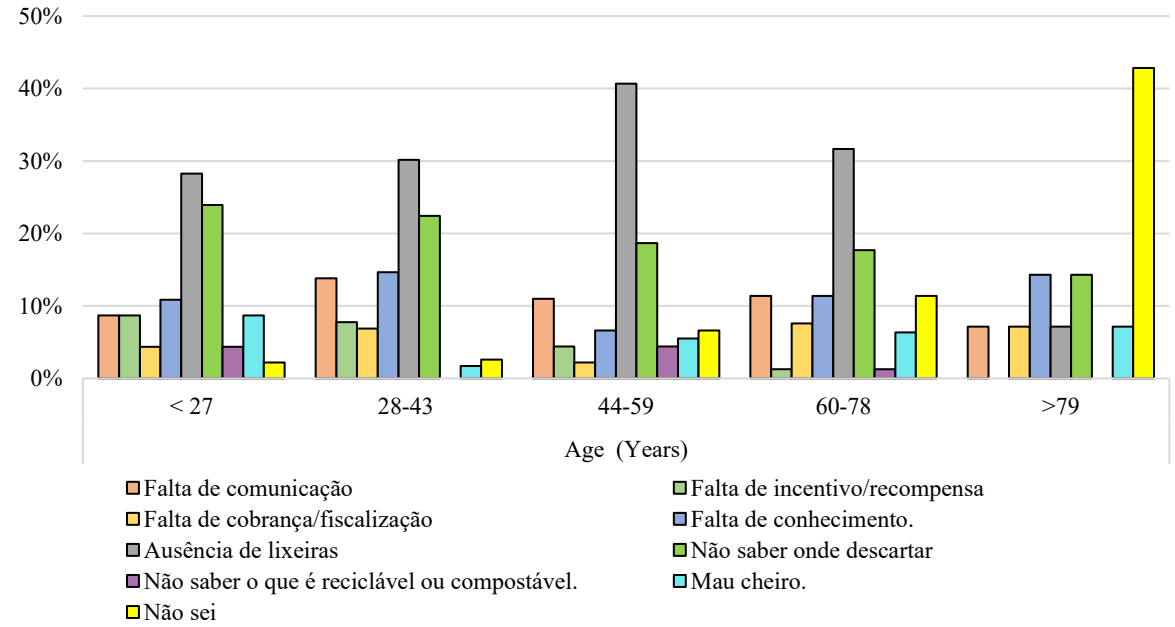
Entre os moradores que relataram não participar do programa municipal de coleta seletiva, os principais motivos citados foram: "O ponto de entrega é muito distante da minha casa" (28%), "Acredito que o resíduo separado acaba indo para um aterro ou lixão" (28%), "Entrego diretamente para catadores informais da minha região" (13%), "Não tenho tempo" (13%), "Não sei como separar os resíduos" (9%) e "É difícil mudar hábitos" (6%). Essas respostas sugerem que as principais barreiras à participação são a distância até o ponto de

entrega e a desconfiança quanto ao destino dos resíduos, ambas fortemente relacionadas à infraestrutura inadequada ou à falta de programas de divulgação e educação. Isso é corroborado por Rossit et al. (2020), que destacam que a disseminação eficaz de informações e o posicionamento estratégico dos pontos de entrega são fundamentais para o sucesso das iniciativas de coleta seletiva. Fatores-chave incluem canais de comunicação, acessibilidade, cobertura espacial e conveniência para o usuário.

As principais dificuldades na separação do RDO na fonte, apontadas pelos respondentes, foram as seguintes: falta de lixeiras apropriadas (32%); incerteza sobre onde descartar os resíduos separados (32%); conhecimento insuficiente sobre as práticas adequadas de separação (11%); e falta de incentivos ou recompensas (6%). Esses resultados evidenciam deficiências de infraestrutura, particularmente a disponibilidade limitada de pontos de entrega, atualmente presentes em apenas 58% dos bairros do município, somada à cobertura reduzida da coleta porta a porta, restrita a apenas 7,5% dos bairros. Além disso, a ausência de orientações informativas claras permanece como um importante entrave à ampliação da participação pública no programa de coleta seletiva.

O teste de hipóteses indicou que a idade exerce influência significativa sobre a percepção das barreiras à separação do RDO na fonte. A Figura 15 apresenta os principais desafios relatados pelos diferentes grupos etários. De modo geral, a falta de lixeiras e a incerteza quanto aos locais adequados de descarte foram obstáculos comumente citados em todas as faixas etárias, sendo a Geração X (44-59 anos) a que mais frequentemente relatou essas questões.

Figura 15 - Influência da faixa etária sobre a percepção das barreiras relacionadas à separação dos resíduos sólidos domiciliares na fonte.



Fonte: Autoria própria.

A Geração Silenciosa destacou-se por apresentar uma proporção maior de respondentes que citaram fatores diversos, como odores desagradáveis ou a percepção de que não enfrentam dificuldades na separação de resíduos ("Não vê barreiras"). Em contrapartida, os grupos mais jovens, incluindo a Geração Z (abaixo de 27 anos) e os Millennials (28-43 anos), identificaram uma gama mais ampla de barreiras, como baixa conscientização e falta de incentivos. Esses achados reforçam a necessidade de estratégias de engajamento mais diversificadas e direcionadas a esses públicos mais jovens.

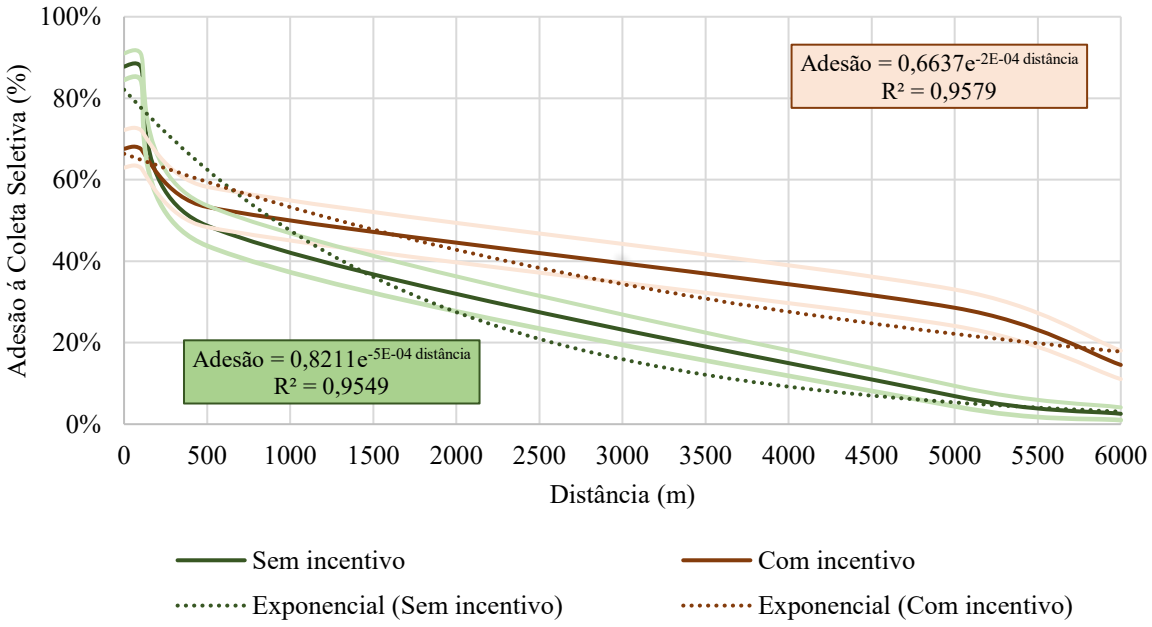
3.3.3 Disposição para deslocar-se até os pontos de coleta: efeitos da distância e dos incentivos

A disponibilidade e a promoção de ambos os métodos de coleta seletiva, porta a porta e pontos de entrega, são essenciais para fomentar o engajamento público na separação do RDO na fonte, pois fornecem não apenas a infraestrutura necessária, mas também informações vitais sobre as práticas adequadas de descarte (LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024; ZHENG *et al.*, 2022). Nesse contexto, o teste qui-quadrado de aderência (Apêndice E - Tabela 23) não revelou diferença estatisticamente significativa na preferência entre os dois métodos de coleta. Contudo, os resultados da pesquisa mostraram uma leve preferência pelo uso de pontos de entrega, com 51% dos respondentes favorecendo-os em relação à coleta porta a porta (49%).

Esse resultado pode estar relacionado à conveniência oferecida pelos pontos de entrega, que permitem horários de descarte flexíveis e maior disponibilidade, possibilitando que os moradores depositem os materiais recicláveis conforme sua conveniência. Isso contrasta com a coleta porta a porta, que opera em horário fixo. Percepção semelhante foi observada por Bernstad (2014), em um estudo sobre o comportamento de separação de RDO entre famílias suecas.

O conceito de conveniência, definido como a facilidade ou o esforço percebido necessário para realizar um comportamento, sugere que os indivíduos preferem opções rápidas e de baixo esforço (ALVI; HOANG; NAEEM NAWAZ, 2024). Com base nisso, o estudo examinou a disposição dos moradores a percorrer distâncias até os pontos de entrega de resíduos recicláveis, tanto de forma voluntária quanto mediante incentivos financeiros. Observou-se um declínio exponencial da participação à medida que aumentava a distância até o ponto de entrega (Figura 16), consistente com os achados de Li et al. (2020) e Tabar, Briscoe e Sohrabi (2024).

Figura 16 - Disposição dos moradores em entregar resíduos recicláveis em Pontos de Entrega Voluntária convencionais e incentivados.



Fonte: Autoria própria. As linhas em tonalidade mais clara representam os intervalos de confiança de 95% das taxas de participação observadas em cada distância.

Os intervalos de confiança para as taxas de participação observadas também são apresentados como linhas de cor mais clara, indicando a variabilidade dos dados empíricos. No cenário sem incentivo (curva verde), as taxas de participação superaram 90% dentro de 250 metros, mas caíram acentuadamente, diminuindo aproximadamente 40% a cada 1.000 metros adicionais. No cenário com incentivo (curva vermelha), embora a participação também tenha diminuído com a distância, o declínio foi mais gradual, em torno de 20% a cada 1.000 metros. Esses achados sugerem que os incentivos ajudam a manter o engajamento público mesmo quando os pontos de coleta estão mais distantes, corroborando conclusões semelhantes de Reingewertz e Ayalon (2025).

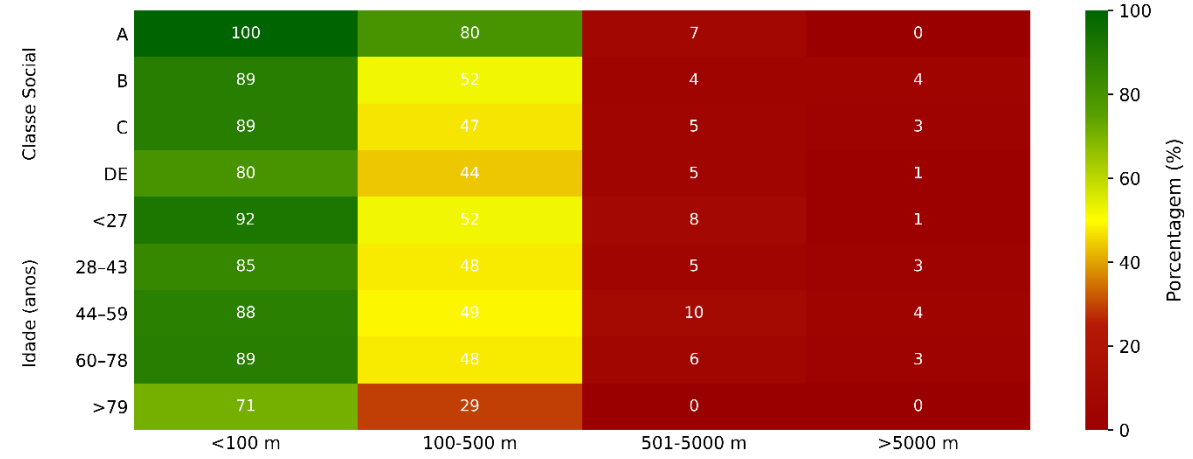
O elevado coeficiente de determinação ($R^2 > 0,95$) em ambos os modelos evidencia a força da correlação entre distância e participação, ressaltando a necessidade de estratégias voltadas à ampliação da coleta seletiva e à redução da distância até os pontos de entrega. Pesquisadores como Erfani et al. (2018) e Yalcinkaya e Uzer (2022) recomendam uma distância máxima de 250 metros para manter altas taxas de participação em programas de coleta seletiva. Por exemplo, um estudo de Slavík et al. (2021) realizado na Europa constatou que, quando as distâncias a pé ultrapassam 268 metros, aproximadamente 40% dos moradores deixam de participar devido à percepção de inconveniência. Em contrapartida, em contextos nos quais as

distâncias superam esse limiar, os incentivos financeiros podem funcionar como um mecanismo compensatório eficaz para sustentar a participação nas práticas de separação do RDO na fonte.

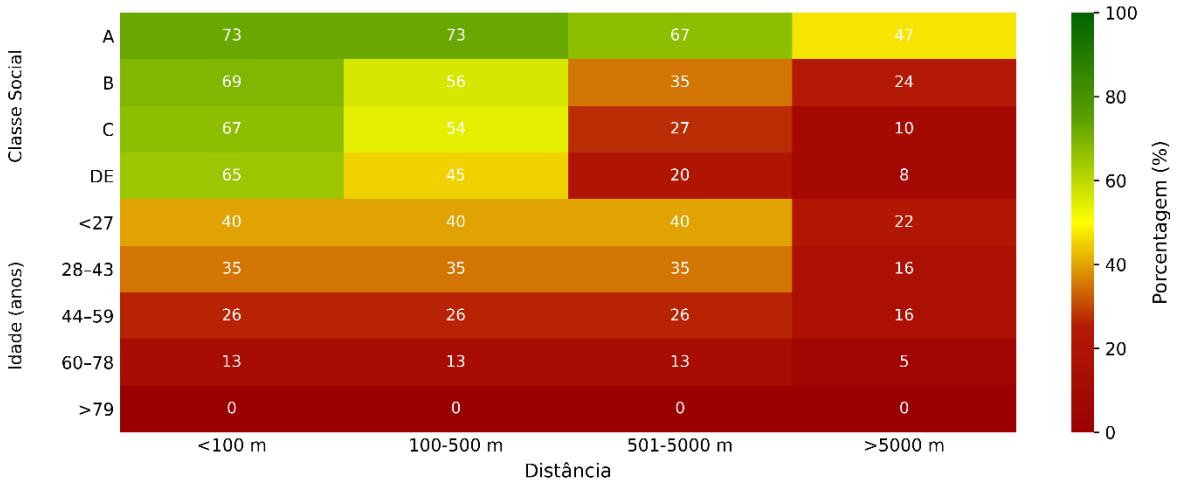
Embora estudos anteriores tenham demonstrado a eficácia dos incentivos financeiros na mitigação de barreiras relacionadas à distância, os resultados deste estudo ampliam essa evidência para um contexto caracterizado por infraestrutura limitada e sistemas de coleta seletiva ainda em fase de consolidação. Além disso, estratégias baseadas em recompensas são relativamente incomuns no Brasil, onde estão mais frequentemente associadas a iniciativas de doação beneficente (DUTRA; SIMAN, 2024; GALAVOTE *et al.*, 2024c). Esses achados sugerem que os incentivos podem desempenhar papel particularmente relevante em contextos nos quais a participação exige maior esforço devido à acessibilidade limitada e à menor conveniência.

A Figura 17 ilustra a influência da idade e da classe socioeconômica sobre a disposição a percorrer distâncias até os pontos de entrega de resíduos recicláveis em dois cenários: sem e com incentivos financeiros. No cenário sem incentivo (Figura 17a), a disposição a entregar resíduos recicláveis declina acentuadamente entre indivíduos de classes de renda mais baixa (B, C e DE) quando a distância é superior a 100 metros. Em contrapartida, indivíduos de renda mais alta (Classe A) apresentam taxas de participação relativamente mais elevadas, sugerindo maior mobilidade e engajamento mais forte em práticas ambientais.

Figura 17 - Influência da faixa etária e da classe socioeconômica sobre a disposição em deslocar-se até os Pontos de Entrega Voluntária para destinação de resíduos recicláveis: (a) sem incentivos e (b) com incentivos financeiros.



a)



b)

Fonte: Autoria própria.

No entanto, quando incentivos financeiros são introduzidos (Figura 17b), a resistência à participação na coleta seletiva diminui significativamente entre os moradores de renda mais baixa, especialmente em distâncias moderadas. Em contrapartida, a disposição tende a diminuir entre os grupos de renda mais alta quando incentivos financeiros estão presentes. Esse comportamento pode ser atribuído à maior sensibilidade das populações economicamente vulneráveis a recompensas financeiras imediatas, uma vez que tais incentivos têm impacto direto sobre seu orçamento doméstico, diferentemente dos grupos de renda mais alta. Padrões semelhantes foram relatados por Bazrbachi et al. (2023) e Concari et al. (2023).

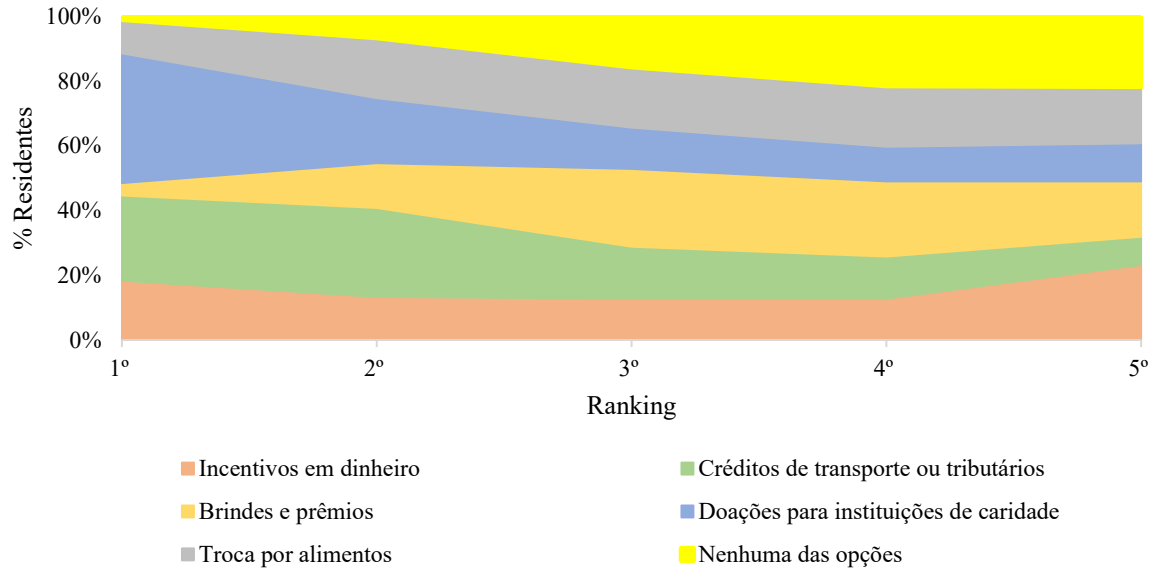
Quanto à idade, os dados mostram um declínio progressivo na disposição a participar à medida que a idade aumenta, tanto no cenário com incentivo quanto sem incentivo. Na ausência de incentivo, indivíduos da Geração Z (18-27 anos) exibem os maiores níveis de disposição, enquanto os da Geração Silenciosa, em geral, não estão dispostos a percorrer distâncias superiores a 500 metros. No cenário com incentivo, observa-se uma redução na disposição para distâncias mais curtas (até 500 metros), o que pode sugerir que, particularmente entre as gerações mais velhas, o engajamento é impulsionado mais fortemente por motivações intrínsecas, como senso de responsabilidade social, valores morais ou adesão a rotinas estabelecidas, do que por recompensas financeiras, conforme apontado por Diprose et al. (2019) e Owen e Büchs (2024). Ainda assim, a disposição melhora em distâncias intermediárias (acima de 500 metros) em todas as faixas etárias, exceto na Geração Silenciosa (79 anos ou mais), o que provavelmente reflete as limitações de mobilidade física típicas desse grupo.

3.3.4 Estratégias de incentivo: disposição para receber incentivos

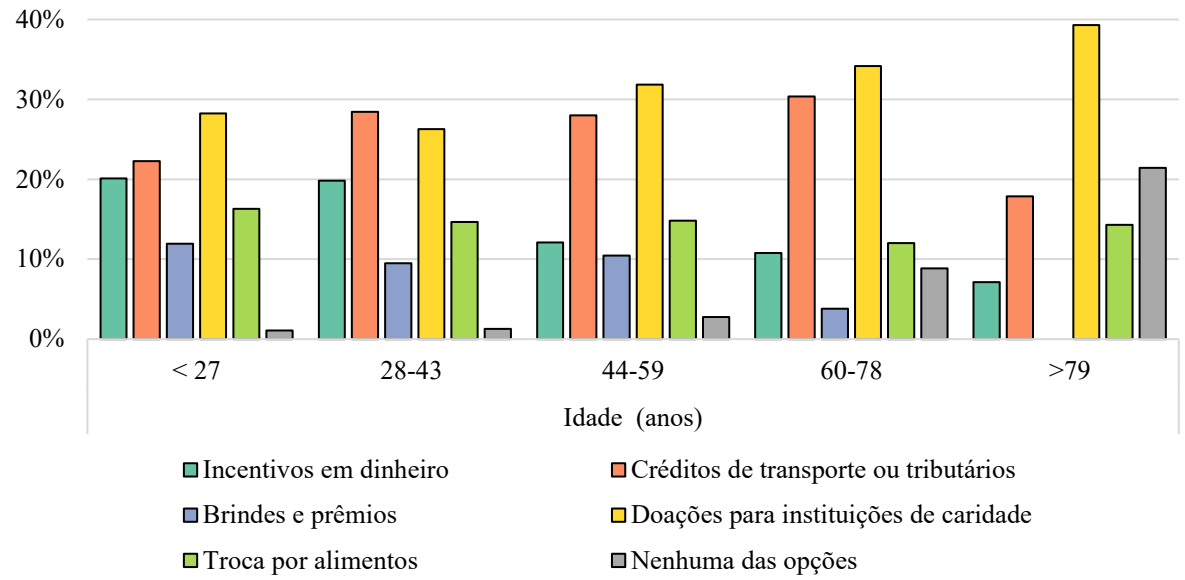
O teste qui-quadrado de aderência (Apêndice E - Tabela 23) revelou uma diferença significativa nas estratégias econômicas com maior potencial para incentivar os moradores a separar o RDO na fonte e a participar da coleta seletiva. A maioria dos respondentes favoreceu os incentivos financeiros, particularmente na forma de descontos em impostos e taxas de coleta, que receberam a maior pontuação (377) e foram classificados como a opção preferida por aproximadamente 60% dos participantes. As recompensas também receberam avaliações favoráveis (pontuação: 356), com 22% selecionando essa opção em primeiro lugar. Em contrapartida, as multas por não separar os resíduos foram a estratégia menos aceita (pontuação: 354), com apenas 16% classificando-as como primeira escolha. Apenas 2% dos respondentes não escolheram nenhuma das opções apresentadas. Essa preferência por incentivos financeiros está alinhada com achados recentes da literatura, que destacam a maior eficácia de recompensas e reduções de taxas, em comparação com penalidades, na promoção da participação em programas de coleta seletiva (RAKHMAWATI *et al.*, 2023; VOLLAARD; VAN SOEST, 2024; ZHU *et al.*, 2023).

Quanto às recompensas como incentivo à separação do RDO na fonte, o teste qui-quadrado de aderência (Apêndice E - Tabela 23) revelou diferença significativa entre as opções avaliadas. Conforme mostra a Figura 18a, as opções mais valorizadas pelos respondentes foram: "Doações para instituições de caridade", seguida de "Créditos de transporte ou descontos em impostos" e "Dinheiro".

Figura 18 - (a) Preferências dos moradores em relação aos incentivos para a separação dos resíduos sólidos domiciliares na fonte e (b) influência da faixa etária sobre essas preferências.



a)



b)

Fonte: Autoria própria.

Essa preferência sugere que os moradores valorizam tanto incentivos altruístas quanto financeiros diretos. Esses resultados indicam que recompensas beneficentes e monetárias, como reduções de impostos, são eficazes na promoção de comportamentos pró-ambientais e podem impulsionar significativamente as taxas de reciclagem, corroborando os achados de Chen et al. (2023) e Kraft-Todd et al. (2015).

Além disso, o teste de hipóteses revelou influência significativa da idade sobre as preferências dos moradores por diferentes incentivos para estimular a separação do RDO na fonte (primeira e segunda escolhas). Conforme ilustra a Figura 18b, a opção "nenhuma das anteriores" torna-se cada vez mais prevalente com o aumento da idade, particularmente entre os Baby Boomers (60-78 anos) e a Geração Silenciosa (79 anos ou mais). Além disso, "brindes e prêmios" geraram pouco interesse entre os Boomers e não foram selecionados por nenhum participante da Geração Silenciosa. Esse padrão pode indicar menor receptividade a incentivos externos ou uma postura mais crítica quanto à eficácia das estratégias de incentivo propostas.

Por outro lado, incentivos financeiros diretos, como pagamentos em dinheiro e créditos de transporte ou impostos, são mais valorizados pelos grupos mais jovens, particularmente pela Geração Z e pelos Millennials. Esse padrão sugere que as recompensas econômicas têm maior apelo entre indivíduos em idade ativa, provavelmente devido à sua maior sensibilidade a benefícios tangíveis. Essas gerações são predominantemente impulsionadas por motivações extrínsecas, ou seja, são mais responsivas a fatores externos, como recompensas e incentivos que estimulam comportamentos específicos (DIPROSE *et al.*, 2019; OWEN; BÜCHS, 2024).

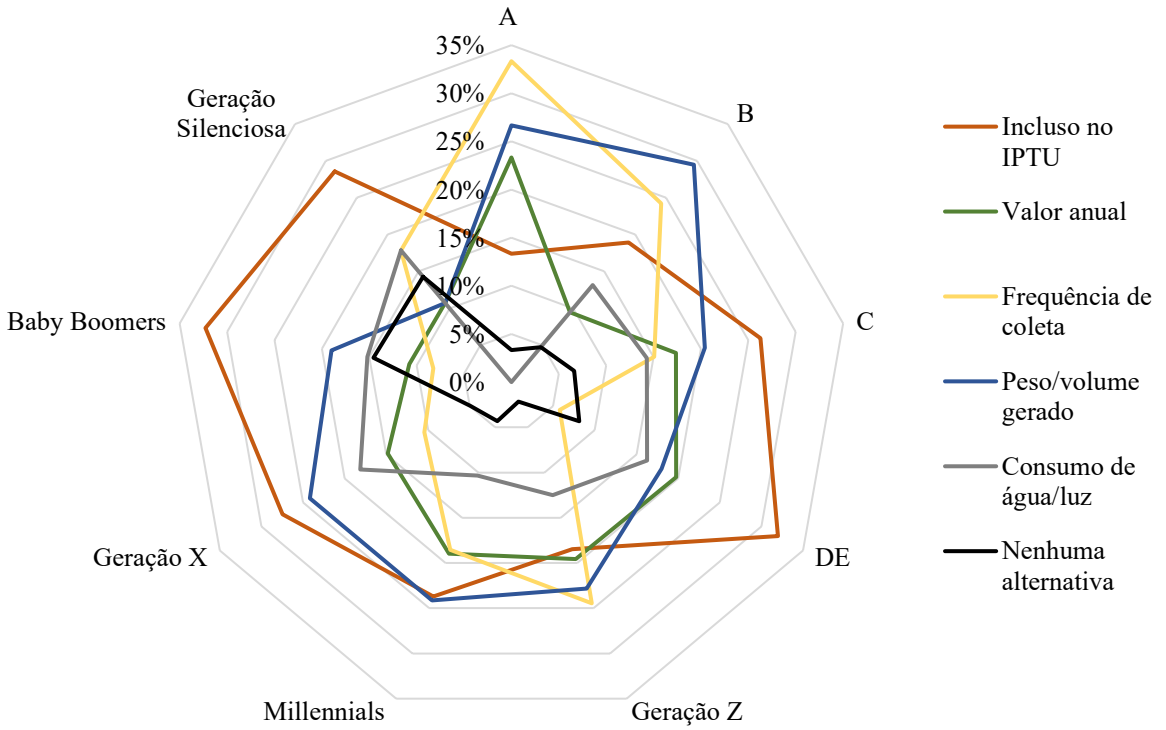
3.3.5 Estratégias de incentivo e penalização: disposição para pagar pela gestão dos resíduos sólidos domiciliares não separados

Existem diversos métodos de penalidade ou cobrança para tarifar os geradores de resíduos pela gestão do RDO. No Brasil, os modelos mais comuns incluem taxas cobradas em conjunto com o IPTU, tarifas fixas anuais ajustadas conforme localização e serviços prestados, e taxas calculadas com base no consumo de água e energia elétrica (GALAVOTE *et al.*, 2024c). Em contrapartida, a cobrança baseada em volume/peso, na qual a tarifa corresponde à quantidade de RDO gerada (reciclável e/ou não reciclável), é mais predominante na Europa, na Ásia e na América do Norte, onde o princípio "pague pelo que joga fora" (Pay-As-You-Throw - PAYT) é amplamente implementado (BONELLI *et al.*, 2016; CHEN, 2019; WANG *et al.*, 2020).

Quanto às preferências dos moradores por sistemas de cobrança pela coleta de resíduos, a opção mais popular foi o IPTU. Embora a cobrança baseada em peso ou volume para resíduos sólidos domiciliares ainda não tenha sido implementada no Brasil (GALAVOTE *et al.*, 2024c), ela ocupou o segundo lugar nas preferências dos moradores. O método baseado no consumo de água e energia elétrica ficou em terceiro lugar. Esses resultados sugerem que os moradores preferem modelos de cobrança mais simples e transparentes, achado confirmado pelo teste qui-quadrado de aderência (Apêndice E - Tabela 23), que indicou significância estatística entre as opções de cobrança. Notavelmente, a cobrança baseada em volume, apesar de ainda não adotada no Brasil, é vista como justa, uma vez que os geradores pagam de acordo com o resíduo que produzem, conforme destacado por Zhang, Ma e Du (2023) e Zhang, Zhijian e Lin (2023).

Além disso, o teste de hipóteses indicou influência significativa da idade e da classe social (Figura 19) sobre as preferências por sistemas de cobrança, sendo a opção "Incluído no IPTU" mais frequentemente citada entre as classes sociais mais baixas (C e DE) e indivíduos com mais de 44 anos (Boomers e Gerações X e Silenciosa). Esse padrão pode refletir uma tendência a aceitar modelos de cobrança embutidos nos pagamentos de aluguel para grupos de menor renda, ou taxas fixas para gerações mais velhas, devido à previsibilidade dos custos, aspecto valorizado pelas gerações mais velhas, conforme apontado por Han et al. (2021).

Figura 19 - Influência da (a) faixa etária e da (b) classe socioeconômica sobre as preferências pelos sistemas de cobrança dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares não separados.

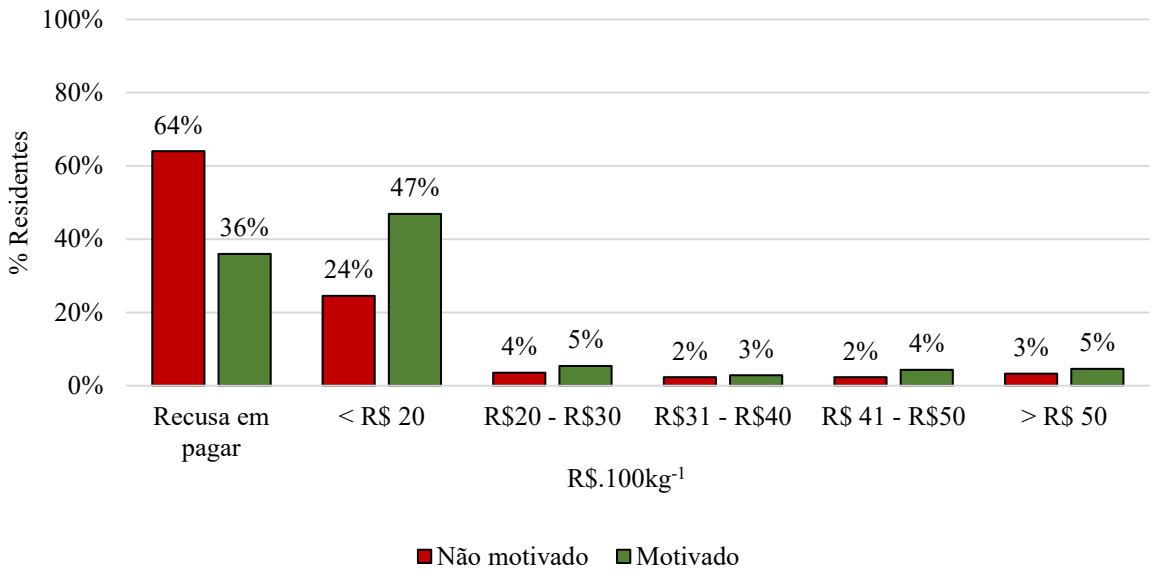


Fonte: Autoria própria. A, B, C e DE: Classes socioeconômicas; Silent Generation: >79 anos; Baby Boomers: 60–78 anos; Geração X: 44–59 anos; Millennials: 28–43 anos; Geração Z: 18–27 anos.

Em contrapartida, os moradores mais jovens (Millennials e Geração Z), com menos de 43 anos, e de classes sociais mais altas (A e B), demonstraram preferência por tarifas baseadas na frequência de coleta e na quantidade de resíduos gerados, indicando valorização da cobrança baseada no uso. Esse modelo mais recente só se tornou viável com a introdução de tecnologias como hidrômetros, balanças e sistemas de medição direta, que possibilitam tarifas proporcionais e reforçam os princípios de justiça e transparência na cobrança dos serviços, conforme também apontado por Goulas et al. (2022)..

A Figura 20 apresenta a disposição dos moradores a pagar pela gestão do RDO não separado. No primeiro cenário, o contexto não motivado (apresentado em vermelho), os participantes foram questionados sobre sua disposição a pagar e o valor que contribuiriam sem informações prévias. No segundo cenário, o contexto motivado (apresentado em verde), foram fornecidas informações sobre o sistema municipal de cobrança atual.

Figura 20 - Disposição dos moradores em pagar pelos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares não separados antes e após receberem informações sobre o atual sistema municipal de cobrança.



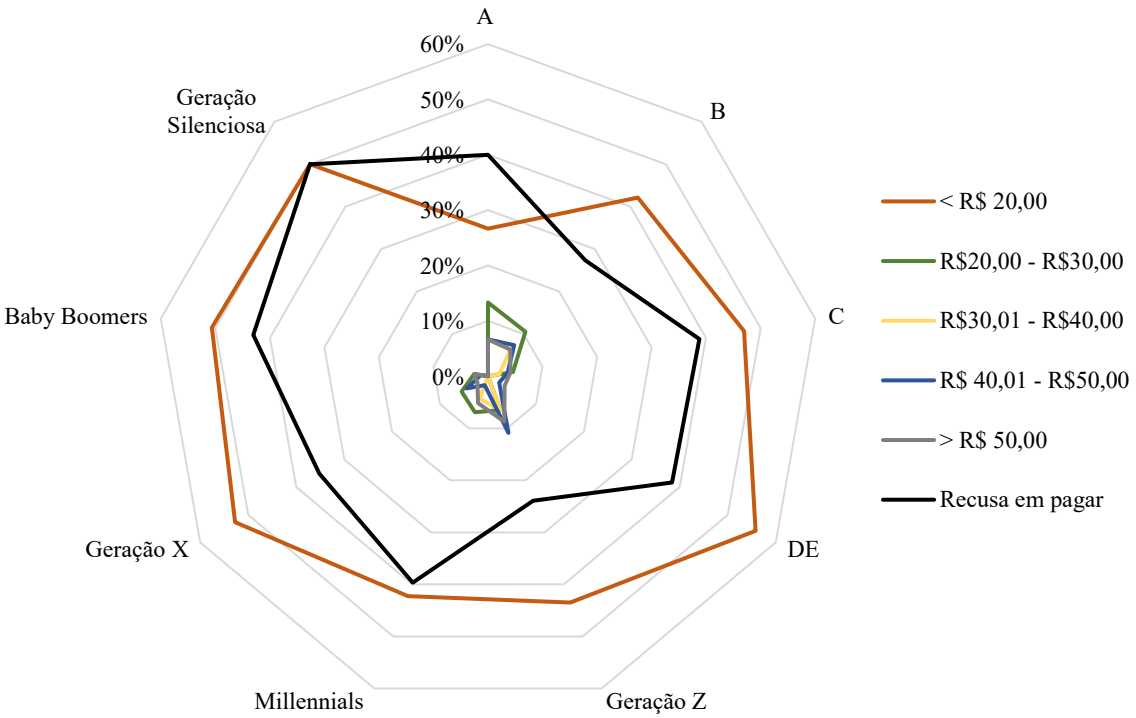
Fonte: Autoria própria. Unidade: Reais (BRL) por 100 kg de resíduos sólidos domiciliares não separados.

Antes de receberem as informações, 64% dos moradores recusaram-se a pagar qualquer valor pelo serviço, indicando resistência significativa, provavelmente devido à falta de conhecimento sobre os custos reais da gestão do RDO ou à percepção de que tais serviços já são financiados por meio de impostos existentes. Contudo, após serem informados de que essa taxa já era cobrada e receberem um exemplo do valor pago, esse percentual caiu para 36%. Ao mesmo tempo, houve um aumento substancial na proporção de moradores dispostos a pagar valores mais baixos, particularmente na faixa abaixo de R$ 20,00 por 100 kg, que passou de 24% para 47%. Isso sugere que, uma vez informados, muitos moradores reconsideraram sua posição e aceitaram contribuições modestas para apoiar a coleta do RDO. Esses achados reforçam a importância da transparência e da comunicação clara por parte das autoridades públicas quanto aos custos associados aos serviços de gestão de resíduos, conforme corroborado por Emmanouil et al. (2024) e Nguyen (2023).

O teste de hipóteses indicou que tanto a idade quanto a classe socioeconômica influenciaram a disposição dos moradores a pagar pela gestão do RDO não separado após serem informados de que a prefeitura já inclui essa taxa no IPTU. Conforme mostra a Figura 21, moradores de classes socioeconômicas mais altas (A e B) relataram maior disposição a pagar, com uma distribuição mais equilibrada entre diferentes faixas de valor, incluindo categorias intermediárias e mais altas de pagamento. Em contrapartida, para as classes C e DE, a

disposição a pagar concentrou-se principalmente na faixa de valor mais baixa (R$ 20,00), acompanhada de uma proporção maior de recusa a pagar. Isso pode ser atribuído à menor capacidade financeira, conforme corroborado por Bai Lin (2022) e Concari et al. (2023)

Figura 21 - Influência da faixa etária e da classe socioeconômica sobre a disposição para pagar pela gestão dos resíduos sólidos domiciliares não separados.



Fonte: Autoria própria. A, B, C e DE: Classes socioeconômicas; Silent Generation: >79 anos; Baby Boomers: 60–78 anos; Geração X: 44–59 anos; Millennials: 28–43 anos; Geração Z: 18–27 anos. Unidade: reais brasileiros (BRL) por quilograma de resíduos domiciliares não separados.

Quanto à idade, o gráfico mostra que os moradores da Geração Z (18-27 anos) apresentam disposição relativamente maior a pagar, com presença notável nas faixas de contribuição intermediárias. No entanto, observa-se um aumento perceptível na recusa a pagar entre as gerações mais velhas, particularmente entre aqueles com mais de 79 anos (Geração Silenciosa), em que a opção "Recusa a pagar" supera todas as demais. Esse padrão pode ser atribuído a fatores como renda fixa (aposentadoria), menor engajamento em discussões sobre mudanças tarifárias e, possivelmente, a crença de que já contribuem suficientemente por meio de impostos, conforme corroborado por Jacques (2023) e Lachapelle et al. (2021).

3.4 IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS: ESTRATÉGIAS PARA PROMOVER O COMPORTAMENTO DE SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES NA FONTE E A PARTICIPAÇÃO EM PROGRAMAS DE COLETA SELETIVA

Com base na associação evidenciada entre variáveis sociodemográficas (faixa etária e classe socioeconômica) e instrumentos operacionais, educacionais, econômicos e de comando e controle, bem como considerando a distribuição da população em territórios com diferentes características econômicas e etárias (Quadro 9), foram propostas estratégias de política pública específicas para priorização em cada Região Administrativa.

Identificou-se uma associação entre moradores mais jovens, pertencentes à Geração Z e aos Millennials (com menos de 43 anos), e níveis mais baixos de conscientização ambiental quanto à importância da separação do RDO na fonte. Portanto, recomenda-se que estratégias de educação ambiental voltadas ao fortalecimento dessa conscientização sejam priorizadas nas Regiões Administrativas com maior concentração desse grupo demográfico.

Quanto aos canais de disseminação de informação, observou-se forte associação entre geradores de resíduos com menos de 59 anos (pertencentes às Gerações Z, X e Millennials) e a preferência pela internet e redes sociais. Portanto, recomenda-se que esses canais sejam priorizados em todas as regiões, uma vez que esses grupos etários são predominantes em todo o território. Vale destacar que as mídias on-line oferecem vantagens como baixo custo, disseminação de informações em tempo real e engajamento direto com o público-alvo, especialmente em campanhas de conscientização ambiental (AVDIUSHCHENKO; MEINRENKEN, 2025; XIE *et al.*, 2024).

No entanto, como as gerações mais velhas (Boomers e Geração Silenciosa) tendem a preferir a televisão e materiais impressos, é recomendável utilizá-los como estratégias complementares. A distribuição de materiais impressos e a disseminação de informações por televisão permanecem eficazes, pois esses canais continuam desempenhando papel relevante na formação de atitudes pró-ambientais, particularmente entre populações menos familiarizadas com tecnologias digitais (AWAN *et al.*, 2022). Essa abordagem pode ser empregada em regiões com maior presença de adultos mais velhos, a fim de reforçar a conscientização ambiental.

É importante ressaltar que a eficácia dessas estratégias também depende de infraestrutura adequada. A falta de lixeiras apropriadas, a cobertura limitada da coleta seletiva e a insuficiência de informações claras comprometem a internalização de conteúdos ambientais, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas (HENAO-RODRÍGUEZ; LIS-GUTIÉRREZ; SIERRA, 2024; REINGEWERTZ; AYALON, 2025). Assim, os programas de

educação ambiental devem ser integrados ao planejamento logístico dos serviços públicos, promovendo ações que instruam a população sobre o uso correto da infraestrutura existente e reforcem o senso de responsabilidade entre os geradores de resíduos (LYE; NG; LAW, 2024). Nesse contexto, as Organizações de Catadores podem atuar como agentes de mudança, apoiando e promovendo essas iniciativas (KAUR; KAUR, 2024; SIMAN *et al.*, 2020).

Além disso, o monitoramento e a avaliação contínuos das iniciativas educacionais são cruciais e devem se basear em indicadores tanto qualitativos quanto quantitativos (SPYRA; CORTINOVIS; RONCHI, 2025). Essas avaliações devem considerar não apenas a quantidade de resíduos separados, mas também o nível de compreensão, participação e engajamento da comunidade. Abordagens como avaliações participativas, transparência pública e diálogo comunitário são fundamentais para garantir que os programas educacionais vão além da simples transmissão de informações e promovam mudanças socioambientais tangíveis e duradouras (PIERINI *et al.*, 2021).

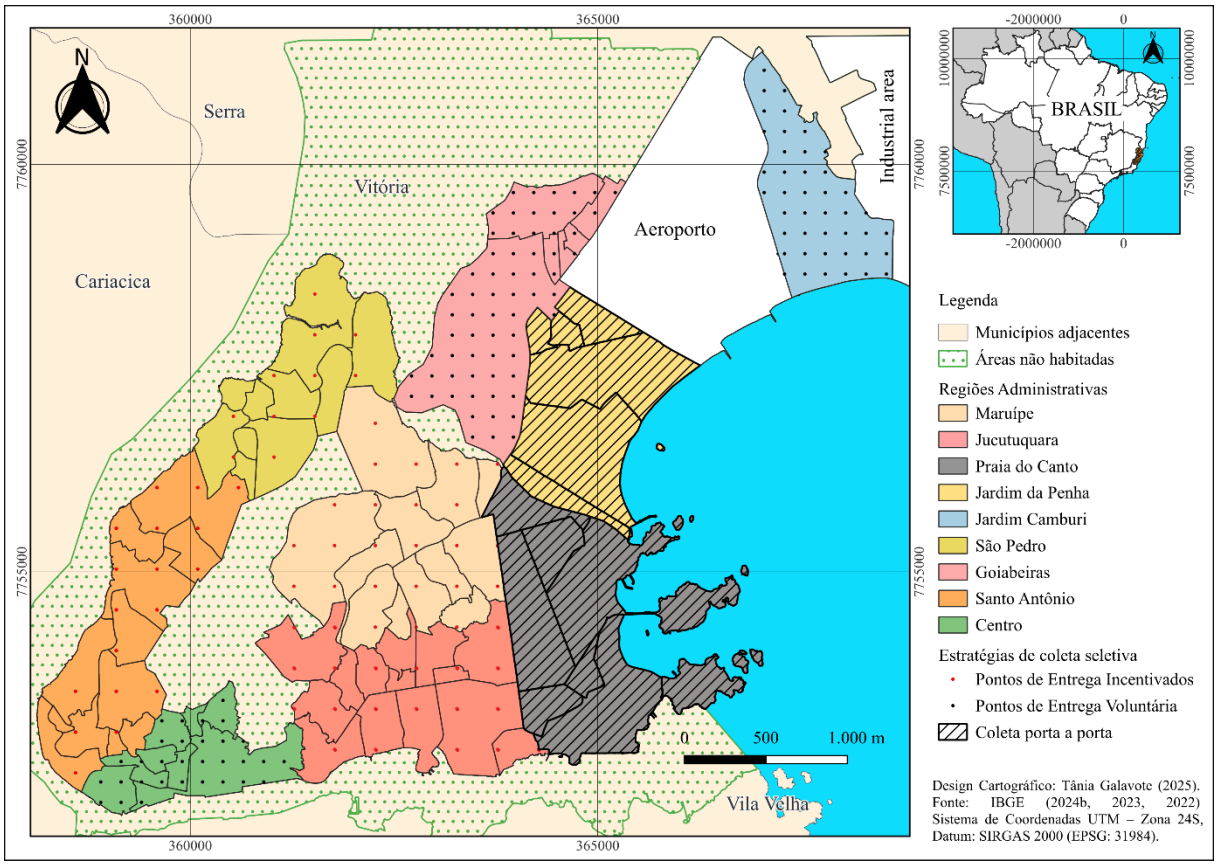
As abordagens baseadas em recompensas também foram examinadas, revelando diferentes padrões de aceitação de acordo com idade e origem socioeconômica. Por exemplo, adultos com mais de 60 anos (Geração Silenciosa e Baby Boomers) e moradores de maior renda demonstraram menor disposição a participar de programas que trocam resíduos recicláveis por recompensas, achado confirmado por meio do teste de hipóteses.

Por essa razão, regiões periféricas (como Santo Antônio, Jucutuquara, São Pedro e Maruípe) são recomendadas para a implementação de sistemas piloto de recompensas, dada a predominância de população mais jovem (Geração Z e Millennials) e com menores níveis de renda. Quanto ao tipo de recompensa, deve-se priorizar doações para instituições de caridade, créditos em cartões de transporte e descontos em impostos, refletindo a forte associação observada entre essas preferências e os indivíduos da Geração Z (18-27 anos) e dos Millennials (28-43 anos), respectivamente.

A implementação dessas estratégias de recompensa requer uma abordagem integrada que considere fatores econômicos, comportamentais, tecnológicos e logísticos. O planejamento deve equilibrar atratividade e viabilidade financeira, uma vez que recompensas mal desenhadas podem reduzir a motivação para ações pró-ambientais (CHEN *et al.*, 2023). Além disso, a comunicação clara e contínua sobre o funcionamento e os benefícios do programa é essencial para construir confiança e engajamento (LING; XU; YANG, 2024). Por fim, a infraestrutura de coleta e rastreamento deve garantir a pesagem, o registro e a rastreabilidade confiáveis dos materiais entregues (SHEN *et al.*, 2023).

Com base na identificação das regiões mais adequadas para a implementação de sistemas piloto de recompensas, foi feita uma estimativa do número de pontos de entrega incentivados necessários nas Regiões Administrativas de Santo Antônio, Jucutuquara, São Pedro e Maruípe, conforme ilustrado na Figura 22. Os pontos foram distribuídos com espaçamento de 500 metros (Apêndice E - Tabela 25), o que poderia potencialmente alcançar aproximadamente 60% de participação dos moradores.

Figura 22 - Priorização das estratégias propostas para a coleta seletiva por Região Administrativa do município de Vitória.



Fonte: Autoria própria.

Para outras regiões com maior proporção de moradores idosos ou maior poder aquisitivo, como Centro, Goiabeiras e Jardim Camburi, recomenda-se a implementação de Pontos de Entrega Voluntária, uma vez que esses grupos tendem a ser menos receptivos a programas baseados em recompensas. Esses pontos foram modelados com espaçamento de 250 metros (Apêndice E - Tabela 24), visando alcançar aproximadamente 70% de participação dos moradores. Por fim, para as regiões de Praia do Canto e Jardim da Penha, recomenda-se a coleta porta a porta, pois ambas as áreas apresentam os maiores percentuais de moradores idosos

(acima de 25%) pertencentes à Geração Silenciosa e aos Baby Boomers. Esses grupos apresentam forte associação com a preferência por essa modalidade de coleta.

A implementação dessas estratégias requer atenção cuidadosa a diversos aspectos técnicos. O uso de caminhões compactadores deve ser evitado, pois tendem a degradar a qualidade dos materiais coletados e aumentar a taxa de rejeição (SENA *et al.*, 2023). Os pontos de entrega devem atender aos seguintes critérios: eficiência, maximizando a coleta; conveniência, fácil acesso e manuseio tanto para os usuários quanto para a equipe de coleta; compatibilidade, adequação ao equipamento utilizado; e segurança pública, contêineres seguros e bem conservados (WEKISA; MAJALE, 2020). Quanto à implementação, os municípios podem adotar modelos geridos por Organizações de Catadores para reduzir custos. Ferronato et al. (2021) destacam que essas organizações podem reduzir os custos da coleta seletiva em aproximadamente 10% e aumentar as taxas de reciclagem em cerca de 3,5%.

Quanto às preferências por estratégias de cobrança, observou-se forte associação entre gerações mais velhas, com mais de 44 anos (como Geração X, *Baby Boomers* e Geração Silenciosa) e classes socioeconômicas mais baixas, com a aceitação do IPTU como método de pagamento preferido. Nesse contexto, é aconselhável manter o modelo atualmente utilizado na maioria das regiões. No entanto, estudos sugerem que esse sistema apresenta eficácia limitada na promoção de mudanças comportamentais, uma vez que o valor pago não está relacionado ao volume de resíduos produzido, o que reduz seu potencial educativo (BANERJEE; SARKHEL, 2020; CHUNG; YEUNG, 2019).

Portanto, recomenda-se a implementação de um projeto piloto baseado no modelo PAYT, proporcional à quantidade de resíduos gerados. Dada a forte associação entre a preferência por esse modelo e as gerações mais jovens, bem como os grupos de maior renda, sugere-se sua aplicação na região de Jardim Camburi. Além de seu elevado poder aquisitivo, essa região apresenta uma proporção maior de moradores com menos de 44 anos do que outras áreas de alta renda, como Praia do Canto e Jardim da Penha.

Essa recomendação piloto também evidencia uma lacuna mais ampla nas políticas brasileiras de gestão de resíduos, nas quais instrumentos de tarifação variável, como o PAYT, ainda não foram adotados. Atualmente, os serviços de resíduos domiciliares são financiados principalmente por meio de taxas fixas ou impostos baseados na propriedade, frequentemente cobrados em conjunto com as contas de água ou energia elétrica, quando o mesmo prestador de serviço é responsável pela gestão de resíduos (GALAVOTE *et al.*, 2024c; SENA *et al.*, 2023). Isso contrasta com a situação na Europa, na Ásia e na América do Norte, onde os sistemas PAYT estão consolidados há várias décadas e constituem um instrumento econômico

fundamental para as políticas de redução de resíduos e reciclagem (LE PERA; SELLARO, 2026; LU; WANG; AN, 2024; SOBRINO-GARCÍA, 2025; UKKONEN; SAHIMAA, 2021; XU *et al.*, 2025).

Evidências internacionais indicam que a eficácia e a viabilidade dos esquemas PAYT dependem de diversos fatores contextuais, incluindo infraestrutura de coleta, capacidade tecnológica, transparência na cobrança e aceitação pública, que variam substancialmente entre países e municípios (ASIH; PRASETYO; SOPHA, 2026; GHAZARYAN *et al.*, 2025). Além disso, diferentes modalidades de PAYT, como sistemas baseados em peso, volume ou unidade, produzem resultados distintos em termos de redução de resíduos, taxas de reciclagem, economia de custos municipais e equidade tarifária (LE PERA; SELLARO, 2026).

Apesar desses benefícios, a literatura também destaca possíveis desafios de implementação, incluindo descarte irregular, "turismo de resíduos" (descarte em jurisdições vizinhas para evitar cobranças), contaminação de materiais recicláveis e custos operacionais adicionais (UKKONEN; SAHIMAA, 2021). Além disso, mesmo em regiões onde o PAYT foi implementado com sucesso, geralmente são necessárias adoção gradual e intervenções complementares, como mecanismos de retorno social, campanhas informativas e incentivos normativos, para garantir eficácia de longo prazo e aceitação pública (EK; SÖDERBERG, 2024; LU; WANG; AN, 2024). Nesse contexto, a implementação piloto torna-se essencial para identificar quais modalidades de PAYT são mais adequadas às condições socioeconômicas, institucionais e culturais brasileiras, evitando a transferência direta de soluções desenhadas para contextos econômicos e de governança distintos.

Em comparação com os modelos europeus de PAYT, que tipicamente dependem de infraestrutura avançada e sistemas de cobrança baseados em peso, o projeto piloto proposto para Jardim Camburi representa uma abordagem adaptada ao contexto, adequada a um ambiente onde tais condições ainda estão em fase de consolidação. Embora muitas cidades chinesas utilizem ferramentas baseadas em Tecnologias da Informação e Comunicação para aprimorar incentivos e monitoramento (XU *et al.*, 2025), essas soluções exigem investimento substancial. Assim, o piloto prioriza viabilidade e aceitação social, permitindo uma adaptação gradual a sistemas mais sofisticados à medida que a capacidade local evolui.

Independentemente do modelo adotado, as iniciativas devem cumprir a legislação vigente, particularmente a Lei nº 14.026/2020 (BRAZIL, 2020), que exige a cobrança explícita de taxas pelos serviços de gestão de resíduos. O cumprimento legal garante a legitimidade das políticas públicas e reforça a transparência nos processos administrativos. Além disso, a baixa aceitação pública e a falta de conscientização quanto aos critérios de cobrança e à gestão de

resíduos representam barreiras significativas (XU *et al.*, 2023; ZHANG; MA; DU, 2023), evidenciando a necessidade de investimento em ações educativas e campanhas de comunicação para fomentar a compreensão e o engajamento social (BAI; LIN, 2022a; ZHANG; MA; DU, 2023).

Além disso, para garantir a eficiência do serviço e a legitimidade da cobrança de taxas, é fundamental investir em monitoramento técnico e em políticas que incentivem a participação pública. Em países desenvolvidos, por exemplo, são empregados mecanismos tarifários mais sofisticados, que integram ferramentas tecnológicas e indicadores de desempenho operacional (CHENG; ZHOU; ZHANG, 2022; ZHANG; MA; DU, 2023). Essas ferramentas e metodologias de avaliação, incluindo indicadores de eficiência e análises de impacto, são essenciais para identificar falhas, corrigir desvios e promover a melhoria contínua do serviço, garantindo assim transparência, eficácia e aceitação social (VALENTE, 2023).

É importante destacar que a implementação das estratégias mencionadas também requer o uso de medidas punitivas e de controle, como advertências, restrições de benefícios, compensações obrigatórias e multas, para desestimular práticas irregulares, como descarte inadequado, descumprimento dos dias e horários designados para a coleta, ausência de separação entre recicláveis e rejeitos, queima a céu aberto de resíduos, obstrução de espaços públicos e inadimplência financeira (RAKHMAWATI *et al.*, 2023; ZHENG *et al.*, 2022). Nesse contexto, um arcabouço legal sólido é essencial para respaldar as ações das autoridades competentes e a fiscalização. Além disso, é necessário um número adequado de pessoal para garantir cobertura territorial contínua, juntamente com tecnologias para o rastreamento e a análise de infrações. Embora tais medidas exijam investimento financeiro significativo, esses custos podem ser compensados pelas mudanças comportamentais positivas que geram, conforme demonstrado por Vollaard e Van Soest (2024). Portanto, as estratégias de fiscalização devem ser complementadas por planejamento estratégico e investimentos em infraestrutura para garantir sua eficácia.

O Quadro 4 resume a priorização das estratégias de política pública propostas nesta seção para cada Região Administrativa do município de Vitória, considerando fatores sociodemográficos e as preferências da população.

Quadro 4 - Priorização proposta das estratégias de políticas públicas para cada Região Administrativa do município de Vitória, ES, conforme definido neste estudo.

Região Administrativa	Modalidade de Coleta Seletiva	Priorização dos canais de comunicação	Cobrança de Taxas	Incentivos/Recompensas	Medidas de Fiscalização e Controle
Centro	- PEVs: 32	- Internet e redes sociais- Materiais impressos- Mídias de transmissão (televisão)	- Calculada com base no IPTU.	Não aplicável	Fiscalização nos PEVs e prevenção do descarte irregular.
Praia do Canto	- Coleta porta a porta.				
Jardim da Penha	- Coleta porta a porta.				
Goiabeiras	- PEVs: 42				
Santo Antônio	- PEIs: 18	- Internet e redes sociais- Materiais impressos- Mídias de transmissão (televisão)	- Calculada com base no IPTU.	Piloto: - Créditos em cartões de transporte ou descontos em tributos. - Doações para instituições de caridade.	Pesar, verificar a qualidade e validar a origem dos recicláveis.
Jucutuquara	- PEIs: 20				
São Pedro	- PEIs: 11				
Maruípe	- PEIs: 23				
Jardim Camburi	- PEVs: 43		- Piloto pague-pelo-que-joga-fora (PAYT)	Não aplicável	Identificar geradores de resíduos, medir quantidades e prevenir descarte irregular.

Fonte: Autoria própria. Legenda: PEVs: Pontos de Entrega Voluntária; PEIs: Pontos de Entrega Incentivados.

A implementação dessas estratégias pelos municípios pode enfrentar diversos desafios e restrições. Entre os principais obstáculos estão os recursos financeiros limitados, os elevados níveis de burocracia no acesso a financiamento e a capacidade técnica insuficiente das equipes municipais (GALAVOTE *et al.*, 2024c). Sob uma perspectiva legal e política, Cetrulo et al. (2018) destacam a fraca aplicação de sanções e a repetida prorrogação de prazos legais, demonstrando que um arcabouço legal robusto, por si só, não é suficiente para garantir a eficácia das políticas de gestão de resíduos.

Outro fator crítico é a descontinuidade das ações causada pelos curtos ciclos eleitorais. Conforme apontado por Besen et al. (2025), o Brasil passou por diversas administrações federais nos últimos anos, cada uma com perspectivas distintas sobre a gestão de resíduos e as rotas tecnológicas. Essa instabilidade política e as mudanças de direção nas políticas também afetam o nível municipal, onde mudanças frequentes nas administrações locais dificultam a implementação consistente de políticas públicas, incluindo as metas estabelecidas nos Planos Municipais de Gestão de Resíduos Sólidos. Em conjunto, esses fatores comprometem a continuidade das estratégias de política pública e, consequentemente, sua eficácia no longo prazo, uma vez que a implementação bem-sucedida exige força institucional, planejamento de longo prazo e ação sustentada (CHAVES; SANTOS; ROCHA, 2014; MARINO; CHAVES; SANTOS JUNIOR, 2018).

Além disso, é importante reconhecer as limitações deste estudo ao interpretar seus achados. As análises revelam associações entre determinados comportamentos e características como idade e status socioeconômico. No entanto, essa abordagem não estabelece causalidade, uma vez que outros fatores de influência podem estar envolvidos. Adicionalmente, a segmentação por faixa etária e classe socioeconômica pode mascarar variações importantes dentro dos próprios grupos. Embora as estratégias propostas estejam fundamentadas em evidências teóricas e boas práticas, elas ainda não foram testadas no contexto local, e sua implementação depende de infraestrutura e recursos financeiros que não foram avaliados.

Outra questão importante envolve a segmentação territorial das políticas. Adequar diferentes estratégias a áreas específicas, como oferecer incentivos e barros de baixa renda, coleta porta a porta em distritos com população mais idosa e cobrança de resíduos baseada em volume em regiões mais ricas, pode gerar percepções de injustiça ou insatisfação entre os moradores. Portanto, essas abordagens segmentadas devem ser tratadas como fases piloto e, então, expandidas de forma gradual e adaptativa para outras regiões. Esse método permite ajustes com base nos resultados, no envolvimento da comunidade e em considerações de equidade, promovendo, em última instância, maior aceitação pública e sucesso das políticas a

longo prazo. Contudo, dados os recursos limitados dos municípios, ações segmentadas que priorizem as práticas mais eficazes para cada região orientam os gestores a direcionar investimentos para soluções com maiores chances de sucesso.

Nesse contexto, a viabilidade de implementar estratégias específicas por região em municípios com recursos limitados pode ser ampliada pela adoção de medidas de baixo custo e alta eficiência. Por exemplo, os municípios podem otimizar as rotas de coleta seletiva e estabelecer parcerias com organizações de catadores para apoiar a prestação do serviço. Outra estratégia relevante é priorizar parcerias com grandes geradores de resíduos em regiões com alta proporção de habitações multifamiliares, como observado em áreas como Praia do Canto e Jardim da Penha, onde a geração de resíduos é mais concentrada e a eficiência da coleta pode ser aprimorada. Para garantir a viabilidade dessas ações, os municípios também devem assegurar a sustentabilidade financeira dos serviços de gestão do RDO, adotando mecanismos de recuperação de custos e distribuindo-os proporcionalmente entre pequenos e grandes geradores.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou, por meio de uma pesquisa de opinião pública, os fatores que influenciam a separação do RDO na fonte, incluindo a conscientização ambiental dos moradores, sua disposição a entregar resíduos para a coleta seletiva, a receber incentivos, a percorrer distâncias até os pontos de entrega e a pagar pela gestão de resíduos. Também sugeriu ações para promover a separação do RDO na fonte e ampliar a participação na coleta seletiva, considerando os perfis sociodemográficos dos moradores.

Os resultados revelam uma lacuna notável entre a conscientização ambiental e as práticas efetivas de separação de resíduos. Embora 98% dos respondentes reconheçam a importância da separação de resíduos, apenas 36% participam ativamente da coleta seletiva. As principais barreiras incluem infraestrutura precária e informações limitadas sobre os pontos de entrega, particularmente entre as gerações mais jovens e os grupos de menor renda. A pesquisa também indica que incentivos financeiros, como descontos em impostos, são os métodos mais apreciados para incentivar a separação, enquanto medidas punitivas tendem a ser rejeitadas. Há clara preferência por pontos de entrega em detrimento da coleta porta a porta, sugerindo que a conveniência desempenha papel central. A disposição a percorrer distâncias aumenta quando incentivos financeiros são oferecidos, particularmente entre moradores de menor renda. Quanto ao pagamento pela gestão de resíduos não separados, a aceitação melhora quando os custos são claramente comunicados. As gerações mais velhas tendem a preferir modelos de taxa fixa,

enquanto os indivíduos mais jovens preferem cobranças variáveis com base no volume de resíduos, refletindo diferentes percepções sobre a justiça tarifária.

Esses achados oferecem subsídios práticos para políticas públicas, ajudando os tomadores de decisão a desenvolver estratégias mais adequadas às condições locais e às expectativas dos moradores, especialmente em cidades que enfrentam desafios estruturais e realidades sociodemográficas diversas. Soluções adaptadas ao contexto são fundamentais não apenas para uma gestão eficaz de resíduos, mas também para o avanço rumo a ambientes urbanos mais sustentáveis e resilientes.

A abordagem metodológica proposta também pode ser implementada por outros municípios durante a fase de planejamento, permitindo uma avaliação preliminar da aceitação pública antes da implementação. Quanto à contribuição acadêmica, o estudo amplia a compreensão dos fatores que influenciam a aceitação de estratégias de política pública voltadas à promoção da separação do RDO em países em desenvolvimento, ao incorporar variáveis contextuais e comportamentais em um arcabouço analítico abrangente. O artigo também discute os desafios de implementar tais estratégias no contexto dos governos municipais brasileiros, onde mudanças frequentes nas agendas políticas, decorrentes de alterações na administração pública, podem representar barreiras significativas à continuidade da implementação de políticas e, consequentemente, à obtenção de resultados positivos de longo prazo.

Não obstante, é importante reconhecer que este estudo considerou exclusivamente as perspectivas dos moradores. Pesquisas futuras devem ampliar a análise para incluir os pontos de vista de profissionais da gestão de resíduos, a fim de avaliar a viabilidade técnica das estratégias propostas. Além disso, os custos de médio e longo prazo para os municípios devem ser considerados, incluindo os efeitos sobre o comportamento de separação na fonte e outras variáveis relacionadas à gestão de RDO. Para tanto, estudos futuros poderiam empregar a Modelagem de Equações Estruturais para examinar possíveis relações de mediação entre viabilidade técnica, fatores econômicos e comportamento de separação na fonte, utilizando instrumentos com indicadores em escala Likert. Por fim, recomenda-se uma avaliação minuciosa dos pontos de entrega propostos, a fim de examinar as condições espaciais, estruturais, econômicas e comportamentais necessárias para sua implementação bem-sucedida.

Com base nesses achados e reconhecendo os desafios identificados, as políticas futuras devem concentrar-se em abordagens adaptativas e práticas, considerando especialmente a diversidade sociodemográfica do município, as restrições logísticas e as preferências dos moradores. Desenvolver estratégias sob medida, que reflitam as características específicas das cidades, torna as ações municipais mais eficazes do que a adoção de práticas genéricas. A

introdução gradual de pontos de entrega, apoiada por estratégias direcionadas de comunicação e incentivo, pode ampliar a participação e a eficiência. Para fomentar o desenvolvimento urbano sustentável, essas iniciativas devem estar inseridas em marcos de planejamento de longo prazo que ultrapassem os ciclos eleitorais e promovam maior coordenação institucional em nível local, reforçando, assim, a base para cidades mais resilientes e sustentáveis.

4 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES NA FONTE: MODELAGEM INTEGRADA DOS EFEITOS SOBRE O COMPORTAMENTO AMBIENTAL, A RECICLAGEM E OS CUSTOS DO MANEJO

Resumo

A redução da disposição de resíduos em aterros, a eliminação da destinação inadequada e a ampliação da recuperação de materiais constituem objetivos centrais da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), particularmente em países em desenvolvimento. Entretanto, ainda há limitada compreensão sobre os efeitos combinados de diferentes instrumentos de política pública na sustentabilidade ambiental e financeira desses sistemas. Neste contexto, este estudo avaliou os efeitos de políticas educativas, econômicas, operacionais e de valorização dos resíduos sobre a separação de Resíduos Domiciliares (RDO), o desempenho ambiental e a sustentabilidade financeira do sistema de manejo. Para isso, foi desenvolvido um modelo de dinâmica de sistemas integrando Teoria do Comportamento Planejado (TCP), simulação de cenários e análise multicritério. Os resultados demonstraram que a integração entre educação ambiental e ampliação da coleta seletiva elevou a separação na fonte, permitindo alcançar taxas de recuperação superiores a 30% dos resíduos secos e verdes. Os cenários mais avançados reduziram em aproximadamente 620 mil toneladas a quantidade destinada ao aterro sanitário, ampliando sua vida útil em 34% e mitigando entre $4{,}9 \times 10^5$ e $1{,}1 \times 10^6$ toneladas de CO_2eq. Contudo, maiores níveis de circularidade estiveram associados a impactos financeiros superiores a R$ 240,00 hab^{-1}, evidenciando *trade-offs* entre desempenho ambiental e sustentabilidade financeira. A análise multicritério indicou que os melhores desempenhos foram obtidos pela combinação entre recuperação de materiais, redução do aterramento e geração de receitas, capazes de financiar entre 88% e 99% dos custos do sistema. créditos de carbono e taxa de aterro destacaram-se como as políticas de maior influência sobre o desempenho dos cenários. O estudo contribui para o avanço da literatura sobre a avaliação integrada de políticas públicas para a gestão de RSU, bem como apoiam tomadores de decisão na implementação de estratégias mais eficientes e financeiramente viáveis.

Palavras Chaves: resíduos domiciliares, separação na fonte, dinâmica de sistemas, sustentabilidade financeira, instrumentos políticos.

4.1 INTRODUÇÃO

A intensificação do consumo, da urbanização e das mudanças nos estilos de vida tem ampliado significativamente a geração de RSU, tornando o seu manejo adequado um dos principais desafios ambientais e econômicos das cidades em países em desenvolvimento (DUTRA; SIMAN, 2024; HEZARDASTAN; SHMELEV, 2025). Esse desafio é agravado pela deficiência da infraestrutura e fragilidade institucional dos sistemas de manejo de RSU, comprometendo a eficiência operacional e ampliando os riscos da disposição inadequada (ASIH; PRASETYO; SOPHA, 2026; CETRULO *et al.*, 2018).

A manutenção de elevadas taxas de aterramento representa não apenas a perda de materiais potencialmente recicláveis, mas também o aumento dos custos associados à coleta, transporte e disposição final, dificultando o avanço de sistemas mais circulares de manejo de resíduos (GALAVOTE *et al.*, 2023a, 2024c). Como consequência, os sistemas de manejo tornam-se mais dependentes de aterros sanitários, intensificando impactos ambientais, como a contaminação do solo e das águas, além das emissões atmosféricas (FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2017; FERNANDO; ARAMAKI, 2026; MALETZ; SCHMIDT; DORNACK, 2025; MARGALLO *et al.*, 2019).

Em resposta a esses desafios, a transição para modelos baseados na Economia Circular (EC) busca erradicar a destinação inadequada, reduzir a dependência de aterros sanitários e ampliar a recuperação de materiais e energia. No caso dos RDO, esse processo depende da separação na fonte e da adesão da população à coleta seletiva, fatores essenciais para viabilizar a valorização dos resíduos recicláveis secos e verdes por meio da recuperação de materiais, compostagem e produção de combustível derivado de resíduos (CDR) (FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2020). Além de reduzir a disposição final, essas estratégias contribuem para ampliar a circularidade dos materiais e gerar receitas para o sistema de manejo (GALAVOTE *et al.*, 2024a, 2024b).

Apesar de sua relevância estratégica, a adesão da população à separação de resíduos na fonte permanece limitada, especialmente em grandes centros urbanos de países em desenvolvimento. Entre as principais barreiras destacam-se o reduzido senso de responsabilidade coletiva, o desconhecimento sobre a separação correta dos resíduos e a baixa percepção de eficácia individual e do processo de reciclagem (LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024; LUO *et al.*, 2024). Paralelamente, a precariedade e a baixa cobertura dos programas de coleta seletiva comprometem a continuidade do comportamento de separação e reduzem a confiança da população nos sistemas públicos de manejo de resíduos (BABAZADEH *et al.*, 2018; PICKERING *et al.*, 2020).

Nesse sentido, investimentos em Educação Ambiental (EA) e campanhas de comunicação socioambiental são reconhecidos como instrumentos fundamentais para promover mudanças comportamentais e ampliar a participação da população na separação do RDO (FEO, 2025; GALAVOTE *et al.*, 2024a). Entretanto, os custos dessas iniciativas raramente são incorporados às análises financeiras dos sistemas de manejo, assim como seus efeitos sobre indicadores de reciclagem, aterramento e desempenho financeiro de longo prazo (ABU-QDAIS; SHATNAWI; AL-SHAHRABI, 2023; PINHA; SAGAWA, 2020; POKHAREL; AWASTHI, 2025).

Complementarmente, a expansão da Coleta Seletiva (CS) e a adoção de instrumentos econômicos (IE), como sistemas *Pay-As-You-Throw* (PAYT) e incentivos financeiros à reciclagem (recompensas), têm sido utilizadas para ampliar a recuperação de materiais e reduzir a disposição final (BOTETZAGIAS *et al.*, 2020; MU; ZHANG, 2021; ZHANG; MU; LIU, 2022). Contudo, permanece limitada a compreensão sobre os efeitos combinados dessas intervenções e sua relação custo-benefício, especialmente quando avaliadas de forma integrada (ASIH; PRASETYO; SOPHA, 2026; GALAVOTE *et al.*, 2024c).

Além disso, a sustentabilidade financeira da gestão dos RSU representa um dos principais desafios da gestão urbana. Os serviços de coleta, transporte, tratamento e disposição final exigem elevados investimentos, muitas vezes incompatíveis com a capacidade financeira local, podendo consumir até 50% dos orçamentos destinados a serviços urbanos básicos (HIBINO *et al.*, 2025; JĘDRCZAK; POŁOMKA; DRONIA, 2023). No Brasil, observa-se forte desequilíbrio entre despesas e receitas do setor, com gastos de R$ 26,63 bilhões frente a receitas de R$ 8,51 bilhões (BRUMATTI; DE LORENA DINIZ CHAVES; SIMAN, 2024; SINISA, 2026).

Como resultado, emergem importantes *trade-offs* entre desempenho ambiental e sustentabilidade financeira, uma vez que municípios com maiores níveis de recuperação de resíduos frequentemente apresentam aumento dos custos operacionais devido à necessidade de investimentos em logística, infraestrutura e processamento (HIBINO *et al.*, 2025; LO STORTO, 2025). Estudos indicam que os custos da coleta seletiva podem ser até 4,5 vezes superiores aos da coleta convencional, em função da maior complexidade logística, dispersão espacial dos materiais e necessidade de triagem (GALAVOTE *et al.*, 2023a, 2024a).

Conciliar elevadas taxas de recuperação de resíduos com a sustentabilidade financeira representa, portanto, um desafio complexo para os gestores públicos, em razão das interações entre o comportamento da população, os investimentos em educação ambiental (EA), expansão da coleta seletiva (CS) e implementação de instrumentos econômicos (IE), bem como a

comercialização de créditos de carbono (CC), a capacidade institucional e a infraestrutura operacional. No entanto, a literatura ainda apresenta limitada integração desses fatores, sendo escassos os estudos capazes de avaliar, de forma integrada e dinâmica, seus efeitos sobre a separação na fonte, a recuperação de materiais, o desvio de resíduos de aterros sanitários e o desempenho financeiro dos sistemas de gestão de RSU (ABU-QDAIS; SHATNAWI; AL-SHAHRABI, 2023; GALAVOTE *et al.*, 2026; HDAIFEH; HUET; MATHIAS, 2025; LO STORTO, 2025).

Nesse contexto, a Dinâmica de Sistemas (DS) apresenta elevado potencial para representar sistemas complexos ao capturar mecanismos de retroalimentação, relações não lineares, acumulações e atrasos temporais entre múltiplas variáveis (STERMAN, 2000). Ao representar explicitamente as interações dinâmicas e a evolução dos componentes do sistema ao longo do tempo, a DS possibilita a simulação de cenários de políticas públicas e investimentos, bem como a avaliação do cumprimento de metas operacionais (MORECROFT, 2015). Além disso, permite avaliar seus efeitos ambientais, operacionais e financeiros de longo prazo, subsidiando a tomada de decisão estratégica (GALAVOTE *et al.*, 2024b; ZHANG *et al.*, 2025).

Dessa forma, o presente estudo avalia os efeitos de diferentes instrumentos de políticas públicas voltados à separação na fonte sobre o comportamento da população, o desempenho ambiental e a sustentabilidade financeira do sistema de gestão do RDO. Especificamente, o estudo busca: (i) avaliar os efeitos da educação ambiental, da expansão da coleta seletiva e dos instrumentos econômicos sobre o comportamento de separação na fonte; (ii) avaliar seus impactos sobre a reciclagem, a compostagem, o aproveitamento energético, a disposição em aterros sanitários e os custos do sistema; (iii) comparar o desempenho dos cenários alternativos de políticas públicas; e (iv) identificar as políticas públicas que exercem maior influência sobre o desempenho global desses cenários.

Para alcançar esses objetivos, foi desenvolvido e aplicado ao município de Vitória, Espírito Santo, Brasil, um modelo de DS, integrando Modelagem de Equações Estruturais (MEE), baseada na Teoria do Comportamento Planejado (TCP), com simulação de cenários e análise multicritério. Os cenários simulados foram posteriormente comparados para identificar as combinações de políticas públicas com melhor desempenho global por meio da Técnica para Ordenação por Similaridade à Solução Ideal (TOPSIS), um método de tomada de decisão multicritério. Embora o TOPSIS permita classificar cenários complexos de gestão de resíduos, ele fornece informações limitadas sobre a contribuição relativa de cada intervenção de política pública para o desempenho global do sistema (SUSMAGA; SZCZĘCH; BRZEZINSKI, 2024;

VLACHOKOSTAS; MICHAILIDOU; ACHILLAS, 2021). Para superar essa limitação, foi empregado o algoritmo *Random Forest* para identificar a importância relativa das variáveis de intervenção e os principais fatores determinantes do desempenho dos cenários (ALSABT *et al.*, 2024; DEVARAKONDA *et al.*, 2022; SIMSEK; KOC; GULTEKIN TARLA, 2025).

Esta pesquisa contribui para a literatura ao integrar o comportamento ambiental, as intervenções de políticas públicas e a sustentabilidade financeira em uma única estrutura analítica, permitindo a avaliação simultânea dos efeitos das intervenções sobre a separação na fonte, a recuperação de materiais, o desvio de resíduos de aterros sanitários e o desempenho financeiro do sistema de gestão do RDO. Os resultados fornecem subsídios relevantes para o desenvolvimento de estratégias de gestão de RSU mais eficazes e economicamente viáveis, especialmente em municípios de países em desenvolvimento.

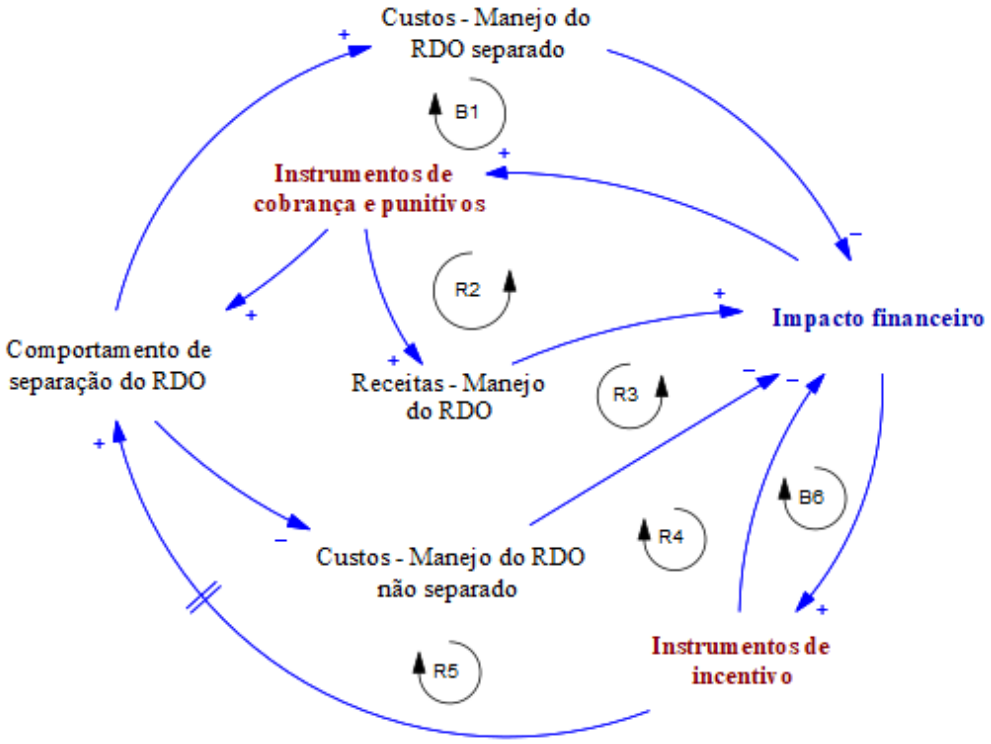
4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Formulação do modelo de dinâmica de sistemas

A formulação da hipótese dinâmica expressa as relações teóricas que explicam o problema, permitindo generalizar dados do fenômeno e orientar a construção do modelo matemático (MORECROFT, 2015). Para tanto, elaborou-se um diagrama de causa e efeito (DCE) que apresenta os principais fatores que influenciam financeiramente o manejo do RDO pelos titulares do serviço público (Figura 23).

O diagrama é interpretado seguindo a direção das setas causais, sendo que os sinais, positivo (+) e negativo (−), indicam mudanças no mesmo sentido ou em sentidos opostos, respectivamente. R e B representam, respectivamente, loops de reforço e de balanceamento, enquanto as linhas duplas indicam um atraso temporal (STERMAN, 2000). Por exemplo, no loop B6, o aumento do impacto financeiro proporciona mais recursos para a implementação de instrumentos de incentivo; entretanto, a adoção desses instrumentos reduz o impacto financeiro, configurando um loop de balanceamento.

Figura 23 - Diagrama de causa e efeito para os principais fatores que influenciam financeiramente o manejo do RDO.



Loop	Sequência
B1	Impacto financeiro → Instrumentos de cobrança e punitivos → Comportamento de separação do RDO → Custos – Manejo do RDO separado → Impacto financeiro
R2	Impacto financeiro → Instrumentos de cobrança e punitivos → Receitas – Manejo do RDO → Impacto financeiro
R3	Impacto financeiro → Instrumentos de cobrança e punitivos → Comportamento de separação do RDO → Custos – Manejo do RDO não separado → Impacto financeiro
R4	Impacto financeiro → Instrumentos de incentivo → Comportamento de separação do RDO → Custos – Manejo do RDO não separado → Impacto financeiro
R5	Impacto financeiro → Instrumentos de incentivo → Comportamento de separação do RDO → Custos – Manejo do RDO separado → Impacto financeiro
B6	Impacto financeiro → Instrumentos de incentivo → Impacto financeiro

Fonte: Autoria própria.

Os custos de manejo do RDO, separado ou não na fonte, estão diretamente associados às atividades de coleta, transporte, triagem, tratamento e disposição final (SENA *et al.*, 2023). Esses custos podem aumentar com investimentos em instrumentos de incentivo, como EA e recompensas, e ser parcialmente compensados por receitas provenientes de mecanismos de cobrança ao gerador (ZHANG; MU; LIU, 2022). Assim, quanto maior o impacto financeiro do sistema, maior a necessidade de instrumentos capazes de assegurar sua sustentabilidade financeira (DUTRA; SIMAN, 2024). Contudo, embora políticas de incentivo sejam importantes para promover mudanças comportamentais, os investimentos municipais tendem a concentrar-se nos serviços essenciais de manejo, limitando a adoção de ações educativas e

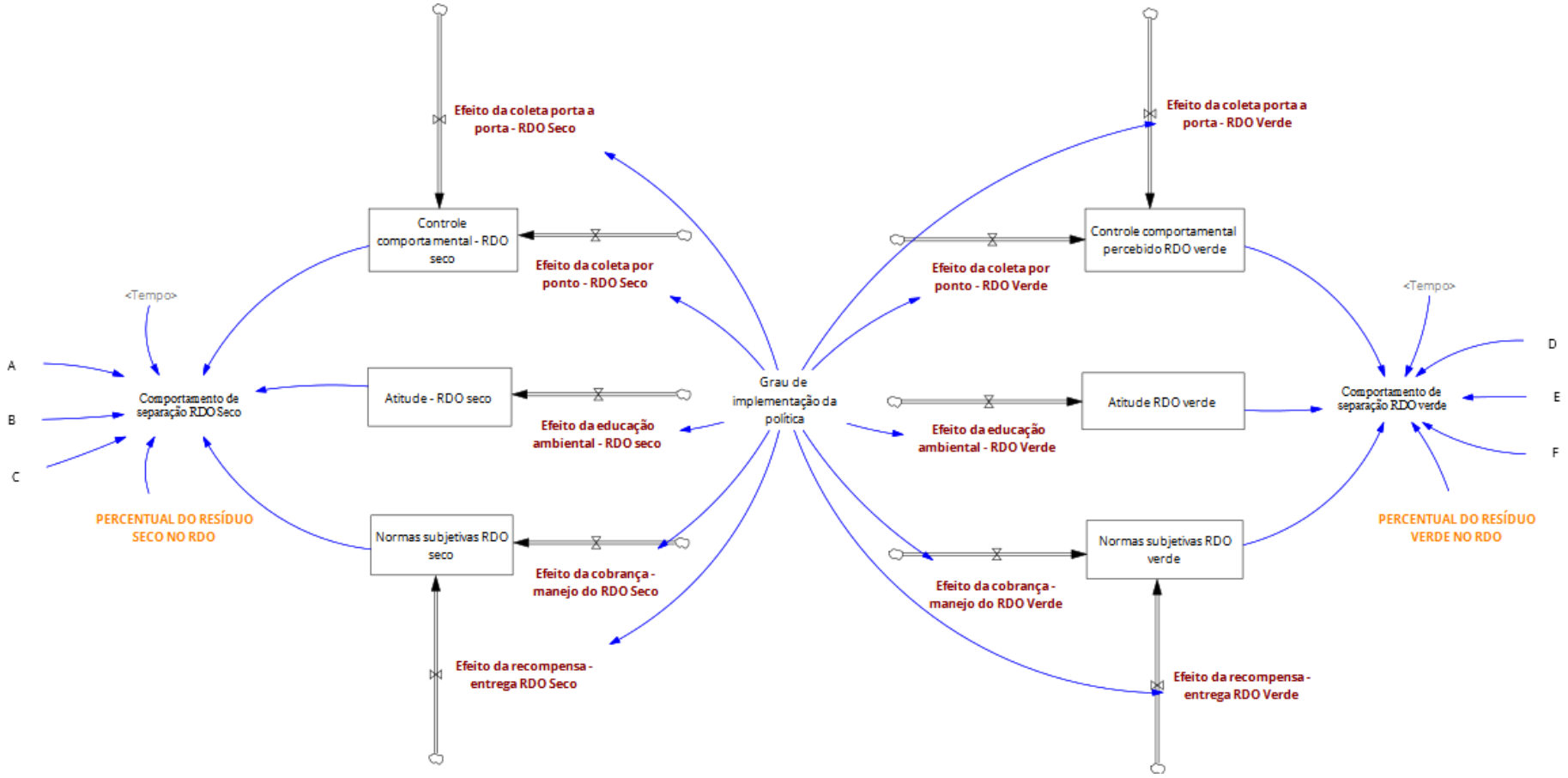
recompensatórias (SILVA, 2018). Ainda assim, esses instrumentos influenciam o comportamento de separação do RDO na fonte por meio de fatores internos como Atitudes (AT), Normas Subjetivas (NS) e Controle Comportamental Percebido (CCP) (ARKORFUL; LUGU; SHULIANG, 2023; BAZRBACHI *et al.*, 2023; LEKNOI; YIENGTHAISONG; LIKITLERSUANG, 2024; RAZALI *et al.*, 2024).

Programas de EA, por exemplo, contribuem para ampliar a separação na fonte, embora seus efeitos ocorram de forma gradual, caracterizando delays no sistema (GALAVOTE *et al.*, 2024c; PICKERING *et al.*, 2020; SENA, 2020). Com o aumento desse comportamento, elevam-se os custos associados ao manejo do RDO separado, devido à ampliação da coleta seletiva, triagem e tratamento, enquanto diminuem os custos relacionados ao manejo convencional e à disposição em aterros (SENA *et al.*, 2023; ZON *et al.*, 2020).

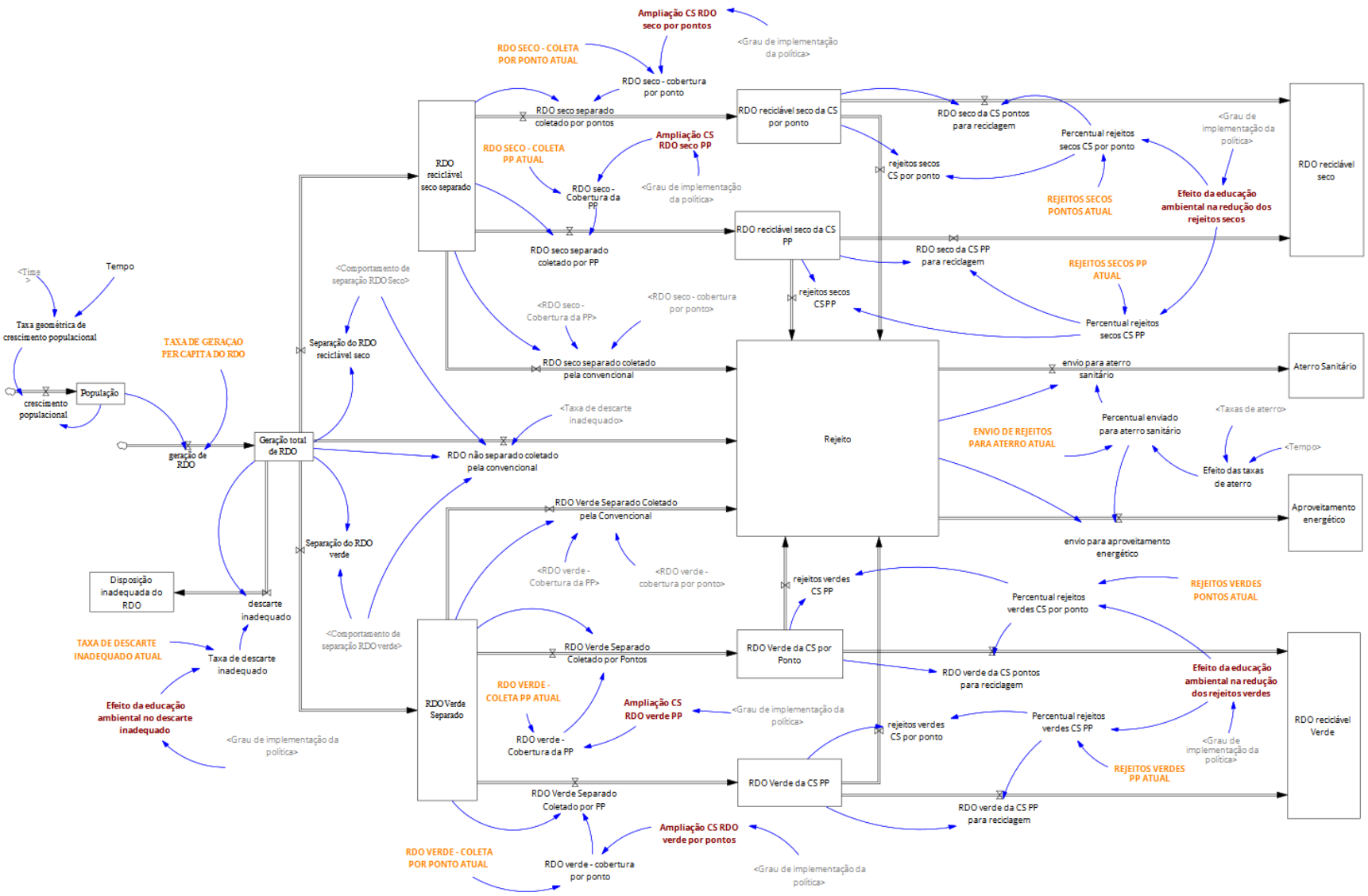
4.2.2 Formulação matemática do modelo

A partir das relações causais estabelecidas no DCE, foi desenvolvido o modelo quantitativo para representar e simular a dinâmica do sistema. O modelo proposto para avaliar o impacto financeiro do manejo do RDO seco reciclável e da fração verde é estruturado em quatro subsistemas inter-relacionados (Figura 24): (1) comportamento de separação na fonte; (2) fluxo de massa dos resíduos separados e não separados; (3) estimativa dos custos de manejo; e (4) receitas provenientes do tratamento e da destinação dos resíduos.

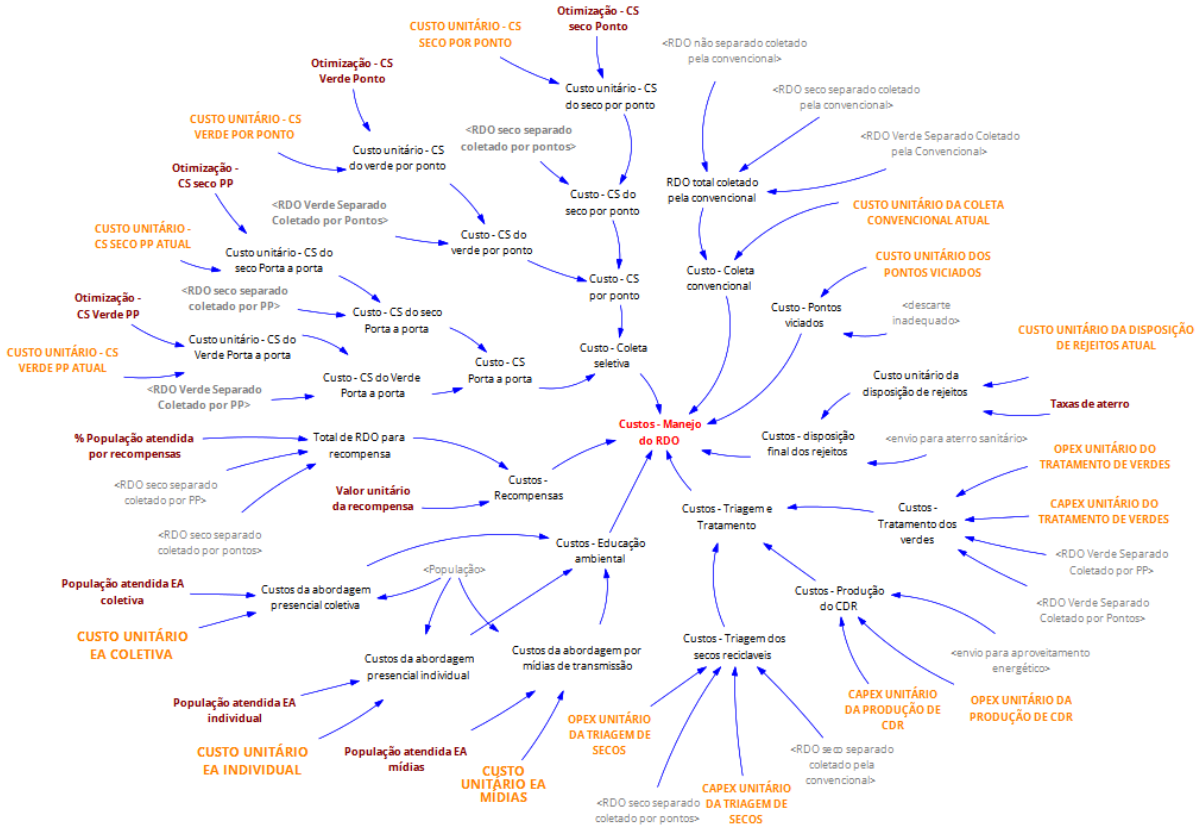
Figura 24 - Diagrama de estoque e fluxo para avaliação do impacto financeiro do manejo do RDO, composto pelos subsistemas: (a) comportamento de separação; (b) fluxo de massa do RDO separado e não separado; (c) estimativa dos custos e (d) das receitas.



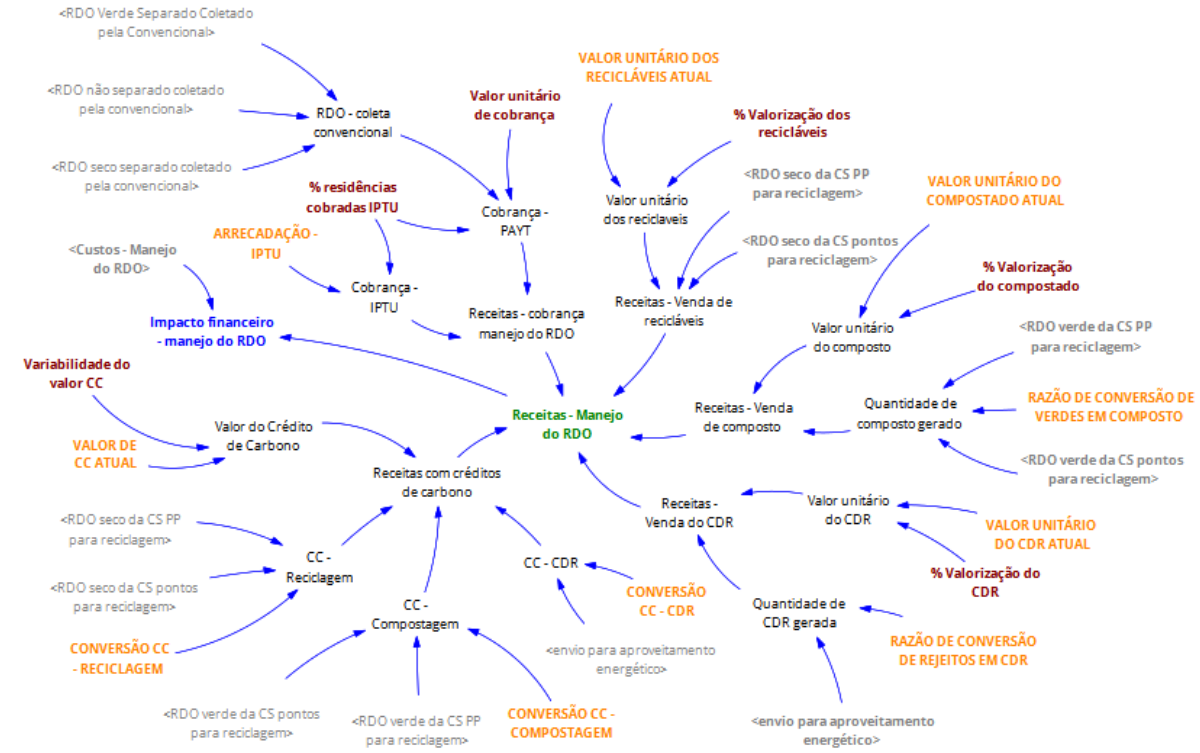
a)


Ampliação CS RDO seco por pontos
<Grau de implementação da política>
RDO SECO - COLETA POR PONTO ATUAL
RDO seco - cobertura por ponto
RDO seco separado coletado por pontos
RDO reciclável seco separado
RDO reciclável seco da CS por ponto
RDO seco da CS pontos para reciclagem
Percentual rejeitos secos CS por ponto
<Grau de implementação da política>
RDO reciclável seco
rejeitos secos CS por ponto
Ampliação CS RDO seco PP
RDO SECO - COLETA PP ATUAL
RDO seco - Cobertura da PP
<Grau de implementação da política>
REJEITOS SECOS PONTOS ATUAL
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos
RDO reciclável seco da CS PP
RDO seco da CS PP para reciclagem
RDO seco separado coletado por PP
rejeitos secos CS PP
REJEITOS SECOS PP ATUAL
Percentual rejeitos secos CS PP
<Time>
Tempo
Taxa geométrica de crescimento populacional
<Comportamento de separação RDO Seco>
<RDO seco - Cobertura da PP>
<RDO seco - cobertura por ponto>
Separação do RDO reciclável seco
RDO seco separado coletado pela convencional
Aterro Sanitário
envio para aterro sanitário
TAXA DE GERAÇAO PER CAPITA DO RDO
População
crescimento populacional
<Taxa de descarte inadequado>
Percentual enviado para aterro sanitário
<Taxas de aterro>
<Tempo>
Geração total de RDO
geração de RDO
RDO não separado coletado pela convencional
Rejeito
ENVIO DE REJEITOS PARA ATERRO ATUAL
Efeito das taxas de aterro
Aproveitamento energético
RDO Verde Separado Coletado pela Convencional
Separação do RDO verde
envio para aproveitamento energético
Disposição inadequada do RDO
<RDO verde - Cobertura da PP>
<RDO verde - cobertura por ponto>
rejeitos verdes CS PP
Percentual rejeitos verdes CS por ponto
REJEITOS VERDES PONTOS ATUAL
descarte inadequado
TAXA DE DESCARTE INADEQUADO ATUAL
Taxa de descarte inadequado
<Comportamento de separação RDO verde>
RDO Verde Separado Coletado por Pontos
RDO Verde da CS por Ponto
RDO verde da CS pontos para reciclagem
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes
RDO Verde Separado
RDO VERDE - COLETA PP ATUAL
Ampliação CS RDO verde PP
<Grau de implementação da política>
rejeitos verdes CS por ponto
Percentual rejeitos verdes CS PP
RDO reciclável Verde
Efeito da educação ambiental no descarte inadequado
<Grau de implementação da política>
<Grau de implementação da política>
REJEITOS VERDES PP ATUAL
RDO Verde da CS PP
RDO Verde Separado Coletado por PP
RDO verde da CS PP para reciclagem
Ampliação CS RDO verde por pontos
RDO VERDE - COLETA POR PONTO ATUAL
RDO verde - cobertura por ponto
<Grau de implementação da política>

b)



c)



d)

Fonte: Autoria própria.

Subsistema de comportamento de separação do RDO (Figura 24a): o grau de implementação das políticas ao longo do tempo, representado por uma função rampa (0% = inexistente; 100% = implementação plena), potencializa os efeitos de instrumentos como educação ambiental, recompensas, cobrança e expansão da coleta seletiva (porta a porta e pontos de entrega) (CHAVES; SIMAN; CHANG, 2021; GALAVOTE *et al.*, 2024b). Esses instrumentos influenciam fatores internos dos geradores, como a AT, NS e CCP, que afetam diretamente o comportamento de separação do RDO reciclável seco e verde (LUO *et al.*, 2024; SETIAWAN; AFIFF; HERUWASTO, 2021; SHI *et al.*, 2021; VENES *et al.*, 2023).

A estimativa dessas relações foi realizada no Capítulo 2 por meio de questionários estruturados baseados na TCP e analisados via modelagem de equações estruturais. Os resultados foram incorporados ao modelo de dinâmica de sistemas por meio das Equações (1) e (2), que expressam a influência dos fatores internos sobre o comportamento de separação, sendo os coeficientes A, B, C, D, E e F derivados do modelo estrutural.

$$CS\ recicláveis = A * AT\ recicláveis - B * NS\ recicláveis + C * CCP\ recicláveis \quad (1)$$

$$CS\ verde = D * AT\ verde + E * NS\ verde + F * CCP\ verde \quad (2)$$

Onde:

$CS_{\text{recicláveis/verde}}$: Comportamento de separação do RDO;

AT: Atitude;

NS: Norma Subjetivas;

CCP: Controle Comportamental Percebido;

Os subscritos “seco” e “verde” referem-se, respectivamente, aos resíduos recicláveis secos e à fração verde do RDO, proveniente da manutenção de jardins e áreas verdes. O modelo completo, bem como os coeficientes utilizados, é apresentado na Figura 7.

Subsistema de fluxo de massa do RDO separado e não separado (Figura 24b): geração de RDO é determinada pela população e pela geração per capita de resíduos (GALAVOTE *et al.*, 2023b). Os resíduos gerados são coletados por meio da coleta convencional ou da coleta seletiva. Esta última depende da separação na fonte das frações reciclável seca e verde e pode ser operacionalizada por coleta porta a porta ou por pontos de entrega (GALAVOTE *et al.*, 2023a, 2024b; SENA *et al.*, 2023). A fração seca é destinada à reciclagem e a fração verde à compostagem, enquanto os rejeitos da triagem e do tratamento, assim como os resíduos coletados convencionalmente, são encaminhados à disposição final em aterros ou ao aproveitamento energético (ALVES *et al.*, 2025; CHAVES; SIMAN; CHANG, 2021).

Subsistema de estimativa dos custos de manejo (Figura 24c): os custos abrangem limpeza de pontos viciados, coleta convencional e seletiva, triagem de resíduos secos, compostagem da fração verde, tratamento de rejeitos para produção de CDR e disposição final em aterros sanitários (ALAM et al., 2022; LU, D. et al., 2021; PINHA; SAGAWA, 2020). Esses custos podem ainda ser influenciados por instrumentos de incentivo à separação na fonte, como programas de recompensa e EA (CHEN *et al.*, 2023; LI; WANG, 2022).

Subsistema das receitas decorrentes do tratamento e destinação do RDO (Figura 24d): as receitas podem advir de sistemas de cobrança baseados no imposto sobre a propriedade ou na geração de resíduos, além da comercialização de recicláveis secos, composto orgânico e CDR proveniente dos rejeitos (CHAVES *et al.*, 2021; GALAVOTE *et al.*, 2024a; PINHA; SAGAWA, 2020). Também podem ser geradas receitas com créditos de carbono associados à reciclagem, compostagem e produção de CDR (DU; FAN; WANG, 2025; GALAVOTE *et al.*, 2023b; LU *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2023). A relação entre custos e receitas permite avaliar o impacto financeiro das estratégias de manejo do RDO.

Por fim, todas as equações do modelo de dinâmica de sistemas, incluindo os subsistemas de comportamento, fluxo de massa, custos e receitas, são apresentadas no Apêndice F.

4.2.3 Coleta e síntese dos dados

A Tabela 12 apresenta os parâmetros de entrada do modelo. A composição gravimétrica dos resíduos recicláveis secos e da fração verde foi definida com base na média de municípios brasileiros com estudos recentes, em razão da ausência desse tipo de levantamento em Vitória (SINISA, 2026). Complementarmente, foi adotado o estudo de Sousa et al. (2018) para definir o percentual de resíduos verdes na fração orgânica do RDO.

Os dados sobre destinação inadequada em Vitória foram obtidos a partir da quantidade anual recolhida (≈29 mil toneladas) e da análise gravimétrica dos resíduos, que identificou 23% com características de RDO (FEST, 2020; FOLHA VITÓRIA, 2024; SEMMAM, 2021). A geração per capita, os custos de disposição em aterros e a abrangência da coleta seletiva foram obtidos no SINISA (2026), verificando-se a ausência de coleta da fração verde no município. O SINISA também subsidiou a definição dos custos e rejeitos da coleta seletiva e convencional com base em municípios de porte populacional semelhante, diante da indisponibilidade de dados locais.

Tabela 12 - Parâmetros de entrada do modelo no cenário base (BAU).

Variável	Parâmetro	Unidade	Fonte
Percentual do resíduo verde no RDO	20%	Dml	SINISA (2026) e Sousa et al. (2018)
Percentual do resíduo seco no RDO	38%	Dml	
Taxa de geração per capita do RDO	0,34	ton.(hab*Year)$^{-1}$	
Taxa de descarte inadequado atual	6%	1.Year^{-1}	FEST (2020), Folha Vitória (2024) e SEMMAM (2021)
RDO seco - coleta por Ponto atual	4%	1.Year^{-1}	SINISA (2026) e Vitória (2024)
RDO seco - coleta PP atual	9%	1.Year^{-1}	
RDO verde - coleta PP atual	0%	1.Year^{-1}	SINISA (2026)
RDO verde - coleta por ponto atual	0%	1.Year^{-1}	
Rejeitos secos Pontos atual	26%	1.Year^{-1}	
Rejeitos secos PP atual	20%	1.Year^{-1}	
Rejeitos verdes Pontos atual	19%	1.Year^{-1}	
Rejeitos verdes PP atual	17%	1.Year^{-1}	
Envio de rejeitos para aterro atual	99%	1.Year^{-1}	
Custo unitário da coleta convencional atual	234,73	R$.ton^{-1}	
Custo unitário dos pontos viciados	133,33	R$.ton^{-1}	Folha Vitória (2024) e SEMMAM (2021)
Custo unitário da disposição de rejeitos atual	242,62	R$.ton^{-1}	SINISA (2026)
OPEX unitário do tratamento de verdes	225,00	R$.ton^{-1}	Lima et al. (2022)
OPEX unitário da produção de CDR	772,74	R$.ton^{-1}	Chaves et al. (2021)
OPEX unitário da triagem de secos	607,79	R$.ton^{-1}	Müller et al. (2021)
CAPEX unitário do tratamento de verdes	113,00	R$.ton^{-1}	Lima et al. (2022)
CAPEX unitário da produção de CDR	124,60	R$.ton^{-1}	Chaves et al. (2021)
CAPEX unitário da triagem de secos	121,56	R$.ton^{-1}	Müller et al. (2021)
Custo unitário - CS verde pp atual	2003,41	R$.ton^{-1}	SINISA (2026)
Custo unitário - CS seco pp atual	1385,60	R$.ton^{-1}	
Custo unitário - CS verde por ponto	1302,78	R$.ton^{-1}	
Custo unitário – CS seco por ponto	967,34	R$.ton^{-1}	
CUSTO UNITÁRIO EA COLETIVA	143,00	R$.(Year*hab)$^{-1}$	Valores referente ao ano de 2025. Cedidos pela empresa Marca Ambiental
CUSTO UNITÁRIO EA INDIVIDUAL	5,20	R$.(Year*hab)$^{-1}$	
CUSTO UNITÁRIO EA MÍDIAS	0,3	R$.(Year*hab)$^{-1}$	
População atendida EA coletiva	1%	Dml	Vitória (2026b, 2026a, 2026)
População atendida EA individual	0%	Dml	
População atendida EA mídias	0%	Dml	
Valor unitário dos recicláveis atual	914,21	R$.ton^{-1}	Müller et al. (2021)
Valor unitário do compostado atual	250,00	R$.ton^{-1}	Lima et al. (2022)
Razão de conversão de verdes em composto	26%	Dml	Túlio e Schmitz (2023)
Valor unitário atual do CDR	274,14	R$.ton^{-1}	Ferrario et al. (2025)
Razão de conversão de rejeitos em CDR	85%	Dml	Chaves et al. (2021)
Arrecadação – IPTU	41.218.153,97	R$.Year^{-1}	Vitória (2026c, 2026)
Valor de CC atual	558,10	R$.tCO2	Investing (2026)
Conversão CC - reciclagem	1,98	tCO2.ton^{-1}	Gadaleta et al. (2022)
Conversão CC - compostagem	3,8	tCO2.ton^{-1}	Túlio e Schmitz (2023)
Conversão CC - CDR	1,61	tCO2.ton^{-1}	Chaves et al. (2021)

Fonte: Autoria própria. Nota: RDO: Resíduos domiciliares; PP: porta a porta; CDR: Combustível Derivado de Resíduos; CS: coleta seletiva; IPTU: Imposto Predial e Territorial Urbano; CC: Crédito de Carbono. Conversão para BRL em 18/01/2026: Euro (EUR 1,00 = BRL 6,21) e Dólar americano (USD 1,00 = BRL 5,40). Valores atualizados pela variação do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) (IBGE, 2026).

Também foram utilizados dados municipais sobre limpeza de pontos viciados e arrecadação da taxa de resíduos sólidos via Imposto Predial e Territorial Urbano (FOLHA VITÓRIA, 2024; SEMMAM, 2021; VITÓRIA, 2025c, 2026a). Os custos das estratégias de educação ambiental foram fornecidos pela Marca Ambiental, empresa capixaba especializada em gestão e valorização de resíduos, considerando a cobertura de aproximadamente 1% da população, com base nos investimentos municipais e nas ações coletivas desenvolvidas em 2025 (VITÓRIA, 2026c). O valor do crédito de carbono (CC) foi definido com base na média dos preços observados em 2025 para os contratos futuros de crédito de carbono negociados na Intercontinental Exchange (ICE), cotados em euros por tonelada (INVESTING, 2026). Os valores unitários de recicláveis, composto, rejeitos, capital expenditure (CAPEX) e operational expenditure (OPEX) foram obtidos na literatura nacional (CHAVES *et al.*, 2021; FERRARIO *et al.*, 2025; LIMA *et al.*, 2022; MÜLLER *et al.*, 2021). O CAPEX foi amortizado em 20 anos e a planta de CDR dimensionada para 40.000 $t.ano^{-1}$, compatível com municípios entre 200 e 500 mil habitantes (EUROPEAN INVESTMENT BANK, 2024).

Estudos nacionais também subsidiaram a definição dos rendimentos de composto e CDR, bem como das emissões evitadas pela reciclagem, compostagem e substituição de combustíveis fósseis (CHAVES *et al.*, 2021; GADALETA *et al.*, 2022; MÜLLER *et al.*, 2021; TÚLIO; SCHMITZ, 2023). Para o efeito das taxas de aterro, considerou-se que cada aumento de 10% resulta em aproximadamente 0,3% adicional de desvio de resíduos (ADEDARA *et al.*, 2025; UNITED KINGDOM, 2016). Por fim, os fatores internos do modelo (AT, NS e CCP) foram parametrizados com base em Galavote et al. (2026), que identificaram 35% de adesão declarada à separação do RDO. Considerando a composição gravimétrica, esse percentual foi convertido em taxas de separação efetiva de 14% para resíduos recicláveis secos e 7% para a fração verde, utilizadas na calibração do modelo.

4.2.4 Verificação e análise de sensibilidade do modelo

Para a verificação do modelo, foram aplicados testes de consistência dimensional, condições extremas e erro de integração, amplamente utilizados em modelos de dinâmica de sistemas (CHAVES; SIMAN; CHANG, 2021; GALAVOTE *et al.*, 2023b, 2024b; MORECROFT, 2015). A consistência dimensional assegurou a coerência entre as unidades das variáveis, enquanto o teste de condições extremas avaliou a plausibilidade dos resultados sob valores limites para variáveis-chave relacionadas ao comportamento de separação, geração de resíduos, rejeitos, custos, receitas e impacto financeiro. O erro de integração foi analisado para as variáveis Aterro Sanitário, Receitas e Custos do manejo do RDO mediante redução

progressiva do *TIME STEP* até 0,0078125, considerando horizonte de 20 anos. Para *TIME STEP* ≤ 0,125, os erros relativos permaneceram inferiores a 0,1%, indicando estabilidade numérica e justificando a adoção do método de Euler nas simulações (MORECROFT, 2015; STERMAN, 2000). O detalhamento dos testes é apresentado no Apêndice G.

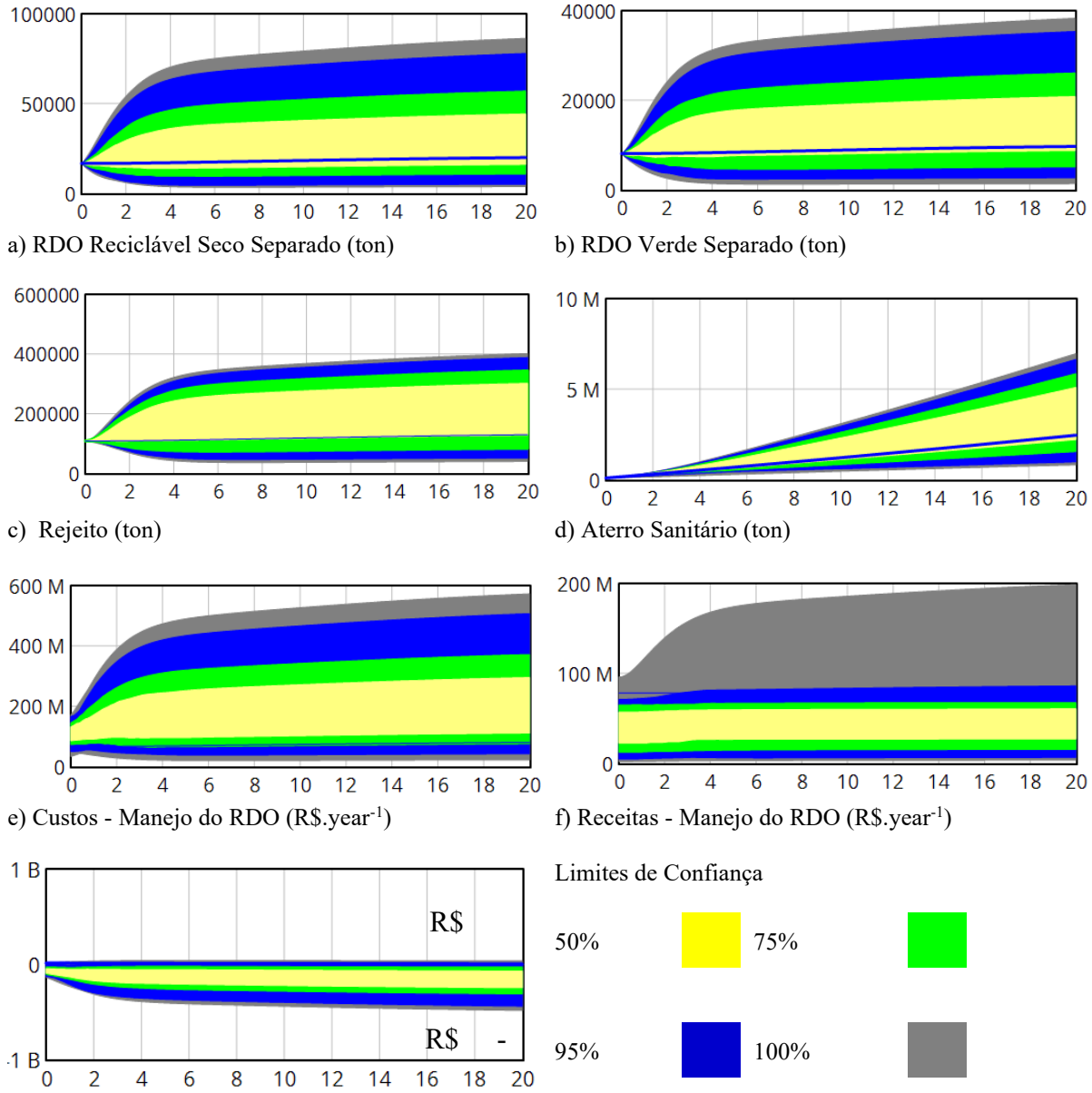
Além disso, foi realizada análise de sensibilidade para avaliar a resposta comportamental e quantitativa das variáveis do modelo, verificando-se a manutenção de seus padrões diante de variações razoáveis dos parâmetros (GALAVOTE *et al.*, 2024b; STERMAN, 2000). Para isso, os parâmetros foram sistematicamente variados com base em dados de municípios do Espírito Santo, complementados por dados nacionais e internacionais quando necessário, conforme detalhado no Apêndice G (Tabela 27). A análise considerou distribuições normal, beta e uniforme para os diferentes conjuntos de parâmetros. O teste foi realizado no software Vensim® PLE utilizando o método de Amostragem por Hipercubo Latino, com 200 simulações. Esse método é amplamente utilizado em análises de Monte Carlo devido à sua eficiência na estratificação dos intervalos amostrais, selecionando valores aleatórios únicos para cada parâmetro em cada simulação (HELTON; DAVIS, 2003; MINUCCI *et al.*, 2021).

A Figura 25 apresenta os resultados da análise de sensibilidade para as variáveis RDO reciclável seco separado, RDO verde separado, rejeitos, aterro sanitário, custos, receitas e impacto financeiro do manejo do RDO. Os intervalos coloridos representam diferentes níveis de confiança: 50% (amarelo), 75% (verde), 95% (azul) e 100% (cinza), considerando a variação aleatória dos parâmetros de entrada conforme suas distribuições. A linha azul representa o cenário de referência. Observa-se que, para as variáveis RDO reciclável seco separado (Figura 25a), RDO verde separado (Figura 25b), rejeitos (Figura 25c) e aterro sanitário (Figura 25d), o cenário base permanece predominantemente dentro do intervalo de 50%, indicando alinhamento com a tendência central das simulações e baixa sensibilidade às variações dos parâmetros.

Em contraste, as variáveis custos, receitas e impacto financeiro do manejo do RDO apresentaram maior dispersão, com o cenário base situado majoritariamente no intervalo de 95%, evidenciando maior sensibilidade e propagação de incertezas ao longo do tempo. As receitas do manejo do RDO apresentaram elevada amplitude, especialmente no limite superior da faixa de 100% (Figura 25f), refletindo a influência de parâmetros externos e voláteis, como preços de mercado, políticas tarifárias e eficiência operacional. O impacto financeiro também apresentou elevada dispersão, variando entre déficit de até R$ 484,77 milhões e superávit máximo de R$ 35,25 milhões no período analisado (Figura 25g). Esse resultado evidencia uma

forte assimetria, indicando que as condições capazes de promover sustentabilidade financeira são significativamente mais restritas que aquelas associadas a déficits.

Figura 25 - Resultados da análise de sensibilidade das variáveis de interesse ao longo do horizonte de 20 anos.



a) RDO Reciclável Seco Separado (ton)

b) RDO Verde Separado (ton)

c) Rejeito (ton)

d) Aterro Sanitário (ton)

e) Custos - Manejo do RDO (R$.year^{-1})

f) Receitas - Manejo do RDO (R$.year^{-1})

g) Impacto financeiro (R$.year^{-1})

Fonte: Autoria própria

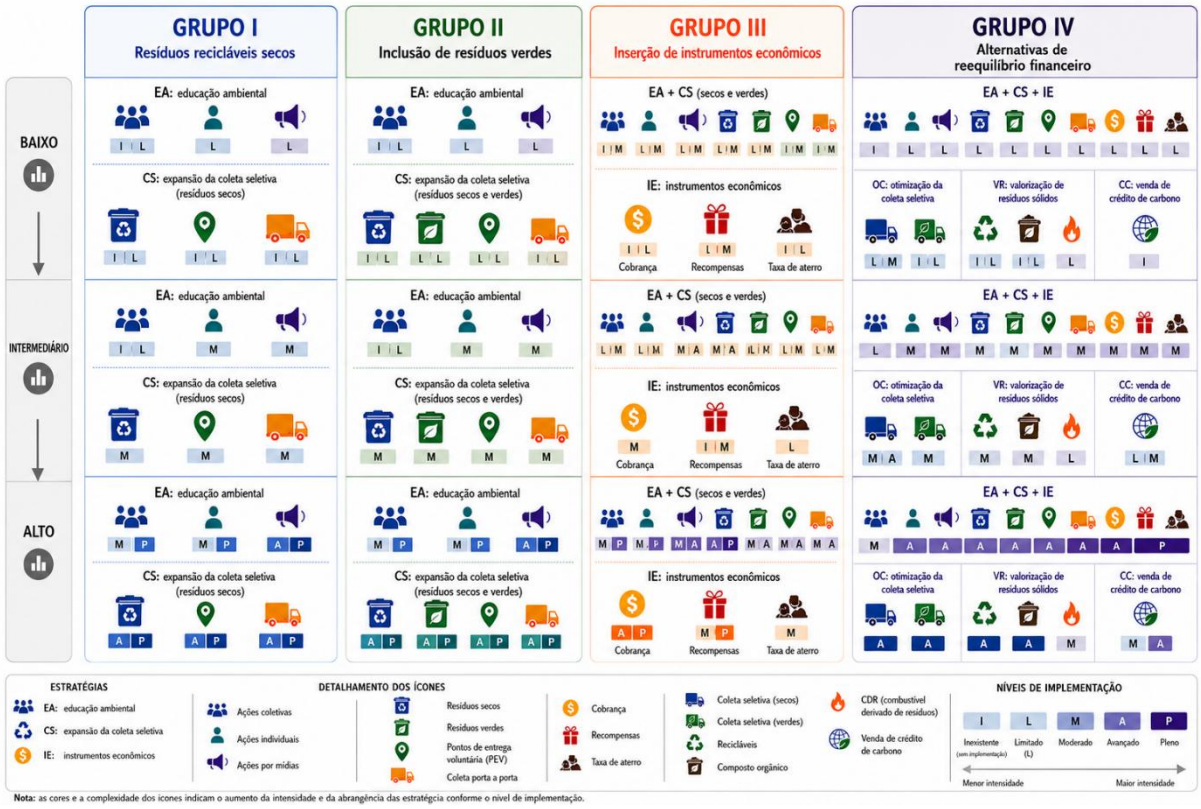
4.2.5 Descrição dos cenários avaliados

Os cenários foram estruturados a partir da combinação de estratégias de políticas públicas voltadas à gestão de RDO, incluindo investimentos em educação ambiental, expansão da coleta seletiva, instrumentos econômicos, otimização da coleta, valorização dos resíduos

para geração de receitas e comercialização de créditos de carbono. As estratégias foram organizadas em quatro grupos progressivos, representando níveis crescentes de complexidade e intervenção no sistema. O Grupo I contempla educação ambiental e coleta seletiva de resíduos recicláveis secos; o Grupo II incorpora a fração verde; o Grupo III adiciona instrumentos econômicos; e o Grupo IV inclui estratégias de reequilíbrio financeiro.

A Figura 26 apresenta a estrutura dos cenários, organizada em quatro grupos progressivos e três classificações gerais de implementação (baixo, intermediário e alto), podendo haver mais de um cenário em cada nível.

Figura 26 - Descrição dos grupos de cenários simulados.



Fonte: Autoria própria. Nota: Estratégias - EA: educação ambiental; CS: expansão da coleta seletiva; IE: instrumentos econômicos; OC: otimização da coleta seletiva; VR: valorização de resíduos sólidos; CC: venda de crédito de carbono (CC). Níveis de implementação: I: Inexistente; L: Limitado (L); M: Moderado; A: Avançado; P: Pleno. Elaboração com auxílio de inteligência artificial, revisada e validada pela autora.

As cores e a complexidade dos ícones representam o aumento da intensidade e abrangência das estratégias adotadas, enquanto as letras indicam os níveis de implementação de cada estratégia política. O Grupo I combina educação ambiental, nas modalidades coletiva, individual e por mídias, com a expansão da coleta seletiva porta a porta e por pontos de entrega. O Grupo II incorpora a coleta seletiva da fração verde. O Grupo III adiciona instrumentos econômicos, incluindo cobrança pelo manejo do RDO não separado, recompensas pela entrega

de recicláveis e taxas de disposição em aterro. Por fim, o Grupo IV incorpora medidas voltadas ao reequilíbrio financeiro do sistema, incluindo otimização da coleta seletiva, valorização de recicláveis secos, composto e CDR, além da comercialização de créditos de carbono.

Para viabilizar a construção dos cenários, foram definidos cinco níveis graduais de implementação de cada estratégia: Inexistente (I), Limitado (L), Moderado (M), Avançado (A) e Pleno (P). Os níveis Limitado e Moderado representam contextos típicos de países em desenvolvimento, marcados por restrições institucionais, financeiras e operacionais, enquanto os níveis Avançado e Pleno refletem condições de países desenvolvidos, com maior capacidade institucional e operacional (GALAVOTE *et al.*, 2024b, 2024c). Essas diferenças influenciam o tempo de implementação das políticas, sendo considerados atrasos de 5 anos para os níveis Limitado e Moderado e de 2 anos para os níveis Avançado e Pleno (KAZA *et al.*, 2018; MAALOUF; AGAMUTHU, 2023).

Para representar os efeitos da educação ambiental, da coleta seletiva e dos instrumentos econômicos (cobrança, recompensa e taxas de aterro), utilizaram-se curvas logísticas em forma de S, conforme a Equação 6 (KUCHARAVY; GUIO, 2011).

$$f(x) = a * \tanh(bx + c) + d \quad (6)$$

Na equação, a, b, c e d representam parâmetros de escala, enquanto x corresponde ao grau de implementação da política, variando de 0% (ausência) a 100% (implementação plena). O coeficiente b controla a inclinação da curva, sendo adotado b=7 para os níveis Limitado e Moderado, indicando implementação mais lenta, e b=12 para os níveis Avançados (GALAVOTE *et al.*, 2024c, 2024b). Já os efeitos das políticas sobre AT, NS e CCP foram representados pela derivada da curva em S, modelada como taxa ao longo do tempo. A curva resultante apresenta formato em sino, com maior efeito marginal em níveis intermediários de implementação e saturação nos extremos (STERMAN, 2000).

Todas as curvas em S e suas derivadas em forma de sino utilizadas, bem como os parâmetros, equações e a descrição detalhada dos cenários simulados, podem ser consultados no Apêndice H.

4.2.6 Avaliação comparativa e multicritério dos cenários

Para comparação entre os grupos de cenários, realizou-se uma análise incremental em relação ao cenário atual (BAU), considerando as variações percentuais dos principais indicadores ambientais, operacionais e econômicos, incluindo comportamento de separação na fonte, recuperação de resíduos recicláveis secos, compostagem da fração verde, desvio de

resíduos do aterro sanitário, impacto financeiro e desempenho multicritério. Adicionalmente, foram calculados indicadores econômicos de eficiência do sistema, incluindo custo per capita, custo por tonelada destinada adequadamente e custo marginal por tonelada adicional desviada do aterro sanitário, permitindo avaliar os ganhos relativos e os *trade-offs* econômicos associados aos diferentes níveis de intervenção (HIBINO *et al.*, 2025).

Para priorização dos cenários simulados, utilizou-se o método multicritério TOPSIS, amplamente empregado na avaliação de sistemas de manejo de resíduos por integrar critérios ambientais, operacionais e econômicos em um único indicador de desempenho (AFRANE *et al.*, 2022; COSTAS *et al.*, 2026; OMRAN *et al.*, 2022; YI *et al.*, 2024). A matriz de decisão foi composta pelas variáveis: comportamento de separação do RDO seco e verde, RDO reciclável seco, fração verde separada, aproveitamento energético, aterro sanitário e impacto financeiro.

As variáveis relacionadas à separação e reciclagem receberam maiores pesos, considerando evidências da literatura que apontam os indicadores ambientais, especialmente os associados à reciclagem, como os principais fatores diferenciadores do desempenho de sistemas de RSU (AFRANE *et al.*, 2022; COSTAS *et al.*, 2026; OMRAN *et al.*, 2022; YI *et al.*, 2024). Os pesos adotados foram: comportamento de separação do RDO seco (0,16), comportamento de separação do RDO verde (0,14), RDO reciclável seco (0,16), fração verde separada (0,14), aproveitamento energético (0,09), aterro sanitário (0,05) e impacto financeiro (0,23). O impacto financeiro recebeu o maior peso relativo devido à relevância dos custos do manejo de resíduos na tomada de decisão pública (YI *et al.*, 2024), sendo definido pela diferença entre receitas e custos do manejo do RDO. Os dados foram normalizados e ponderados para determinação das soluções ideais positiva e negativa, cálculo das distâncias euclidianas e obtenção do coeficiente de proximidade relativa à solução ideal de cada cenário.

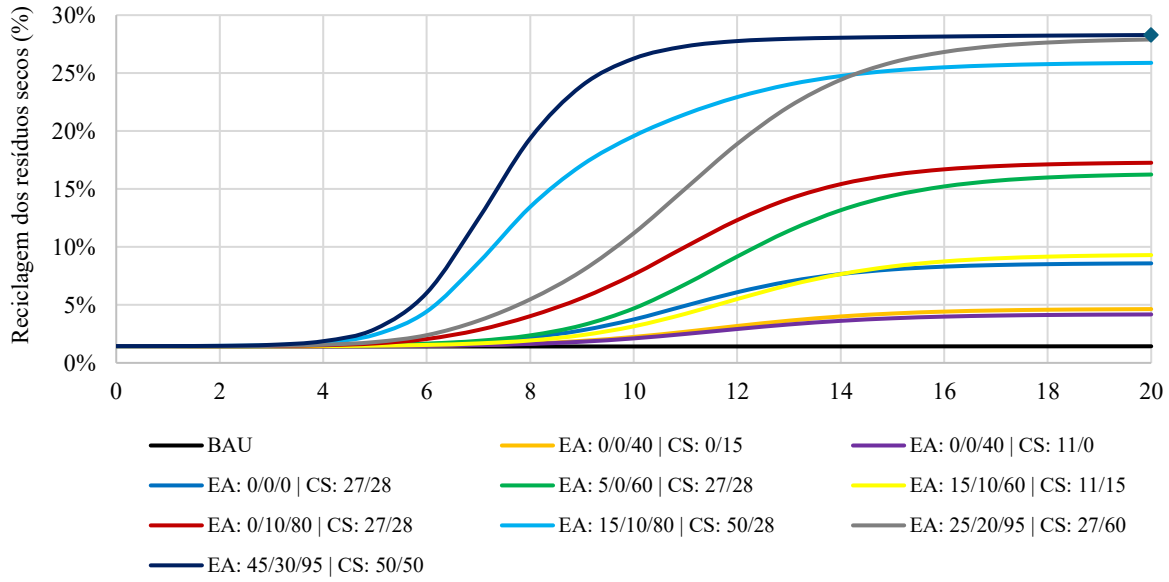
Por fim, aplicou-se o algoritmo Random Forest (BREIMAN, 2001) como técnica de análise de sensibilidade global sobre os cenários simulados, utilizando o *score* TOPSIS como variável resposta e os parâmetros das políticas simuladas como variáveis explicativas, com o objetivo de identificar, dentro da estrutura causal do modelo de dinâmica de sistemas, quais instrumentos de política exercem maior influência relativa sobre o desempenho multicritério dos cenários. Todas as análises foram realizadas no software R (POSIT, 2026), e os scripts utilizados encontram-se disponíveis no Apêndice B.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Manejo de resíduos recicláveis secos

A Figura 27 apresenta a evolução da taxa de reciclagem e do impacto financeiro do manejo do RDO reciclável seco nos diferentes cenários analisados, construídos a partir de combinações entre estratégias de educação ambiental e ampliação da coleta seletiva. Observa-se que, no cenário atual (BAU), os percentuais de reciclagem permanecem praticamente constantes ao longo do tempo, evidenciando a estagnação do sistema diante da ausência de novas estratégias políticas. Nos demais cenários, observa-se aumento progressivo das taxas de reciclagem, com crescimento mais acentuado a partir do quarto ano nos cenários caracterizados por implementação avançada ou plena das estratégias de educação ambiental e expansão da coleta seletiva (EA: 15/10/80 | CS: 50/28; EA: 25/20/95 | CS: 27/60; EA: 45/30/95 | CS: 50/50), e a partir do oitavo ano nos cenários de caráter mais gradual. Estes últimos, marcados por intervenções limitadas ou moderadas, apresentam ganhos discretos, mantendo-se abaixo de 10%. Em contraste, cenários mais robustos, definidos por abrangência avançada/plena das ações de educação ambiental e pela expansão da coleta seletiva, alcançam os maiores patamares, aproximando-se de 30% ao final do horizonte de simulação.

Figura 27 - Evolução temporal da taxa de reciclagem do RDO reciclável seco em diferentes cenários.



Fonte: Autoria própria. Nota: EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva (% da população atendida). EA: coletiva/individual/mídias. CS: porta a porta/pontos de entrega.

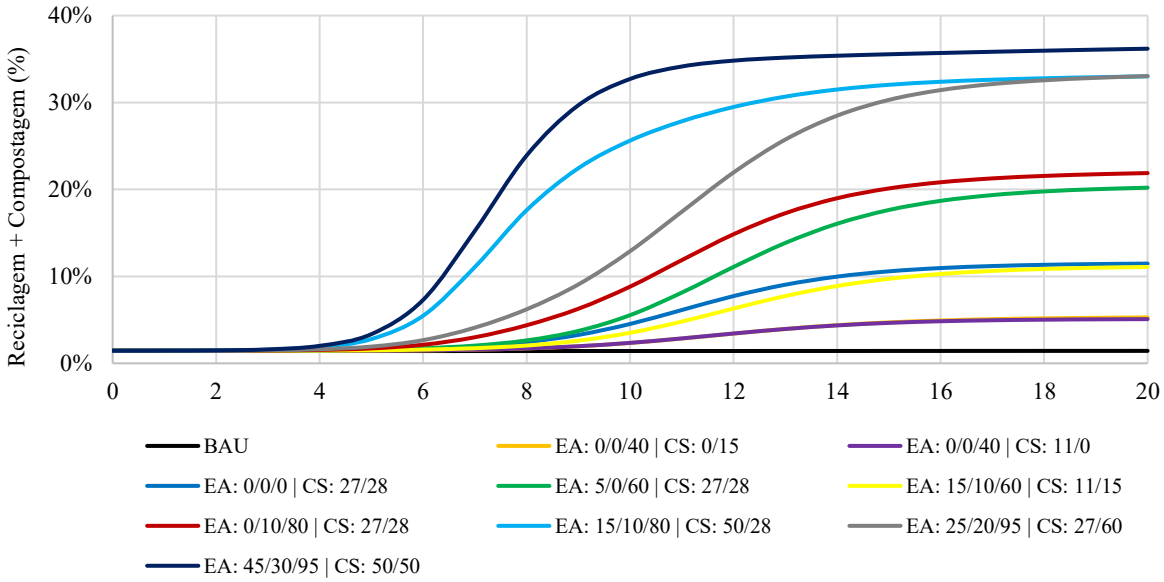
Entretanto, embora as estratégias mais intensivas de EA e ampliação da CS sejam fundamentais para elevar os índices de reciclagem, elas também promovem aumento

significativo dos custos de manejo do RDO. Como consequência, observa-se o agravamento progressivo do déficit financeiro (receitas menos custos), que varia de aproximadamente R$ 42,00 a R$ 178,00 por habitante ao ano, indicando que os custos operacionais crescem em magnitude superior às receitas geradas pelo sistema. Esse comportamento é particularmente acentuado nos cenários de maior abrangência das ações de EA e CS (EA: 15/10/80 | CS: 50/28; EA: 25/20/95 | CS: 27/60; EA: 45/30/95 | CS: 50/50), que, embora apresentem os melhores resultados ambientais, também demandam maiores investimentos para sua implementação e manutenção (Apêndice I).

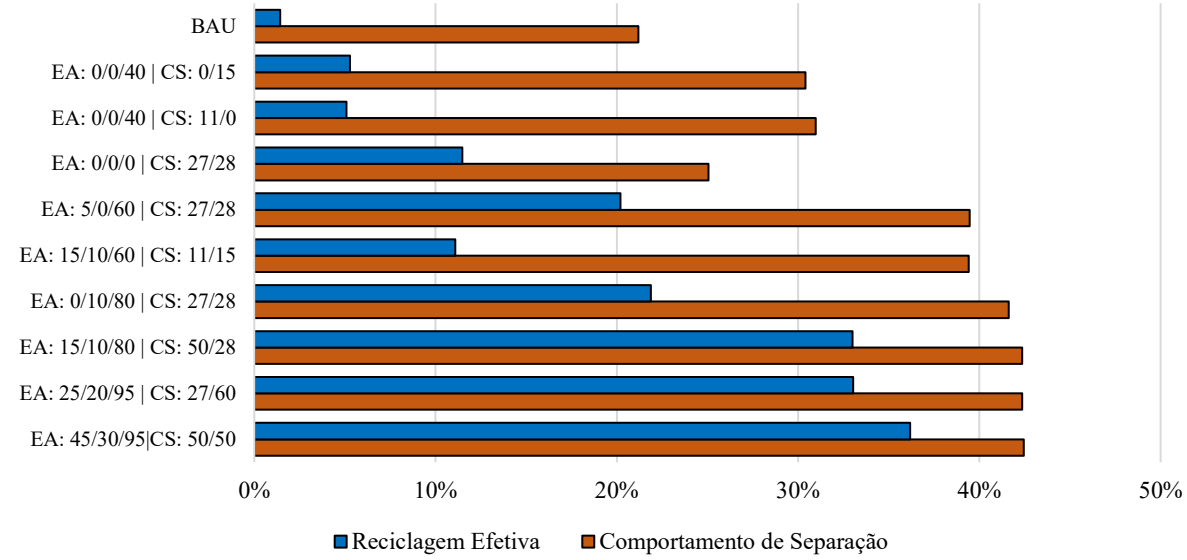
4.3.2 Manejo de resíduos recicláveis secos e verdes

Este grupo avalia os efeitos de diferentes cenários de intervenção sobre a valorização do RDO reciclável seco e verde (Figura 28). A Figura 28a evidencia que a EA e a ampliação da cobertura da CS são fatores determinantes para o aumento da recuperação de materiais recicláveis secos e da compostagem dos resíduos verdes ao longo do tempo. Os cenários caracterizados por implementação avançada ou plena dessas estratégias alcançam os maiores índices de valorização, superiores a 30% do RDO, além de apresentarem resultados mais expressivos já nos primeiros anos de simulação.

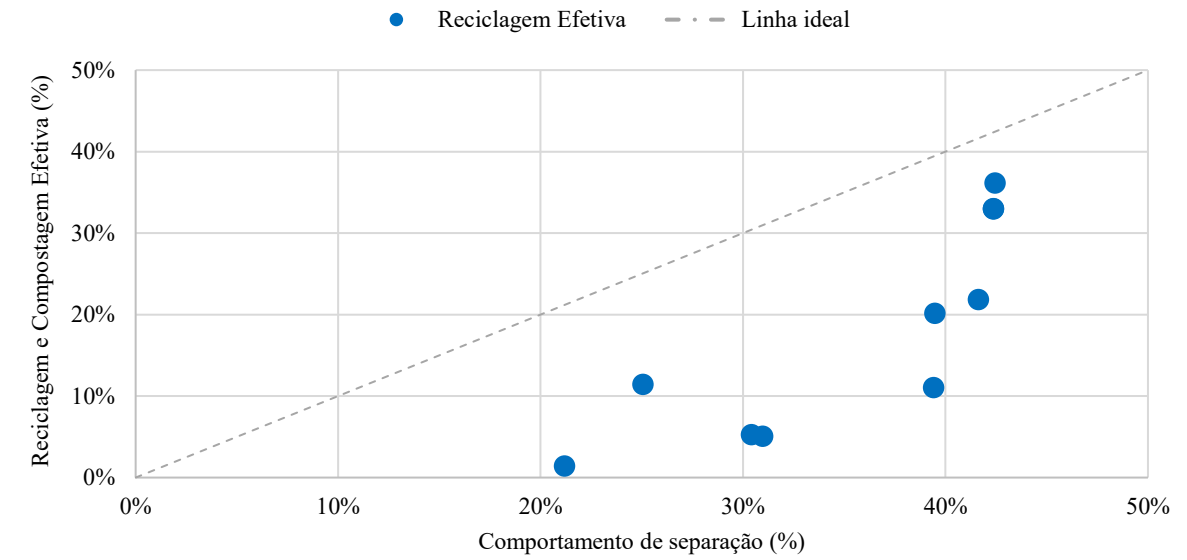
Figura 28 - Cenários de estratégias de intervenção e seus efeitos sobre a reciclagem de secos e compostagem: (a) evolução temporal das taxas; (b) comparação entre comportamento de separação e reciclagem efetiva; e (c) eficiência do sistema em relação à condição i



a)



b)



c)

Fonte: Autoria própria. Nota: EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva (% da população atendida). EA: coletiva/individual/mídias. CS: porta a porta/pontos de entrega.

Em contraste, cenários com níveis limitados ou moderados de intervenção apresentam avanços mais modestos, mantendo percentuais inferiores a 15%. Esses resultados indicam que o desempenho do sistema depende da combinação entre estratégias de mudança comportamental e expansão da infraestrutura de coleta, sendo os maiores ganhos obtidos quando ambas são implementadas de forma abrangente.

Na Figura 28b, verifica-se que o aumento do comportamento de separação não se traduz proporcionalmente em reciclagem efetiva, evidenciando diferenças entre os percentuais de separação na fonte e de reciclagem/compostagem nos cenários analisados. Os valores de

reciclagem/compostagem permanecem sistematicamente inferiores aos de separação, como observado no cenário mais intensivo (EA: 45/30/95 | CS: 50/50), no qual o comportamento de separação supera 40%, enquanto a reciclagem efetiva se aproxima de 36%, possivelmente em decorrência de perdas associadas ao processo de triagem e à presença de rejeitos nos materiais segregados.

Tendência semelhante ocorre em outros cenários com elevados níveis de separação (EA: 15/10/80 | CS: 50/28 e EA: 25/20/95 | CS: 27/60). Esse padrão é corroborado pela Figura 28c, na qual todos os cenários se posicionam abaixo da linha ideal, indicando perdas ao longo do sistema. Além disso, cenários com cobertura da coleta seletiva avançada a plena tendem a se aproximar dessa referência, evidenciando maior eficiência no aproveitamento dos resíduos separados. Assim, embora as estratégias educativas sejam fundamentais para estimular a separação na fonte, a ampliação da coleta seletiva mostra-se determinante para reduzir perdas e viabilizar a reciclagem.

O aumento das taxas de reciclagem também resulta em impacto direto no desvio de resíduos do aterro sanitário. O cenário mais intensivo, com implementação plena, reduz a quantidade destinada ao aterro de 2,46 milhões de toneladas no cenário BAU para 1,84 milhão de toneladas (EA: 45/30/95 | CS: 50/50), correspondendo a um desvio aproximado de 620 mil toneladas por ano, ou cerca de 25% em relação ao BAU. Como consequência, o aumento potencial da vida útil do aterro é da ordem de 34%. Nesse contexto, um aterro inicialmente dimensionado para 20 anos poderia ter sua vida útil ampliada para 27 anos.

Entretanto, embora os cenários com implementação avançada e plena das estratégias políticas sejam os mais efetivos na valorização dos resíduos, também são os que exercem maior pressão financeira sobre o sistema. Em todos os cenários, observa-se saldo financeiro líquido negativo ao longo do período analisado, indicando que os custos superam as receitas geradas. Esse déficit torna-se mais acentuado nos cenários de maior intensidade de intervenção, especialmente a partir dos anos intermediários da simulação. O cenário mais intensivo (EA: 45/30/95 | CS: 50/50) apresenta o maior déficit ao final do período, alcançando R$ 245,65 hab^{-1}, enquanto o cenário BAU registra o menor déficit, em torno de R$ 61,38 hab^{-1}.

Ao comparar os custos e as receitas no último ano da simulação para os sistemas de manejo de recicláveis secos (Grupo I) e de recicláveis secos e verdes (Grupo II), observa-se que as receitas permanecem inferiores aos custos em todos os cenários. No sistema voltado apenas aos recicláveis secos, as receitas correspondem a aproximadamente 53% dos custos no cenário mais intensivo e a 63% no cenário BAU. Já no sistema integrado de recicláveis secos e verdes, essa proporção reduz-se para cerca de 43% e 63%, respectivamente, indicando que a inclusão

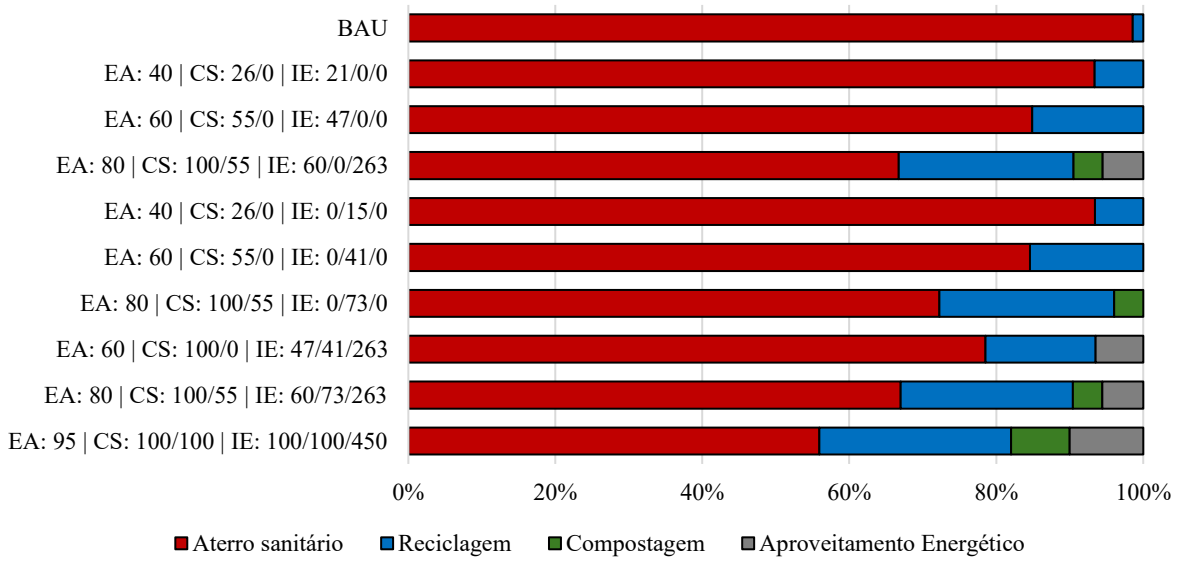
dos resíduos verdes amplia os custos em magnitude superior às receitas geradas (Apêndice I). Apesar disso, a valorização conjunta dos resíduos proporciona uma redução expressiva dos gastos com disposição final, que passam de aproximadamente R$ 31,34 milhões por ano no cenário BAU para R$ 19,36 milhões no cenário de implementação plena (EA: 45/30/95 | CS: 50/50), representando uma economia próxima de R$ 12 milhões anuais.

4.3.3 Instrumentos econômicos aplicados ao manejo de resíduos

A partir deste grupo de cenários, foram incorporados instrumentos econômicos ao manejo do RDO, incluindo cobrança pelo RDO não separado, recompensas pela entrega de resíduos separados e taxas de aterro, aplicados com diferentes níveis de abrangência e intensidade até cobertura universal.

A Figura 29 apresenta os efeitos dessas estratégias sobre a destinação do RDO. No cenário BAU, o aterro sanitário permanece predominante, recebendo aproximadamente 99% dos resíduos gerados, enquanto a reciclagem representa apenas 1%. Com a ampliação das estratégias de EA e CS, as taxas de reciclagem aumentam de 7% a 26%, enquanto a compostagem atinge até 8% nos cenários mais avançados.

Figura 29 - Distribuição do manejo de resíduos por cenário com instrumentos econômicos



Fonte: Autoria própria. Nota: EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva mista nas modalidades porta a porta e por ponto (% da população atendida); IE: instrumento econômico (recompensa e cobrança: % da população atendida e taxa de aterro:% de aumento). EA: coletiva. CS: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. IE: recompensa/cobrança/taxa de aterro.

A introdução dos IE, especialmente das taxas de aterro, intensifica esse efeito e viabiliza o aproveitamento energético dos rejeitos, que alcança até 10% do RDO gerado. O cenário de implementação plena (EA: 95; CS: 100/100; IE: 100/100/450) apresenta a menor dependência de aterro sanitário (56%) e os maiores percentuais de reciclagem, compostagem e recuperação energética. De forma geral, a combinação entre educação ambiental, coleta seletiva e instrumentos econômicos reduz a disposição final em aterro e amplia sua vida útil em aproximadamente 45%.

Todos os cenários apresentam saldo financeiro per capita negativo ao longo do período analisado, com déficits mais acentuados naqueles que incorporam taxas de aterramento. O cenário de implementação plena (EA: 95; CS: 100/100; IE: 100/100/450) registra o maior déficit ao final da simulação (≈ R$ 465 hab^{-1}), equivalente a aproximadamente R$ 123,6 milhões anuais. Apesar disso, os IE ampliam as receitas do sistema, tanto pela cobrança aplicada aos geradores quanto pelo aumento indireto da reciclagem e da comercialização de materiais decorrente da maior adesão à separação dos resíduos. As receitas variam de R$ 103,59 hab^{-1} no cenário BAU a R$ 213,92 hab^{-1} no cenário mais avançado, correspondendo a cerca de R$ 43,1 milhões e R$ 88,9 milhões anuais, respectivamente.

As receitas provenientes da cobrança apresentam comportamento semelhante nos cenários que mantêm sistemas híbridos (IPTU + PAYT), permanecendo próximas ao BAU (R$ 41.218.200,00) nos anos iniciais e apresentando redução gradual ao longo do tempo. Nos cenários com adoção parcial do sistema PAYT, as receitas atingem valores entre aproximadamente R$ 33 milhões e R$ 38 milhões no ano 20, mantendo-se inferiores aos valores observados no início da simulação. Esse comportamento ocorre independentemente da configuração adotada, desde que não haja substituição integral do sistema de cobrança. Apenas o cenário com substituição integral do IPTU por PAYT (R$ 600.t^{-1}) apresenta aumento contínuo das receitas ao longo do período, alcançando cerca de R$ 51,6 milhões no ano final e superando de forma consistente os valores observados no cenário BAU. Os resultados detalhados dessa análise podem ser consultados no Apêndice I (Figura 92).

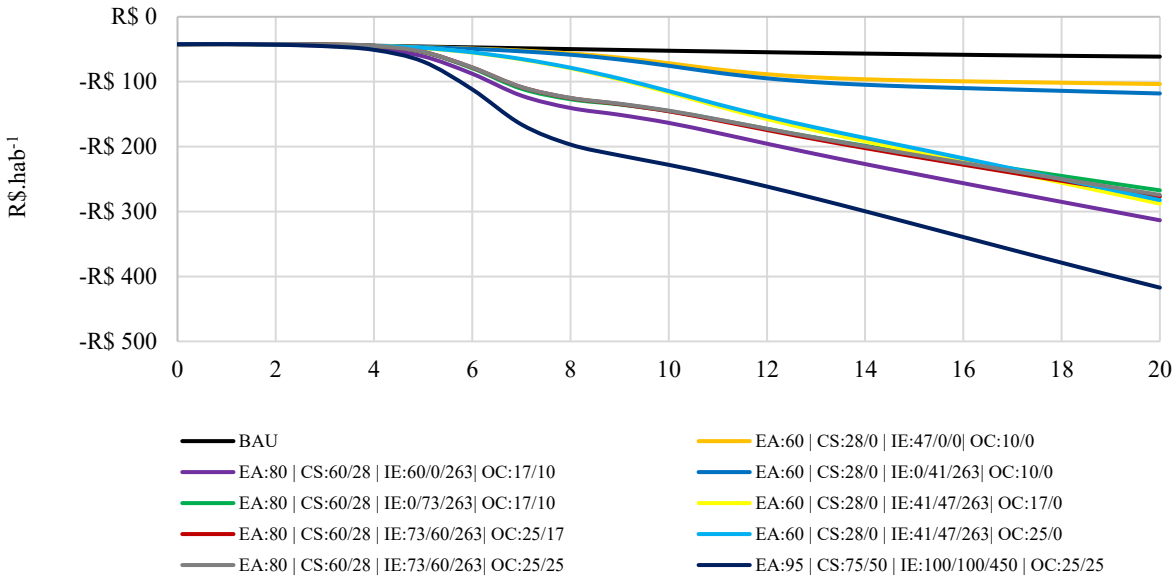
4.3.4 Estratégias de reequilíbrio financeiro do sistema

Para alcançar o reequilíbrio financeiro do manejo de RDO, consideram-se três alternativas principais: (i) a otimização operacional da CS, com consequente redução de custos; (ii) a valorização dos resíduos para comercialização, incluindo recicláveis secos, composto e CDR; e (iii) a inserção no mercado de créditos de carbono, por meio da venda de créditos associados à redução de emissões de gases de efeito estufa.

4.3.4.1 Otimização operacional da coleta seletiva

Na Figura 30, o cenário mais intensivo (EA:95 | CS:75/50 | IE:100/100/450 | OC:25/25) apresenta o maior impacto financeiro negativo ao final do horizonte de simulação, atingindo um déficit de aproximadamente R$ 417,16 hab^{-1} no ano 20. Nesse cenário, as estratégias de educação ambiental, ampliação da coleta seletiva e implementação de instrumentos econômicos são aplicadas em nível pleno. Ainda assim, a otimização da coleta seletiva contribui para reduzir o impacto financeiro em cerca de 10% em comparação a cenários equivalentes sem otimização. Por outro lado, cenários com menor intensidade de intervenção (níveis de implementação limitado e moderado) apresentam impactos financeiros significativamente inferiores. Destaca-se o cenário EA:60 | CS:28/0 | IE:47/0/0| OC:10/0, com cerca de R$ 103,60 hab^{-1}, e o cenário EA:60 | CS:28/0 | IE:0/41/263| OC:10/0, com aproximadamente R$ 118,11 hab^{-1} no ano 20.

Figura 30 - Evolução temporal do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares sob diferentes cenários de otimização operacional da coleta seletiva.



Fonte: Autoria própria. Nota: EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva mista nas modalidades porta a porta e por ponto (% da população atendida); IE: instrumento econômico (recompensa e cobrança: % da população atendia e taxa de aterro: % de aumento) e OC: otimização da coleta seletiva (% de redução dos custos). EA: coletiva. CS: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. IE: recompensa/cobrança/taxa de aterro. OC: resíduos recicláveis/resíduos verdes.

Os cenários mais robustos apresentam os maiores custos absolutos, alcançando R$ 631,07 hab^{-1} no cenário de implementação mais intensiva, acompanhados por receitas de R$ 213,92 hab^{-1}. Esse desempenho está associado à elevada cobertura das ações de educação ambiental, à ampla abrangência da coleta seletiva, à adoção simultânea de instrumentos econômicos (recompensa, cobrança e taxa de aterramento) e aos maiores níveis de otimização

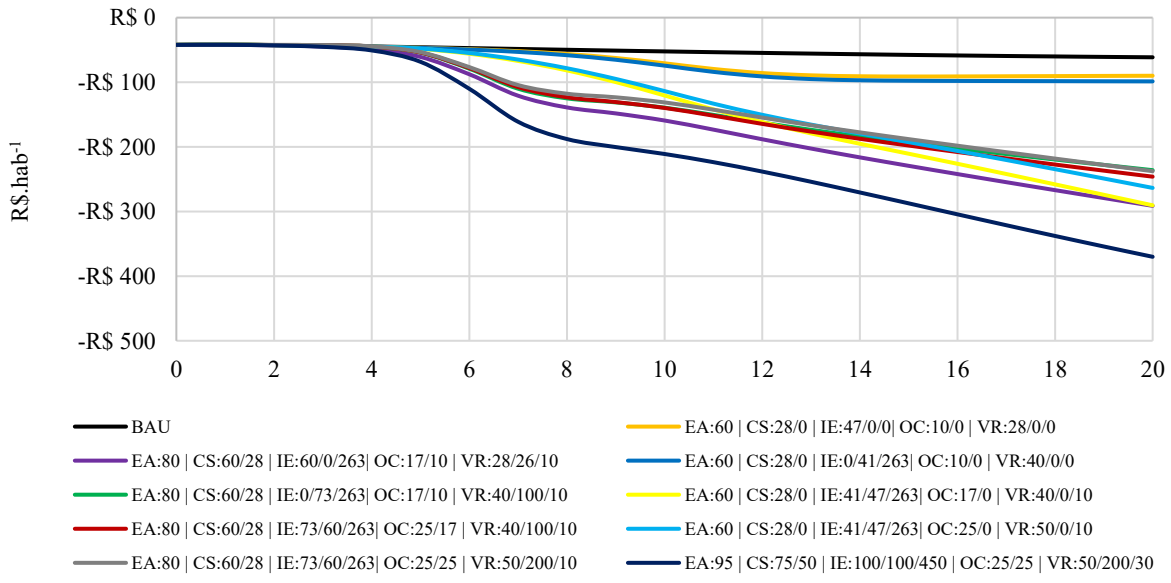
operacional. Em contrapartida, cenários intermediários (EA:80 | CS:60/28 | IE:73/60/263 | OC:25/25) apresentam custos de R$ 476,64 hab^{-1} e receitas de R$ 202,30 hab^{-1}, enquanto cenários de menor intensidade de intervenção (EA:60 | CS:28/0 | IE:0/41/263 | OC:10/0) registram custos de R$ 245,84 hab^{-1} e receitas de R$ 127,73 hab^{-1}.

No cenário mais intensivo, as receitas correspondem a aproximadamente 34% dos custos totais, enquanto nos cenários intermediários essa proporção varia entre 34% e 52%. Os maiores níveis de cobertura dos custos são observados nos cenários de menor intensidade de intervenção, nos quais as receitas representam entre 43% e 59% dos custos. Esses resultados indicam que, embora a otimização operacional contribua para melhorar o desempenho financeiro do sistema, os ganhos obtidos não são suficientes para compensar o aumento dos custos decorrentes da ampliação das ações de educação ambiental, da coleta seletiva e dos instrumentos econômicos.

4.3.4.2 Valorização de resíduos sólidos

Na Figura 31, observa-se que a incorporação da valorização dos resíduos reduz a magnitude negativa do impacto financeiro em comparação aos cenários previamente apresentados sem valorização.

Figura 31 - Evolução temporal do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares sob diferentes cenários de valorização dos resíduos.



Fonte: Autoria própria. Nota: EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva mista nas modalidades porta a porta e por ponto (% da população atendida); IE: instrumento econômico (recompensa e cobrança: % da população atendida e taxa de aterro:% de aumento) e OC: otimização da coleta seletiva (% de redução dos custos). VR: valorização dos resíduos (% de aumento do valor de venda). EA: coletiva. CS: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. IE: recompensa/cobrança/taxa de Aterro. OC: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. VR: recicláveis secos/composto/combustível derivado de resíduos.

O cenário mais intensivo (EA: 95 | CS: 75/50 | IE: 100/100/450 | OC: 25/25 | VR: 50/200/30) apresenta o maior impacto financeiro negativo ao final do período, com déficit entre R$ 360 e R$ 380·hab^{-1}, embora inferior ao observado no cenário equivalente sem valorização (R$ 417,16·hab^{-1}). Cenários com intervenções de intensidade intermediária a avançada (EA: 80 | CS: 60/28 | IE: 73/60/263 | OC: 25/25 | VR: 50/200/10) situam-se entre R$ 230 e R$ 260·hab^{-1}, enquanto cenários com menor intensidade de valorização e níveis limitados a intermediários de intervenção (EA: 60 | CS: 28/0 | IE: 47/0/0 | OC: 10/0 | VR: 28/0/0) apresentam impactos de menor magnitude, variando entre R$ 90 e R$ 110·hab^{-1}.

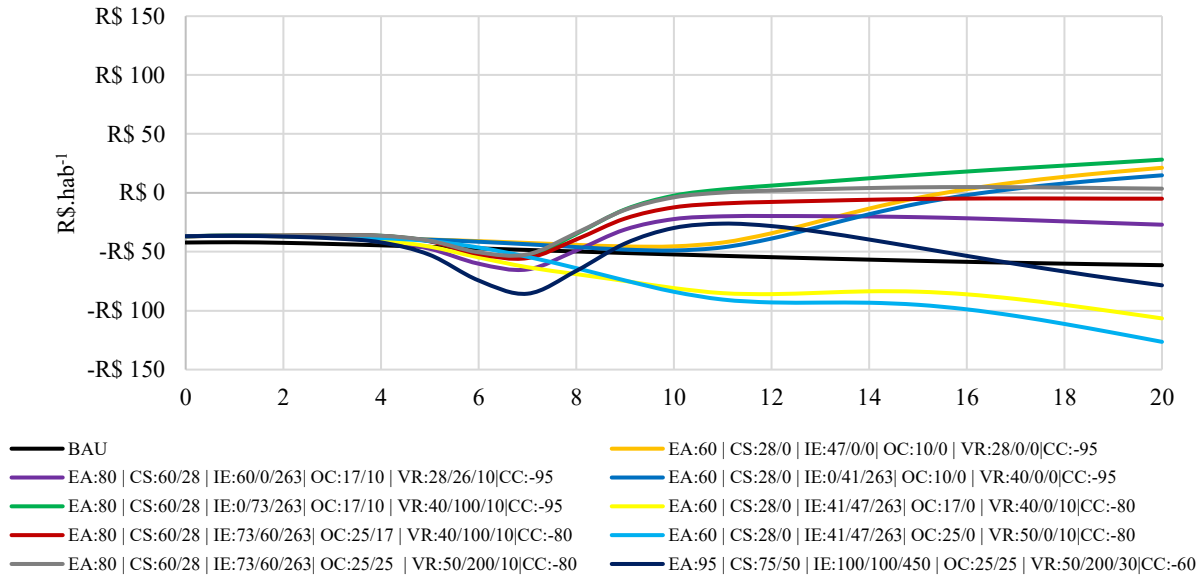
Os cenários com intervenções avançadas e plenas apresentam os maiores custos e receitas do sistema. O cenário mais intensivo (EA:95 | CS:75/50 | IE:100/100/450 | OC:25/25 | VR:50/200/30) registra custos entre R$ 650 e R$ 700 hab^{-1} e receitas da ordem de R$ 280 a R$ 300 hab^{-1}, representando aumento aproximado de 22% nas receitas em relação ao cenário sem valorização. Em cenários de intensidade moderada a avançada (EA:80 | CS:60/28 | IE:73/60/263 | OC:25/25 | VR:50/200/10), os custos variam entre R$ 450 e R$ 500 hab^{-1}, enquanto as receitas situam-se entre R$ 240 e R$ 270 hab^{-1}, correspondendo a incremento de cerca de 15%. Por sua vez, cenários com menor nível de valorização (EA:60 | CS:28/0 | IE:47/0/0 | OC:10/0 | VR:28/0/0) apresentam custos entre R$ 200 e R$ 300 hab^{-1} e receitas entre R$ 120 e R$ 160 hab^{-1}, com aumento aproximado de 9%.

Apesar do crescimento das receitas, o nível de cobertura dos custos permanece limitado, variando de aproximadamente 40% a 45% nos cenários mais intensivos e de 45% a 64% nos cenários intermediários e de menor intensidade. Esses resultados indicam que a valorização dos resíduos amplia a geração de receitas, mas em proporção inferior ao aumento dos custos necessários para sua implementação e operação.

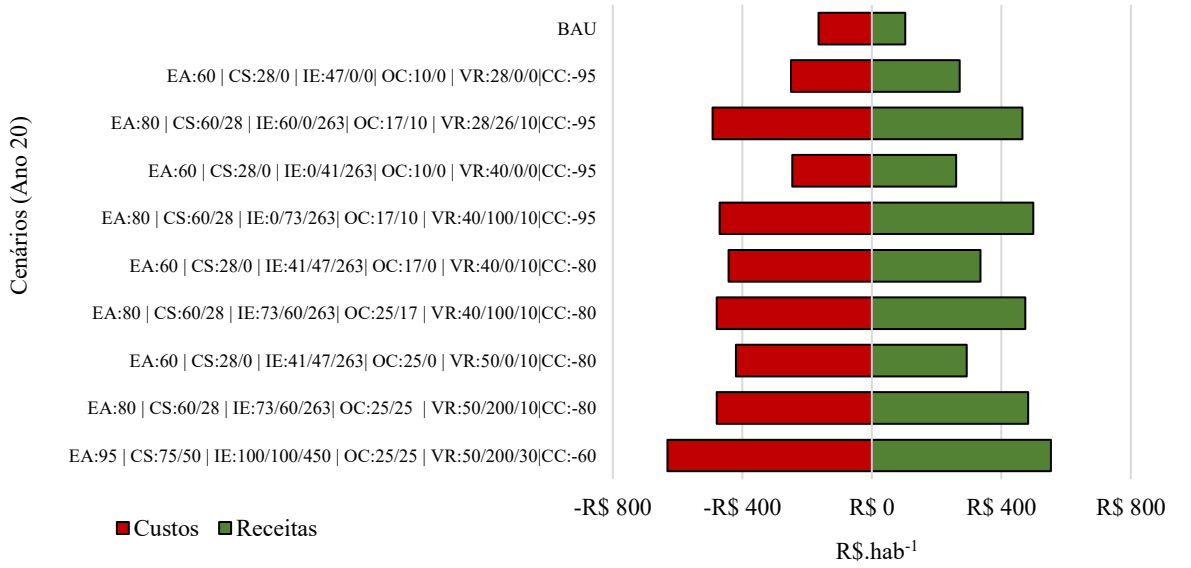
4.3.4.3 Inserção no mercado de crédito de carbono

Na Figura 32, observa-se que a inserção no mercado de crédito de carbono altera de forma significativa e positiva o impacto financeiro ao longo do tempo. Diferentemente das estratégias de reequilíbrio baseadas na otimização da coleta seletiva e na valorização de resíduos (recicláveis, composto e CDR), a comercialização de créditos de carbono promove uma redução mais acentuada do déficit do manejo de RDO, podendo, em alguns cenários, atingir valores próximos ou superiores ao equilíbrio financeiro.

Figura 32 - Impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares sob diferentes cenários com inserção no mercado de crédito de carbono: (a) evolução temporal do impacto financeiro e (b) comparação entre custos e receitas no ano final (ano 20).



a)



b)

Fonte: Autoria própria. Nota: EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva mista nas modalidades porta a porta e por ponto (% da população atendida); IE: instrumento econômico (recompensa e cobrança: % da população atendida e taxa de aterro:% de aumento) e OC: otimização da coleta seletiva (% de redução dos custos). VR: valorização dos resíduos (% de aumento do valor de venda). CC: venda de crédito de carbono (% de redução do valor do crédito de carbono em relação ao valor atual). EA: coletiva. CS: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. IE: recompensa/cobrança/taxa de Aterro. OC: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. VR: recicláveis secos/composto/combustível derivado de resíduos. CC: crédito de carbono.

Na Figura 32a, os cenários com maior valorização de resíduos (níveis avançado e pleno), mesmo com queda acentuada de 95% no valor dos créditos de carbono ao longo de 20 anos (EA:80 | CS:60/28 | IE:0/73/263 | OC:17/10 | VR:40/100/10 | CC:-95), passam a apresentar valores positivos, alcançando entre R$ 20 e R$ 30·hab^{-1} ao final do horizonte de simulação. Em contraste, cenários mais intensivos em políticas públicas e com redução de 60% no valor dos créditos (EA:95 | CS:75/50 | IE:100/100/450 | OC:25/25 | VR:50/200/30 | CC:-60) permanecem com impacto negativo, atingindo aproximadamente R$ 70 a R$ 80·hab^{-1} no ano 20. Ainda assim, observa-se uma redução de cerca de 81% no impacto financeiro em relação ao cenário equivalente sem a comercialização de créditos de carbono.

Na Figura 32b, no ano 20, verifica-se que a inserção no mercado de carbono eleva substancialmente as receitas. O cenário mais intensivo com implementação de estratégias de políticas públicas de forma avançada e plena (EA:95 | CS:75/50 | IE:100/100/450 | OC:25/25 | VR:50/200/30 | CC:-60) apresenta custos próximos de R$ 700–750·hab^{-1} e receitas da ordem de R$ 600–650·hab^{-1}, indicando elevada recuperação de custos. Em cenários intermediários (EA:80 | CS:60/28 | IE:73/60/263 | OC:25/25 | VR:50/200/10 | CC:-80) os custos situam-se entre R$ 450 e R$ 550·hab^{-1}, com receitas próximas de R$ 450–500·hab^{-1}, aproximando-se do equilíbrio financeiro. Já cenários com menor intensidade de intervenção (EA:60 | CS:28/0 | IE:47/0/0 | OC:10/0 | VR:28/0/0 | CC:-95) apresentam custos entre R$ 200 e R$ 300·hab^{-1} e receitas na faixa de R$ 250–350·hab^{-1}, indicando, em alguns casos, superávit financeiro. Em termos de cobertura dos custos, observa-se que as receitas atingem patamares superiores aos cenários pautados somente em otimização da coleta seletiva e valorização de resíduos, variando de cerca de 80% até valores superiores a 100%.

4.4 DISCUSSÕES

4.4.1 Análise integrada dos cenários

A análise incremental em relação ao cenário BAU, apresentada na Figura 33, evidencia que a incorporação progressiva das estratégias de política pública promove ganhos distintos sobre o desempenho ambiental e financeiro do sistema de manejo do RDO. Enquanto o Grupo I promoveu ganhos iniciais na separação na fonte e recuperação de recicláveis secos, o Grupo II ampliou a compostagem da fração verde e o Grupo III aumentou os desvios do aterro sanitário por meio da introdução de instrumentos econômicos e do aproveitamento energético. Já o Grupo IV destacou-se pela combinação entre elevado desempenho ambiental e estratégias de reequilíbrio financeiro, incluindo valorização de resíduos, otimização operacional e comercialização de créditos de carbono. Embora esses cenários tenham apresentado os maiores

custos per capita, também exibiram melhor desempenho financeiro, refletido pela redução dos déficits e, no caso do Grupo 4.3, pela obtenção de superávit operacional, resultado associado ao aumento das receitas provenientes da valorização dos resíduos e dos créditos de carbono.

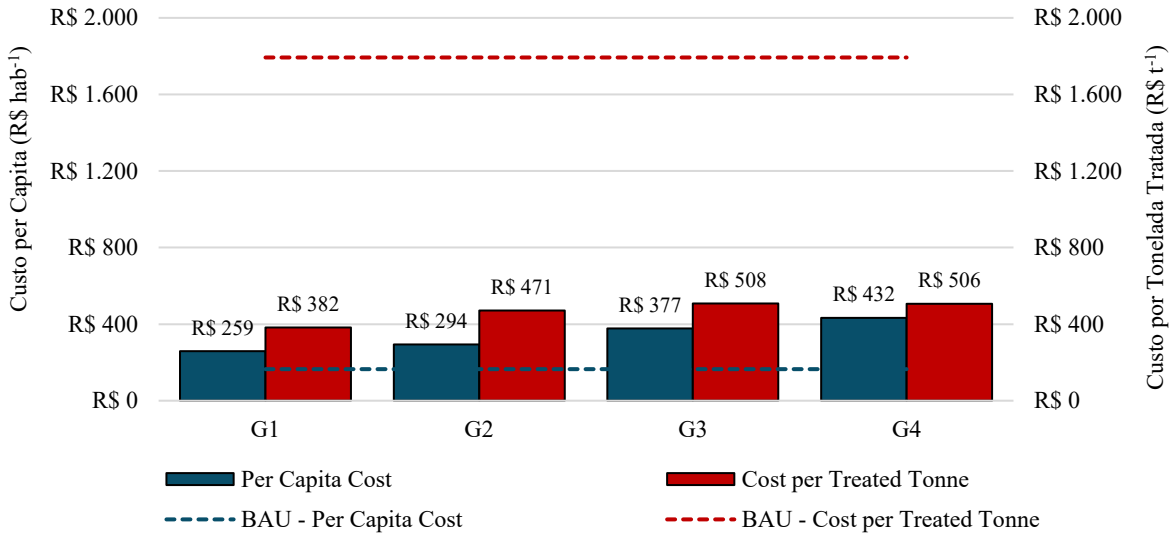
Figura 33 - Desempenho incremental dos grupos de cenários em relação ao cenário de referência (BAU) para indicadores econômicos, operacionais e ambientais



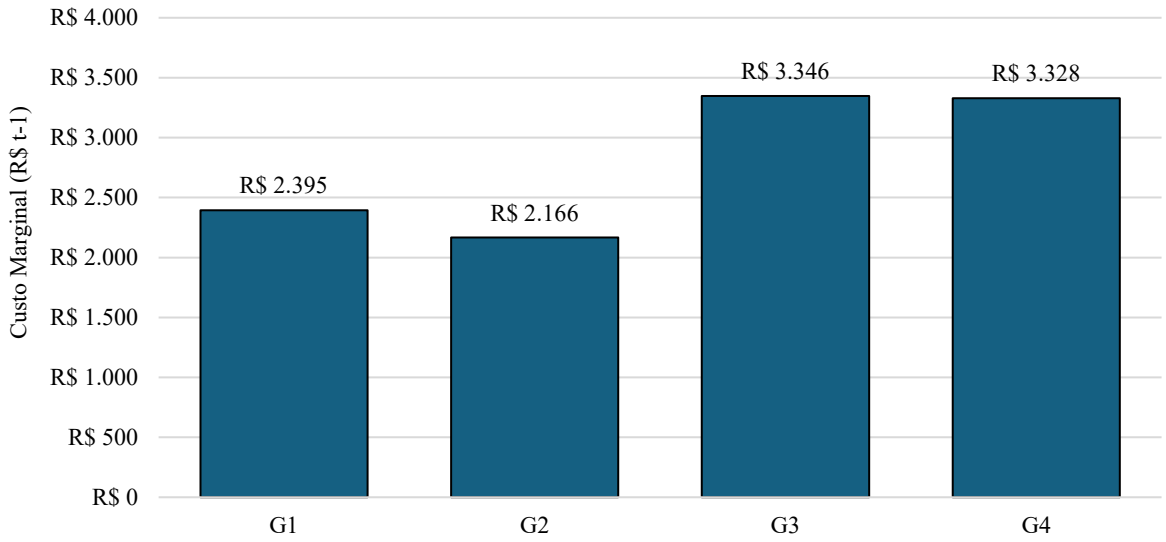
Fonte: Autoria própria

Complementando a análise incremental, a Figura 34 permite avaliar a eficiência financeira dos diferentes grupos de cenários. Na Figura 34 a, observa-se aumento progressivo do custo per capita e do custo por tonelada destinada adequadamente entre os grupos de cenários, refletindo os investimentos necessários para ampliação das estratégias de recuperação e valorização dos resíduos. Já a Figura 34 b demonstra que o menor custo marginal por tonelada adicional desviada do aterro foi observado no Grupo II, indicando maior eficiência financeira na ampliação inicial do desvio de resíduos da disposição final. Em contrapartida, os Grupos III e IV apresentaram custos marginais mais elevados, evidenciando que ganhos adicionais de circularidade demandam investimentos progressivamente maiores. Embora o Grupo IV apresente os maiores custos, os resultados apresentados anteriormente demonstram que esse grupo também alcança o melhor desempenho financeiro global. Esse resultado decorre da combinação entre a redução dos custos proporcionada pela otimização da coleta seletiva e o aumento das receitas provenientes da valorização dos resíduos e da comercialização de créditos de carbono.

Figura 34 - Indicadores de custo dos grupos de cenários avaliados: (a) custo per capita e custo por tonelada destinada adequadamente; e (b) custo marginal por tonelada adicional desviada do aterro sanitário.



a)



b)

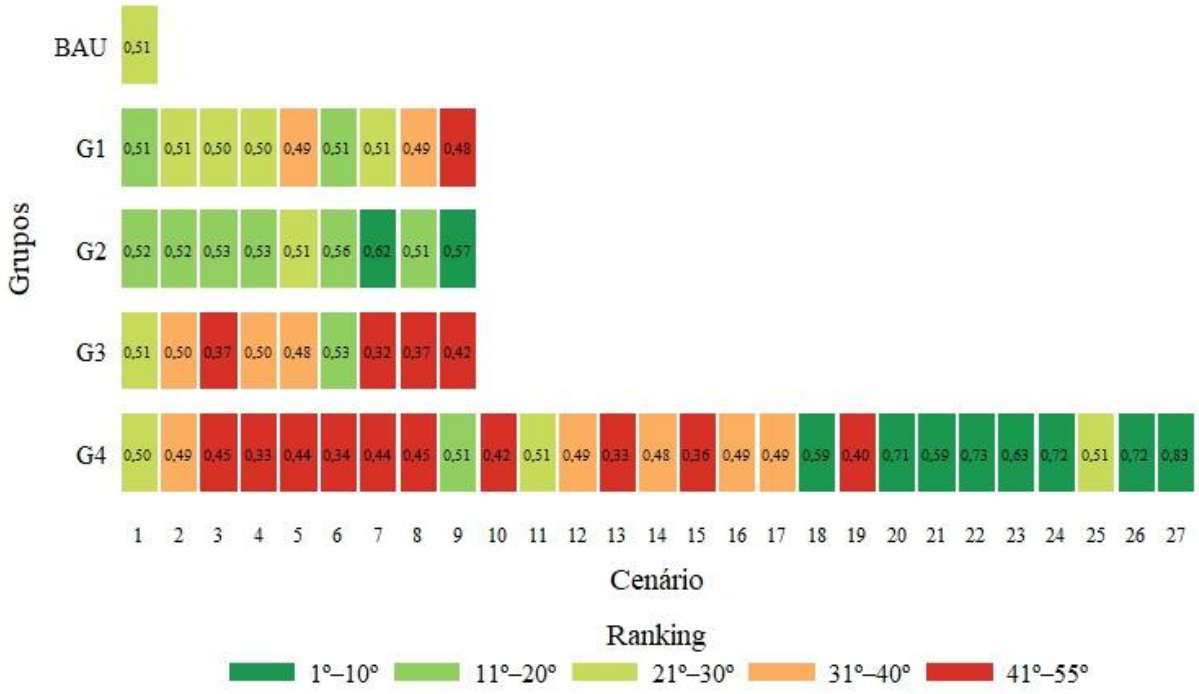
Fonte: Autoria própria

Esses resultados evidenciam que a busca por maiores níveis de circularidade implica desafios econômicos relevantes, particularmente nos cenários com maior intensidade de intervenção. Nesse contexto, torna-se necessário avaliar os *trade-offs* entre os benefícios ambientais obtidos e os custos adicionais requeridos para sua implementação. Tal aspecto foi observado por lo Storto (2025) e Müller et al. (2021), que associam maiores níveis de recuperação de resíduos ao aumento dos custos operacionais decorrentes da expansão da infraestrutura e da logística. Os resultados deste estudo reforçam que a transição para sistemas

mais circulares exige investimentos crescentes, mas também amplia as oportunidades de geração de receitas e redução da dependência da disposição final. Assim, a sustentabilidade financeira do sistema não depende apenas do controle dos custos operacionais, mas também da capacidade de integrar mecanismos de valorização capazes de converter ganhos ambientais em benefícios financeiros.

A integração dos resultados da Figura 33 e Figura 34 fornece o contexto para a interpretação do ranking multicritério TOPSIS (Figura 35), no qual os cenários são avaliados simultaneamente quanto ao desempenho ambiental, operacional e financeiro.

Figura 35 - Ranking multicritério dos cenários de manejo de RDO pelo método TOPSIS no ano final (20º ano).



Fonte: Autoria própria. Nota: Os valores apresentados no interior das células coloridas representam os scores TOPSIS. As cores das células indicam as faixas de classificação no ranking, variando do verde para os cenários mais bem classificados ao vermelho para os cenários com as classificações mais baixas. BAU: cenário tendencial (business-as-usual); G1–G4: grupos de cenários 1–4. Os resultados completos do TOPSIS e o código referente a cada cenário estão contidos no Apêndice I (Tabela 29 - Resultados dos indicadores utilizados na análise multicritério TOPSIS dos cenários simulados.Tabela 29).

Os cenários do Grupo IV concentraram os melhores desempenhos, evidenciando que a combinação entre valorização dos resíduos, otimização da CS e comercialização de CC favorece o desempenho global do sistema. Entretanto, a presença do cenário 2.7 entre os sete melhores colocados demonstra que avanços expressivos também podem ser alcançados por meio da ampliação da educação ambiental e da coleta seletiva, mesmo na ausência de

instrumentos econômicos e mecanismos de recuperação financeira. Esses resultados sugerem que não existe uma única trajetória para melhoria do desempenho do sistema, embora os melhores desempenhos multicritério estejam associados à integração de políticas capazes de ampliar simultaneamente a recuperação de materiais, reduzir a disposição em aterro e aumentar a geração de receitas.

O cenário 4.27 apresentou o melhor desempenho multicritério entre os cenários avaliados, associado à elevada valorização dos resíduos, maiores taxas de reciclagem, ampliação da recuperação energética e redução significativa da disposição em aterro sanitário. Além disso, o cenário apresentou elevada capacidade de recuperação de custos, com receitas suficientes para cobrir aproximadamente 88% dos custos de manejo, percentual substancialmente superior à realidade atual (~40%). Entretanto, apesar do elevado desempenho ambiental e operacional, o cenário manteve impacto financeiro negativo (R$ -78,50 hab^{-1}), evidenciando que a expansão das estratégias de circularidade ainda demanda investimentos expressivos por parte do poder público.

Em contrapartida, os cenários 4.22 e 4.26 apresentaram maior equilíbrio entre os critérios ambientais, operacionais e financeiros. Embora tenham alcançado resultados ambientais ligeiramente inferiores ao cenário líder, apresentaram menor impacto financeiro (R$ -28,20 hab^{-1} e R$ -3,57 hab^{-1}, (respectivamente) e receitas capazes de financiar aproximadamente 95% e 99% dos custos do sistema. Em ambos os casos, a principal restrição esteve associada à reciclagem da fração verde.

Da mesma forma, os cenários 4.24, 4.20 e 4.23 que também figuraram entre as alternativas mais competitivas, apresentando impactos financeiros de R$ -17,49 hab^{-1}, R$ -60,91 hab^{-1} e R$ -42,34 hab^{-1}, respectivamente, e receitas capazes de financiar entre 85% e 95% dos custos de manejo. Em conjunto, esses resultados indicam que elevados níveis de desempenho podem ser alcançados mesmo sem a maximização simultânea de todas as intervenções, embora avanços adicionais dependam do fortalecimento das estratégias de recuperação e valorização da fração verde do RDO.

Além disso, destaca-se o cenário 2.7, único pertencente a grupos de intervenção intermediária entre os cenários mais bem classificados. Apesar da ausência de instrumentos econômicos e estratégias de reequilíbrio financeiro, o cenário apresentou taxas de reciclagem superiores a 30% para resíduos secos e verdes, receitas capazes de financiar mais de 50% dos custos do sistema e impacto financeiro de R$ -181,71 hab^{-1}. Esse resultado demonstra que avanços significativos podem ser alcançados por meio da educação ambiental e da coleta

seletiva, configurando uma alternativa viável para municípios com menor capacidade de investimento.

Nesse contexto, a educação ambiental contribuiu para o aumento da separação de resíduos na fonte, corroborando estudos que apontam a influência de fatores comportamentais e da confiança no sistema sobre a participação da população (HEZARDASTAN; SHMELEV, 2025; LUO *et al.*, 2024). Os resultados também demonstraram que os benefícios da educação ambiental são potencializados quando acompanhados pela expansão da coleta seletiva. Em contrapartida, cenários com elevada cobertura de educação ambiental e limitada infraestrutura operacional apresentaram ganhos mais modestos de reciclagem, evidenciando a importância da coleta seletiva, da triagem e do processamento dos materiais para converter mudanças comportamentais em recuperação efetiva de resíduos (MARAGKAKI *et al.*, 2022).

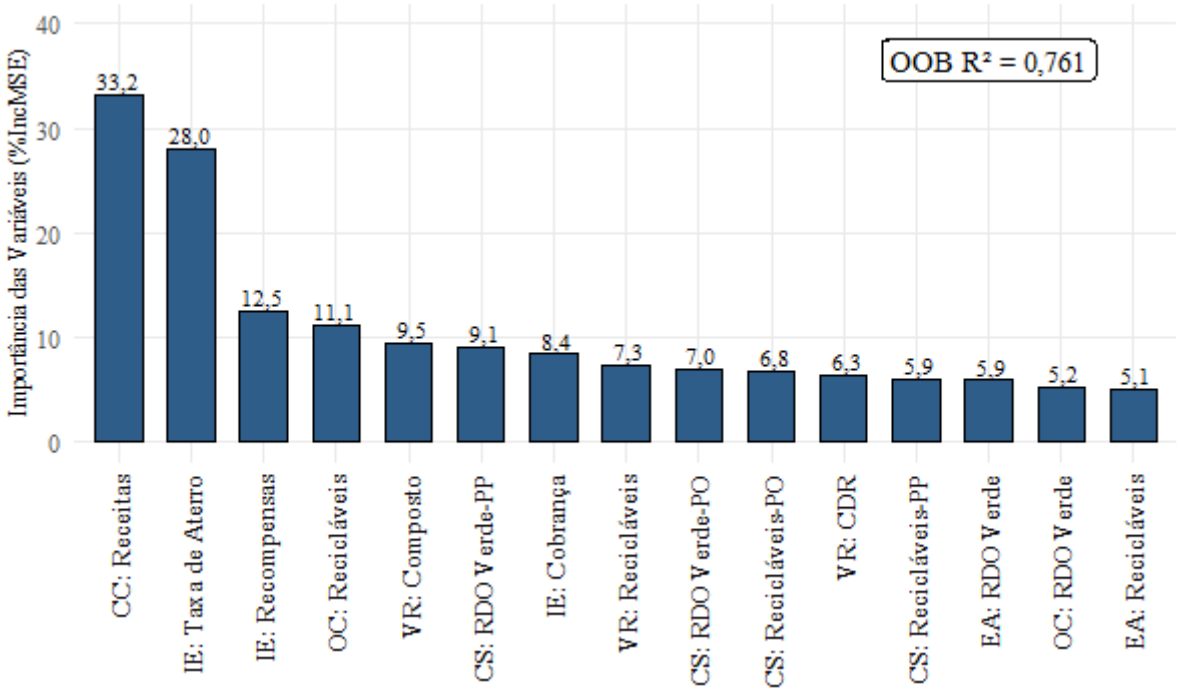
Os cenários com melhor desempenho multicritério foram aqueles que combinaram elevada valorização dos resíduos, menor dependência do aterramento e mecanismos capazes de ampliar a recuperação financeira do sistema. Entretanto, esses avanços estiveram associados a custos operacionais mais elevados, especialmente em função da expansão da coleta seletiva e das estratégias de recuperação e valorização dos resíduos. Esse resultado é coerente com a literatura, que aponta custos da coleta seletiva até 4,5 vezes superiores aos da coleta convencional devido à maior complexidade logística e necessidade de triagem (GALAVOTE *et al.*, 2023a, 2024a).

Os resultados demonstraram clara diferenciação entre cenários de intervenção limitada, moderada, avançada e plena. Enquanto os cenários de baixa intervenção mantiveram elevada dependência do aterramento e limitada recuperação financeira, os cenários intermediários e avançados apresentaram melhorias expressivas na reciclagem e na recuperação de custos, alcançando receitas capazes de financiar entre aproximadamente 50% e 99% dos custos do sistema. Resultado semelhante foi observado por Gadaleta et al. (2022) e Zaikova et al. (2022), que destacam a competitividade de sistemas capazes de combinar recuperação de resíduos com controle dos custos operacionais.

A análise de importância relativa estimada pelo algoritmo Random Forest (Figura 36) complementa os resultados do TOPSIS ao identificar as políticas públicas com maior influência sobre o desempenho multicritério dos cenários. O modelo apresentou bom poder preditivo (OOB-R^2 = 0,761), indicando que as variáveis de política pública consideradas explicaram aproximadamente 76% da variabilidade observada nos scores TOPSIS. As maiores importâncias relativas (%IncMSE) foram observadas para as receitas provenientes dos créditos de carbono (33,2%), a taxa de aterro (28,0%), os mecanismos de recompensa (12,5%) e a

otimização da coleta seletiva de recicláveis secos (11,1%). Esses resultados indicam que os instrumentos econômicos e as estratégias de recuperação financeira exerceram influência mais expressiva sobre o desempenho global dos cenários do que as políticas voltadas exclusivamente à mudança de comportamento.

Figura 36 - Importância relativa das políticas públicas para o Score TOPSIS estimada por Random Forest.

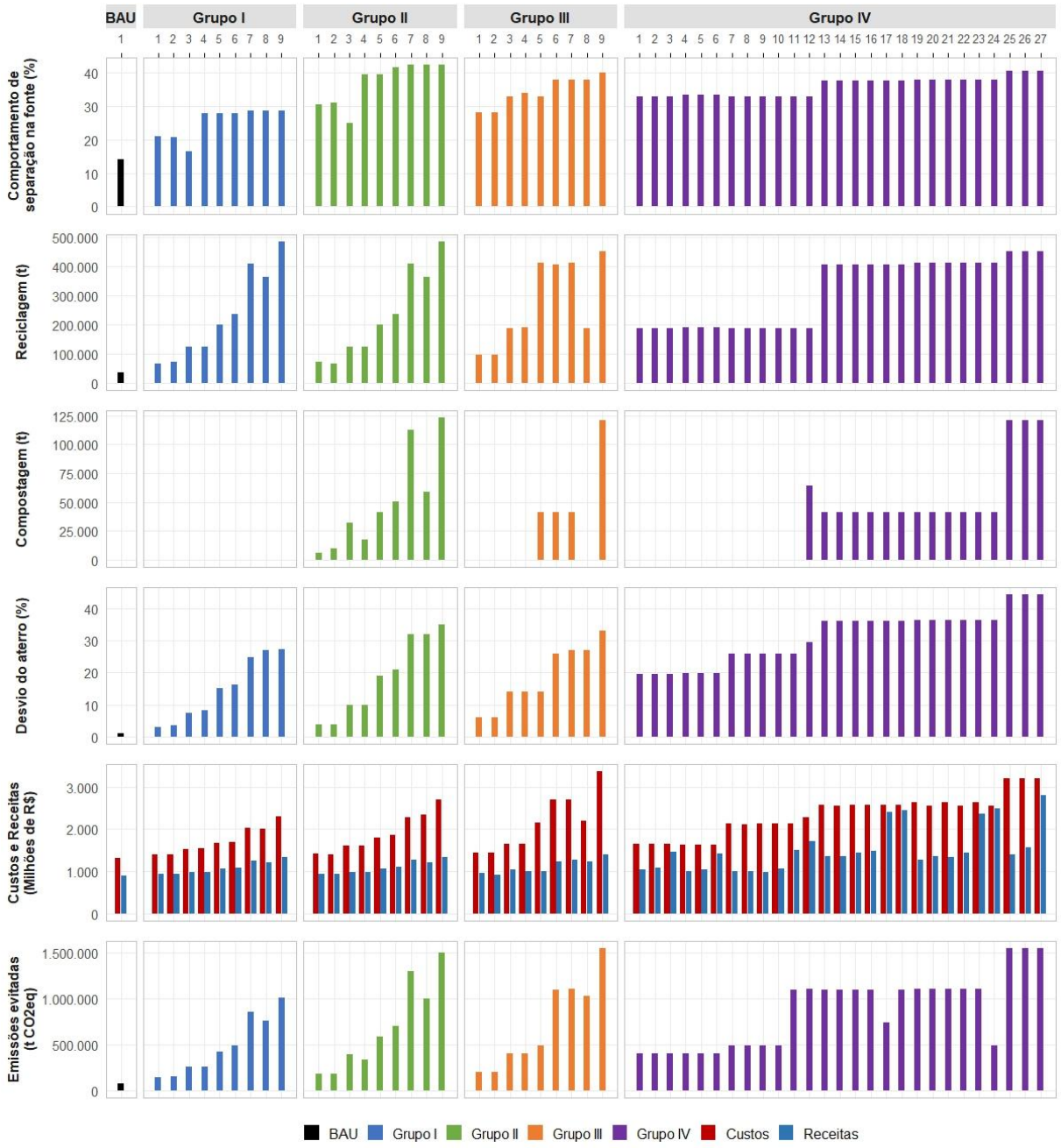


Fonte: Autoria própria. Nota: CC: créditos de carbono; IE: instrumentos econômicos; OC: otimização da coleta seletiva; CS: coleta seletiva; VR: valorização dos resíduos; EA: educação ambiental; CDR: combustível derivado de resíduos; PP: coleta seletiva porta a porta; PO: coleta seletiva por ponto.

A elevada importância atribuída às receitas provenientes da comercialização de créditos de carbono é consistente com os resultados do ranqueamento TOPSIS e da análise financeira, uma vez que essa variável exerceu a maior influência sobre o desempenho multicritério dos cenários avaliados. Ao longo dos cenários modelados, os custos acumulados de gestão variaram de aproximadamente R$ 1,39 bilhão a R$ 3,36 bilhões, enquanto as receitas acumuladas oscilaram entre aproximadamente R$ 928,8 milhões e R$ 2,79 bilhões, em comparação ao cenário BAU, que apresentou custos acumulados de R$ 1,32 bilhão e receitas acumuladas de R$ 901,8 milhões (Figura 37). Esse resultado é consistente com os estudos de Galavote et al. (2024b, 2023b), Fernando e Aramaki (2026) e Abu-Qdais, Shatnawi e Al-Shahrabi (2023), que destacam o papel dos mercados de carbono no fortalecimento do desempenho econômico dos sistemas de gestão de resíduos. Paralelamente, as emissões evitadas acumuladas aumentaram

de aproximadamente 76 mil toneladas de CO_2eq no cenário BAU para valores entre aproximadamente 141 mil e 1,547 milhão de toneladas de CO_2eq nos cenários avaliados.

Figura 37 - Desempenho comparativo dos indicadores de gestão do RDO para o cenário BAU e os cenários avaliados.



As taxas de disposição em aterro, identificadas pela análise de Random Forest como a segunda variável mais influente, contribuíram principalmente para o aumento do desvio de resíduos dos aterros sanitários. As taxas de desvio variaram de aproximadamente 3% a 44% entre os cenários avaliados, representando uma melhoria expressiva em relação ao valor de aproximadamente 1% do cenário BAU, sendo que os cenários mais avançados se aproximaram

dos níveis reportados em experiências internacionais (GALAVOTE *et al.*, 2024a; HEZARDASTAN; SHMELEV, 2025). Embora os sistemas de recompensa também tenham apresentado elevada importância relativa, seus efeitos estiveram mais associados aos resultados financeiros do que a mudanças substanciais no comportamento de separação na fonte, como observado na Figura 37. O aumento das taxas de separação, de aproximadamente 14% no cenário BAU para valores entre 17% e 42% nos cenários avaliados, esteve principalmente associado às estratégias de educação ambiental e de expansão da coleta seletiva.

As estratégias de reequilíbrio entre custos e receitas, representadas pela otimização operacional dos sistemas de coleta seletiva e pela valorização dos resíduos, também contribuíram significativamente para o desempenho dos cenários. A otimização operacional reduziu os déficits financeiros acumulados em aproximadamente 10%, enquanto a valorização dos resíduos aumentou as receitas acumuladas entre 9% e 22%. Esses ganhos estiveram diretamente associados ao aumento da recuperação de materiais e compostagem: a coleta de recicláveis aumentou de aproximadamente 38 mil toneladas no cenário BAU para até 486 mil toneladas nos cenários mais intensivos, enquanto a compostagem, inexistente no cenário BAU, alcançou aproximadamente 123 mil toneladas nos cenários que incluíram a coleta seletiva da fração verde.

Os impactos estruturais observados ao longo do processo de modelagem reforçam ainda mais o potencial das políticas públicas integradas para promover a economia circular. Nos cenários mais avançados, o desvio de resíduos dos aterros atingiu aproximadamente 44%, correspondendo a uma redução de cerca de 620 mil toneladas de resíduos destinados à disposição final em relação ao cenário BAU e a um aumento potencial de 34% na vida útil do aterro sanitário. Resultados semelhantes foram relatados por Abu Hajar et al. (2026), que observaram reduções progressivas nas emissões acumuladas de gases de efeito estufa e melhorias no desempenho ambiental em cenários caracterizados por maiores taxas de recuperação de resíduos.

Contudo, os resultados demonstram que a sustentabilidade financeira plena do sistema permanece limitada sem mecanismos complementares de financiamento. Nesse contexto, os achados reforçam que o avanço da EC no manejo de RDO depende da integração entre instrumentos educativos, econômicos, operacionais e tecnológicos. Embora essa transição demande investimentos adicionais, os benefícios associados à redução do aterramento, à valorização dos resíduos e à mitigação das emissões de GEE podem compensar parte desses custos ao longo do tempo.

4.4.2 Implicações e recomendações para políticas públicas

Os resultados desta pesquisa demonstram que políticas públicas isoladas tendem a apresentar efeitos limitados sobre a sustentabilidade dos sistemas de manejo de RDO. Nesse contexto, a integração entre educação ambiental, ampliação da coleta seletiva, instrumentos econômicos e estratégias de valorização dos resíduos mostrou-se fundamental para aumentar as taxas de reciclagem, reduzir a disposição em aterro sanitário e ampliar a circularidade dos materiais.

Entretanto, os resultados também evidenciam que cenários com maior desempenho ambiental demandam maiores investimentos financeiros e operacionais. Assim, recomenda-se a adoção gradual das políticas públicas, priorizando inicialmente cenários intermediários, que apresentaram melhor equilíbrio entre ganhos ambientais, recuperação de custos e viabilidade operacional. Essa estratégia pode ser particularmente relevante para municípios de países em desenvolvimento, frequentemente marcados por limitações técnicas, operacionais e orçamentárias, conforme também observado por Galavote et al. (2024c) e Sena et al. (2023).

Outro fator importante refere-se à educação ambiental, reconhecida por sua contribuição para o aumento da separação do RDO na fonte. Os resultados indicam que modalidades baseadas em mídias (televisão, rádio, redes sociais e conteúdo online) e ações individualizadas exercem menor pressão sobre os custos do sistema quando comparadas à modalidade coletiva, baseada em workshops, palestras, eventos e atividades escolares, com também mencionado por Campos et al. (2025), Castro e De Marco (2026), Goel et al. (2023) e Kireitseva et al. (2025). Entretanto, o aumento do comportamento de separação não se converte automaticamente em reciclagem efetiva, evidenciando que campanhas educativas precisam ser acompanhadas da ampliação da coleta seletiva e da melhoria da eficiência operacional do sistema.

Os resultados também demonstram que a otimização operacional da coleta seletiva representa uma estratégia relevante para reduzir parcialmente os déficits financeiros, mesmo em cenários de elevada intensidade de intervenção. Nesse contexto, recomenda-se que os gestores invistam em melhorias operacionais, visando aumentar a sustentabilidade financeira do sistema sem comprometer os resultados ambientais. Os custos da coleta seletiva porta a porta pode ser reduzidos em até 30% por meio da otimização de rotas, frequência de coleta, capacidade dos caminhões e compartimentação da frota (BLAZQUEZ; PAREDES-BELMAR, 2020; DEGLI ESPOSTI; MAGRINI; BONOLI, 2023; ZBIB; WØHLK, 2019). Já sistemas baseados em pontos de entrega podem alcançar reduções de até 48% com otimização de rotas, múltiplas viagens por turno e incorporação de tecnologias, aumentando a utilização da frota e

reduzindo deslocamentos desnecessários (LAKHOUIT, 2025; SHERIFF *et al.*, 2017; VENES *et al.*, 2023).

Em relação aos instrumentos econômicos, os sistemas de recompensa pela entrega de resíduos e as taxas de aterro apresentaram potencial para ampliar a valorização dos resíduos, reduzir a dependência de aterros sanitários e estimular alternativas como compostagem e recuperação energética. Entretanto, esses mecanismos também aumentaram os custos operacionais do sistema, especialmente nos cenários de maior abrangência. Assim, recomenda-se que os instrumentos econômicos sejam implementados de forma gradual, priorizando inicialmente regiões com maior predisposição à aceitação de políticas de cobrança e recompensa.

No caso específico do sistema PAYT, os resultados indicam viabilidade financeira apenas em cenários com valores mais elevados de cobrança e substituição progressiva do modelo tradicional de financiamento. Nesse contexto, projetos-piloto podem ser direcionados preferencialmente a áreas com maior poder aquisitivo e população mais jovem, enquanto sistemas de recompensa podem ser priorizados em regiões de menor renda, onde os incentivos financeiros tendem a apresentar maior potencial de adesão, conforme observado por Galavote et al. (2026). Além disso, recomenda-se cautela na implementação do sistema PAYT, uma vez que este se mostrou viável apenas em cenários com valores superiores a R$ 600,00 t^{-1} e substituição integral do modelo atual ao longo dos próximos 20 anos.

Outra recomendação refere-se à diversificação das fontes de receita do manejo de resíduos domiciliares, incluindo a comercialização de recicláveis secos, composto orgânico e CDR. Embora essas estratégias não promovam equilíbrio financeiro de forma isolada, contribuem para ampliar a recuperação de custos do sistema. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de fortalecimento das cadeias de comercialização de materiais valorizáveis e da ampliação dos mercados associados aos produtos oriundos do manejo de resíduos. Além disso, a atração de indústrias vinculadas ao setor pode contribuir para reduzir custos logísticos e fortalecer a cadeia de valorização, mediante incentivos econômicos, como isenções fiscais, subsídios e linhas de crédito (BAENA-MORENO *et al.*, 2020; GALAVOTE *et al.*, 2024b; LAOHALIDANOND; KERDSUWAN, 2021).

Destaca-se ainda o potencial da inserção no mercado de créditos de carbono como mecanismo de reequilíbrio financeiro do sistema. Esse resultado é consistente com a análise de importância relativa, que identificou as receitas de carbono como a variável de maior importância para o desempenho multicritério dos cenários. Diferentemente das demais políticas avaliadas, a comercialização de créditos de carbono reduziu significativamente os déficits

financeiros, aproximando alguns cenários do equilíbrio financeiro e, em alguns casos, gerando superávit. Nesse contexto, o mercado de carbono pode compensar parte dos custos associados à adoção de medidas mais robustas de educação ambiental, ampliação da coleta seletiva e sistemas de recompensa, que tendem a elevar os custos do manejo do RDO.

Contudo, apesar da elevada valorização atual, o mercado de carbono está sujeito a oscilações econômicas e regulatórias, já tendo apresentado períodos de baixa valorização e instabilidade (GALAVOTE *et al.*, 2023b; INVESTING, 2026). Assim, recomenda-se cautela na dependência exclusiva dessa fonte de receita, bem como a busca por outros mecanismos nacionais de incentivo à sustentabilidade ambiental e à redução das emissões de gases de efeito estufa (WORLD BANK, 2022; YU et al., 2022). Nesse contexto, destaca-se a criação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa, mercado regulado de carbono brasileiro voltado à mitigação das emissões de gases de efeito estufa e ao estímulo à transição para uma economia de baixo carbono (BRASIL, 2024).

Apesar do potencial das estratégias e recomendações apresentadas, sua implementação ainda enfrenta importantes desafios institucionais, financeiros e operacionais, especialmente em países em desenvolvimento. No Brasil, mudanças de governo, descontinuidade administrativa e baixa priorização da gestão de resíduos sólidos podem comprometer a continuidade das políticas públicas e a articulação entre os atores envolvidos no sistema (BESEN *et al.*, 2025; CETRULO *et al.*, 2018). Além disso, os elevados custos das estratégias mais intensivas e a persistência de déficits financeiros representam limitações relevantes para sua implementação em larga escala, sobretudo diante da dependência de receitas sujeitas a instabilidades econômicas, como os créditos de carbono.

Também se destacam limitações operacionais e técnicas, como baixa cobertura da coleta seletiva, deficiência de infraestrutura de triagem, transporte e tratamento, além de perdas ao longo da cadeia entre separação e reciclagem efetiva. A implementação de instrumentos mais complexos, como sistemas PAYT, pode ainda ser dificultada pela limitada capacidade técnica dos municípios, carência de dados e monitoramento (GALAVOTE *et al.*, 2024c; SENA *et al.*, 2023).

Por fim, barreiras sociais, como a baixa adesão da população à separação na fonte e a resistência à cobrança pelos serviços de manejo, podem limitar a efetividade das políticas propostas. Nesse contexto, o fortalecimento institucional, o planejamento de longo prazo, a capacitação técnica e a ampliação das ações de educação ambiental tornam-se elementos essenciais para a consolidação de sistemas mais sustentáveis de manejo de RDO.

4.4.3 Limitações do estudo

A presente pesquisa apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Inicialmente, não foi avaliado o efeito individual das diferentes modalidades de educação ambiental (coletiva, individual e por mídias) sobre o comportamento de separação de RDO na fonte, limitando a identificação da efetividade relativa de cada estratégia. A literatura aponta resultados heterogêneos entre as abordagens educativas, sem consenso quanto à estratégia mais efetiva (GALAVOTE *et al.*, 2024a; MÜLLER *et al.*, 2021; PICKERING *et al.*, 2020).

Além disso, a análise concentrou-se no manejo de RDO, sem contemplar outros fluxos relevantes dos RSU, como resíduos de limpeza urbana e comerciais, nem receitas associadas a grandes geradores, fatores que podem influenciar a gestão financeira do sistema (GALAVOTE *et al.*, 2024a; MAALOUF; AGAMUTHU, 2023; ZHANG; MU; LIU, 2022). Também não foram incorporadas incertezas de longo prazo, como mudanças demográficas, variações na geração per capita e alterações nos padrões de consumo, que afetam diretamente a quantidade e a composição dos resíduos (BABAZADEH *et al.*, 2018; GALAVOTE *et al.*, 2024b).

A modelagem também não considerou limitações logísticas e operacionais, como rotas de coleta, distâncias até unidades de tratamento, capacidade instalada e restrições da infraestrutura existente. Essas operações são complexas e dispendiosas, competindo por recursos com outras prioridades públicas (ADEDARA *et al.*, 2025; CHAVES *et al.*, 2021).

Na dimensão financeira, não foram considerados subsídios, incentivos fiscais, externalidades ambientais e sociais, nem a dinâmica temporal das políticas públicas, incluindo a descontinuidade de incentivos ao longo do tempo (GALAVOTE *et al.*, 2024b, 2024c). Além disso, as avaliações financeiras não incorporaram taxas de juros ou de desconto para considerar o valor do dinheiro no tempo. Também não foram incorporados impactos relacionados às emissões de gases de efeito estufa, geração de empregos e inclusão de catadores de materiais recicláveis (HEZARDASTAN; SHMELEV, 2025; SIMAN *et al.*, 2020).

Além disso, não foram consideradas barreiras institucionais e de governança, como descontinuidade administrativa, limitações técnicas e restrições orçamentárias, que afetam a implementação das estratégias e o desempenho do sistema. A literatura destaca que a limitada capacidade institucional e a escassez de recursos comprometem a efetividade das políticas públicas, especialmente no nível local (ADEDARA *et al.*, 2025; BESEN *et al.*, 2025; CHAVES; SIMAN; CHANG, 2021).

Por fim, os pesos utilizados na análise multicritério TOPSIS foram definidos com base em evidências consolidadas da literatura especializada (AFRANE *et al.*, 2022; COSTAS *et al.*,

2026; OMRAN *et al.*, 2022; YI *et al.*, 2024) e não por meio de um procedimento formal de elicitação, sendo importante a aplicação do *Analytic Hierarchy Process (AHP)* para a definição mais robusta desses pesos.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa avaliou os efeitos de diferentes políticas públicas voltadas à separação de resíduos domiciliares na fonte sobre o comportamento da população, as taxas de reciclagem e a sustentabilidade financeira do manejo de resíduos sólidos urbanos. Para isso, foi desenvolvido um modelo integrado de dinâmica de sistemas aplicado ao município de Vitória, incorporando modelagem de equações estruturais baseada na TCP, simulação de cenários e análise multicritério. A abordagem permitiu analisar, de forma sistêmica e temporal, as interações entre instrumentos educativos, econômicos, operacionais e tecnológicos aplicados ao manejo do RDO.

Os resultados demonstraram que a integração entre educação ambiental e expansão da coleta seletiva elevou significativamente o comportamento de separação na fonte, as taxas de reciclagem e compostagem, reduziu a dependência de aterros sanitários e ampliou a vida útil do sistema de disposição final. A introdução de instrumentos econômicos, especialmente taxas de aterro, intensificou a recuperação energética e a valorização dos resíduos, enquanto estratégias de reequilíbrio financeiro, como otimização operacional, valorização de materiais e comercialização de créditos de carbono, apresentaram importante potencial de redução dos déficits financeiros do sistema. Contudo, os cenários ambientalmente mais eficientes também apresentaram os maiores custos operacionais, evidenciando importantes trade-offs entre desempenho ambiental e sustentabilidade financeira. Em contrapartida, os cenários intermediários apresentaram maior equilíbrio entre desempenho ambiental, operacional e viabilidade financeira, destacando-se como alternativas mais compatíveis com contextos marcados por restrições financeiras e institucionais.

A análise multicritério e a modelagem por Random Forest evidenciaram que os melhores desempenhos foram alcançados por cenários que combinaram recuperação de materiais, redução do aterramento e mecanismos de geração de receitas, especialmente créditos de carbono, valorização dos resíduos e instrumentos econômicos. Esses resultados reforçam que não existe uma única trajetória para melhoria do sistema, uma vez que cenários intermediários também apresentaram desempenho competitivo, configurando alternativas mais acessíveis para municípios com menor capacidade de investimento.

Do ponto de vista científico, o estudo contribui para a literatura ao integrar comportamento ambiental, dinâmica de sistemas, políticas públicas e sustentabilidade financeira em um único modelo analítico, preenchendo lacunas relacionadas à avaliação integrada de sistemas de manejo de RSU em países em desenvolvimento. Para gestores e tomadores de decisão, os resultados fornecem suporte técnico à formulação de políticas mais eficientes, permitindo identificar combinações de estratégias capazes de ampliar a circularidade dos materiais, reduzir emissões de gases de efeito estufa e melhorar o equilíbrio financeiro dos sistemas de manejo.

Pesquisas futuras podem aprofundar a análise da efetividade das diferentes modalidades de educação ambiental sobre o comportamento de separação na fonte. Recomenda-se também ampliar a modelagem para outros fluxos de resíduos sólidos urbanos, incorporando receitas de grandes geradores e incertezas de longo prazo relacionadas às mudanças demográficas e aos padrões de consumo. Adicionalmente, sugere-se incorporar aspectos logísticos e operacionais, como rotas de coleta, capacidade instalada e restrições de infraestrutura.

Além disso, deve-se incluir variáveis econômicas e institucionais adicionais, como subsídios, incentivos fiscais, volatilidade das políticas públicas, externalidades ambientais e sociais, capacidade técnica e restrições orçamentárias. Nas avaliações financeiras, recomenda-se ainda considerar taxas de juros ou de desconto, de modo a incorporar o valor temporal dos fluxos financeiros e aprimorar a análise da viabilidade econômica das estratégias avaliadas. Essas variáveis permitem compreender de forma mais abrangente os fatores que condicionam a sustentabilidade e a efetividade das políticas públicas de manejo de resíduos sólidos urbanos. Também merecem atenção os *trade-offs* associados à transição para sistemas mais circulares. Por fim, recomenda-se ainda a aplicação de métodos formais de elicitação, como o *Analytic Hierarchy Process (AHP),* para a definição dos pesos utilizados no método TOPSIS na priorização multicritério dos cenários.

5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo principal integrar abordagens comportamentais e de modelagem para subsidiar o planejamento de políticas públicas voltadas ao aumento da separação de RDO na fonte e ao aprimoramento da sustentabilidade ambiental e financeira dos sistemas de manejo de RSU. Para isso, a pesquisa foi estruturada em três estudos complementares, desenvolvidos de forma sequencial, que permitiram: (i) compreender os fatores associados ao comportamento de separação dos resíduos; (ii) avaliar a aceitação da população em relação a diferentes instrumentos de gestão; e (iii) analisar, por meio da modelagem de Dinâmica de Sistemas, os efeitos da implementação dessas estratégias sobre o desempenho dos sistemas de manejo do RDO.

Os resultados integrados dos estudos revelam evidências complementares e convergentes. O primeiro estudo demonstrou que a atitude e o controle comportamental percebido constituem os principais determinantes do comportamento de separação dos resíduos, enquanto as normas subjetivas não exercem influência significativa sobre a separação do RDO. Além disso, evidenciou que a efetividade dos incentivos varia conforme a faixa geracional e a renda da população. O segundo estudo corroborou esses resultados ao mostrar que, embora 98% dos moradores reconheçam a importância da separação do RDO, apenas 36% realizam essa prática, indicando que o principal obstáculo não está na conscientização ambiental, mas na insuficiência de infraestrutura e de informações sobre a coleta seletiva. Os resultados também demonstraram que incentivos financeiros apresentam maior aceitação do que instrumentos punitivos e que os pontos de entrega são preferidos em relação à coleta seletiva porta a porta. Por sua vez, o terceiro estudo avaliou sistemicamente essas evidências por meio da Dinâmica de Sistemas, demonstrando que a combinação entre educação ambiental, expansão da coleta seletiva e instrumentos econômicos produz os melhores resultados em termos de recuperação de materiais, redução da disposição em aterros sanitários e sustentabilidade financeira.

A convergência dos resultados obtidos evidencia que a efetividade das políticas públicas voltadas à gestão do RDO não depende exclusivamente da disponibilidade de infraestrutura ou da adoção de instrumentos regulatórios. Os três estudos demonstram que seu desempenho resulta da interação entre o comportamento da população, as preferências em relação aos diferentes instrumentos de gestão e a forma como essas estratégias são planejadas e implementadas. Dessa forma, políticas públicas que desconsideram essas interações tendem a apresentar resultados inferiores àquelas que combinam, de forma coordenada, educação ambiental, expansão da infraestrutura, instrumentos econômicos e outras estratégias compatíveis com as características da população.

Sob a perspectiva científica, esta tese contribui para a literatura ao integrar, de forma sequencial, diferentes abordagens metodológicas em uma única estrutura analítica, combinando Modelagem de Equações Estruturais, análise espacial, análise de agrupamentos, Dinâmica de Sistemas, análise multicritério (TOPSIS) e aprendizado de máquina (Random Forest). Essa integração amplia as possibilidades de investigação sobre sistemas complexos de gestão de RSU e fornece uma abordagem metodológica passível de aplicação em diversos estudos. Sob a perspectiva prática, a pesquisa oferece aos gestores de resíduos sólidos um framework capaz de apoiar o planejamento, a implementação e a avaliação de políticas públicas, permitindo analisar, de forma integrada, seus efeitos comportamentais, operacionais, ambientais e econômicos.

Em síntese, esta tese demonstra que a transição para sistemas mais sustentáveis de gestão de RSU depende da integração entre comportamento humano, instrumentos de políticas públicas e planejamento sistêmico. Espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam para o avanço do conhecimento científico sobre a gestão de RSU. Adicionalmente, espera-se que apoiem gestores públicos na formulação de políticas mais eficientes, adaptadas às diferentes realidades locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A/B LAB. **Veja quanto investir no YouTube ADS e dicas de como anunciar**. Disponível em: <https://ablab.com.br/blog/veja-quanto-investir-no-youtube-ads-e-dicas-de-como-anunciar/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

ABDALLAH, M.; ELFEKY, A. Impact of waste processing byproducts on the carbon footprint of integrated waste-to-energy strategies. **Journal of Environmental Management**, v. 280, p. 111839, 15 fev. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720317643?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

ABDALLAH, M.; HAMDAN, S.; SHABIB, A. A multi-objective optimization model for strategic waste management master plans. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, p. 124714, 15 fev. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620347582?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

ABDEL-SHAFY, H. I.; MANSOUR, M. S. M. Municipal solid waste composition and efficiency of separate collection: A case study in Italy. **Cleaner Waste Systems**, v. 11, n. 4, p. 100272, 1 jun. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>. Acesso em: 21 mar. 2026.

ABEP, A. B. de E. de P. **Critério Brasil - 2024**. Disponível em: <https://abep.org/criterio-brasil/>. Acesso em: 24 out. 2024.

ABU HAJAR, H. A.; MUSTAFA, Z. H.; ALAMAREN, A. A.; JAWABREH, A. A.; SLEHAT, B. A.; ALKHAWALDEH, B. O.; ALRAHAMNEH, R. A. Towards a Circular Economy Scheme in Jordan: Environmental and Socio-Economic Appraisal of Municipal Solid Waste Recycling Pathways. **Sustainability 2026, Vol. 18, Page 1230**, v. 18, n. 3, p. 1230, 26 jan. 2026. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/18/3/1230/htm>. Acesso em: 18 maio. 2026.

ABU-QDAIS, H. A.; SHATNAWI, N.; AL-SHAHRABI, R. Modeling the Impact of Fees and Circular Economy Options on the Financial Sustainability of the Solid Waste Management System in Jordan. **Resources 2023, Vol. 12,** v. 12, n. 3, 21 fev. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9276/12/3/32>. Acesso em: 23 jan. 2026.

AD DISTRIBUIÇÃO. **Qual o preço da panfletagem?** Disponível em: <https://alvodistribuicao.com.br/panfletagem-preco/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

ADEDARA, M. L.; TAIWO, R.; AYELERU, O. O.; BORK, H. R. Evaluating Recycling Initiatives for Landfill Diversion in Developing Economies Using Integrated Machine Learning Techniques. **Recycling 2025, Vol. 10,** v. 10, n. 3, 18 maio 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-4321/10/3/100>. Acesso em: 14 mar. 2026.

AFRANE, S.; AMPAH, J. D.; AGYEKUM, E. B.; AMOH, P. O.; YUSUF, A. A.; FATTAH, I. M. R.; AGBOZO, E.; ELGAMLI, E.; SHOURAN, M.; MAO, G.; KAMEL, S. Integrated

AHP-TOPSIS under a Fuzzy Environment for the Selection of Waste-To-Energy Technologies in Ghana: A Performance Analysis and Socio-Enviro-Economic Feasibility Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health 2022, Vol. 19, Page 8428**, v. 19, n. 14, p. 8428, 10 jul. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/14/8428/htm>. Acesso em: 18 maio. 2026.

AJZEN, I. Theory of Planned Behaviour. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 50, p. 179–211, 1991.

AJZEN, I. Factors related to recycling plastic packaging in Finland's new waste management scheme. **Waste Management**, v. 131, n. 2, p. 88–97, 15 jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-t>. Acesso em: 21 mar. 2026.

ALAM, P.; SHARHOLY, M.; KHAN, A. H.; AHMAD, K.; ALOMAYRI, T.; RADWAN, N.; AZIZ, A. Energy generation and revenue potential from municipal solid waste using system dynamic approach. **Chemosphere**, v. 299, n. March, p. 134351, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134351>.

ALAM, S. S.; HAQUE, I. M. M. S.; KOKASH, H. A.; AHMED, S.; AHSAN, M. N. Drivers of Waste Separation Behavior in Urban Bangladesh: Leveraging Social Norms and Environmental Awareness for Circular Economy Success. **Circular Economy and Sustainability 2025 5:3**, v. 5, n. 3, p. 1631–1663, 3 mar. 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43615-025-00526-2>. Acesso em: 6 jul. 2026.

ALHAJ ALI, S.; KAWAF, L.; MASADEH, I.; SAFFARINI, Z.; ABDULLAH, R.; BARQAWI, H. Predictors of recycling behavior: a survey-based study in the city of Sharjah, United Arab Emirates. **Journal of Health Research**, v. 36, n. 3, p. 552–560, 27 abr. 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1108/JHR-09-2020-0431>. Acesso em: 2 nov. 2025.

ALHASSAN, H.; KWAKWA, P. A.; OWUSU-SEKYERE, E. Households' source separation behaviour and solid waste disposal options in Ghana's Millennium City. **Journal of Environmental Management**, v. 259, p. 110055, 1 abr. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719317736>. Acesso em: 2 nov. 2025.

ALIANÇA DISTRIBUIÇÃO. **Panfletagem: o que é, tipos, vantagens e valores pelo serviço**. Disponível em: <https://aliancadistribuicao.com.br/panfletagem/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

ALIBARDI, L.; ASTRUP, T. F.; ASUNIS, F.; CLARKE, W. P.; DE GIOANNIS, G.; DESSÌ, P.; LENS, P. N. L.; LAVAGNOLO, M. C.; LOMBARDI, L.; MUNTONI, A.; PIVATO, A.; POLETTINI, A.; POMI, R.; ROSSI, A.; SPAGNI, A.; SPIGA, D. Environmental performance of management scenarios for urban bio-waste: A German case study on the role of sources and pathways. **Waste Management**, v. 205, p. 114974, 1 ago. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.010>. Acesso em: 21 mar. 2026.

ALIMORADIYAN, H.; HAJINEZHAD, A.; YOUSEFI, H.; GIAMPIETRO, M. Fostering community participation in sustainable municipal solid waste management at multiple scales in Tehran, Iran. **Results in Engineering**, v. 22, p. 102174, 1 jun. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123024004286>. Acesso em: 6 jul. 2026.

ALQARALEH, L.; ABU HAJAR, H. A.; MATARNEH, S. Multi-criteria sustainability assessment of solid waste management in Jordan. **Journal of Environmental Management**, v. 366, p. 121929, 1 ago. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479724019157?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

ALSABT, R.; ALKHALDI, W.; ADENLE, Y. A.; ALSHUWAIKHAT, H. M. Optimizing waste management strategies through artificial intelligence and machine learning - An economic and environmental impact study. **Cleaner Waste Systems**, v. 8, p. 100158, 1 ago. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772912524000307>. Acesso em: 6 jun. 2026.

ALSHAIKH, R.; ABDELFATAH, A. Optimization Techniques in Municipal Solid Waste Management: A Systematic Review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 16, n. 15, p. 6585, 1 ago. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/15/6585/htm>. Acesso em: 6 jul. 2026.

ALSULAILI, A.; ALI, O.; ALENEZI, N.; AL-DABBOUS, A. N. Selection of municipal solid waste disposal technology using the Analytic Hierarchy Process and Genetic Algorithm for Gulf Cooperation Council Countries. **Journal of Engineering Research**, v. 13, n. 2, p. 865–873, 1 jun. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S230718772400083X?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

ALVES, G. F. V. e; LOURENÇO, A. F.; CONDE, A. L. F. M.; QUINTAES, B. R.; OROSKI, F. de A. Análise preliminar da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares do Rio de Janeiro: Resíduos orgânicos. Desperdício alimentar. Gravimetria. **Scientific Journal ANAP**, v. 1, n. 4, 22 jul. 2023. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/3986>. Acesso em: 1 nov. 2024.

ALVES, R. B.; GALAVOTE, T.; SIMAN, R. R.; YAMANE, L. Potencial de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos para sistemas térmicos no Brasil. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 17, p. e20230415, 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/ktVsrgPSCc3KjRN3rH7q3Vt/?lang=pt>. Acesso em: 6 set. 2025.

ALVI, S.; HOANG, V. N.; NAEEM NAWAZ, S. M. Convenience orientation, environmental concerns and resource conservation behaviours. **Environmental Development**, v. 52, p. 101076, 1 dez. 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464524001143>. Acesso em: 2 ago. 2025.

ALZAMORA, B. R.; BARROS, R. T. de V. Review of municipal waste management charging methods in different countries. **Waste Management**, v. 115, p. 47–55, 2020.

ANDRADE, A. A.; BRAGA, R. M. Q. L.; FERNANDES, L. L.; GOMES, R. R. K. de A. Evaluation of recyclable waste management of a waste pickers' association in Belém, Brazil. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management**, v. 173, n. 2, p. 28–39, 2020.

AO, Y.; ZHU, H.; WANG, Y.; ZHANG, J.; CHANG, Y. Identifying the driving factors of rural residents' household waste classification behavior: Evidence from Sichuan, China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 180, n. November 2021, p. 106159, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106159>.

ARAÇATUBA. **Descarte irregular de lixo custa R$ 2,9 milhões anuais à Prefeitura de Araçatuba**. Disponível em: <https://www.rp10.com.br/2025/02/descarte-irregular-de-lixo-custa-r-29-milhoes-anuais-a-prefeitura-de-aracatuba/>. Acesso em: 23 jan. 2026.

ARCELORMITTAL. **Programa de Educação Ambiental para Sustentabilidade**. Disponível em: <https://qas-brasil.arcelormittal.com.br/sustentabilidade/meio-ambiente/arcelormittal-tubarao/programa-educacao-ambiental>. Acesso em: 7 jun. 2025.

ARKORFUL, V. E.; LUGU, B. K.; SHULIANG, Z. Unearthing mask waste separation behavior in COVID-19 pandemic period: An empirical evidence from Ghana using an integrated theory of planned behavior and norm activation model. **Current Psychology**, v. 42, n. 10, p. 8515–8530, 1 abr. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12144-021-02313-2>. Acesso em: 12 fev. 2025.

ARYAN, Y.; KUMAR, A.; SUBHAM; SAMADDER, S. R. Environmental and economic assessment of waste collection and transportation using LCA: A case study. **Environmental Research**, v. 231, p. 116108, 15 ago. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935123009003?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

ASIH, A. M. S.; PRASETYO, D. H.; SOPHA, B. M. Household recycling behavior and community-based waste management: An agent-based modeling of socioeconomic heterogeneity in urban Indonesia. **Journal of Environmental Management**, v. 399, p. 128658, 1 fev. 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X231199>. Acesso em: 12 fev. 2026.

AVDIUSHCHENKO, A.; MEINRENKEN, C. J. Circular economy concepts for accelerating sustainable urban transformation: The case of New York City. **Cities**, v. 166, p. 106223, 1 nov. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275125005244#s0120>. Acesso em: 7 set. 2025.

AWAN, T. M.; ZHANG, X.; ZHOU, Y.; ZHOU, Z. Does media usage affect pro-environmental attitudes and behaviors? Evidence from China. **International Review of Economics & Finance**, v. 82, p. 307–317, 1 nov. 2022. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1059056022001824?via%3Dihub>. Acesso em: 2 ago. 2025.

BABAZADEH, T.; NADRIAN, H.; MOSAFERI, M.; ALLAHVERDIPOUR, H. Identifying Challenges and Barriers to Participating in the Source Separation of Waste Program in Tabriz, Northwest of Iran: A Qualitative Study from the Citizens' Perspective. **Resources**, v. 7, n. 3, p. 53, 2018.

BABAZADEH, T.; RANJBARAN, S.; KOUZEKANANI, K.; ABEDI NERBIN, S.; HEIZOMI, H.; RAMAZANI, M. E. Determinants of waste separation behavior Tabriz, Iran: An application of the theory of planned behavior at health center. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, p. 985095, 10 mar. 2023. . Acesso em: 12 fev. 2025.

BAENA-MORENO, F. M.; MALICO, I.; RODRÍGUEZ-GALÁN, M.; SERRANO, A.; FERMOSO, F. G.; NAVARRETE, B. The importance of governmental incentives for small biomethane plants in South Spain. **Energy**, v. 206, p. 118158, 1 set. 2020. . Acesso em: 28 jun. 2021.

BAI, R.; LIN, B. Are residents willing to pay for garbage recycling: Evidence from a survey in Chinese first-tier cities. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 95, p. 106789, 1 jul. 2022. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0195925522000555?via%3Dihub#s0030>. Acesso em: 5 maio. 2025.

BANCO DE PALESTRANTES. **Palestras, Palestrantes, Workshops E Mestres De Cerimonia**. Disponível em: <https://bancodepalestrantes.com/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

BANERJEE, S.; SARKHEL, P. Municipal solid waste management, household and local government participation: a cross country analysis. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 63, n. 2, p. 210–235, 2020.

BARDUS, M.; MASSOUD, M. A. Predicting the Intention to Sort Waste at Home in Rural Communities in Lebanon: An Application of the Theory of Planned Behaviour. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 15, 2022.

BAZRBACHI, A.; SIDIQUE, S. F.; ADAM, S. U.; ISMAIL, N. W. bt; SHENG, T. Y. Assessing the Measurement Model for Source-Separating Waste for Recycling under a Proposed Smart Waste Management Scheme in Shah Alam, Malaysia. **Recycling 2023, Vol. 8, Page 58**, v. 8, n. 4, p. 58, 7 jul. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-4321/8/4/58/htm>. Acesso em: 6 jun. 2024.

BELÉM. **Descarte irregular de lixo e entulho custa mais de 24 milhões à prefeitura – Agência Belém**. Disponível em: <https://agencia.belem.pa.gov.br/descarte-irregular-de-lixo-e-entulho-custa-mais-de-24-milhoes-a-prefeitura/>. Acesso em: 23 jan. 2026.

BERARDOCCO, C.; DELAWTER, H.; PUTZU, T.; WOLFE, L. C.; ZHANG, H. Life Cycle Sustainability Assessment of Single Stream and Multi-Stream Waste Recycling Systems. **Sustainability 2022, Vol. 14,** v. 14, n. 24, 13 dez. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/24/16747>. Acesso em: 23 jan. 2026.

BERNSTAD, A. Household food waste separation behavior and the importance of convenience. **Waste Management**, v. 34, n. 7, p. 1317–1323, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.013>.

BESEN, G. R.; SILVA, C. L.; JACOBI, P. R.; DEMAJOROVIC, J.; SGUAREZI, S. B. **14 anos da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 1. ed. São Paulo: IEE - USP, 2025. v. 11–322 p.

BITIR-ISTRATE, I.; DOBRE-DOROFTEI, L. A.; MILITARU, G. Reducing Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfills via Conversion into Electricity. **Sustainability 2026, Vol. 18,** v. 18, n. 5, 6 mar. 2026. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/18/5/2619>. Acesso em: 21 mar. 2026.

BLAZQUEZ, C.; PAREDES-BELMAR, G. Network design of a household waste collection system: A case study of the commune of Renca in Santiago, Chile. **Waste Management**, v. 116, p. 179–189, 1 out. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20304050>. Acesso em: 13 mar. 2026.

BLUMENAU. **Lixo nas ruas centrais custa mais de R$ 1 milhão ao ano para o município - Prefeitura de Blumenau**. Disponível em: <https://www.blumenau.sc.gov.br/secretarias/secretaria-de-conservacao-e-manutencao-urbana/sesur/lixo-nas-ruas-centrais-custa-mais-de-r-1-milhao-ao-ano-para-o-municipio79>. Acesso em: 23 jan. 2026.

BONAN, J.; CATTANEO, C.; D'ADDA, G.; GALLIERA, A.; TAVONI, M. Social norms and tariff salience: An experimental study on household waste management. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 130, n. 5970, p. 103124, 1 mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1180775>. Acesso em: 20 mar. 2026.

BONELLI, M.; BOSIO, L.; CAVALLO, R.; GIANOLIO, U.; MARENGO, P. Waste prevention impacts on small municipalities: Three experiences from northern Italy. **Waste Management and Research**, v. 34, n. 10, p. 1014–1025, 2016.

BOTETZAGIAS, I.; KEVREKIDOU, M.; MALESIOS, C.; JONES, N. Exercising social control in PAYT (Pay-As-You-Throw) violations: The role of subjective evaluations and social capital. **Waste Management**, v. 105, p. 347–354, 15 mar. 2020. . Acesso em: 27 maio. 2023.

BRASIL. Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010: Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Imp. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>.

BRASIL. LEI Nº 15.042, 11/11/2024 - Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE); e altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), 6.385, de 7 de dezembro de 1976 (Lei da Comissão de Valores Mobiliários), e 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (Lei de Registros Públicos). 2024. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l15042.htm>. Acesso em: 8 maio. 2026.

BRASILIA. **Descarte irregular de lixo custa R$ 4 milhões por mês ao GDF e ameaça a saúde pública**. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/w/descarte-irregular-de-lixo-custa-r-4-milhoes-por-mes-ao-gdf-e-ameaca-a-saude-publica>. Acesso em: 23 jan. 2026.

BRAZIL. **LEI Nº 12.305, de 2 agos. 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fev. de 1998; e dá outras providências**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 8 mar. 2021.

BRAZIL. RESOLUÇÃO Nº 510, DE 7 DE ABRIL DE 2016: Esta Resolução dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais cujos procedimentos metodológicos envolvam a utilização de dados diretamente obtidos com os participantes ou de informações identificáveis ou que possam acarretar riscos maiores do que os existentes na vida cotidiana, na forma definida nesta Resolução. 2016. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510_07_04_2016.html>. Acesso em: 27 nov. 2022.

BRAZIL. **LEI Nº 14.026, de 15 de julho de 2020 - Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>. Acesso em: 26 fev. 2025.

BRAZIL. Decreto n° 11.043 de 13 de abril de 2022 - Aprova o Plano Nacional de Resíduos. 2022. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D11043.htm>.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, out. 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>. Acesso em: 5 jun. 2026.

BRUMATTI, D. V.; DE LORENA DINIZ CHAVES, G.; SIMAN, R. R. Barreiras que afetam a sustentabilidade financeira de sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 16, p. e20230020, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/nPFJCY786dD8r59fcMJp4Hy/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 maio. 2026.

CAI, K.; XIE, Y.; SONG, Q.; SHENG, N.; WEN, Z. Identifying the status and differences between urban and rural residents' behaviors and attitudes toward express packaging waste management in Guangdong Province, China. **Science of The Total Environment**, v. 797, p. 148996, 25 nov. 2021. . Acesso em: 4 abr. 2025.

CALDERÓN MÁRQUEZ, A. J.; SILVA DE SOUZA LIMA CANO, N.; RUTKOWSKI, E. W. Inclusion of Waste Pickers Into Municipal Waste Management Systems: A Comparison Between Colombia and Brazil. **Journal of Environment and Development**, v. 30, n. 4, p. 395–425, 1 dez. 2021. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/10704965211053425>. Acesso em: 7 mar. 2024.

CĂLIN, C.; ION, I. V.; RUSU, E.; FRĂTIŢA, M. Performance analysis of a RDF gasification and solar thermal energy based CCHP system. **Energy Reports**, v. 7, p. 186–192, 1 set. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721003991?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

CAMPOS, A. C. de; ARRUDA, V.; RODRIGUES, J. F.; ANTÔNIO, P. I.; TOMAZ, R. F.; MARIANO, K. S. A Educação Ambiental e Práticas Sustentáveis: Implantação de Ecoponto de Lixo Eletrônico na Universidade do Estado de Minas Gerais/Unidade Frutal. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 14, n. 4, p. 28–40, 19 dez. 2025. Disponível em: <https://revistas.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/7641>. Acesso em: 20 mar. 2026.

CAO, J.; QIU, H.; MORRISON, A. M.; WEI, W. The Role of Social Capital in Predicting Tourists' Waste Sorting Intentions in Rural Destinations: Extending the Theory of Planned Behavior. **International journal of environmental research and public health**, v. 19, n. 19, 1 out. 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36232090/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

CASTELLANI, P.; FERRONATO, N.; RAGAZZI, M.; TORRETTA, V. Organic waste valorization in remote islands: Analysis of economic and environmental benefits of onsite treatment options. **Waste Management and Research**, v. 41, n. 4, p. 881–893, 1 abr. 2023. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0734242X221126426&hl=pt-BR&sa=T&oi=ucasa&ct=ufr&ei=V351aa_4KMm4ieoPof3esQc&scisig=AHkA5jTD91NU4fJt2CMAc7DporNV>. Acesso em: 23 jan. 2026.

CASTRO, M. L. De; DE MARCO, R. The Eco Showboat and the river communities of Limerick: When art and science weave new territories. **CIDADES, Comunidades e Territórios**, 3 mar. 2026. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/cct/article/view/40796>. Acesso em: 20 mar. 2026.

CETRULO, T. B.; MARQUES, R. C.; CETRULO, N. M.; PINTO, F. S.; MOREIRA, R. M.; MENDIZÁBAL-CORTÉS, A. D.; MALHEIROS, T. F. Effectiveness of solid waste policies

in developing countries: A case study in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 205, p. 179–187, 2018.

CHAIYAT, N.; SUVARNABOL, C. Infectious medical waste-to-energy (IMWtE) from a novel steam sterilization and drying room heat pump system. **Sustainable Chemistry for Climate Action**, v. 7, p. 100123, 1 dez. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772826925000689?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

CHAN, L.; BISHOP, B. A moral basis for recycling: Extending the theory of planned behaviour. **Journal of Environmental Psychology**, v. 36, p. 96–102, 1 dez. 2013. . Acesso em: 20 fev. 2025.

CHAVES, G. de L. D.; SIMAN, R. R.; RIBEIRO, G. M.; CHANG, N. Bin. Synergizing environmental, social, and economic sustainability factors for refuse derived fuel use in cement industry: A case study in Espirito Santo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 288, n. February, p. 112401, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112401>.

CHAVES, G. L. D.; SANTOS, J. L. dos; ROCHA, S. M. S. The challenges for solid waste management in accordance with Agenda 21: A Brazilian case review. **Waste Management and Research**, v. 32, p. 19–31, 2014.

CHAVES, G. L. D.; SIMAN, R. R.; CHANG, N. Bin. Policy analysis for sustainable refuse-derived fuel production in Espírito Santo, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 2–14, 2021.

CHEN, S. W.; HUANG, S. W.; CHEN, J.; HUANG, K. Y.; HE, Y. X. Effects of Incentives and Penalties on Farmers' Willingness and Behavior to Separate Domestic Waste-Analysis of Farm Household Heterogeneity Based on Chain Multiple Intermediary Effects. **Sustainability 2023, Vol. 15, Page 5958**, v. 15, n. 7, p. 5958, 29 mar. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/5958/htm>. Acesso em: 3 maio. 2025.

CHEN, Y.-C. Estimation of willingness-to-pay for the MSW disposal system by choice experiment approach: A case study of Taiwan. **Waste Management and Research**, v. 37, n. 4, p. 365–373, 2019.

CHENG, C.; ZHOU, Y.; ZHANG, L. Sustainable Environmental Management Through a Municipal Solid Waste Charging Scheme: A Hong Kong Perspective. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 919683, 22 jun. 2022. Disponível em: <www.frontiersin.org>. Acesso em: 4 maio. 2025.

CHIN, M. Y.; LEE, C. T.; KLEMEŠ, J. J.; FAN, Y. Van; WOON, K. S. Developing a sustainability solid waste treatment portfolio for 3Ps (planet-prosperity-people) nexus. **Journal of Cleaner Production**, v. 415, p. 137698, 20 ago. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623018565?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

CHIN, M. Y.; LEE, C. T.; WOON, K. S. Policy-driven municipal solid waste management assessment using relative quadrant eco-efficiency: A case study in Malaysia. **Journal of Environmental Management**, v. 323, p. 116238, 1 dez. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722018114?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

CHUAH, S. C.; PUTIT, L.; SINGH, J. K. ASSESSING RESIDENTS' INTENTION TOWARDS MUNICIPAL SOLID WASTE SOURCE SEPARATION: A CASE STUDY OF MALAYSIA. **PLANNING MALAYSIA**, v. 21, n. 1, p. 382–399, 27 abr. 2023. Disponível em: <https://planningmalaysia.org/index.php/pmj/article/view/1245>. Acesso em: 21 mar. 2026.

CHUNG, W.; YEUNG, I. M. H. Analysis of residents' choice of waste charge methods and willingness to pay amount for solid waste management in Hong Kong. **Waste Management**, v. 96, p. 136–148, 2019.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. New York: Psychology Press, 1988a.

COHEN, J. Set Correlation and Contingency Tables. **http://dx.doi.org/10.1177/014662168801200410**, v. 12, n. 4, p. 425–434, 1 dez. 1988b. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/014662168801200410>. Acesso em: 16 fev. 2025.

COHEN, J.; GIL, J.; ROSADO, L. Extending the TPB of residential waste sorting with situational factors using a data-driven approach: The case of Gothenburg, Sweden. **Waste Management Bulletin**, v. 3, n. 1, p. 87–95, 1 abr. 2025. . Acesso em: 23 fev. 2025.

CONCARI, A.; KOK, G.; MARTENS, P.; BRINK, N. Investigating the Role of Goals and Motivation on Waste Separation Behavior Through the Lens of the Theory of Reasoned Goal Pursuit. **Environmental Management**, v. 72, n. 5, p. 1019–1031, 1 nov. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-023-01820-1>. Acesso em: 22 fev. 2025.

COSTAS, M. F. T.; ÁVILA, L. V.; ANHOLON, R.; ARENHART, R. S. Environmental performance of infrastructure and the provision of basic services in southern Brazilian cities: A ranking based on technical standards. **Utilities Policy**, v. 99, p. 102149, 1 abr. 2026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957178726000081?via%3Dihub>. Acesso em: 18 maio. 2026.

CUDJOE, D.; ZHANG, H.; WANG, H. Predicting residents' adoption intention for smart waste classification and collection system. **Technology in Society**, v. 75, p. 102381, 1 nov. 2023. . Acesso em: 9 jun. 2024.

DEAN, S.; ILLOWSKY, B.; ORG, S. Sampling and Data: Frequency, Relative Frequency, and Cumulative Frequency. **Connexions module**, v. 1.17, n. Aug 24, 2010. Disponível em:

<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/http://cnx.org/content/m16012/1.17/SourceURL:http://cnx.org/content/col10522/latest/SaylorURL:http://www.saylor.org/courses/ma121/>. Acesso em: 23 abr. 2025.

DEGLI ESPOSTI, A.; MAGRINI, C.; BONOLI, A. Door-to-door waste collection: A framework for the socio – Economic evaluation and ergonomics optimisation. **Waste Management**, v. 156, p. 130–138, 1 fev. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X22005591>. Acesso em: 13 mar. 2026.

DEVARAKONDA, P.; SADASIVUNI, R.; NOBREGA, R. A. A.; WU, J. Application of spatial multicriteria decision analysis in healthcare: Identifying drivers and triggers of infectious disease outbreaks using ensemble learning. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 29, n. 1–2, p. 23–36, 1 jan. 2022. Disponível em: </doi/pdf/10.1002/mcda.1732>. Acesso em: 6 jun. 2026.

DEVELOPMENT ZAHIR, J. O. L. A. S.; NURCAHYO, Z.; FARIZAL, R.; WIBOWO, A. D. ECONOMIC ASSESSMENT OF REFUSE-DERIVED FUEL (RDF) PRODUCTION AS WASTE MANAGEMENT STRATEGY AND ALTERNATIVE FUEL IN CEMENT KILNS. **Journal of Law and Sustainable Development**, v. 12, n. 2, p. e3220, 22 fev. 2024. Disponível em: <https://ojs.journalsdg.org/jlss/article/view/3220>. Acesso em: 23 jan. 2026.

DF PANFLETAGEM. **Quanto Custa uma Ação de Marketing com Distribuição de Panfletos e Como Definir o Orçamento Ideal**. Disponível em: <https://dfpanfletagem.com.br/quanto-custa-uma-acao-de-marketing-com-distribuicao-de-panfletos-e-como-definir-o-orcamento-ideal/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

DIPROSE, K.; VALENTINE, G.; VANDERBECK, R. M.; LIU, C.; MCQUAID, K. Building common cause towards sustainable consumption: A cross-generational perspective. **https://doi.org/10.1177/2514848619834845**, v. 2, n. 2, p. 203–228, 13 mar. 2019. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2514848619834845>. Acesso em: 22 fev. 2025.

DU, K.; FAN, R.; WANG, D. Coupling effects of RPS and CET policies on the low-carbon transformation of the Chinese power industry: A combined perspective based on tripartite evolutionary game and system dynamics. **Energy**, v. 334, p. 136941, 15 out. 2025. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0360544225025836?via%3Dihub#fig5>. Acesso em: 19 dez. 2025.

DUNN, O. J. Multiple Comparisons Using Rank Sums. **Technometrics**, v. 6, n. 3, p. 241–252, 1964. . Acesso em: 3 abr. 2025.

DUTRA, R. M. de S.; SIMAN, R. R. Charges to Generators For Solid Waste Management Services: An Analysis of The Financial Sustainability of Brazilian Municipalities. **Revista de Gestão - RGSA**, v. 18, n. 3, p. e5876, 5 jul. 2024. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/5876>. Acesso em: 9 dez. 2025.

DUTRA, R. M. S.; YAMANE, L. H.; SIMAN, R. R. Influence of the expansion of the selective collection in the sorting infrastructure of waste pickers' organizations: A case study of 16 Brazilian cities. **Waste Management**, v. 77, n. 2018, p. 50–58, 2018.

EDITORS, G.; SHIUN LIM, J.; ALAFIZA YUNUS, N.; JAROMÍR KLEMEŠ, J.; KEAT OOI, J.; SIN WOON, K. Simultaneous Greenhouse Gas Reduction and Cost Optimisation of Municipal Solid Waste Management System in Malaysia. **CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS**, v. 83, p. 2021, 2021. Disponível em: <www.cetjournal.it>. Acesso em: 23 jan. 2026.

EK, C.; SÖDERBERG, M. Norm-based feedback on household waste: Large-scale field experiments in two Swedish municipalities. **Journal of Public Economics**, v. 238, n. 3, p. 105191, 1 out. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/qje/qjv015>. Acesso em: 12 fev. 2026.

EMMANOUIL, C.; CHACHAMI-CHALIOTI, S.; KYZAS, G. Z.; KUNGOLOS, A. Application of the Theory of Planned Behavior to predict waste source separation. **Science of The Total Environment**, v. 956, p. 177356, 15 dez. 2024. . Acesso em: 4 fev. 2025.

ERFANI, S. M. H.; DANESH, S.; KARRABI, S. M.; SHAD, R.; NEMATI, S. Using applied operations research and geographical information systems to evaluate effective factors in storage service of municipal solid waste management systems. **Waste Management**, v. 79, p. 346–355, 1 set. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X18304860>. Acesso em: 2 maio. 2025.

ERMAYENDRI, D.; SIMARMATA, M.; ARIANTO, W.; REFLIS; RIWANDI; SUKIYONO, K. Dynamic Integrated Model for Sustainable Solid Waste Management in Bengkulu City. **Environment and Natural Resources Journal**, v. 23, n. 6, p. 494–515, 1 nov. 2025. Disponível em: <https://doaj.org/article/e2d6eda264c0445992bf9eeea48635df>. Acesso em: 21 mar. 2026.

ESPÍRITO SANTO. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo**. Disponível em: <https://seama.es.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos>. Acesso em: 8 mar. 2021.

EUROPEAN INVESTMENT BANK. **Managing refuse-derived and solid recovered fuels - Best practice options for EU countries**. 1. ed. Luxembourg: EIB Projects Directorate, 2024.

EXPO DISTRIBUIÇÃO. **Panfletagem: Saiba Quanto Custa e Como Planejar uma Ação**. Disponível em: <https://expodistribuicao.com.br/panfletagem/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

FEO, G. De. Engaging Environmental Education for Sustainable Waste Management—The Greenopoli Education Framework. **Recycling 2026, Vol. 11,** v. 11, n. 1, p. 2, 18 dez. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-4321/11/1/2>. Acesso em: 20 mar. 2026.

FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, J. M.; GRINDLAY, A. L.; SERRANO-BERNARDO, F.; RODRÍGUEZ-ROJAS, M. I.; ZAMORANO, M. Economic and environmental review of

Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities. **Waste Management**, v. 67, p. 360–374, 2017.

FERNANDO, C. J.; ARAMAKI, T. Greenhouse Gas Mitigation Through Municipal Solid Waste Composting: A Case Study from Semi-Urban Sri Lanka. **Sustainability 2026, Vol. 18, Page 3481**, v. 18, n. 7, p. 3481, 2 abr. 2026. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/18/7/3481/htm>. Acesso em: 15 maio. 2026.

FERNANDO, C. J.; TOSHIYA, A. Household waste separation practices in semi-urban Sri Lanka: the role of waste collection services in Attanagalla Pradesheeya Sabha in the Western Province. **Journal of Material Cycles and Waste Management 2025 27:5**, v. 27, n. 5, p. 3919–3930, 4 jul. 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-025-02307-3>. Acesso em: 21 mar. 2026.

FERRARIO, D.; PRÖLL, T.; STENDARDO, S.; LANZINI, A. Achieving net-zero cement through carbon capture and fuel switching. **Chemical Engineering Journal**, v. 523, p. 168230, 1 nov. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894725090722?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

FERRONATO, N.; PORTILLO, M. A. G.; LIZARAZU, G. E. G.; TORRETTA, V. Formal and informal waste selective collection in developing megacities: Analysis of residents' involvement in Bolivia. **Waste Management and Research**, v. 39, n. 1, p. 108–121, 2021.

FERRONATO, N.; TORRETTA, V. Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 6, 2 mar. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30909625/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FEST, F. E. S. de T. **Caracterização de Resíduos de Construção e Demolição na Central de Tratamento de Resíduos Marca Ambiental**. [s.l: s.n.].

FILIMONAU, V.; MATUTE, J.; KUBAL-CZERWIŃSKA, M.; MIKA, M. Religious values and social distance as activators of norms to reduce food waste when dining out. **Science of The Total Environment**, v. 868, p. 161645, 10 abr. 2023. . Acesso em: 4 fev. 2025.

FIORILLO, D. Household waste recycling: national survey evidence from Italy. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 56, n. 8, p. 1125–1151, out. 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09640568.2012.709180>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FOLHA VITÓRIA. **Prefeituras da GV gastam R$ 18 milhões por ano para limpeza de pontos de lixo**. Disponível em: <https://www.folhavitoria.com.br/geral/prefeituras-da-gv-gastam-r-18-milhoes-por-ano-para-limpeza-de-pontos-de-lixo/>. Acesso em: 23 jan. 2026.

FONTAINE, L.; LEGROS, R.; FRAYRET, J. M. Sustainability and Environmental Performance in Selective Collection of Residual Materials: Impact of Modulating Citizen

Participation Through Policy and Incentive Implementation. **Resources 2024, Vol. 13,** v. 13, n. 11, 23 out. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9276/13/11/151>. Acesso em: 21 mar. 2026.

FONTAINE, L.; LEGROS, R.; FRAYRET, J. M. Assessing the effect of environmental attitudes on waste material flow quality through agent-based modelling of citizen source separation behaviour. **Journal of Environmental Management**, v. 384, p. 125553, 1 jun. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479725015294>. Acesso em: 6 jul. 2026.

FORNELL, C.; LARCKER, D. F. Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. **Journal of Marketing Research**, v. 18, n. 1, p. 39, fev. 1981. . Acesso em: 4 fev. 2025.

GADALETA, G.; DE GISI, S.; BINETTI, S. M. C.; NOTARNICOLA, M. Outlining a comprehensive techno-economic approach to evaluate the performance of an advanced sorting plant for plastic waste recovery. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 143, p. 248–261, 1 nov. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582020316098?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

GADALETA, G.; DE GISI, S.; TODARO, F.; CAMPANARO, V.; TEODOSIU, C.; NOTARNICOLA, M. Sustainability assessment of municipal solid waste separate collection and treatment systems in a large metropolitan area. **Sustainable Production and Consumption**, v. 29, p. 328–340, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550921003079?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

GALAVOTE, T.; CERQUEIRA, A. F.; ALVES, R. B.; RAMALHO, J. C. M.; YAMANE, L. H.; SIMAN, R. R. Energy recovery technologies from municipal solid waste: enhancing Solid Waste Brazilian Policy. **Revista Brasileira de Energia**, v. 28, n. 1, p. 84–124, 2022. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/652/505>.

GALAVOTE, T.; CHAVES, G. de L. D.; YAMANE, L. H.; SIMAN, R. R. Municipal solid waste management instruments that influence the use of the refuse as fuel in developing countries: A critical review. **https://doi.org/10.1177/0734242X241231402**, 22 fev. 2024a. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X241231402>. Acesso em: 3 maio. 2024.

GALAVOTE, T.; CHAVES, G. de L. D.; YAMANE, L. H.; SIMAN, R. R. The effects of municipal waste reduction and recycling policies on the economic feasibility of landfill gas generation. **Energy for Sustainable Development**, v. 81, p. 101493, 1 ago. 2024b. . Acesso em: 21 set. 2024.

GALAVOTE, T.; COIMBRA, T. C.; CHAVES, G. de L. D.; YAMANE, L. H.; SIMAN, R. R. Reference Scenarios for Policies to Minimize the Generation and Recycling of Municipal

Solid Waste. **The Journal of Environment & Development**, 2024c. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/10704965241305840>. Acesso em: 21 mar. 2025.

GALAVOTE, T.; DE LORENA DINIZ CHAVES, G.; PRATTE-SANTOS, R.; SIMAN, R. R. Understanding what drives the acceptance of policy instruments for household waste separation: Strategies for sustainable cities. **Cities**, v. 176, p. 107210, 1 set. 2026. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264275126004427>. Acesso em: 22 maio. 2026.

GALAVOTE, T.; SENA, L. G.; CALIXTO, L. M.; DUTRA, R. M. de S.; COIMBRA, T. C.; CHAVES, G. de L. D.; SIMAN, R. R. Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 15, 2023a. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692023000100218&tlng=pt>. Acesso em: 23 jun. 2023.

GALAVOTE, T.; YAMANE, L. H.; CANO, N. S. de S. L.; CHAVES, G. de L. D.; SIMAN, R. R. Waste management policies and diversion targets impacts in the landfill gas-to-energy recovery systems. **https://doi.org/10.1680/jwarm.22.00011**, p. 1–35, 23 nov. 2023b. Disponível em: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jwarm.22.00011>. Acesso em: 10 dez. 2023.

GHAFFAR, A.; ZAHEER ZAIDI, S. S.; ISLAM, T. An investigation of sustainable consumption behavior: the influence of environmental concern and trust in sustainable producers on consumer xenocentrism. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 34, n. 3, p. 771–793, 29 mar. 2023. . Acesso em: 4 fev. 2025.

GHAZARYAN, L.; FAURE, C.; SCHLEICH, J.; BIRAU, M. M. Transition from a fixed fee to a pay-as-you-throw waste tariff scheme: Effectiveness of environmental and accountability appeals. **Journal of Environmental Management**, v. 385, p. 125603, 1 jun. 2025. . Acesso em: 12 fev. 2026.

GHIMIRE, M.; PANDEY, S.; CHANG, S. E.; WOO, J. R. Assessing determinants and readiness for willingness-to-pay (WTP) for unit-based pay-as-you-throw (PAYT) waste tariff structures: A case study of Kathmandu, Nepal. **Waste Management**, v. 190, p. 227–235, 15 dez. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X24005166>. Acesso em: 7 maio. 2025.

GOEL, A.; IYER-RANIGA, U.; JAIN, S.; ADDYA, A.; SRIVASTAVA, S.; PANDEY, R.; RATHI, S. Student Perceptions of Environmental Education in India. **Sustainability 2023, Vol. 15,** v. 15, n. 21, 26 out. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/21/15346>. Acesso em: 20 mar. 2026.

GOH, E.; ESFANDIAR, K.; JIE, F.; BROWN, K.; DJAJADIKERTA, H. Please sort out your rubbish! An integrated structural model approach to examine antecedents of residential households' waste separation behaviour. **Journal of Cleaner Production**, v. 355, n. April, p. 131789, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131789>.

GOULAS, A.; GOODWIN, D.; SHANNON, C.; JEFFREY, P.; SMITH, H. M. Public Perceptions of Household IoT Smart Water "Event" Meters in the UK—Implications for Urban Water Governance. **Frontiers in Sustainable Cities**, v. 4, p. 758078, 14 fev. 2022. Disponível em: <www.frontiersin.org>. Acesso em: 11 jun. 2025.

GOVINDAN, K.; ZHUANG, Y.; CHEN, G. Analysis of factors influencing residents' waste sorting behavior: A case study of Shanghai. **Journal of Cleaner Production**, v. 349, n. July 2021, p. 131126, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131126>.

GRITSCH, L.; BRESLMAYER, G.; LEDERER, J. Quantity and quality of paper-based packaging in mixed MSW and separate paper collection – a case study from Vienna, Austria. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 215, n. 1, p. 108091, 1 abr. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/hc-2013-0156>. Acesso em: 21 mar. 2026.

GUICHARD, E.; JOUFFRE, S.; BOUQUET, C. A.; AUTIN, F. An integrative model exploring normative, situational, attitudinal and self-related determinants of household food waste separation intention and habit and intention to deposit waste at disposal centres / Modelo integrador para explorar los determinantes…. **Psyecology**, v. 15, n. 1, p. 32–84, 1 fev. 2024. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/21711976241232873&hl=pt-BR&sa=T&oi=ucasa&ct=ufr&ei=QTvAacfJJOHEieoPmbaO2Ac&scisig=ADi0EEV7qNDVKcd-7h9fpeurTc6Z>. Acesso em: 21 mar. 2026.

GUTBERLET, J.; BRAMRYD, T. Reimagining urban waste management: Addressing social, climate, and resource challenges in modern cities. **Cities**, v. 156, p. 105553, 1 jan. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275124007674#s0040>. Acesso em: 7 set. 2025.

GUTBERLET, J.; SORROCHE, S.; MARTINS BAEDER, A.; ZAPATA, P.; ZAPATA CAMPOS, M. J. Waste Pickers and Their Practices of Insurgency and Environmental Stewardship. **Journal of Environment and Development**, v. 30, n. 4, p. 369–394, 1 dez. 2021. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/10704965211055328>. Acesso em: 7 mar. 2024.

GYANWALI, K.; KARKI, S.; ADHIKARI, P.; DEVKOTA, S.; ARYAL, P. Techno-economic assessment of green urea production utilizing municipal solid waste and hydropower in Nepal. **Journal of Cleaner Production**, v. 419, p. 138320, 20 set. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623024782?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

HAIR, J. F.; HULT, G. T. M.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. **A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)**. Los Angeles: SAGE, 2021. 1–363 p.

HAN, J.; HUANG, Z.; QIN, L.; CHEN, W.; ZHAO, B.; XING, F. Refused derived fuel from municipal solid waste used as an alternative fuel during the iron ore sinter process. **Journal of**

Cleaner Production, v. 278, p. 123594, 1 jan. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620336398?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

HAN, S.; JUN, J.; YEO, E. In Pursuit of Sustainable Mobile Policy: A Study of Consumer Tariff Preferences under Uncertainty. **Sustainability 2021, Vol. 13, Page 540**, v. 13, n. 2, p. 540, 8 jan. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/540/htm>. Acesso em: 11 jun. 2025.

HDAIFEH, A.; HUET, S.; MATHIAS, J. D. How do human behaviour and infrastructure interact in achieving biowaste policy objectives? **Journal of Cleaner Production**, v. 510, p. 145571, 10 jun. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652625009217>. Acesso em: 15 maio. 2026.

HE, J.; YU, Z.; FUKUDA, H. Extended Theory of Planned Behavior for Predicting the Willingness to Pay for Municipal Solid Waste Management in Beijing. **Sustainability 2021, Vol. 13,** v. 13, n. 24, 15 dez. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/24/13902>. Acesso em: 21 mar. 2026.

HELTON, J. C.; DAVIS, F. J. Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 81, n. 1, p. 23–69, 2003.

HENAO-RODRÍGUEZ, C.; LIS-GUTIÉRREZ, J. P.; SIERRA, A. S. G. Factors Influencing Environmental Awareness and Solid Waste Management Practices in Bogotá: An Analysis Using Machine Learning. **Air, Soil and Water Research**, v. 17, 1 jan. 2024. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/11786221241261188&hl=pt-BR&sa=T&oi=ucasa&ct=ufr&ei=Fw4aaO6RBoHRieoPnM76iAs&scisig=AAZF9b-tpNh74UQXOlxF-K41Lbaa>. Acesso em: 5 maio. 2025.

HENSELER, J.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 43, n. 1, p. 115–135, 1 jan. 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11747-014-0403-8>. Acesso em: 13 fev. 2025.

HENSELER, J.; RINGLE, C. M.; SINKOVICS, R. R. The use of partial least squares path modeling in international marketing. **Advances in International Marketing**, v. 20, p. 277–319, 2009. . Acesso em: 4 fev. 2025.

HEZARDASTAN, B.; SHMELEV, S. E. Policy instruments for circular economy: Evidence-Based assessment of sustainable waste management in the UK and Finland. **Journal of Cleaner Production**, v. 533, p. 146914, 20 nov. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262502270X>. Acesso em: 14 mar. 2026.

HHU. **G*Power**. Disponível em: <https://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower>. Acesso em: 11 maio. 2023.

HIBINO, K.; MIFTAHADI, M. F.; SITUMORANG, K. D. H.; NUGROHO, S. B.; ISEKI, N. Trade-offs between potential revenue and environmental impacts for refuse-derived fuel production: A simulation study based on the composition of fresh and mining waste in South Tangerang City, Indonesia. **Energy for Sustainable Development**, v. 89, p. 101835, 1 dez. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0973082625001851>. Acesso em: 15 maio. 2026.

HIBINO, K.; TAKAKURA, K.; NUGROHO, S. B.; NAKANO, R.; ISMARIA, R.; HARYATI, T.; YULIANTI, D.; ZUSMAN, E.; FUJINO, J.; AKAGI, J. Performance of Takakura composting method in the decentralised composting center and its comparative study on environmental and economic impacts in Bandung city, Indonesia. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 1–23, 17 nov. 2023. Disponível em: <https://oiccpress.com/ijrowa/article/view/2954/6236>. Acesso em: 23 jan. 2026.

HOOGMARTENS, R.; EYCKMANS, J.; VAN PASSEL, S. Landfill taxes and Enhanced Waste Management: Combining valuable practices with respect to future waste streams. **Waste Management**, v. 55, p. 345–354, 1 set. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X16301362>. Acesso em: 14 mar. 2026.

HU, J.; MIAO, L.; HAN, J.; ZHOU, W.; QIAN, X. Waste separation behavior with a new plastic category for the plastic resource circulation: Survey in Kansai, Japan. **Journal of Environmental Management**, v. 349, p. 119370, 1 jan. 2024. . Acesso em: 6 jun. 2024.

HU, J.; TANG, K.; QIAN, X.; SUN, F.; ZHOU, W. Behavioral change in waste separation at source in an international community: An application of the theory of planned behavior. **Waste Management**, v. 135, n. September, p. 397–408, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.028>.

HUANG, R.; SUN, X.; TAN, X.; HAN, B.; ZHAO, S.; MA, D.; SUN, T.; WEI, Q.; YANG, Y.; ZHANG, L. Decision-making analysis on collection and transportation distance of rural domestic waste: case study of Guangxi Province, China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 22, n. 6, p. 2081–2091, 1 nov. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-020-01093-4>. Acesso em: 23 abr. 2025.

HUANG, Z.; JING, Z.; BAI, Y.; FANG, Z. Does Public Environmental Education and Advocacy Reinforce Conservation Behavior Value in Rural Southwest China? **Sustainability 2022, Vol. 14,** v. 14, n. 9, 3 maio 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/9/5505>. Acesso em: 20 mar. 2026.

IBEABUCHI, C.; EHIDO, A.; FAWEHINMI, O.; AIGBOGUN, O. Determinants of purchase intention towards halalcertified cosmetic products among nonMuslims. **Journal of Islamic Marketing**, v. 15, n. 12, p. 3778–3803, 2 dez. 2024. . Acesso em: 4 fev. 2025.

IBGE. **Vitória - Panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vitoria/panorama>. Acesso em: 5 jul. 2024a.

IBGE. **Inflação: Calculadora IPCA**. Disponível em: <https://ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Acesso em: 10 jan. 2026.

IBGE, I. B. de G. e E. **Malha de Setores Censitários**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html>. Acesso em: 5 jul. 2025.

IBGE, I. B. de G. e E. **Bases cartográficas contínuas - Brasil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 5 jul. 2025.

IBGE, I. B. de G. e E. **Cidades estados - Vitória, ES**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/vitoria.html#:~:text=Notas%20e%20fontes.%20[popula%C3%A7%C3%A3o%20residente%20no%20munic%C3%ADpio%20de>. Acesso em: 3 out. 2024b.

IBGE, I. B. de G. e E. **Malha Municipal**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 5 jul. 2025c.

IBGE, I. B. de G. e E. **Censo Demográfico - Dados de 2022**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico%202022.html?=&t=downloads>. Acesso em: 6 jun. 2025.

IBRAHIM, M. A. Modeling of risk for improper sorting of waste at Recycling Centers. **Waste Management**, v. 102, p. 550–560, 1 fev. 2020. . Acesso em: 23 fev. 2025.

IGE, O. E.; KABEYA, M. Fuel Substitution in Cement Production: A Comparative Life Cycle Assessment of Refuse-Derived Fuel and Coal. **Sci 2025, Vol. 7,** v. 7, n. 4, 11 dez. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2413-4155/7/4/184>. Acesso em: 23 jan. 2026.

INVESTING. **Crédito Carbono: Histórico de Preços**. Disponível em: <https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>. Acesso em: 2 jan. 2026.

ISLAM, M. H.; MAHBUB, M.; SABBIR, M. M. How do individuals' goals affect sustainable household waste recycling practices among young consumers? Evidence from Dhaka City, Bangladesh. **Sustainable Futures**, v. 10, p. 100954, 1 dez. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>. Acesso em: 21 mar. 2026.

JACQUES, O. Explaining willingness to pay taxes: The role of income, education, ideology. **Journal of European Social Policy**, v. 33, n. 3, p. 267–284, 1 jul. 2023. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/09589287231164341&hl=pt-BR&sa=T&oi=ucasa&ct=ufr&ei=Cc4XaJSqPIWlieoPxdD2yAY&scisig=AAZF9b-xl2mTVpBIr8ks3p0uOYJC>. Acesso em: 3 maio. 2025.

JAMIALAHMADI, N.; HASHEMI, M.; JALILI GHAZIZADE, M. Assessment of the current municipal solid waste management system in Tehran, Iran: challenges and opportunities for sustainable development. **Journal of Material Cycles and Waste Management 2022 24:5**, v. 24, n. 5, p. 2054–2067, 18 maio 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-022-01423-8>. Acesso em: 23 jan. 2026.

JĘDRCZAK, A.; POŁOMKA, J.; DRONIA, W. Seasonal variability of the quantity and morphological composition of generated waste and selectively collected waste. **Waste Management and Research**, v. 41, n. 8, p. 1349–1359, 1 ago. 2023. Disponível em: </doi/pdf/10.1177/0734242X231154142?download=true>. Acesso em: 15 maio. 2026.

JN ONLINE. **Descarte irregular custa caro ao Poder Público e prejudica limpeza**. Disponível em: <https://jmonline.com.br/cidade/descarte-irregular-custa-caro-ao-poder-publico-e-prejudica-limpeza-1.501121>. Acesso em: 23 jan. 2026.

JUÁREZ-HERNÁNDEZ, S. Energy, environmental, resource recovery, and economic dimensions of municipal solid waste management paths in Mexico city. **Waste Management**, v. 136, n. October, p. 321–336, 2021.

KÄHLIG, P.; IPSMILLER, W.; BARTL, A.; LEDERER, J. Characterisation of Waste Textiles from Mixed MSW and Separate Collection—A Case Study from Vienna, Austria. **Sustainability 2025, Vol. 17,** v. 17, n. 12, 12 jun. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/12/5484>. Acesso em: 21 mar. 2026.

KARPAN, B.; ABDUL RAMAN, A. A.; RAHIM, R.; AROUA, M. K. T.; BUTHIYAPPAN, A. Carbon Footprint Evaluation of Industrial Wastes Based Solid Fuel in the Context of Its Use in a Cement Plant. **Waste and Biomass Valorization 2022 13:8**, v. 13, n. 8, p. 3723–3735, 21 abr. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-022-01761-6>. Acesso em: 23 jan. 2026.

KAUR, H.; KAUR, P. Factors Determining Household Waste Segregation Behaviour: An Indian Case Study. **International Journal of Experimental Research and Review**, v. 41, n. Spl Vol, p. 83–95, 30 jul. 2024. Disponível em: <https://qtanalytics.in/journals/index.php/IJERR/article/view/3660>. Acesso em: 5 maio. 2025.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; WOERDEN, F. V. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2174>.

KHAN, F.; AHMED, W.; NAJMI, A. Understanding consumers' behavior intentions towards dealing with the plastic waste: Perspective of a developing country. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 142, p. 49–58, 1 mar. 2019. . Acesso em: 16 fev. 2025.

KIM, M.; JUN, J.; LAMBERT, J.; DUAH, H.; TUCKER, S. J.; O'MATHÚNA, D. P.; PIGNATIELLO, G.; FITZPATRICK, J. J. Generational Differences in Moral Injury, Resilience, and Well-Being Among Nurses: Predictors of Intention to Leave Position and Profession. **Western Journal of Nursing Research**, v. 46, n. 11, p. 909–918, 1 nov. 2024. Disponível em: </doi/pdf/10.1177/01939459241287458?download=true>. Acesso em: 1 ago. 2025.

KIREITSEVA, H.; KHRUTBA, V.; PATSEVA, I.; KHRUTBA, Y.; USTYMENKO, V. Using Podcasts as an Innovative Method of Environmental Education. **Environmental Research, Engineering and Management**, v. 81, n. 2, p. 53–63, 20 jun. 2025. . Acesso em: 20 mar. 2026.

KNICKMEYER, D. Social factors influencing household waste separation: A literature review on good practices to improve the recycling performance of urban areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, p. 118605, 1 fev. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619334754>. Acesso em: 6 jul. 2026.

KOUHI, K.; ABBASI-TAJADDOD, A.; GHOLAMI-BORUJENI, F. Assessing cigarette butt pollution on recreational beaches: A comparative study of two sampling methods and their impact on metal release. **Marine Pollution Bulletin**, v. 211, p. 117416, 1 fev. 2025. . Acesso em: 3 abr. 2025.

KRAFT-TODD, G.; YOELI, E.; BHANOT, S.; RAND, D. Promoting cooperation in the field. **Current Opinion in Behavioral Sciences**, v. 3, p. 96–101, 1 jun. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352154615000406>. Acesso em: 3 maio. 2025.

KRUSKAL, W. H. A Nonparametric test for the Several Sample Problem. **Institute of Mathematical Statistics**, v. 4, n. 23, p. 525–540, 1952. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2236578>. Acesso em: 26 mar. 2025.

KUCHARAVY, D.; GUIO, R. Application of S-shaped curves. **Procedia Engineering**, v. 9, p. 559–572, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.142>.

KUO, C. J.; NAH, X. J.; HSU, H. W. Enhancing Community Waste Recycling in Taiwan: Key Drivers Affecting Consumers in Waste Recycling. **Sustainability 2025, Vol. 17, Page 5322**, v. 17, n. 12, p. 5322, 9 jun. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/12/5322/htm>. Acesso em: 2 nov. 2025.

KUSHWAH, S.; GOKARN, S.; AHMAD, E.; PANT, K. K. An empirical investigation of household's waste separation intention: A dual-factor theory perspective. **Journal of Environmental Management**, v. 329, p. 117109, 1 mar. 2023. . Acesso em: 27 jun. 2024.

LACHAPELLE, E.; BERGERON, T.; NADEAU, R.; DAOUST, J. F.; DASSONNEVILLE, R.; BÉLANGER, É. Citizens' Willingness to Support New Taxes for COVID-19 Measures and the Role of Trust. **Politics and Policy**, v. 49, n. 3, p. 534–565, 1 jun. 2021. Disponível em: </doi/pdf/10.1111/polp.12404>. Acesso em: 3 maio. 2025.

LAKHOUIT, A. Revolutionizing urban solid waste management with AI and IoT: A review of smart solutions for waste collection, sorting, and recycling. **Results in Engineering**, v. 25, n. 7 July, p. 104018, 1 mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307608>. Acesso em: 13 mar. 2026.

LAOHALIDANOND, K.; KERDSUWAN, S. Green Energy Recovery From Waste in Thailand: Current Situation and Perspectives. **International Journal of Energy for a Clean Environment**, v. 22, n. 5, p. 103–122, 2021.

LE PERA, A.; SELLARO, M. Boosting the sustainability of the municipal solid waste management through a new pricing scheme based on the pay-as-you-differentiate model. **Journal of Cleaner Production**, v. 543, p. 147683, 8 fev. 2026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652626002222>. Acesso em: 12 fev. 2026.

LEE, K. Y. M.; LING, P. S.; LING, L. S.; SHEN, Y.; CHIU, G. H. M.; PHANG, X. Y. Food waste separation intention among the residential students: Moderation role of university support. **Cleaner Waste Systems**, v. 9, p. 100174, 1 dez. 2024. . Acesso em: 23 fev. 2025.

LEEABAI, N.; SUZUKI, S.; JIANG, Q.; DILIXIATI, D.; TAKAHASHI, F. The effects of setting conditions of trash bins on waste collection performance and waste separation behaviors; distance from walking path, separated setting, and arrangements. **Waste Management**, v. 94, p. 58–67, 1 jul. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19303472>. Acesso em: 23 abr. 2025.

LEKNOI, U.; YIENGTHAISONG, A.; LIKITLERSUANG, S. Social factors influencing waste separation behaviour among the multi-class residents in a megacity: A Survey analysis from a community in Bangkok, Thailand. **Sustainable Futures**, v. 7, p. 100202, 1 jun. 2024. . Acesso em: 6 jun. 2024.

LEVINE, D. M.; STEPHA, D. F.; KATHRYN A. SZABAT. **Estatística - Teoria e aplicações: usando o Microsoft Excel em português**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2016. 792 p.

LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; SZABAT, K. A. **Estatística - Teoria e Aplicações usando MS Excel em Português**. [s.l: s.n.]2288 p.

LI, C.; ZHANG, Y.; NOUVELLET, P.; OKORO, J. O.; XIAO, W.; HARDER, M. K. Distance is a barrier to recycling – or is it? Surprises from a clean test. **Waste Management**, v. 108, p. 183–188, 1 maio 2020. Disponível em: <https://www-sciencedirect-

com.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0956053X20301859?via%3Dihub#s0065>. Acesso em: 5 maio. 2025.

LI, W.; WANG, J. Feasibility study of the unit pricing system for household wastes sorting in the context of China. **Waste Management and Research**, v. 40, n. 5, p. 586–595, 2022.

LI, Y.; BHUTTO, M. Y.; SUN, C.; MEHDI, S. M. Do information publicity and moral norms trigger waste-sorting intention among households? A sequential mediation analysis. **Frontiers in psychology**, v. 14, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37397287/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

LI, Y.; JIANG, H.; YANG, M. Can different policy interventions work complementarily?—A survey experiment on policy compliance. **Review of Policy Research**, v. 42, n. 4, p. 1022–1049, 1 jul. 2025. Disponível em: </doi/pdf/10.1111/ropr.70005>. Acesso em: 20 mar. 2026.

LIAO, C.; ZHAO, D.; ZHANG, S. Psychological and conditional factors influencing staff's takeaway waste separation intention: An application of the extended theory of planned behavior. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, n. May, p. 186–194, 2018.

LIMA, P. de M.; OLIVO, F.; FURLAN, M. B.; JUSTI JUNIOR, J.; PAULO, P. L. Análise de custos do planejamento estratégico do sistema integrado de resíduos sólidos urbanos em Campo Grande/MS. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, n. 4, p. 749–759, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/rNbqN7Q98GSBTNrqPfvBCKL/?lang=pt>. Acesso em: 23 jan. 2026.

LIN, Y.; LU, S.; YIN, G.; YUAN, B. Policy Tools, Policy Perception, and Compliance with Urban Waste Sorting Policies: Evidence from 34 Cities in China. **Sustainability 2025, Vol. 17, Page 6787**, v. 17, n. 15, p. 6787, 25 jul. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/15/6787/htm>. Acesso em: 3 nov. 2025.

LIN, Z.; HOI-LAM FUNG, H.; MANI, S.; GUPTA, A.; ELO, I. AGE DIFFERENCES IN PRO-ENVIRONMENTAL BEHAVIORS: IS IT ABOUT ME OR THE NEXT GENERATION? **Innovation in Aging**, v. 8, n. Supplement_1, p. 1372–1372, 31 dez. 2024. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1093/geroni/igae098.4373>. Acesso em: 1 maio. 2025.

LING, M.; XU, L.; XIANG, L. Social-contextual influences on public participation in incentive programs of household waste separation. **Journal of Environmental Management**, v. 281, p. 111914, 1 mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720318399>. Acesso em: 20 mar. 2026.

LING, M.; XU, L.; YANG, H. The crowding out effect of financial incentives on conformity to pro-environmental social norms: a quasi-experiment on household recycling. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 67, n. 13, p. 3359–3376, 2024. Disponível em: <https://www-tandfonline-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/doi/pdf/10.1080/09640568.2023.2223758>. Acesso em: 5 maio. 2025.

LITORAL FM. **Anuncie na Rádio Litoral FM | Mais Negócio**. Disponível em: <https://maisnegocio.litoralfm.com.br/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

LIU, P.; TENG, M.; HAN, C. How does environmental knowledge translate into pro-environmental behaviors?: The mediating role of environmental attitudes and behavioral intentions. **Science of The Total Environment**, v. 728, p. 138126, 1 ago. 2020. . Acesso em: 4 abr. 2025.

LIU, T.; WANG, P.; ZHANG, Q.; CAO, J.; WU, Y. Changes in the environmental impacts of the waste management system after implementing the waste-sorting policy: A Beijing case study. **Journal of Industrial Ecology**, v. 28, n. 4, p. 828–839, 1 ago. 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1111/jiec.13495>. Acesso em: 6 jul. 2026.

LIU, Y.; ZOU, C.; TAI, J.; CHE, Y. Evaluation of the household solid waste mandatory sorting policy in Shanghai: A 1-year public opinion survey. **https://doi.org/10.1177/0734242X231155097**, v. 41, n. 8, p. 1305–1317, 1 mar. 2023. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X231155097>. Acesso em: 12 fev. 2025.

LO STORTO, C. Evaluating the Eco-Efficiency of Municipal Solid Waste Management: Determinants, Paradoxes, and Trade-Offs. **Urban Science 2025, Vol. 9, Page 395**, v. 9, n. 10, p. 395, 30 set. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2413-8851/9/10/395/htm>. Acesso em: 15 maio. 2026.

LOOS, E.; IVAN, L. Not only people are getting old, the new media are too: Technology generations and the changes in new media use. **New Media and Society**, v. 26, n. 6, p. 3588–3613, 1 jun. 2024. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/14614448221101783&hl=pt-BR&sa=T&oi=ucasa&ct=ufr&ei=vCUVaIOoOsuZieoP9O-V6Ag&scisig=AFWwaeZOHHcW3U1n6IiiN6HsMZyJ>. Acesso em: 1 maio. 2025.

LOU, S.; ZHANG, X.; ZHANG, D. Research on the influence mechanism of residents' waste sorting behavior: based on extended theory of planned behavior. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1–28, 20 maio 2024. Disponível em: <https://link-springer-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10668-024-05031-4>. Acesso em: 6 jun. 2024.

LU, B.; WANG, J. How can residents be motivated to participate in waste recycling? An analysis based on two survey experiments in China. **Waste Management**, v. 143, p. 206–214, 15 abr. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X22001180>. Acesso em: 4 maio. 2025.

LU, D.; IQBAL, A.; ZAN, F.; LIU, X.; CHEN, G.; LU, D.; IQBAL, A.; ZAN, F.; LIU, X.; CHEN, G. Life-Cycle-Based Greenhouse Gas, Energy, and Economic Analysis of Municipal Solid Waste Management Using System Dynamics Model. **Sustainability 2021, Vol. 13,** v. 13, n. 4, p. 1–19, 2 fev. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/1641>. Acesso em: 19 dez. 2025.

LU, S.; WANG, F.; AN, R. Willingness to Pay for Domestic Waste of Rural Households Under Low-Carbon Society Transition: A Case Study of Underdeveloped Mountainous Areas in Shaanxi, China. **Sustainability 2024, Vol. 16, Page 10204**, v. 16, n. 23, p. 10204, 21 nov. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10204/htm>. Acesso em: 7 maio. 2025.

LUCENT TECHNOLOGIES. **The R Project for Statistical Computing**. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 26 mar. 2025.

LUDISCIÊNCIA EDUCACIONAL. **Folder- Dia Mundial do Meio Ambiente**. Disponível em: <https://ludiscienciaeducacional.com/product/folder-dia-mundial-do-meio-ambiente/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

LUMIVERO. **XLSTAT | Statistical Software for Excel**. Disponível em: <https://www.xlstat.com/en/>. Acesso em: 26 mar. 2025.

LUO, W.; YU, Z.; ZHOU, P.; REN, Y.; LV, H. Research on the Influencing Factors of Urban Community Residents' Willingness to Segregate Waste Based on Structural Equation Model. **Sustainability 2024, Vol. 16, Page 10767**, v. 16, n. 23, p. 10767, 9 dez. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10767/htm>. Acesso em: 12 fev. 2025.

LYE, C. T.; NG, T. H.; LAW, J. W. The role of general and specific pro-environmental education in household waste management in Malaysia: Evidence from quantile regression. **Environmental Challenges**, v. 15, p. 100933, 1 abr. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010024000994?via%3Dihub#sec0008>. Acesso em: 5 maio. 2025.

MA, B.; JIANG, Y. Domestic Waste Classification Behavior and Its Deviation from Willingness: Evidence from a Random Household Survey in Beijing. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 22, p. 14718, 2022.

MA, J.; YIN, Z.; MCBEAN, E. A. Does information intervention influence residential waste-source separation behavior? **Utilities Policy**, v. 82, p. 101563, 1 jun. 2023. . Acesso em: 23 jun. 2023.

MA, Y.; WANG, H.; KONG, R. The effect of policy instruments on rural households' solid waste separation behavior and the mediation of perceived value using SEM. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 16, p. 19398–19409, 2020.

MAALOUF, A.; AGAMUTHU, P. Waste management evolution in the last five decades in developing countries – A review. **Waste Management & Research**, v. 41, n. 9, p. 1420, 1 set. 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10416556/>. Acesso em: 13 mar. 2026.

MACEIÓ. **Em 2021, gasto extra do Município com descarte irregular ultrapassou os R$ 29 milhões**. Disponível em: <https://maceio.al.gov.br/noticias/alurb/em-2021-gasto-extra-do-municipio-com-descarte-irregular-ultrapassou-os-r-29-milhoes>. Acesso em: 23 jan. 2026.

MACKENZIE, S. B.; PODSAKOFF, P. M. Common Method Bias in Marketing: Causes, Mechanisms, and Procedural Remedies. **Journal of Retailing**, v. 88, n. 4, p. 542–555, 1 dez. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022435912000681>. Acesso em: 12 jul. 2026.

MACKINNON, D. P.; KRULL, J. L.; LOCKWOOD, C. M. Equivalence of the Mediation, Confounding and Suppression Effect. **Prevention science : the official journal of the Society for Prevention Research**, v. 1, n. 4, p. 173, 2000. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2819361/>. Acesso em: 14 nov. 2025.

MALEK, W.; MORTAZAVI, R.; CIALANI, C.; NORDSTRÖM, J. How have waste management policies impacted the flow of municipal waste? An empirical analysis of 14 European countries. **Waste Management**, v. 164, p. 84–93, 1 jun. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X23002659>. Acesso em: 6 jul. 2026.

MALETZ, R.; SCHMIDT, N.; DORNACK, C. Ecological and economic impacts of the implementation of separate collection of biowaste on a global scale. **Journal of Cleaner Production**, v. 529, p. 146821, 25 out. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652625021717>. Acesso em: 15 maio. 2026.

MARAGKAKI, A.; GAMVROUDIS, C.; LOUNTOU, C.; STAMATIADIS, P.; SAMPATHIANAKIS, I.; PAPADAKI, A.; MANIOS, T. Autonomous Home Composting Units for Urban Areas in Greece: The Case Study of the Municipality of Rhodes. **Sustainability 2022, Vol. 14, Page 12362**, v. 14, n. 19, p. 12362, 28 set. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12362/htm>. Acesso em: 18 maio. 2026.

MARGALLO, M.; ZIEGLER-RODRIGUEZ, K.; VÁZQUEZ-ROWE, I.; ALDACO, R.; IRABIEN, Á.; KAHHAT, R. Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. **Science of the Total Environment**, v. 689, p. 1255–1275, 2019.

MARINO, A. L.; CHAVES, G. de L. D.; SANTOS JUNIOR, J. L. dos. Do Brazilian municipalities have the technical capacity to implement solid waste management at the local level? **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 378–386, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.311>.

MASSUGA, F.; DOLIVEIRA, S. L. D.; KUASOSKI, M.; MANGONI, S. S. Modes of governance for sustainability transitions: Conceptual definitions. **Environmental Policy and Governance**, v. 34, n. 6, p. 663–678, 1 dez. 2024. Disponível em: </doi/pdf/10.1002/eet.2115>. Acesso em: 6 jul. 2026.

MCCLENDON, A. E.; WALICZEK, T. M.; SERENARI, C.; WILLIAMSON, P. S. Effects of an Informal Place-based Educational Program on Knowledge and Perceptions of Invasive Species Management. **HortTechnology**, v. 34, n. 1, p. 71–79, 1 jan. 2024. Disponível em: <https://doaj.org/article/b6a45af5b44f4f3f9fb56725ee11d28b>. Acesso em: 20 mar. 2026.

MENG, H.; ZHANG, L.; XIA, Y.; HUANG, X.; ZHAO, X.; ZHU, H. Environmental, technical or health? The influence of information intervention on farmers' domestic waste separation intention. **Waste Management and Research**, v. 43, n. 10, p. 1650–1662, 1 set. 2025. Disponível em: </doi/pdf/10.1177/0734242X251329014?download=true>. Acesso em: 21 mar. 2026.

MENG, X.; TAN, X.; WANG, Y.; WEN, Z.; TAO, Y.; QIAN, Y. Investigation on decision-making mechanism of residents' household solid waste classification and recycling behaviors. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, n. June 2018, p. 224–234, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.021>.

MINELGAITĖ, A.; LIOBIKIENĖ, G. Waste problem in European Union and its influence on waste management behaviours. **Science of the Total Environment**, v. 667, p. 86–93, 2019.

MINER, K. J.; RAMPEDI, I. T.; IFEGBESAN, A. P.; MACHETE, F. Survey on Household Awareness and Willingness to Participate in E-Waste Management in Jos, Plateau State, Nigeria. **Sustainability 2020, Vol. 12,** v. 12, n. 3, 1 fev. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/3/1047>. Acesso em: 21 mar. 2026.

MINUCCI, S.; HEISE, R. L.; VALENTINE, M. S.; KAMGA GNINZEKO, F. J.; REYNOLDS, A. M. Mathematical modeling of ventilator-induced lung inflammation. **Journal of Theoretical Biology**, v. 526, p. 110738, 7 out. 2021. . Acesso em: 17 jun. 2021.

MOEINI, B.; AYUBI, E.; BARATI, M.; BASHIRIAN, S.; TAPAK, L.; EZZATI-RASTGAR, K.; HASHEMIAN, M. Effect of Household Interventions on Promoting Waste Segregation Behavior at Source: A Systematic Review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 24, p. 16546, 1 dez. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/24/16546/htm>. Acesso em: 6 jul. 2026.

MONDAL, S.; MANDAL, B. Assessment of urban solid waste management in a Class II Indian city using geospatial and statistical approaches: A case study of Rampurhat municipality. **Waste Management Bulletin**, v. 1, n. 4, p. 74–92, 1 mar. 2024. . Acesso em: 26 mar. 2025.

MONTERO-VEGA, M.; BRENES-PERALTA, L. P.; BALTODANO-ZÚÑIGA, D.; GARCÍA-BARQUERO, M. E. Which factors determine food waste-related behavior? Perspectives from households for local policymaking in developing countries. **Cogent Food and Agriculture**, v. 10, n. 1, 31 dez. 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23311932.2024.2341551>. Acesso em: 21 mar. 2026.

MORECROFT, J. D. W. **Strategic Modelling and Business Dynamics: A feedback systems approach**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2015. 507 p.

MU, D.; ZHANG, S. The impact of reward—penalty policy on different recycling modes of recyclable resources in residential waste. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 14, 2021.

MÜLLER, L. N. P. E. S.; ARRUDA, J. B. F.; ALCANTARA, R. L. C.; PEREIRA, R. L. Uma análise multicritério de alternativas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos do município de Juazeiro do Norte no Ceará. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 159–170, 1 jan. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/D8gxpRfjzbK3CKYP95JdZnb/?lang=pt>. Acesso em: 23 jan. 2026.

MUTTARAID, A.; TOWPRAYOON, S.; CHIEMCHAISRI, C.; SILALERTRUKSA, T.; WANGYAO, K. Optimizing landfill mining operations: a comparative analysis of material flow and cost–benefit assessment for medium- and large-scale sites. **Journal of Material Cycles and Waste Management 2023 26:2**, v. 26, n. 2, p. 830–844, 6 dez. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-023-01853-y>. Acesso em: 23 jan. 2026.

NAAZ, I.; THENGANE, S. K.; ARORA, P.; THIRUMOORTHY, G.; SINGAL, S. K. Waste-to-energy pathways for fresh and legacy waste management: A case study in India. **Energy Nexus**, v. 19, p. 100472, 1 set. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427125001135?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

NAJMI, A.; KANAPATHY, K.; AZIZ, A. A. A pathway to involve consumers for exchanging electronic waste: a deep learning integration of structural equation modelling and artificial neural network. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 24, n. 1, p. 410–424, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-021-01332-2>. Acesso em: 21 mar. 2026.

NANLIN, L.; FAN, L.; HUA, Z.; LIMING, S.; PINJING, H. Environmental and economic assessment of the construction, operation, and demolition of a decentralized composting facility. **Science of The Total Environment**, v. 884, p. 163724, 1 ago. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723023458?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

NEGASH, Y. T.; SARMIENTO, L. S. C.; TSENG, M. L.; LIM, M. K.; ALI, M. H. Engagement factors for household waste sorting in Ecuador: Improving perceived convenience and environmental attitudes enhances waste sorting capacity. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 175, n. August, p. 105893, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105893>.

NEJADSADEGHI, E.; YOUSEFI, M.; GHASEMI, A.; DELAVARI HERAVI, M. Assessment of linking perceived benefits to source separation behavior and waste management economics by Monte Carlo simulation. **Discover Sustainability 2025 6:1**, v. 6, n. 1, p. 1052-, 9 out. 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-025-01939-7>. Acesso em: 21 mar. 2026.

NEVES, J. A. B. **Modelo de equações estruturais: uma introdução aplicada**. [s.l: s.n.]81 p.

NG, K. S.; YANG, A. Development of a system model to predict flows and performance of regional waste management planning: A case study of England. **Journal of Environmental**

Management, v. 325, p. 116585, 1 jan. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722021582>. Acesso em: 6 jul. 2026.

NGUYEN, T. K. N. The determinants of individuals' waste separation intention in an urbanizing city: A case study of Hanoi, Vietnam. **Habitat International**, v. 137, p. 102835, 1 jul. 2023. . Acesso em: 6 jun. 2024.

NGUYEN, T. T. P.; ZHU, D.; LE, N. P. Factors influencing waste separation intention of residential households in a developing country: Evidence from Hanoi, Vietnam. **Habitat International**, v. 48, p. 169–176, 1 ago. 2015. . Acesso em: 26 fev. 2025.

NIK MASDEK, N. R.; WONG, K. K. S.; MOHD NAWI, N.; SHARIFUDDIN, J.; WONG, W. L. Antecedents of sustainable food waste management behaviour: Empirical evidence from urban households in Malaysia. **Management and Marketing**, v. 18, n. 1, p. 53–77, 1 mar. 2023. . Acesso em: 21 mar. 2026.

NKETIAH, E.; SONG, H.; CAI, X.; ADJEI, M.; ADU-GYAMFI, G.; OBUOBI, B. Citizens' intention to invest in municipal solid waste to energy projects in Ghana: The impact of direct and indirect effects. **Energy**, v. 254, p. 124420, 1 set. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544222013238>. Acesso em: 21 mar. 2026.

NUREEN, N.; LIU, D.; AHMAD, B.; IRFAN, M. Exploring the technical and behavioral dimensions of green supply chain management: a roadmap toward environmental sustainability. **Environmental Science and Pollution Research 2022 29:42**, v. 29, n. 42, p. 63444–63457, 23 abr. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-20352-5>. Acesso em: 6 jul. 2026.

OKONTA, F. N.; MOHLALIFI, M. Assessment of factors affecting source recycling among metropolitan Johannesburg residents. **Waste Management**, v. 105, p. 445–449, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.006>.

OLAFASAKIN, O.; MA, J.; BRADSHAW, S. L.; AGUIRRE-VILLEGAS, H. A.; BENSON, C.; HUBER, G. W.; ZAVALA, V. M.; MBA-WRIGHT, M. Techno-Economic and life cycle assessment of standalone Single-Stream material recovery facilities in the United states. **Waste Management**, v. 166, p. 368–376, 1 jul. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X23003525?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

OMRAN, I. I.; AL-SAATI, N. H.; SALMAN, A. A.; HASHIM, K. A new framework for assessing the sustainability of municipal solid waste treatment techniques applying multi-criteria decision analysis. **International Journal of Environmental Science and Technology 2022 20:9**, v. 20, n. 9, p. 9683–9692, 21 nov. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-022-04642-6>. Acesso em: 18 maio. 2026.

OTTANI, F.; PEDRAZZI, S.; MORSELLI, N.; PUGLIA, M.; ALLESINA, G. Seeking the synergistic potential of biochar integration in municipal composting plants for techno-economic and environmental leverage. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 64, p. 103717, 1 abr. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138824001139?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

OUFELLA, S. Hybrid use of Borda count and PROMETHEE method for maintenance strategy selection problem. **Foundations of Computing and Decision Sciences**, v. 49, n. 2, p. 139–160, 1 maio 2024. . Acesso em: 23 abr. 2025.

OWEN, A.; BÜCHS, M. Examining changes in household carbon footprints across generations in the UK using decomposition analysis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 28, n. 6, p. 1786–1800, 1 dez. 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1111/jiec.13567>. Acesso em: 22 fev. 2025.

PACHAKIS, G.; MALAMIS, D.; MAI, S.; BARAMPOUTI, E. M. Spatial Influence on Waste-to-Energy Sustainability: A Life Cycle Assessment of RDF Transport and Plant Siting. **Energies 2025, Vol. 18,** v. 18, n. 23, p. 6238, 26 nov. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/23/6238>. Acesso em: 23 jan. 2026.

PANZONE, L.; ULPH, A.; AREAL, F.; GRIPPO, V. A ridge regression approach to estimate the relationship between landfill taxation and waste collection and disposal in England. **Waste Management**, v. 129, p. 95–110, 15 jun. 2021. . Acesso em: 21 set. 2021.

PARK, H. J.; LIN, L. M. Exploring attitude–behavior gap in sustainable consumption: comparison of recycled and upcycled fashion products. **Journal of Business Research**, v. 117, p. 623–628, 1 set. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296318304004>. Acesso em: 1 maio. 2025.

PARK, J.; HA, S. Understanding Consumer Recycling Behavior: Combining the Theory of Planned Behavior and the Norm Activation Model. **Family and Consumer Sciences Research Journal**, v. 42, n. 3, p. 278–291, 1 mar. 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/fcsr.12061>. Acesso em: 20 fev. 2025.

PARREIRA, G. F. **Coleta seletiva solidária: agregando valor pela integração da cadeia da reciclagem**. 2010. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/NVEA-857HNR>. Acesso em: 21 mar. 2026.

PEREIRA, V. R.; FIORE, F. A. Fatores influenciadores da segregação de resíduos orgânicos na fonte geradora para a viabilização de sistemas de compostagem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, n. 4, p. 643–652, 19 ago. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/TcyMZMhnB839Nws3PwBJ8nS/?lang=pt>. Acesso em: 20 fev. 2025.

PERERA, J. S.; BADUGE, S. K.; CHANDRATHILAKA, E. R. K.; THILAKARATHNA, S.; PALLE, T. S.; AMADO, A. M.; MENDIS, P. Enhancing the Efficiency of Plastic Recovery Facilities: Systematically Integrating Seasonal and Regional Variations of Municipal Solid Recyclable Waste Through Infeed Management. **Waste Management**, v. 193, p. 261–272, 1 fev. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X2400641X?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

PICKERING, G. J.; PICKERING, H. M. G.; NORTHCOTTE, A.; HABERMEBL, C. Participation in residential organic waste diversion programs: Motivators and optimizing educational messaging. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 158, p. 1–12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104807>.

PIERINI, V. I.; MAZZEO, N.; CAZENAVE, M.; SEMMARTIN, M. Waste generation and pro-environmental behaviors at household level: A citizen science study in Buenos Aires (Argentina). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 170, p. 105560, 1 jul. 2021. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0921344921001671?via%3Dihub>. Acesso em: 5 maio. 2025.

PINHA, A. C. H.; SAGAWA, J. K. A system dynamics modelling approach for municipal solid waste management and financial analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, p. 122350, 1 out. 2020. . Acesso em: 7 dez. 2022.

PODSAKOFF, P. M.; MACKENZIE, S. B.; LEE, J. Y.; PODSAKOFF, N. P. Common method biases in behavioral research: a critical review of the literature and recommended remedies. **The Journal of applied psychology**, v. 88, n. 5, p. 879–903, 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14516251/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

POKHAREL, B.; AWASTHI, K. D. Assessment of Solid Waste Generation and Cost Benefit Analysis of Operating Solid Waste Management in Madhyabindu Municipality, Nepal. **Journal of UTEC Engineering Management**, v. 3, n. 1, p. 53–69, 29 set. 2025. Disponível em: <https://www.nepjol.info/index.php/juem/article/view/84817>. Acesso em: 6 jun. 2026.

POSIT. **Download R and R Studio**. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop>. Acesso em: 5 jun. 2026.

PRATEEP NA TALANG, R.; SIRIVITHAYAPAKORN, S. Environmental and financial assessments of open burning, open dumping and integrated municipal solid waste disposal schemes among different income groups. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, p. 127761, 20 ago. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262101979X?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

PRATEEP NA TALANG, R.; SIRIVITHAYAPAKORN, S. Comparative analysis of environmental costs, economic return and social impact of national-level municipal solid waste management schemes in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 343, n. February, p. 131017, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131017>.

PUCHONGKAWARIN, C. Enviro-economic optimization for the design of municipal solid waste management strategies. **Environment Systems and Decisions 2024 44:3**, v. 44, n. 3, p. 674–694, 27 fev. 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10669-024-09963-0>. Acesso em: 23 jan. 2026.

PURWANTO, H.; NURHASANA, R.; ROHIMAH, A. Assessing the Feasibility of Small-Scale RDF Technology in Urban Solid Waste Management Using Cost-Benefit Analysis. **Advance Sustainable Science Engineering and Technology**, v. 7, n. 3, p. 02503016–02503016, 23 ago. 2025. Disponível em: <https://journal2.upgris.ac.id/index.php/asset/article/view/1988>. Acesso em: 23 jan. 2026.

QGIS, D. T. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.** Disponível em: <https://qgis.org/download/thank-you/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

RADIO MIX. **Tabela dial - Condições Gerais**. . Acesso em: 30 jan. 2026.

RAKHMAWATI, T.; DAMAYANTI, S.; JATI, R. K.; ASTRINI, N. J. An extended TPB model of waste-sorting intention: a case study of Indonesia. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 34, n. 5, p. 1248–1268, 18 jul. 2023. . Acesso em: 23 jun. 2024.

RATTANADILOK NA PHUKET, K.; SRIMACHAI, T.; MEENGAM, C.; RUAMCHAROEN, P. Prototype System for Production of Refuse Derived Fuel (RDF-5) from Municipal Solid Waste Using Natural Rubber as Binder. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports**, v. 26, n. 3, p. 63–71, 28 jun. 2023. Disponível em: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal/article/view/249665>. Acesso em: 23 jan. 2026.

RAZALI, F.; DAUD, D.; CHOONG, W. W.; ANTHONY JIRAM, W. R.; SULAIMAN, N. N.; RAJA SYAMSUDDIN, R. N. S. Facilities management as moderator in improving waste separation behaviour among households. **Property Management**, v. 43, n. 1, p. 100–125, 7 jan. 2024. . Acesso em: 12 fev. 2025.

RAZALI, F.; DAUD, D.; WENG-WAI, C.; ANTHONY JIRAM, W. R. Waste separation at source behaviour among Malaysian households: The Theory of Planned Behaviour with moral norm. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 122025, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122025>.

RECIFY. **Quanto custa anunciar no Google e redes sociais? Entenda o investimento**. Disponível em: <https://recify.com.br/blog/quanto-custa-anunciar-no-google-e-redes-sociais-entenda-o-investimento/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

REINGEWERTZ, Y.; AYALON, O. The effect of the intensive margin on waste separation behavior: a discrete choice experiment. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1–25, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://link-springer-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10668-024-05886-7>. Acesso em: 5 maio. 2025.

RIBEIRO, V. M.; KASMIRSKI, P. R.; AYED, C. Ben. Educational equity and social vulnerability in the territories: cases of Ceará State municipal networks in Fortaleza <sup/>. **Educação e Pesquisa**, v. 49, p. e260580, 15 dez. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ep/a/GhhmJCGh8XcGprpQNysfs5K/?lang=en>. Acesso em: 1 ago. 2025.

RINGLE, C. M.; SILVA, D. da; BIDO, D. de S. Modelagem de Equações Estruturais com Utilização do Smartpls. **ReMark - Revista Brasileira de Marketing**, v. 13, n. 2, p. 56–73, 23 maio 2014. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/remark/article/view/12032>. Acesso em: 22 nov. 2024.

ROSSIT, D. G.; TOUTOUH, J.; NESMACHNOW, S. Exact and heuristic approaches for multi-objective garbage accumulation points location in real scenarios. **Waste Management**, v. 105, p. 467–481, 15 mar. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X2030074X>. Acesso em: 2 maio. 2025.

SAARI, D. G. Selecting a voting method: the case for the Borda count. **Constitutional Political Economy**, v. 34, n. 3, p. 357–366, 1 set. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10602-022-09380-y>. Acesso em: 23 abr. 2025.

SAFAR, K. M.; BUX, M. R.; FARIA, U.; PERVEZ, S. Integrated model of municipal solid waste management for energy recovery in Pakistan. **Energy**, v. 219, p. 119632, 15 mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220327390?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

SAJID, M.; ZAKKARIYA, K. A.; ERTZ, M. Beyond the bin: overcoming the intention–behavior gap in zero-waste living. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 35, n. 3, p. 587–609, 19 mar. 2024. . Acesso em: 1 maio. 2025.

SAKRI, A.; AOUABED, A.; NASSOUR, A.; NELLES, M. Refuse-derived fuel potential production for co-combustion in the cement industry in Algeria. **Waste Management and Research**, v. 39, n. 9, p. 1174–1184, 2021.

SAMARASINGHE, K.; WIJAYATUNGA, P. D. C. Techno-economic feasibility and environmental sustainability of waste-to-energy in a circular economy: Sri Lanka case study. **Energy for Sustainable Development**, v. 68, p. 308–317, 1 jun. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0973082622000515?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **Prefeitura gasta R$ 1,7 milhão com descarte irregular de materiais - Prefeitura de São José dos Campos**. Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2020/maio/19/prefeitura-gasta-r-1-7-milhao-com-descarte-irregular-de-materiais/>. Acesso em: 23 jan. 2026.

SAPAWI, S.; AHMAD, A.; VALERI, M.; AZMAN, N. Change in Sustainable Waste Management Behaviour in Oil Palm Community: Application of the Theory of Planned Behaviour. **Sustainability 2024, Vol. 16, Page 919**, v. 16, n. 2, p. 919, 22 jan. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/2/919/htm>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SARQUAH, K.; NARRA, S.; BECK, G.; DERKYI, N. S. A.; AWAFO, E.; HARTMANN, M.; NELLES, M. Evaluating opportunities of refuse derived fuel for energy-based industrial symbiosis towards a circular economy - A case study. **Journal of Environmental Management**, v. 380, p. 125126, 1 abr. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479725011028?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

SEMMAM, S. de M. A. e S. U. **Fiscalização da Semmam combate e elimina pontos irregulares de lixo na cidade – Prefeitura de Vitória**. Disponível em: <https://www.vitoria.es.gov.br/noticia/fiscalizacao-da-semmam-combate-e-elimina-pontos-irregulares-de-lixo-na-cidade-24302>. Acesso em: 23 jan. 2026.

SENA, L. G. **AVALIAÇÃO DO EFEITO DE POLÍTICAS PÚBLICAS NOS CUSTOS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DAS PREFEITURAS MUNICIPAIS**. 2020. Universidade Federal do Espírito Santo, VITÓRIA, 2020. Disponível em: <https://lagesa.ufes.br/sites/lagesa.ufes.br/files/field/anexo/dissertacao_larissa_sena_avaliacao_do_efeito_de_politicas_publicas_nos_custos_do_gerenciamento_0.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2024.

SENA, L. G.; CALIXTO, L. M.; GALAVOTE, T.; DE LORENA DINIZ CHAVES, G.; SIMAN, R. R. Gestão de resíduos domiciliares: uma análise sistêmica sob a ótica da sustentabilidade financeira de municípios e rendimentos de catadores de materiais recicláveis no Brasil. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 15, p. e20220212, 18 set. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/5YQCmrGs9Mh3s3LDpsQY8jD/>. Acesso em: 21 jan. 2024.

SETIAWAN, B.; AFIFF, A. Z.; HERUWASTO, I. The role of norms in predicting waste sorting behavior. **Journal of Social Marketing**, v. 11, n. 3, p. 224–239, 2021.

SGRANCIO, A. T.; DA RODRIGUES, I. M. C.; KOMATI, K. S. Mapeamento de vulnerabilidades por bairro do Cadastro Único no município de Vitória-ES. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 15, p. e20210385, 13 fev. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/TZvXFGPx6Q9n4mSCxDMcWPc/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

SHARIFI, A.; ALLAM, Z.; BIBRI, S. E.; KHAVARIAN-GARMSIR, A. R. Smart cities and sustainable development goals (SDGs): A systematic literature review of co-benefits and trade-offs. **Cities**, v. 146, p. 104659, 1 mar. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275123004717?via%3Dihub>. Acesso em: 7 set. 2025.

SHARMA, A.; RAWAL, N. Life Cycle Costing Assessment–Based Approach for Evaluation of Solid Waste Management Options. **Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive**

Waste, v. 26, n. 4, p. 04022023, 1 out. 2022. Disponível em: </doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29HZ.2153-5515.0000711?download=true>. Acesso em: 23 jan. 2026.

SHARMA, B. K.; CHANDEL, M. K. Life cycle cost analysis of municipal solid waste management scenarios for Mumbai, India. **Waste Management**, v. 124, p. 293–302, 1 abr. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X21000659?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

SHEN, C.; PANDA, S.; VOGELSTEIN, J. T. The Chi-Square Test of Distance Correlation. **Journal of Computational and Graphical Statistics**, v. 31, n. 1, p. 254–262, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10618600.2021.1938585>. Acesso em: 1 maio. 2025.

SHEN, L.; SI, H.; YU, L.; SI, H. Factors influencing young people's intention toward municipal solid waste sorting. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 10, 2019.

SHEN, Y.; ZHU, T.; KUMAR, R.; KUMAR, A.; CHEN, S. Domestic Garbage Classification and Incentive-Based Policies in China: An Empirical Analysis. **Water 2023, Vol. 15, Page 4074**, v. 15, n. 23, p. 4074, 24 nov. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/23/4074/htm>. Acesso em: 4 maio. 2025.

SHERIFF, K. M. M.; SUBRAMANIAN, N.; RAHMAN, S.; JAYARAM, J. Integrated optimization model and methodology for plastics recycling: Indian empirical evidence. **Journal of Cleaner Production**, v. 153, p. 707–717, 1 jun. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616310332>. Acesso em: 13 mar. 2026.

SHI, J. gang; XU, K.; SI, H.; SONG, L.; DUAN, K. Investigating intention and behaviour towards sorting household waste in Chinese rural and urban–rural integration areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 298, n. July 2019, 2021.

SHOWKAT, M.; NAGINA, R.; BABA, M. A.; YAHYA, A. T. The impact of financial literacy on women's economic empowerment: exploring the mediating role of digital financial services. **Cogent Economics & Finance**, v. 13, n. 1, 31 dez. 2025. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23322039.2024.2440444>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SILVA, A.; RIBEIRO, T.; LIMA, J.; FERNANDES, F. P.; SILVA, A. M. T.; GOMES, H. T.; PEREIRA, A. I. Hybrid Fleet Optimization for Waste Collection: Addressing Urban Constraints Using OR-Tools. **SN Computer Science 2025 6:5**, v. 6, n. 5, p. 482-, 21 maio 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-025-04018-w>. Acesso em: 13 mar. 2026.

SILVA, C. L. Proposal of a dynamic model to evaluate public policies for the circular economy: Scenarios applied to the municipality of Curitiba. **Waste Management**, v. 78, p. 456–466, 1 ago. 2018. . Acesso em: 17 fev. 2021.

SIMAN, R. R.; YAMANE, L. H.; BALDAM, R. de L.; TACKLA, J. P.; LESSA, S. F. de A.; BRITTO, P. M. de. Governance tools: Improving the circular economy through the promotion of the economic sustainability of waste picker organizations. **Waste Management**, v. 105, n. 2020, p. 148–169, 2020.

SIMSEK, A. I.; KOC, E.; GULTEKIN TARLA, E. Assessing Green Logistics and Supply Chain Resilience With Future Importance Analysis: Machine Learning and Multicriteria Decision-Making Approach. **Business Strategy and the Environment**, v. 35, n. 3, p. 3952–3977, 1 mar. 2025. Disponível em: </doi/pdf/10.1002/bse.70356>. Acesso em: 6 jun. 2026.

SINISA, M. das C. **Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico - SINISA**. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa>. Acesso em: 9 jan. 2026.

SLAVÍK, J.; DOLEJŠ, M.; RYBOVÁ, K. Mixed-method approach incorporating Geographic information system (GIS) tools for optimizing collection costs and convenience of the biowaste separate collection. **Waste Management**, v. 134, p. 177–186, 1 out. 2021. . Acesso em: 21 set. 2021.

SMARTPLS GMBH. **SmartPLS 4**. Disponível em: <https://www.smartpls.com/>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SNIS. **SNIS - Série Histórica**. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 5 jul. 2024.

SOBRINO-GARCÍA, I. European waste management regulations in Spanish local administrations: Compliance assessment and integration Frontiers. **Sustainable Development**, v. 33, n. 2, p. 2553–2565, 1 abr. 2025. Disponível em: </doi/pdf/10.1002/sd.3258>. Acesso em: 12 fev. 2026.

SOUSA, A. do N.; JUCÁ, J. F. T.; SILVA JÚNIOR, D. B.; OLIVEIRA, J. P. F.; SALES, J. da S. COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS DOMICILIARES DA REGIÃO ADMINISTRATIVA SUL DO MUNICÍPIO DE TERESINA/PI. Em: 2018, Foz do Iguaçu. [...]. Foz do Iguaçu: 2018.

SPYRA, M.; CORTINOVIS, C.; RONCHI, S. An overview of policy instruments for sustainable peri-urban landscapes: Towards governance mixes. **Cities**, v. 156, p. 105508, 1 jan. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275124007224#s0065>. Acesso em: 7 set. 2025.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. [s.l.] MCGraw-Hill Companies, Inc, 2000. 1–29 p.

SUSMAGA, R.; SZCZĘCH, I.; BRZEZINSKI, D. Towards explainable TOPSIS: Visual insights into the effects of weights and aggregations on rankings. **Applied Soft Computing**, v. 153, p. 111279, 1 mar. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S156849462400053X>. Acesso em: 6 jun. 2026.

TABAR, S. A. M. M.; BRISCOE, M. D.; SOHRABI, M. Waste separation behavior in Iran: an empirical test of the theory of planned behavior using SEM. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 26, n. 2, p. 1042–1055, 1 mar. 2024. Disponível em: <https://link-springer-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-023-01881-8>. Acesso em: 6 jun. 2024.

TABORÁ. **CMTU gasta mais de R$ 200 mil por mês para limpar pontos irregulares de lixo**. Disponível em: <https://taroba.com.br/noticias/cidade/cmtu-gasta-mais-de-r-200-milhoes-por-ano-para-limpar-pontos-irregulares-de-lixo>. Acesso em: 23 jan. 2026.

TAHULELA, A. C.; HASHEMI, S.; LOURENS, M. E. Household Waste Disposal Under Structural and Behavioral Constraints: A Multivariate Analysis from Vhembe District, South Africa. **Sustainability 2025, Vol. 17,** v. 17, n. 16, 16 ago. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/16/7429>. Acesso em: 21 mar. 2026.

TANG, D.; CAI, X.; NKETIAH, E.; ADJEI, M.; ADU-GYAMFI, G.; OBUOBI, B. Separate your waste: A comprehensive conceptual framework investigating residents' intention to adopt household waste separation. **Sustainable Production and Consumption**, v. 39, p. 216–229, 1 jul. 2023. . Acesso em: 27 jun. 2024.

TANG, D.; SHI, L.; HUANG, X.; ZHAO, Z.; ZHOU, B.; BETHEL, B. J. Influencing Factors on the Household-Waste-Classification Behavior of Urban Residents: A Case Study in Shanghai. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 11, p. 6528, 1 jun. 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9180709/>. Acesso em: 20 mar. 2026.

TCHONOBANOGLOUS, G.; KEITH, F. **Handbook of solid waste management**. [s.l.] McGRAW-HILL, 2002. 834 p.

THAKUR, R.; ONWUBU, S. C. Household waste management behaviour amongst residents in an informal settlement in Durban, South Africa. **Journal of Environmental Management**, v. 349, p. 119521, 1 jan. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723023095>. Acesso em: 21 mar. 2026.

(THANOS) BOURTSALAS, A. C.; THEMELIS, N. J. Materials and energy recovery at six European MBT plants. **Waste Management**, v. 141, p. 79–91, 15 mar. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X22000253?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

TÚLIO, T. J.; SCHMITZ, A. P. Cost-benefit analysis of technological changes: case of a management solid waste consortia in the metropolitan region of Curitiba, Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 28, p. e20230002, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/FWzdTNCQdL6TJjNDtkLdx6d/?lang=en>. Acesso em: 23 jan. 2026.

TV GAZETA. **Sua marca na TV Gazeta | Mais Negócio**. Disponível em: <https://maisnegocio.tvgazetaes.com.br/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

UKKONEN, A.; SAHIMAA, O. Weight-based pay-as-you-throw pricing model: Encouraging sorting in households through waste fees. **Waste Management**, v. 135, n. 1, p. 372–380, 1 nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14041040510033851>. Acesso em: 12 fev. 2026.

UNEP, U. N. E. P. **Beyond an Age of Waste - Global Waste Management Outlook 2024**. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>. Acesso em: 5 maio. 2025.

UNITED KINGDOM. **Aggregate from waste steel slag: quality protocol**. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/aggregate-from-waste-steel-slag-quality-protocol>. Acesso em: 15 out. 2023.

VACCARO, A.; KORACH, J. Expanding the Cultural Reach of Zoos. **Journal of Zoological and Botanical Gardens 2025, Vol. 6,** v. 6, n. 2, 31 mar. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-5636/6/2/21>. Acesso em: 20 mar. 2026.

VALE. **Geração de renda e transformação social**. Disponível em: <https://saladeimprensa.vale.com/pt/espirito-santo>. Acesso em: 7 jun. 2025.

VALENTE, M. Policy evaluation of waste pricing programs using heterogeneous causal effect estimation. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 117, 1 jan. 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2010.01105>. Acesso em: 4 maio. 2025.

VASSANADUMRONGDEE, S.; KITTIPONGVISES, S. Factors influencing source separation intention and willingness to pay for improving waste management in Bangkok, Thailand. **Sustainable Environment Research**, v. 28, n. 2, p. 90–99, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.11.003>.

VENES, H.; GALAVOTE, T.; DE ALVARENGA ROSA, R.; SIMAN, R. R. “That’s (not) Rubbish!” Planning the Reverse Logistic for Recyclable Solid Waste Using a Vehicle Routing Problem: A Case Study in Vitória/ES. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 18, n. 7, p. 2191–2198, 1 jul. 2023. . Acesso em: 13 mar. 2026.

VITÓRIA. **LEI 3704/1990 - DÁ NOVO TRATAMENTO A COBRANÇA DAS TAXAS PELA UTILIZAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS.** Disponível em: <https://camarasempapel.cmv.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html_impressao/L37041990.html>. Acesso em: 26 mar. 2025.

VITÓRIA. **Lei 5.814, Institui a Taxa de Coleta de Resíduos Sólidos (TCRS) em substituição à Taxa de Limpeza Urbana**. Disponível em: <https://sistemas.vitoria.es.gov.br/atosnormativos/arquivos/2012/L8308.PDF>. Acesso em: 30 mar. 2025.

VITÓRIA. **Lei 7.099 - Autoriza o Poder Executivo a firmar convênios com Cooperativas e associações de reciclagem e de Resíduos sólidos sediadas em Vitória, e empresas afins.** Disponível em: <https://sistemas.vitoria.es.gov.br/atosnormativos/arquivos/2007/L7099.PDF>. Acesso em: 17 abr. 2025.

VITÓRIA. **Lei 8158 - Dispõe sobre a obrigatoriedade de dar publicidade aos dias e horários de coleta e transporte dos resíduos sólidos no município de Vitória.** Disponível em: <https://sistemas.vitoria.es.gov.br/atosnormativos/arquivos/2011/L8158.PDF>. Acesso em: 17 abr. 2025.

VITÓRIA. **Lei 8308 – Dispõe sobre a obrigatoriedade da coleta seletiva de resíduos sólidos nos locais que discrimina.** . Disponível em: <https://sistemas.vitoria.es.gov.br/atosnormativos/arquivos/2012/L8308.PDF>. Acesso em: 17 abr. 2025.

VITÓRIA. LEI Nº 8.695 - Institui a Política Municipal de Educação Ambiental e o Sistema Municipal de Educação Ambiental e dá outras providências. 5 ago. 2014. Disponível em: <https://sistemas.vitoria.es.gov.br/atosnormativos/arquivos/2014/L8695.PDF>. Acesso em: 5 jul. 2024.

VITÓRIA. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Vitória - PMSB**. Disponível em: <https://sites.vitoria.es.gov.br/pmsb/wp-content/uploads/2015/08/produto-031.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2024.

VITÓRIA. **LEI 5814/2002 - INSTITUI A TAXA DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS (TCRS) EM SUBSTITUIÇÃO À TAXA DE LIMPEZA URBANA.** Disponível em: <https://camarasempapel.cmv.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/L58142002.html?identificador=36003600370033003A004C00>. Acesso em: 26 mar. 2025.

VITÓRIA. **Coleta Seletiva – Prefeitura de Vitória**. Disponível em: <https://www.vitoria.es.gov.br/cidade/coleta_seletiva>. Acesso em: 5 jul. 2024.

VITÓRIA. **Oficinas e Atividades Educativas**. Disponível em: <https://www.interagevix.com.br/oficina?OficinaSearch[tipo]=OF>. Acesso em: 23 fev. 2025a.

VITÓRIA. **Bairros por Regional Administrativa - Municipio de Vitoria**. Disponível em: <https://www.vitoria.es.gov.br/prefeitura/gerencias-regionais-enderecos>. Acesso em: 4 jul. 2025b.

VITÓRIA. **Coleta seletiva – Prefeitura de Vitória**. Disponível em: <https://www.vitoria.es.gov.br/central/coleta-seletiva>. Acesso em: 7 jun. 2025c.

VITÓRIA. **Portal da Transparência: Taxa de Prestação de Serviço de Limpeza Urbana**. Disponível em: <https://transparencia.vitoria.es.gov.br/Receita.Categoria.aspx?ctbUnidadeGestoraId=6&exercicio=2026&NaturezaReceitaID=143346>. Acesso em: 10 abr. 2026a.

VITÓRIA. **IntEr Age VIX**. Disponível em: <https://www.interagevix.com.br/>. Acesso em: 29 jan. 2026b.

VITÓRIA. **Educação ambiental é desenvolvida nos parques da cidade**. Disponível em: <https://www.vitoria.es.gov.br/semmam/educacao-ambiental-e-desenvolvida-nos-parques-da-cidade>. Acesso em: 29 jan. 2026c.

VITÓRIA. **Portal da transparência - IPTU**. Disponível em: <https://transparencia.vitoria.es.gov.br/Receita.Lista.aspx?exercicio=2026&periodicidade=Anual&periodo=tpAnual&tipoReceita=Realizada&ctbUnidadeGestoraId=6&NaturezaReceitaID=143193>. Acesso em: 23 jan. 2026d.

VLACHOKOSTAS, C.; MICHAILIDOU, A. V.; ACHILLAS, C. Multi-Criteria Decision Analysis towards promoting Waste-to-Energy Management Strategies: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, p. 110563, 1 mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120308479>. Acesso em: 6 jun. 2026.

VOLLAARD, B.; VAN SOEST, D. Punishment to promote prosocial behavior: a field experiment. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 124, p. 102899, 1 mar. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069623001171>. Acesso em: 3 maio. 2025.

VU, H. L.; NG, K. T. W.; FALLAH, B.; RICHTER, A.; KABIR, G. Interactions of residential waste composition and collection truck compartment design on GIS route optimization. **Waste Management**, v. 102, p. 613–623, 1 fev. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X1930724X>. Acesso em: 13 mar. 2026.

WANG, D.; TANG, Y. T.; LONG, G.; HIGGITT, D.; HE, J.; ROBINSON, D. Future improvements on performance of an EU landfill directive driven municipal solid waste management for a city in England. **Waste Management**, v. 102, p. 452–463, 2020.

WANG, X. Analysis of influencing mechanism on waste separation behavior in Shanghai. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 47, n. December 2020, p. 101479, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101479>.

WANG, X.; TANG, R.; MENG, M.; SU, T. Research on CCUS business model and policy incentives for coal-fired power plants in China. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 125, p. 103871, 1 maio 2023. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1750583623000415?via%3Dihub#fig0004>. Acesso em: 19 dez. 2025.

WANG, X.; TZENG, S. Y.; MARDANI, A. Spatial differentiation and driving mechanisms of urban household waste separation behavior in Shanghai, China. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 181, n. December 2021, p. 121753, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121753>.

WANG, Y.; LONG, X.; LI, L.; WANG, Q.; DING, X.; CAI, S. Extending theory of planned behavior in household waste sorting in China: the moderating effect of knowledge, personal involvement, and moral responsibility. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 5, p. 7230–7250, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00913-9>.

WANG, Z.; KIM, M. K.; KIM, H. N. Food waste and pay-as-you-throw systems. **Journal of the Agricultural and Applied Economics Association**, v. 5, n. 2, p. 196–210, 1 jun. 2026. Disponível em: </doi/pdf/10.1002/jaa2.70035>. Acesso em: 6 jul. 2026.

WEKISA, E.; MAJALE, C. Spatial distribution of waste collection points and their implications on quality of life in Mombasa County, Kenya. **Journal of Urban Management**, v. 9, n. 2, p. 250–260, 1 jun. 2020. . Acesso em: 28 fev. 2024.

WIHARJA; SUHERMAN; SYAFRUDIN; KHOLIQ, M. A.; PRATAMA, R. A.; ROBBANI, M. H.; SURYANTO, F. Research on the matching relationship of municipal solid waste management and alternative fuel in Indonesia's cement industry. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 11, p. 101098, 1 jun. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016425000052?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

WORD BANK. **State and Trends of Carbon Pricing**. 1. ed. Washington: The Word Bank, 2022.

WORLD BANK. **Solid Waste Management**. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>. Acesso em: 26 fev. 2025.

XIA, Z.; ZHANG, S.; TIAN, X.; LIU, Y. Understanding waste sorting behavior and key influencing factors through internet of things: Evidence from college student community. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 174, p. 105775, 1 nov. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344921003840>. Acesso em: 20 mar. 2026.

XIE, P.; ZHANG, Y.; CHEN, R.; LIN, Z.; LU, N. Social media's impact on environmental awareness: a marginal treatment effect analysis of WeChat usage in China. **BMC Public Health**, v. 24, n. 1, p. 1–15, 1 dez. 2024. Disponível em:

<https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-024-20721-4>. Acesso em: 2 ago. 2025.

XIE, X.; WANG, H.; ZHANG, S.; LIU, Y. How to incentivize farmers to adopt and recycle high-standard plastic mulch in China: economic subsidies, government regulations or social norms? **Frontiers in Environmental Science**, v. 13, p. 1683437, 21 out. 2025. . Acesso em: 20 mar. 2026.

XU, D.; HE, J.; QING, C.; ZHANG, F. Impact of perceived environmental regulation on rural residents' willingness to pay for domestic waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 412, p. 137390, 1 ago. 2023. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652623015482?via%3Dihub#sec5>. Acesso em: 5 maio. 2025.

XU, L.; LING, M.; LU, Y.; SHEN, M. Understanding household waste separation behaviour: Testing the roles of moral, past experience, and perceived policy effectiveness within the theory of planned behaviour. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 4, 2017a.

XU, L.; LING, M.; LU, Y.; SHEN, M. Understanding household waste separation behaviour: Testing the roles of moral, past experience, and perceived policy effectiveness within the theory of planned behaviour. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 4, 2017b.

XU, L.; YANG, H.; LING, M. Factors moderating the effect of financial incentives on household recycling: A motivation crowding perspective. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 100, p. 107078, 1 maio 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925523000446>. Acesso em: 20 mar. 2026.

XU, W.; LYU, X.; CHEN, Y.; ZHOU, J.; SUN, S.; FAN, Y. Van; DONG, H.; JIANG, P. Investigating preferences and price sensitivity of incentive-based recycling of household waste in emerging megacities. **Journal of Environmental Management**, v. 392, p. 126595, 1 set. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030147972502571X>. Acesso em: 12 fev. 2026.

YALCINKAYA, S.; UZER, S. A GIS-based multi-criteria decision support model for planning municipal solid waste collection points: A case study of Çağdaş Neighbourhood, Çiğli District, Izmir, Turkey. **Waste Management and Research**, v. 40, n. 8, p. 1297–1310, 1 ago. 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34894898/>. Acesso em: 2 maio. 2025.

YAMAN, C. Investigation of greenhouse gas emissions and energy recovery potential from municipal solid waste management practices. **Environmental Development**, v. 33, p. 100484, 1 mar. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211464518304615?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

YAMAN, C.; ANIL, I.; ALAGHA, O. Potential for greenhouse gas reduction and energy recovery from MSW through different waste management technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, p. 121432, 10 ago. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620314797?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2026.

YI, Y.; FEI, X.; FEDELE, A.; LAVAGNOLO, M. C.; MANZARDO, A. Decision support model for selecting construction and demolition waste management alternatives: A life cycle-based approach. **Science of The Total Environment**, v. 951, p. 175408, 15 nov. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972405558X?via%3Dihub>. Acesso em: 18 maio. 2026.

YI, Y.; FEI, X.; LAVAGNOLO, M. C.; MANZARDO, A. An integrated model of life cycle assessment and system dynamics for construction and demolition waste management and reduction in Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 486, n. 3, p. 144469, 1 jan. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03217-1>. Acesso em: 14 mar. 2026.

YU, H.; WANG, H.; LIANG, C.; LIU, Z.; WANG, S. Carbon market volatility analysis based on structural breaks: Evidence from EU-ETS and China. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 973855, 26 set. 2022. . Acesso em: 8 maio. 2026.

YU, J.; OKUBO, K.; LIU, X.; BARBOSA, A.; JUNIOR DE CASTRO GONÇALVES, T.; SIMÕES, P. Improving Municipal Solid Waste Services: Insights into Efficiency, Productivity, and Recycling in Brazil. **Sustainability 2025, Vol. 17, Page 2519**, v. 17, n. 6, p. 2519, 13 mar. 2025a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/6/2519/htm>. Acesso em: 6 jul. 2026.

YU, Y.; PAN, D. Rural labor migration and household waste separation willingness: Evidence from 6849 rural residents in China. **PLOS ONE**, v. 20, n. 5, p. e0321459, 1 maio 2025. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0321459>. Acesso em: 21 mar. 2026.

YU, Z.; LIU, X.; YU, J.; SUJAUDDIN, M.; MANAGO, G. A Cluster Analysis of Cooperative Recycling Behaviors for Post-Consumer Plastic Waste in Urban Areas: A Case Study on Sendai, Kawasaki, and Kyoto City in Japan. **Sustainability (Switzerland)**, v. 17, n. 17, p. 7939, 1 set. 2025b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/17/7939/htm>. Acesso em: 8 nov. 2025.

YUHUAN, Z.; DIUNUGALA, H. P.; MOMBEUIL, C. Factors affecting household solid waste source separation intention and disposal: a focus on Sri Lanka. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 26, n. 3, p. 1776–1794, 1 maio 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-024-01936-4>. Acesso em: 2 ago. 2025.

ZAIKOVA, A.; DEVIATKIN, I.; HAVUKAINEN, J.; HORTTANAINEN, M.; ASTRUP, T. F.; SAUNILA, M.; HAPPONEN, A. Factors Influencing Household Waste Separation

Behavior: Cases of Russia and Finland. **Recycling**, v. 7, n. 4, p. 52, 1 ago. 2022a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-4321/7/4/52/htm>. Acesso em: 27 jun. 2024.

ZAIKOVA, A.; VINITSKAIA, N.; DEVIATKIN, I.; HAVUKAINEN, J.; HORTTANAINEN, M. Life Cycle Assessment of Existing and Alternative Options for Municipal Solid Waste Management in Saint Petersburg and the Leningrad Region, Russia. **Recycling**, v. 7, n. 2, p. 19, 1 abr. 2022b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-4321/7/2/19/htm>. Acesso em: 18 maio. 2026.

ZBIB, H.; WØHLK, S. A comparison of the transport requirements of different curbside waste collection systems in Denmark. **Waste Management**, v. 87, p. 21–32, 15 mar. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19300510>. Acesso em: 13 mar. 2026.

ZHANG, C.; MA, B.; DU, Q. Public acceptability and its determinants of unit pricing for municipal solid waste disposal: Evidence from a household survey in Beijing. **Journal of Environmental Management**, v. 346, 15 nov. 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37714084/>. Acesso em: 3 maio. 2025.

ZHANG, D.; LI, J.; LOU, S. Reducing environmental pollution: what affects the waste sorting of Chinese urban residents? The theory of planned behavior with community convenience. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, p. 1–15, 11 abr. 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-024-01943-5>. Acesso em: 6 jun. 2024.

ZHANG, L.; HU, Q.; ZHANG, S.; ZHANG, W. Understanding Chinese residents'waste classification from a perspective of intention-behavior gap. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 10, 2020.

ZHANG, S.; HU, D.; LIN, T.; LI, W.; ZHAO, R.; YANG, H.; PEI, Y.; JIANG, L. Determinants affecting residents' waste classification intention and behavior: A study based on TPB and A-B-C methodology. **Journal of Environmental Management**, v. 290, n. April, p. 112591, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112591>.

ZHANG, S.; LUO, Y.; ZHANG, P. A comparative study of factors influencing residents' waste sorting behavior in urban and rural areas of China. **Heliyon**, v. 10, n. 9, p. e30591, 15 maio 2024. . Acesso em: 6 jun. 2024.

ZHANG, S.; MU, D.; LIU, P. Impact of charging and reward-penalty policies on household recycling: A case study in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 185, n. December 2021, p. 106462, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106462>.

ZHANG, Y.; HE, W.; KONG, D.; LIU, Z.; WONG, C. J.; LOH, W. M. E. Low-carbon buildings strategies under carbon trading mechanism: A dynamic quantum game theory approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 525, p. 146586, 20 set. 2025. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652625019365>. Acesso em: 15 maio. 2026.

ZHANG, Y.; WANG, G.; ZHANG, Q.; JI, Y.; XU, H. What determines urban household intention and behavior of solid waste separation? A case study in China. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 93, n. September 2021, 2022.

ZHANG, Y.; ZHANG, K.; LIU, C.; LI, F.; XU, B. Influence of the perceived neighborhood environment on Paying for domestic waste management services in rural China: Evidence from the Xiangtan Prefecture. **Utilities Policy**, v. 85, p. 101658, 1 dez. 2023. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0957178723001704?via%3Dihub>. Acesso em: 5 maio. 2025.

ZHANG, Z.; CHEN, Z.; ZHANG, J.; LIU, Y.; CHEN, L.; YANG, M.; OSMAN, A. I.; FARGHALI, M.; LIU, E.; HASSAN, D.; IHARA, I.; LU, K.; ROONEY, D. W.; YAP, P. S. Municipal solid waste management challenges in developing regions: A comprehensive review and future perspectives for Asia and Africa. **Science of The Total Environment**, v. 930, p. 172794, 20 jun. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724029413>. Acesso em: 6 jul. 2026.

ZHANG, Z.; LIN, Y. Impact of perceived social justice on public acceptance toward waste disposal facilities: Evidence from China. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 101, p. 107157, 1 jul. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925523001233?utm_source=chatgpt.com>. Acesso em: 3 maio. 2025.

ZHAO, Y.; VAN DE WALLE, S. The effect of incentives and procedure simplification in policy implementation: evidence from a survey experiment on waste sorting. **Journal of Asian Public Policy**, 4 jul. 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17516234.2024.2375048>. Acesso em: 7 maio. 2025.

ZHENG, R.; QIU, M.; WANG, Y.; ZHANG, D.; WANG, Z.; CHENG, Y. Identifying the influencing factors and constructing incentive pattern of residents' waste classification behavior using PCA-logistic regression. **Environmental Science and Pollution Research**, n. 0123456789, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23363-4>.

ZHU, C.; FAN, R.; LIN, J. C.; CHEN, R.; LUO, M. How to promote municipal household waste management by waste classification and recycling? A stochastic tripartite evolutionary game analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 344, p. 118503, 15 out. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723012914>. Acesso em: 3 maio. 2025.

ZIEGLER-RODRIGUEZ, K.; MARGALLO, M.; ALDACO, R.; VÁZQUEZ-ROWE, I.; KAHHAT, R. Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental

benefits and challenges from a life-cycle perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 989–1003, 2019.

ZON, J. L. N.; JACOBSEN LEOPOLDINO, C.; YAMANE, L. H.; RIBEIRO SIMAN, R. Waste pickers organizations and municipal selective waste collection: Sustainability indicators. **Waste Management**, v. 118, p. 219–231, 2020.

ZOUMPOULIS, P.; KONSTANTINIDIS, F. K.; TSIMIKLIS, G.; AMDITIS, A. Smart bins for enhanced resource recovery and sustainable urban waste practices in smart cities: A systematic literature review. **Cities**, v. 152, p. 105150, 1 set. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275124003640?via%3Dihub>. Acesso em: 7 set. 2025.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DE FATORES PSICOSSOCIAIS

Quadro 5 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do questionário sobre fatores psicossociais que impactam na separação dos resíduos domiciliares.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
Prezado (a) participante, convidamos você a participar desta pesquisa, que tem como objetivo estudar a disposição e o comportamento dos moradores do município de Vitória em relação à separação de resíduos domiciliares. Este questionário faz parte da pesquisa de doutorado da pesquisadora M.Sc. Tânia Galavote, membro do grupo de pesquisa vinculado ao Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental (LAGESA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), sob a orientação do Prof. DSc. Renato Ribeiro Siman. Para saber mais sobre as pesquisas desenvolvidas pelo LAGESA, acesse: https://lagesa.ufes.br. Este questionário é anônimo, e todos os dados coletados serão utilizados exclusivamente para fins de pesquisa e análise acadêmica. Em caso de dúvidas sobre o estudo, você pode entrar em contato com a pesquisadora pelo e-mail tania.pinto@edu.ufes.br. A participação é totalmente voluntária, e você pode encerrar sua participação a qualquer momento, sem qualquer consequência adversa. O tempo estimado para preenchê-lo é de aproximadamente 20 minutos. Ressaltamos que suas respostas são muito importantes para nossa pesquisa. Por favor, responda com sinceridade, com base em suas percepções e comportamentos reais. Se você compreendeu o conteúdo acima e deseja participar deste estudo, marque "Sim" abaixo. Caso contrário, assinale “Não”. Agradecemos a atenção! ◯ Sim ◯ Não

Quadro 6 - Questionário aplicado com base na Teoria do Comportamento Planejado (TCP) para avaliar a separação dos resíduos domiciliares.

INFORMAÇÕES SOBRE O APLICADOR DO QUESTIONÁRIO **Para o caso de aplicação presencial**					
Nome do aplicador:					
Data: ____/____/_____	( ) Houve necessidade de auxílio ao entrevistado.				
INFORMAÇÕES DO ENTREVISTADO					
Caro entrevistado, nesta seção serão coletadas suas informações.					
Você mora no município de Vitória? ( ) Sim - direcionado ao questionário ( ) Não - direcionado aos agradecimentos					
Qual a sua idade? ( ) De 18 a 27 anos ( ) De 28 a 43 anos ( ) De 44 a 59 anos ( ) De 60 a 78 anos ( ) Mais de 79 anos					
INFORMAÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO ECONÔMICA					
Caro entrevistado, nesta seção serão coletadas informações sobre as características de sua habitação para fins de classificação econômica seguindo a metodologia do Critério Brasil.					
ITENS DE CONFORTO	**QUANTIDADE DE ITENS QUE POSSUI**				
	NÃO POSSUI	**1**	**2**	**3**	**4+**
Quantidade de automóveis de passeio exclusivamente para uso particular.					
Quantidade de máquinas de lavar roupa, excluindo tanquinho.					
Quantidade de banheiros.					
DVD, incluindo qualquer dispositivo que leia DVD e desconsiderando DVD de automóvel.					
Quantidade de geladeiras.					
Quantidade de freezers independentes ou parte da geladeira duplex.					
Quantidade de microcomputadores, considerando computadores de mesa, laptops e notebooks.					
Quantidade de lavadora de louças.					
Quantidade de fornos de micro-ondas.					
Quantidade de motocicletas, desconsiderando as usadas exclusivamente para uso profissional.					
Quantidade de máquinas secadoras de roupas, considerando lava e seca.					
TRABALHADOR DOMÉSTICO	**QUANTIDADE DE ITENS QUE POSSUI**				
	NÃO TEM	**1**	**2**	**3**	**4+**

Quantidade de trabalhadores mensalistas, considerando apenas os que trabalham pelo menos cinco dias por semana.					

OUTRAS INFORMAÇÕES

A principal fonte de água utilizada no seu domicílio é proveniente de?

( ) Rede geral de distribuição ( ) Poço ou nascente ( ) Outro meio

Considerando o trecho da rua do seu domicílio, você diria que a rua é:

( ) Asfaltada/Pavimentada ( ) Terra/Cascalho

Qual é o grau de instrução da pessoa com maior renda da família?

( ) Analfabeto / Fundamental I incompleto

( ) Fundamental I completo / Fundamental II Primário Completo / Ginásio Incompleto

( ) Fundamental completo / Médio Ginásio Completo / Colegial Incompleto

( ) Médio completo / Superior incompleto

( ) Superior completo

INFORMAÇÕES SOBRE COMPORTAMENTO DE SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS SECOS RECICLÁVEIS NA FONTE

Caro entrevistado, nesta seção serão coletadas informações sobre o seu comportamento de separação de resíduos secos recicláveis. Para isso, entende-se como resíduos secos recicláveis, materiais como papel, papelão, plástico, metais (como aço e alumínio), vidro, tecidos, isopor, tetrapak etc.

CSR Pretendo separar e destinar os resíduos secos para a coleta seletiva.

( ) Concordo totalmente ( ) Concordo ( ) Moderadamente ( ) Discordo ( ) Discordo totalmente

ATR1 Pretendo separar e destinar os resíduos secos para economizar recursos naturais e proteger o meio ambiente.

( ) Concordo totalmente ( ) Concordo ( ) Moderadamente ( ) Discordo ( ) Discordo totalmente

NSR1 Pretendo separar e destinar os resíduos secos se minha família, amigos ou governo me pressionarem a fazer.

( ) Concordo totalmente ( ) Concordo ( ) Moderadamente ( ) Discordo ( ) Discordo totalmente

CCR1 Pretendo separar e destinar resíduos secos pois considero uma atividade fácil de ser realizada.

( ) Concordo totalmente ( ) Concordo ( ) Moderadamente ( ) Discordo ( ) Discordo totalmente

NSR4 Pretendo separar e destinar resíduos secos em troca de brindes, dinheiro ou descontos (recompensas).

( ) Concordo totalmente ( ) Concordo ( ) Moderadamente ( ) Discordo ( ) Discordo totalmente

NSR2 Pretendo separar e destinar resíduos secos para reduzir uma possível taxa de cobrança pela coleta de resíduos não separados.

( ) Concordo totalmente ( ) Concordo ( ) Moderadamente ( ) Discordo ( ) Discordo totalmente

ATR2 Pretendo separar e destinar resíduos secos se me forem fornecidas informações sobre os tipos de resíduos a serem separados, como separar e os locais de entrega.

( ) Concordo totalmente ( ) Concordo ( ) Moderadamente ( ) Discordo ( ) Discordo totalmente

NSR3 Pretendo separar e destinar resíduos secos em caso de aplicação de multa por não separar e destinar os resíduos.

( ) Concordo totalmente ( ) Concordo ( ) Moderadamente ( ) Discordo ( ) Discordo totalmente

CCR2 Pretendo separar e destinar resíduos secos somente se o ponto de entrega dos resíduos for perto da minha casa.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
CCR3 Pretendo separar e destinar resíduos secos somente se o caminhão de coleta passar na minha rua.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
INFORMAÇÕES SOBRE COMPORTAMENTO DE SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS VERDES NA FONTE				
Caro entrevistado, nesta seção serão coletadas informações sobre o seu comportamento de separação de resíduos verdes. Para isso, entende-se como resíduos verdes, materiais de origem vegetal, como galhos e cascas de árvores, troncos, grama, folhas (verdes ou secas), flores, entre outros.				
CSV Pretendo separar e destinar os resíduos verdes para a coleta seletiva.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
ATV1 Pretendo separar e destinar os resíduos verdes para economizar recursos naturais e proteger o meio ambiente.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
NSV1 Pretendo separar e destinar os resíduos verdes se minha família, amigos ou governo me pressionarem para fazer.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
CCV1 Pretendo separar e destinar resíduos verdes pois considero uma atividade fácil de ser realizada.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
NSV4 Pretendo separar e destinar resíduos verdes em troca de brindes, dinheiro ou desconto (recompensa).				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
NSV2 Pretendo separar e destinar resíduos verdes para reduzir uma possível taxa de cobrança pela coleta de resíduos não separados.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
ATV2 Pretendo separar e destinar resíduos verdes se me forem fornecidas informações sobre como separar corretamente e os locais de entrega.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
NSV3 Pretendo separar e destinar resíduos verdes em caso de aplicação de multa por não separar.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
CCV2 Pretendo separar e destinar resíduos verdes somente se o ponto de entrega dos resíduos for perto da minha casa.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente
CCV3 Pretendo separar e destinar resíduos verdes somente se o caminhão de coleta passar na minha rua.				
( ) Concordo totalmente	( ) Concordo	( ) Moderadamente	( ) Discordo	( ) Discordo totalmente

APÊNDICE B – *SCRIPTS* DO *SOFTWARE* R

Nota: O desenvolvimento e a depuração dos *scripts* utilizados nas análises em R contaram com o auxílio de ferramentas de inteligência artificial (IA), sendo todo o código posteriormente revisado, testado e validado pela autora, que assume integral responsabilidade pela correção das análises e dos resultados apresentados.

Frequência de respostas positivas dos indicadores nos modelos de separação de resíduos domiciliares (a) recicláveis e (b) verdes.

```
# Requisitos:
# install.packages(c("ggplot2", "dplyr", "readxl", "tidyr", "gridExtra"))

library(ggplot2)
library(dplyr)
library(readxl)
library(tidyr)
library(gridExtra)

# Carregar os dados
dados_secos <- read_excel("1- Dados Brutos.xlsx", sheet = "Secos")
dados_verdes <- read_excel("1- Dados Brutos.xlsx", sheet = "Verdes")

# Função para calcular frequência de respostas positivas
frequencias_positivas <- function(dados) {
  dados <- dados %>% select(-`Idade`, -`Estrato Socioeconômico`)
  dados_bin <- as.data.frame(sapply(dados, function(x) x %in% c("Concordo", "Concordo totalmente")))
  freq <- colSums(dados_bin)
  df <- data.frame(Variable = names(freq), Frequency = as.numeric(freq)) %>%
    arrange(desc(Frequency)) %>%
    mutate(CumPerc = cumsum(Frequency) / sum(Frequency) * 100,
           Variable = factor(Variable, levels = Variable))
  return(df)
}
```

```
# Aplicar função
df_secos <- frequencias_positivas(dados_secos)
df_verdes <- frequencias_positivas(dados_verdes)

# Função para gráfico com letras A e B ajustadas
plot_pareto_com_letra <- function(df, letra, bar_color) {
  ymax <- max(df$Frequency)
  p <- ggplot(df, aes(x = Variable)) +
    geom_bar(aes(y = Frequency), stat = "identity", fill = bar_color, width = 0.7) +
    geom_line(aes(y = CumPerc * ymax / 100), color = "#d62728", group = 1) +
    geom_point(aes(y = CumPerc * ymax / 100), color = "#d62728") +
    geom_hline(yintercept = 0.8 * ymax, linetype = "dashed", color = "black") +
    scale_y_continuous(
      name = "Positive Response Frequency",
      sec.axis = sec_axis(~ . * 100 / ymax, name = "Cumulative Percentage (%)")
    ) +
    labs(x = "Variables", y = NULL) +
    theme_minimal(base_size = 12) +
    theme(
      axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5, hjust = 1),
      plot.title = element_text(hjust = 0.5, size = 16, face = "bold"),
      axis.line.y.right = element_line(color = "black"),
      axis.ticks.y.right = element_line(color = "black")
    ) +
    ggtitle(letra)
  return(p)
}

# Gerar gráficos com A e B
g1 <- plot_pareto_com_letra(df_secos, "A", "#1f77b4")
g2 <- plot_pareto_com_letra(df_verdes, "B", "#2ca02c")

# Combinar
```

```
grid.arrange(g1, g2, nrow = 2)
```

Comportamento de separação de resíduos recicláveis (CSR) em função de três variáveis, mantendo-se uma fixa em (a, d, g) 0,0, (b, e, h) 0,4 ou (c, f, i) 0,8. ATR: atitude; NSR: normas subjetivas; CCR: controle comportamental percebido.

```
# Carregar bibliotecas
library(plot3D)
library(viridis)

# Função para calcular SBG
calc_SBG <- function(ATG, SNG, BCG) {
  0.00 + 0.522 * ATG - 0.019 * SNG + 0.152 * BCG
}

# Sequência de valores
valores <- seq(0, 0.8, length.out = 50)
letras <- c("(a)", "(b)", "(c)", "(d)", "(e)", "(f)", "(g)", "(h)", "(i)")

# Abrir dispositivo gráfico
png("sbr_recyclable_waste_9plots_labeled_R.png", width=3600, height=3200, res=300)
par(mfrow=c(3,3), mar=c(2,2,2,2))

idx <- 1
for (var_fixa in c("SNG", "ATG", "BCG")) {
  for (valor in c(0.0, 0.4, 0.8)) {
    if (var_fixa == "SNG") {
      grid_ATG <- outer(valores, valores, function(x, y) x)
      grid_BCG <- outer(valores, valores, function(x, y) y)
      SBG <- calc_SBG(grid_ATR, valor, grid_BCG)
      persp3D(x=valores, y=valores, z=SBR, colvar=SBR, col=viridis(100),
              xlab="ATG", ylab="BCG", zlab="SBG", main="", theta=40, phi=20,
ticktype="detailed")
      mtext(letras[idx], side=1, line=-2, adj=0, cex=1.2, font=2)
    } else if (var_fixa == "ATG") {
      grid_SNG <- outer(valores, valores, function(x, y) x)
```

```
    grid_BCG <- outer(valores, valores, function(x, y) y)
    SBG <- calc_SBR(valor, grid_SNG, grid_BCG)
    persp3D(x=valores, y=valores, z=SBG, colvar=SBG, col=viridis(100),
            xlab="SNG", ylab="BCG", zlab="SBG", main="", theta=40, phi=20,
ticktype="detailed")
    mtext(letras[idx], side=1, line=-2, adj=0, cex=1.2, font=2)
   } else if (var_fixa == "BCG") {
    grid_ATG <- outer(valores, valores, function(x, y) x)
    grid_SNG <- outer(valores, valores, function(x, y) y)
    SBG <- calc_SBG(grid_ATG, grid_SNG, valor)
    persp3D(x=valores, y=valores, z=SBG, colvar=SBG, col=viridis(100),
            xlab="ATG", ylab="SNG", zlab="SBG", main="", theta=40, phi=20,
ticktype="detailed")
    mtext(letras[idx], side=1, line=-2, adj=0, cex=1.2, font=2)
   }
   idx <- idx + 1
  }
}

dev.off()
```

Comportamento de separação de resíduos verdes (CSV) em função de três variáveis, mantendo-se uma fixa em (a, d, g) 0,0, (b, e, h) 0,4 ou (c, f, i) 0,8. ATV: atitude; NSV: normas subjetivas; CCV: controle comportamental percebido.

```
# Carregar bibliotecas
library(plot3D)
library(viridis)

# Função para calcular SBR
calc_SBR <- function(ATR, SNR, BCR) {
  0.02 + 0.661 * ATR - 0.113 * SNR + 0.134 * BCR
}

# Sequência de valores
valores <- seq(0, 0.8, length.out = 50)
letras <- c("(a)", "(b)", "(c)", "(d)", "(e)", "(f)", "(g)", "(h)", "(i)")

# Abrir dispositivo gráfico
png("sbr_recyclable_waste_9plots_labeled_R.png", width=3600, height=3200, res=300)
par(mfrow=c(3,3), mar=c(2,2,2,2))

idx <- 1
for (var_fixa in c("SNR", "ATR", "BCR")) {
  for (valor in c(0.0, 0.4, 0.8)) {
    if (var_fixa == "SNR") {
      grid_ATR <- outer(valores, valores, function(x, y) x)
      grid_BCR <- outer(valores, valores, function(x, y) y)
      SBR <- calc_SBR(grid_ATR, valor, grid_BCR)
      persp3D(x=valores, y=valores, z=SBR, colvar=SBR, col=viridis(100),
              xlab="ATR", ylab="BCR", zlab="SBR", main="", theta=40, phi=20,
ticktype="detailed")
      mtext(letras[idx], side=1, line=-2, adj=0, cex=1.2, font=2)
    } else if (var_fixa == "ATR") {
      grid_SNR <- outer(valores, valores, function(x, y) x)
```

```
    grid_BCR <- outer(valores, valores, function(x, y) y)
    SBR <- calc_SBR(valor, grid_SNR, grid_BCR)
    persp3D(x=valores, y=valores, z=SBR, colvar=SBR, col=viridis(100),
          xlab="SNR", ylab="BCR", zlab="SBR", main="", theta=40, phi=20,
ticktype="detailed")
    mtext(letras[idx], side=1, line=-2, adj=0, cex=1.2, font=2)
   } else if (var_fixa == "BCR") {
    grid_ATR <- outer(valores, valores, function(x, y) x)
    grid_SNR <- outer(valores, valores, function(x, y) y)
    SBR <- calc_SBR(grid_ATR, grid_SNR, valor)
    persp3D(x=valores, y=valores, z=SBR, colvar=SBR, col=viridis(100),
          xlab="ATR", ylab="SNR", zlab="SBR", main="", theta=40, phi=20,
ticktype="detailed")
    mtext(letras[idx], side=1, line=-2, adj=0, cex=1.2, font=2)
   }
   idx <- idx + 1
  }
}

dev.off()
```

Representação dos perfis comportamentais de separação de resíduos. (a) Gráfico radar. CS: comportamento de separação na fonte; AT: atitude; NS: normas subjetivas; CC: controle comportamental percebido.

```
# Instale o pacote se necessário
# install.packages("fmsb")

library(fmsb)

# Criar os dados ajustados com as siglas
data <- as.data.frame(rbind(
  c(5, 5, 5, 5),               # máximos
  c(0, 0, 0, 0),               # mínimos
  c(4.93, 4.87, 3.82, 4.67),     # Conscious Engagers (Azul)
  c(4.5, 4.46, 2.5, 4.14),       # Environmental Autonomists (Amarelo)
  c(3.85, 3.65, 3.41, 3.25)      # Unmotivated (Verde)
))

colnames(data) <- c("AT", "SB", "SN", "BC")
rownames(data) <- c("Max", "Min", "Conscious Engagers", "Environmental Autonomists", "Unmotivated")

# Definir cores
colors_border <- c("blue", "yellow", "green")
colors_in <- adjustcolor(colors_border, alpha.f = 0.4)

# Criar o gráfico
radarchart(
  data,
  axistype = 1,
  pcol = colors_border,
  pfcol = colors_in,
  plwd = 2,
  plty = 1,
```

```
  cglcol = "grey",
  cglty = 1,
  axislabcol = "grey",
  caxislabels = NULL,
  cglwd = 0.8,
  vlcex = 1.2
)

legend(
  x = "topright",
  legend = rownames(data)[3:5],
  bty = "n",
  pch = 20,
  col = colors_border,
  text.col = "black",
  cex = 1,
  pt.cex = 2
)
```

Representação dos perfis comportamentais de separação de resíduos. (b) Gráfico de dispersão. CS: comportamento de separação na fonte; AT: atitude; NS: normas subjetivas; CC: controle comportamental percebido.

```
# Instale os pacotes se necessário
# install.packages(c("ggplot2", "factoextra"))

library(ggplot2)
library(factoextra)

# Supondo que 'df' seja seu dataframe já convertido com valores numéricos
# E que você tenha feito PCA e k-means como a seguir:

# PCA
# pca_result <- prcomp(df, scale. = TRUE)

# K-means clustering
# set.seed(0)
# kmeans_result <- kmeans(df, centers = 3)

# DataFrame com os resultados PCA + clusters
# Substitua pca_result$x por seus dados se já tiver separado
df_pca <- as.data.frame(pca_result$x[, 1:2])
df_pca$cluster <- as.factor(kmeans_result$cluster)

# Ajuste dos rótulos de clusters conforme observado:
levels(df_pca$cluster) <- c("Conscious Engagers", "Unmotivated", "Environmental Autonomists")

# Mapeamento de cores personalizado
cluster_colors <- c(
  "Conscious Engagers" = "blue",
  "Environmental Autonomists" = "yellow",
  "Unmotivated" = "green"
```

```
)

# Plot
ggplot(df_pca, aes(x = PC1, y = PC2, color = cluster)) +
  geom_point(alpha = 0.6) +
  scale_color_manual(values = cluster_colors) +
  labs(
    title = "2D Scatter Plot of Clusters from PCA with Adjusted Labels",
    x = "Principal Component 1",
    y = "Principal Component 2",
    color = "Cluster Profiles"
  ) +
  theme_minimal()
```

Desempenho incremental dos grupos de cenários em relação ao cenário de referência (BAU) para indicadores econômicos, operacionais e ambientais

```
library(tidyverse)

dados <- tibble(
  Indicador=c("Per Capita Cost\n(USD hab⁻¹)","Cost per Treated Ton\n(10³ USD t⁻¹)",
              "Landfill Diversion\n(%)","Recyclable HSW\nRecycling (10³ t)",
              "Green HSW\nComposting (10³ t)","Source-Separation\nBehavior (%)",
              "Financial Impact\n(USD hab⁻¹)","TOPSIS Score"),
  G1=c(17.40,-5.092544,0.148095,193.44816,0,0.113118,-9.17,-0.01101),
  G2=c(23.83,-5.221181,0.186922,193.44816,50.23241,0.231229,-15.44,0.029966),
  G3=c(39.26,-5.150754,0.185189,233.95174,27.25142,0.203584,-30.42,-0.06741),
  G4.1=c(47.58,-5.582669,0.310879,278.43066,31.88467,0.219974,-36.80,-0.08000),
  G4.2=c(49.41,-5.581020,0.310879,278.43066,31.88467,0.219974,-32.32,-0.05922),
  G4.3=c(49.88,-5.587826,0.314948,278.43066,31.88467,0.219974,5.70,0.158079)
)

sentido <- c(-1,-1,1,1,1,1,1,1)

matriz_cor <- dados
for(i in seq_len(nrow(matriz_cor))){
  valores <- as.numeric(matriz_cor[i,2:ncol(matriz_cor)])
  if(sentido[i]==-1) valores <- -valores
  norm <- if(max(valores)==min(valores)) rep(0.5,length(valores))
          else (valores-min(valores))/(max(valores)-min(valores))
  matriz_cor[i,2:ncol(matriz_cor)] <- as.list(norm)
}

plot_data <- matriz_cor %>% pivot_longer(-Indicador,names_to="Grupo",values_to="Score")
rotulos <- dados %>% pivot_longer(-Indicador,names_to="Grupo",values_to="Valor")

superscript <- function(x){
  x <- gsub("0","⁰",x); x <- gsub("1","¹",x); x <- gsub("2","²",x)
```

```
  x <- gsub("3","³",x); x <- gsub("4","⁴",x); x <- gsub("5","⁵",x)
  x <- gsub("6","⁶",x); x <- gsub("7","⁷",x); x <- gsub("8","⁸",x)
  x <- gsub("9","⁹",x); x <- gsub("-","⁻",x); x
}

plot_data$Label <- sapply(rotulos$Valor,function(x){
  if(abs(x)>=1000){
    expo <- floor(log10(abs(x)))
    paste0(sprintf("%.2f",x/10^expo),"×10",superscript(as.character(expo)))
  } else sprintf("%+.2f",x)
})

plot_data$Grupo <-
factor(plot_data$Grupo,levels=c("G1","G2","G3","G4.1","G4.2","G4.3"))
plot_data$Indicador <- factor(plot_data$Indicador,levels=rev(dados$Indicador))

grafico <- ggplot(plot_data,aes(Grupo,Indicador,fill=Score))+
  geom_tile(colour="white",linewidth=0.6)+
  geom_text(aes(label=Label),family="Times New Roman",size=2.3)+
  scale_fill_gradientn(
    colours=c("#d73027","#f46d43","#fee08b","#d9ef8b","#66bd63","#1a9850"),
    values=c(0,0.20,0.50,0.70,0.90,1),
    limits=c(0,1),
    name="Relative\nPerformance"
  )+
  labs(x="Groups",y=NULL)+
  theme_minimal(base_family="Times New Roman")+
  theme(
    panel.grid=element_blank(),
    axis.title.x=element_text(size=9),
    axis.title.y=element_blank(),
    axis.text=element_text(size=8),
    legend.title=element_text(size=8),
    legend.text=element_text(size=8)
```

```
  )

ggsave("Figura_Matriz_Desempenho_USD.png",grafico,width=9,height=6,dpi=600,bg="whit
e")
print(grafico)
```

Ranking multicritério dos cenários de manejo de RDO pelo método TOPSIS no ano final (20º ano).

```
library(readxl)
library(tidyverse)

dados <- read_excel("D:/Usuario/Downloads/Programas/Cenarios.xlsx")

X <- dados %>%
  select(`Source-Separation Dry`,`Source-Separation Green`,
         `Dry Recycling`,`Green Composting`,
         `Energy Recovery`,`Landfill`,
         `Costs`,`Revenues`)

pesos <- c(0.16,0.14,0.16,0.14,0.09,0.05,0.13,0.13)

beneficio <- c(TRUE,TRUE,TRUE,TRUE,TRUE,FALSE,FALSE,TRUE)

R <- sweep(X,2,sqrt(colSums(X^2)),"/")
V <- sweep(R,2,pesos,"*")

ideal.pos <- ideal.neg <- numeric(ncol(V))

for(i in seq_along(beneficio)){
  if(beneficio[i]){
    ideal.pos[i] <- max(V[,i])
    ideal.neg[i] <- min(V[,i])
  } else {
    ideal.pos[i] <- min(V[,i])
    ideal.neg[i] <- max(V[,i])
  }
}

D.pos <- sqrt(rowSums((V-matrix(ideal.pos,nrow(V),ncol(V),byrow=TRUE))^2))
```

```
D.neg <- sqrt(rowSums((V-matrix(ideal.neg,nrow(V),ncol(V),byrow=TRUE))^2))

Score <- D.neg/(D.pos+D.neg)

resultado <- dados %>%
  select(Cenários) %>%
  mutate(`Score TOPSIS`=round(Score,4)) %>%
  arrange(desc(`Score TOPSIS`)) %>%
  mutate(Ranking=row_number())

print(resultado)

write.csv(resultado,"Resultado_TOPSIS.csv",row.names=FALSE)
```

Importância relativa das políticas públicas para o Score TOPSIS estimada por Random Forest.

```
library(readxl)
library(tidyverse)
library(randomForest)

windowsFonts(Times=windowsFont("Times New Roman"))

dados <- read_excel("D:/Usuário/Downloads/Programas/Figura 16.xlsx")

Y <- dados$`Score TOPSIS`
X <- dados %>% select(-Cenários,-`Score TOPSIS`)

set.seed(123)
rf <- randomForest(x=X,y=Y,ntree=1000,importance=TRUE)

oob_r2 <- round(1-tail(rf$mse,1)/var(Y),3)
print(oob_r2)

imp <- importance(rf)

graf <- tibble(
  Variavel=c(
    "EE: Recyclables","SC: Recyclables-DP","SC: Recyclables-DtD",
    "EE: Green HSW","SC: Green HSW-DtD","SC: Green HSW-DP",
    "EI: Charging","EI: Rewards","EI: Landfill Fee",
    "SCO: Recyclables","SCO: Green HSW",
    "RR: Recyclables","RR: Compost","RR: RDF","CC: Revenues"
  ),
  Valor=imp[,1]
) %>%
  arrange(desc(Valor)) %>%
  mutate(Variavel=factor(Variavel,levels=Variavel))
```

```
p <- ggplot(graf,aes(Variavel,Valor))+
  geom_col(fill="#2F5D8A",width=0.70)+
  geom_text(
    aes(label=format(round(Valor,1),decimal.mark=".",nsmall=1)),
    family="Times",size=3,vjust=-0.30
  )+
  annotate(
    "label",
    x=13,
    y=max(graf$Valor)*1.10,
    label=paste0("OOB R² = ",format(oob_r2,decimal.mark=".",nsmall=3)),
    family="Times",
    size=4
  )+
  labs(x=NULL,y="Variable Importance (%IncMSE)")+
  coord_cartesian(ylim=c(0,max(graf$Valor)*1.20))+
  theme_minimal(base_family="Times")+
  theme(
    text=element_text(family="Times",size=8),
    axis.title.x=element_text(size=9),
    axis.title.y=element_text(size=9),
    axis.text.x=element_text(angle=90,hjust=1,vjust=0.5,size=8,
                             colour="black",fontface="bold",family="Times"),
    axis.text.y=element_text(size=8),
    plot.title=element_blank(),
    panel.grid.minor=element_blank()
  )

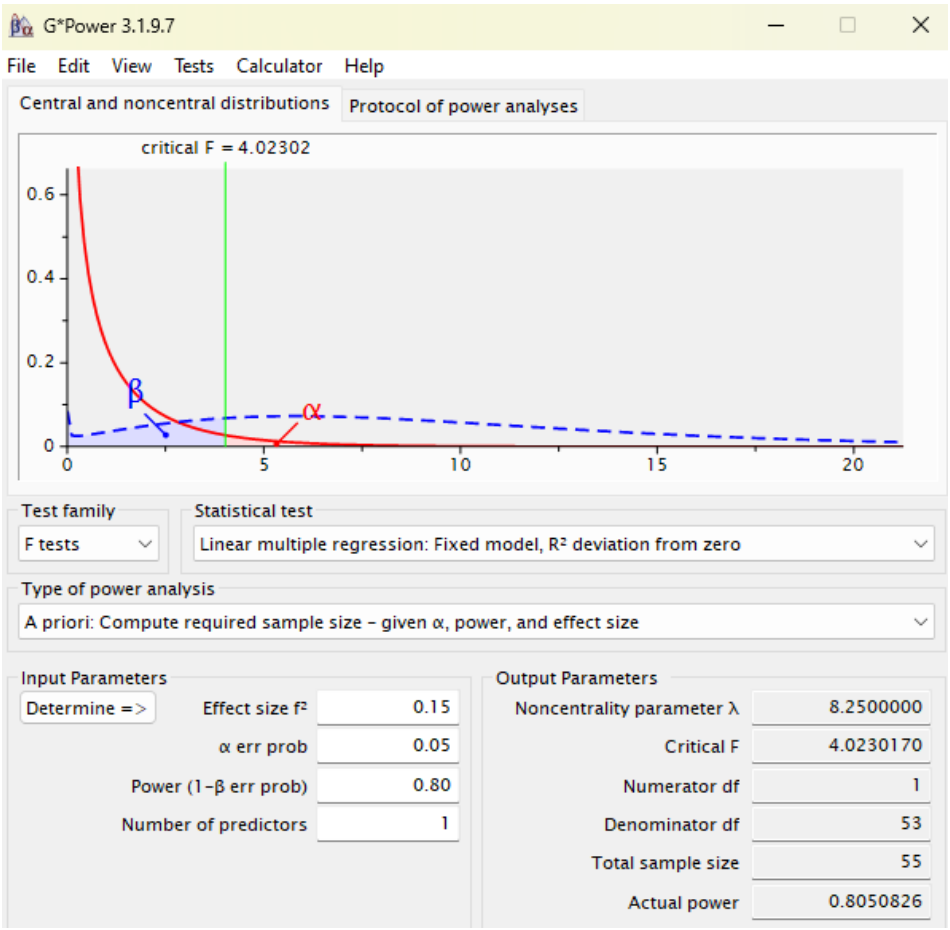
p

ggsave("Figura_16_Sensibilidade.png",
       plot=p,
       width=12,
```

```
height=7,
dpi=600,
bg="white")
```

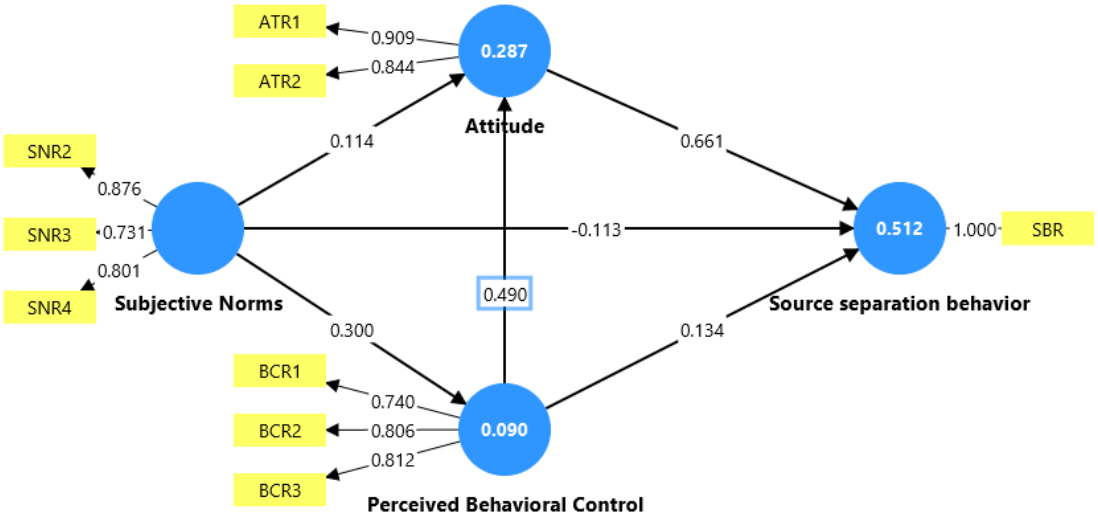
APÊNDICE C – OUTROS RESULTADOS DO MODELO DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS

Figura 38 - Tamanho mínimo da amostra para modelagem de equações estruturais.

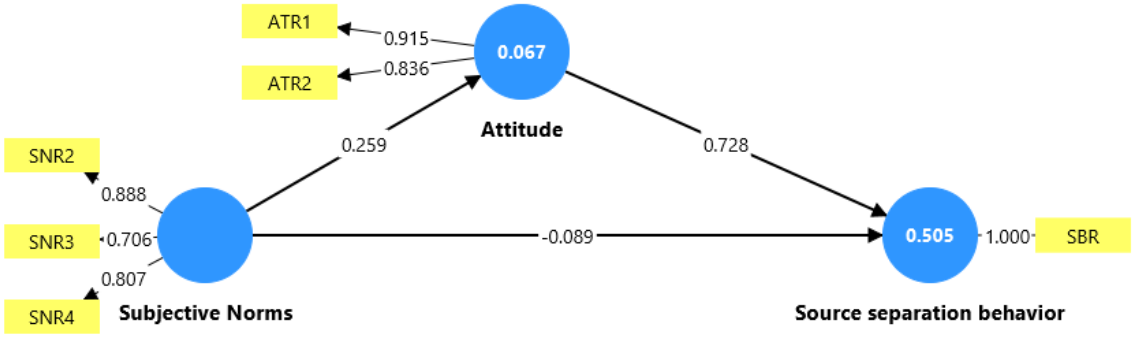


Fonte: Autoria própria. Elaborado com base no software G*Power (HHU, 2023)

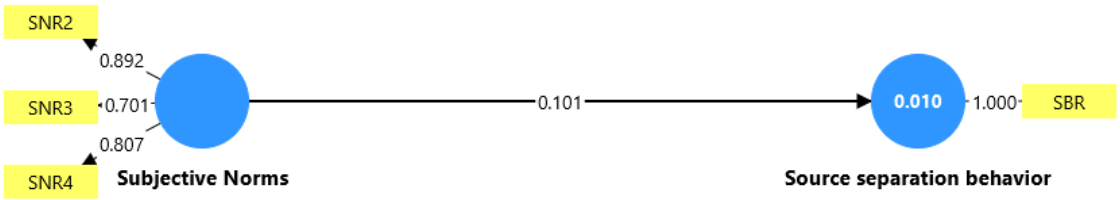
Figura 39 - Avaliação do efeito de supressão no caminho direto entre Normas Subjetivas e o Comportamento de Separação de Resíduos Secos (SBR) em modelos simplificados.



a)



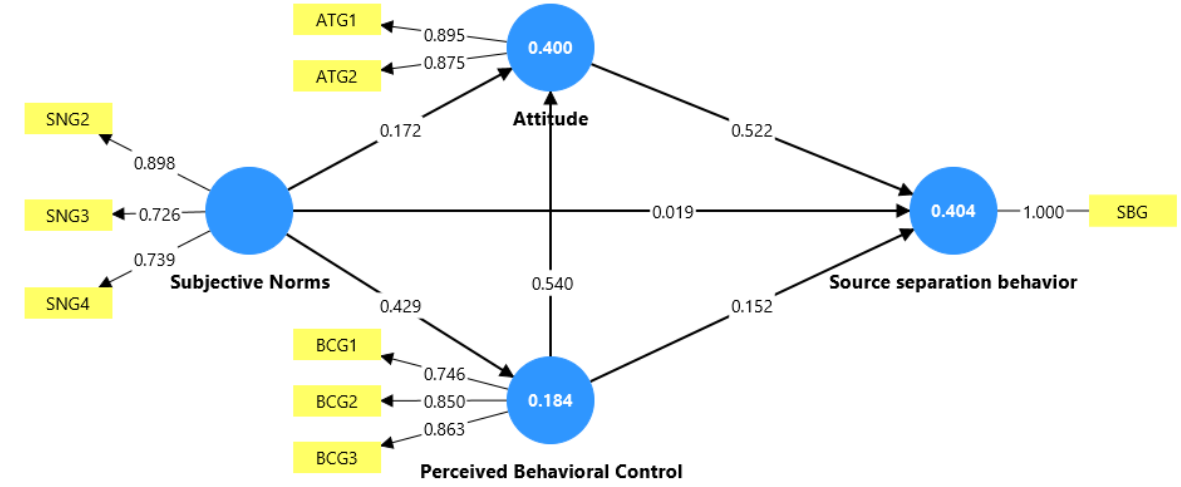
b)



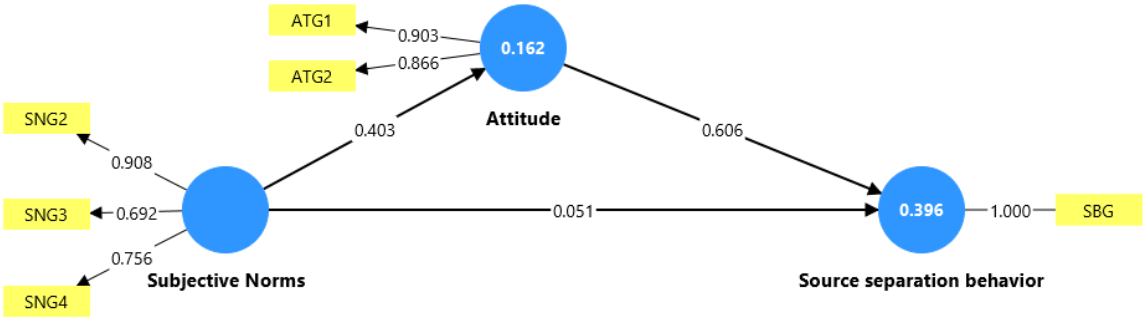
c)

Fonte: Autoria própria. A figura (a) apresenta o modelo completo; (b) apresenta o modelo com a remoção do Controle Comportamental Percebido; (c) apresenta o modelo com a remoção da Atitude e do Controle Comportamental Percebido.

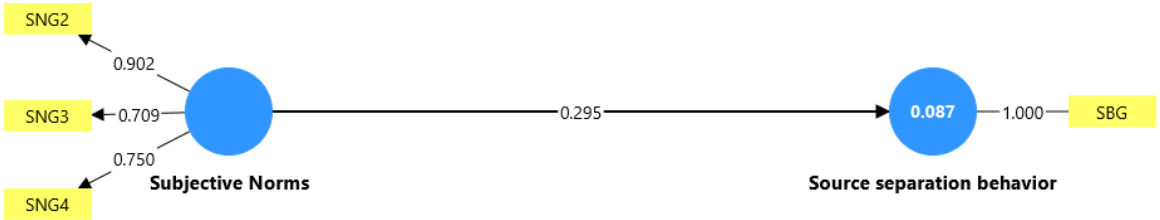
Figura 40 - Avaliação do efeito de supressão no caminho direto entre Normas Subjetivas e o Comportamento de Separação de Resíduos Verdes (SBG) em modelos simplificados.



a)



b)



c)

Fonte: Autoria própria. A figura (a) apresenta o modelo completo; (b) apresenta o modelo com a remoção do Controle Comportamental Percebido; (c) apresenta o modelo com a remoção da Atitude e do Controle Comportamental Percebido.

Tabela 13 - Matriz de correlação das variáveis latentes no modelo de equações estruturais para resíduos recicláveis.

Variáveis	Atitude	Controle Comportamental Percebido	Comportamento de separação na fonte	Normas Subjetivas
Atitude	1,000	0,524	0,702	0,261
Controle Comportamental Percebido	0,524	1,000	0,446	0,300
Comportamento de separação na fonte	0,702	0,446	1,000	0,100
Normas Subjetivas	0,261	0,300	0,100	1,000

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14 - Matriz de correlação das variáveis latentes no modelo de equações estruturais para resíduos verdes.

Variáveis	Atitude	Controle Comportamental Percebido	Comportamento de separação na fonte	Normas Subjetivas
Atitude	1,000	0,613	0,623	0,403
Controle Comportamental Percebido	0,613	1,000	0,480	0,429
Comportamento de separação na fonte	0,623	0,480	1,000	0,295
Normas Subjetivas	0,403	0,429	0,295	1,000

Fonte: Autoria própria.

Tabela 15 - Cargas cruzadas (*cross-loadings*) dos indicadores associados ao modelo de resíduos recicláveis.

Variáveis	Atitude	Controle Comportamental Percebido	Comportamento de separação na fonte	Normas Subjetivas
ATR_1	0,909	0,458	0,737	0,159
ATR_2	0,844	0,467	0,466	0,320
CCR_1	0,498	0,740	0,503	0,155
CCR_2	0,358	0,806	0,249	0,273
CCR_3	0,334	0,812	0,228	0,308
CSR	0,702	0,446	1,000	0,100
NSR_2	0,272	0,291	0,105	0,876
NSR_3	0,163	0,229	0,061	0,731
NSR_4	0,171	0,184	0,065	0,801

Fonte: Autoria própria.

Tabela 16 - Cargas cruzadas (*cross-loadings*) dos indicadores associados ao modelo de resíduos verdes.

Variáveis	Atitude	Controle Comportamental Percebido	Comportamento de separação na fonte	Normas Subjetivas
ATV_1	0,895	0,494	0,659	0,278
ATV_2	0,875	0,596	0,435	0,443
CCV_1	0,571	0,746	0,540	0,270
CCV_2	0,442	0,850	0,292	0,411
CCV_3	0,470	0,863	0,309	0,386
CSR	0,623	0,480	1,000	0,295
NSV_2	0,431	0,414	0,305	0,898
NSV_3	0,228	0,346	0,187	0,726
NSV_4	0,252	0,226	0,178	0,739

Fonte: Autoria própria.

Tabela 17 - Estatísticas descritivas das variáveis latentes no modelo de equações estruturais para resíduos recicláveis.

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo observado	Máximo observado	Número de observações utilizadas	Desvio padrão	Curtose em excesso	Assimetria	Estatística do teste de Cramér-von Mises	Valor p de Cramér-von Mises
Atitude	0,000	0,204	-5,090	0,856	392,000	1,000	2,697	-1,342	5,147	0,000
Controle Comportamental Percebido	-0,000	-0,237	-4,394	1,148	392,000	1,000	0,491	-0,661	2,466	0,000
Comportamento de separação na fonte	0,000	0,747	-3,576	0,747	392,000	1,000	1,980	-1,523	7,080	0,000
Normas Subjetivas	-0,000	0,117	-3,103	1,190	392,000	1,000	-0,458	-0,558	1,367	0,000

Fonte: Autoria própria.

Tabela 18 - Estatísticas descritivas das variáveis latentes no modelo de equações estruturais para resíduos verdes.

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo observado	Máximo observado	Número de observações utilizadas	Desvio padrão	Curtose em excesso	Assimetria	Estatística do teste de Cramér-von Mises	Valor p de Cramér-von Mises
Atitude	0,000	-0,319	-4,348	1,024	392,000	1,000	1,815	-1,145	3,707	0,000
Controle Comportamental Percebido	-0,000	-0,065	-3,805	1,182	392,000	1,000	0,620	-0,751	1,913	0,000
Comportamento de separação na fonte	-0,000	-0,078	-2,931	0,873	392,000	1,000	0,203	-1,076	5,608	0,000
Normas Subjetivas	0,000	0,257	-1,845	1,308	392,000	1,000	-0,823	-0,389	1,173	0,000

Fonte: Autoria própria.

Tabela 19 - Razões HTMT e intervalos de confiança *bootstrap* (95%) para o modelo de resíduos recicláveis.

Par de construtos	Amostra original (O)	Média da amostra (M)	2.5%	97.5%
Controle Comportamental Percebido <-> Atitude	0,716	0,720	0,577	0,858
Comportamento de separação na fonte <-> Atitude	0,815	0,818	0,723	0,906
Comportamento de separação na fonte <-> Controle Comportamental Percebido	0,492	0,494	0,376	0,607
Normas Subjetivas <-> Atitude	0,365	0,366	0,221	0,508
Normas Subjetivas <-> Controle Comportamental Percebido	0,419	0,420	0,269	0,566
Normas Subjetivas <-> Comportamento de separação na fonte	0,111	0,118	0,030	0,243

Fonte: Autoria própria.

Tabela 20 - Razões HTMT e intervalos de confiança *bootstrap* (95%) para o modelo de resíduos verdes.

Par de construtos	Amostra original (O)	Média da amostra (M)	2.5%	97.5%
Controle Comportamental Percebido <-> Atitude	0,816	0,818	0,706	0,919
Comportamento de separação na fonte <-> Atitude	0,726	0,728	0,635	0,815
Comportamento de separação na fonte <-> Controle Comportamental Percebido	0,532	0,533	0,434	0,627
Normas Subjetivas <-> Atitude	0,542	0,544	0,411	0,672
Normas Subjetivas <-> Controle Comportamental Percebido	0,573	0,575	0,444	0,699
Normas Subjetivas <-> Comportamento de separação na fonte	0,336	0,337	0,218	0,456

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21 - Índices de ajuste do modelo PLS-SEM (resíduos recicláveis secos).

Índice de ajuste	Modelo saturado	Modelo estimado	Critério	Avaliação
SRMR	0,111	0,111	< 0,08	Não atende ao limiar recomendado
NFI	0,613	0,613	≈ 0,90 (recomendado)	Aceitável para PLS-SEM exploratório, mas abaixo do ideal
d_ULS	0,556	0,556	—	Apenas descritivo
d_G	0,207	0,207	—	Apenas descritivo
Chi-square	518,809	518,809	—	Apenas descritivo

Fonte: Autoria própria.

Tabela 22 - Índices de ajuste do modelo PLS-SEM (resíduos verdes).

Índice de ajuste	Modelo saturado	Modelo estimado	Critério	Avaliação
SRMR	0,109	0,109	< 0,08	Não atende ao limiar recomendado
NFI	0,640	0,640	≈ 0,90 (recomendado)	Aceitável para PLS-SEM exploratório, mas abaixo do ideal
d_ULS	0,536	0,536	—	Apenas descritivo
d_G	0,207	0,207	—	Apenas descritivo
Chi-square	535,903	535,903	—	Apenas descritivo

Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS POLÍTICAS

Quadro 7 - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do questionário sobre a aceitação de políticas públicas para a separação dos resíduos domiciliares.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
Prezado (a) participante, convidamos você a participar desta pesquisa, que tem como objetivo estudar a disposição e o comportamento dos moradores do município de Vitória em relação à separação de resíduos domiciliares. Este questionário faz parte da pesquisa de doutorado da pesquisadora M.Sc. Tânia Galavote, membro do grupo de pesquisa vinculado ao Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental (LAGESA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), sob a orientação do Prof. DSc. Renato Ribeiro Siman. Para saber mais sobre as pesquisas desenvolvidas pelo LAGESA, acesse: https://lagesa.ufes.br. Este questionário é anônimo, e todos os dados coletados serão utilizados exclusivamente para fins de pesquisa e análise acadêmica. Em caso de dúvidas sobre o estudo, você pode entrar em contato com a pesquisadora pelo e-mail tania.pinto@edu.ufes.br. A participação é totalmente voluntária, e você pode encerrar sua participação a qualquer momento, sem qualquer consequência adversa. O tempo estimado para preenchê-lo é de aproximadamente 20 minutos. Ressaltamos que suas respostas são muito importantes para nossa pesquisa. Por favor, responda com sinceridade, com base em suas percepções e comportamentos reais. Se você compreendeu o conteúdo acima e deseja participar deste estudo, marque "Sim" abaixo. Caso contrário, assinale “Não”. Agradecemos a atenção! ◯ Sim ◯ Não

Quadro 8 - Questionário sobre a aceitação de instrumentos de políticas públicas para a separação dos resíduos domiciliares.

INFORMAÇÕES SOBRE O APLICADOR DO QUESTIONÁRIO **Para o caso de aplicação presencial**					
Nome do aplicador:					
Data: ____/____/_____	( ) Houve necessidade de auxílio ao entrevistado.				
INFORMAÇÕES DO ENTREVISTADO					
Caro entrevistado, nesta seção serão coletadas suas informações.					
Você mora no município de Vitória? ( ) Sim - direcionado ao questionário ( ) Não - direcionado aos agradecimentos					
Qual a sua idade? ( ) De 18 a 27 anos ( ) De 28 a 43 anos ( ) De 44 a 59 anos ( ) De 60 a 78 anos ( ) Mais de 79 anos					
INFORMAÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO ECONÔMICA					
Caro entrevistado, nesta seção serão coletadas informações sobre as características de sua habitação para fins de classificação econômica seguindo a metodologia do Critério Brasil.					
ITENS DE CONFORTO	**QUANTIDADE DE ITENS QUE POSSUI**				
	NÃO POSSUI	**1**	**2**	**3**	**4+**
Quantidade de automóveis de passeio exclusivamente para uso particular.					
Quantidade de máquinas de lavar roupa, excluindo tanquinho.					
Quantidade de banheiros.					
DVD, incluindo qualquer dispositivo que leia DVD e desconsiderando DVD de automóvel.					
Quantidade de geladeiras.					
Quantidade de freezers independentes ou parte da geladeira duplex.					
Quantidade de microcomputadores, considerando computadores de mesa, laptops e notebooks.					
Quantidade de lavadora de louças.					
Quantidade de fornos de micro-ondas.					
Quantidade de motocicletas, desconsiderando as usadas exclusivamente para uso profissional.					
Quantidade de máquinas secadoras de roupas, considerando lava e seca.					
TRABALHADOR DOMÉSTICO	**QUANTIDADE DE ITENS QUE POSSUI**				
	NÃO TEM	**1**	**2**	**3**	**4+**

Quantidade de trabalhadores mensalistas, considerando apenas os que trabalham pelo menos cinco dias por semana.					

OUTRAS INFORMAÇÕES

A principal fonte de água utilizada no seu domicílio é proveniente de?

( ) Rede geral de distribuição ( ) Poço ou nascente ( ) Outro meio

Considerando o trecho da rua do seu domicílio, você diria que a rua é:

( ) Asfaltada/Pavimentada ( ) Terra/Cascalho

Qual é o grau de instrução da pessoa com maior renda da família?

( ) Analfabeto / Fundamental I incompleto

( ) Fundamental I completo / Fundamental II Primário Completo / Ginásio Incompleto

( ) Fundamental completo / Médio Ginásio Completo / Colegial Incompleto

( ) Médio completo / Superior incompleto

( ) Superior completo

INFORMAÇÕES SOBRE A COLETA SELETIVA

Caro entrevistado, nesta seção você irá responder sobre os aspectos que influenciam sua participação na coleta seletiva. Além disso, você irá responder sobre a disposição de pagar pela coleta de resíduos não separados e a disposição a receber pela entrega de resíduos separados.

Qual é o seu nível de consciência sobre a importância de separar os resíduos para coleta e destinação adequada?

( ) Não tenho consciência sobre o assunto.

( ) Tenho pouca consciência sobre o assunto.

( ) Tenho consciência e procuro agir de forma responsável.

( ) Tenho plena consciência e já pratico regularmente.

Existem pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis (Ecopontos) próximos à sua casa?

( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei

Você participa da coleta seletiva da Prefeitura de Vitória separando e entregando os resíduos no horário e local adequados?

( ) Sim ( ) Não

Caso tenha respondido não à questão anterior, qual justificativa melhor explica a sua não participação na coleta seletiva?

( ) Não tenho tempo.

( ) Falta espaço em minha casa para separar os resíduos.

( ) O Ecoponto é longe da minha casa.

( ) Entrego diretamente para catadores autônomos da minha região.

( ) É difícil mudar hábitos.

( ) Não sei ou não recebo informações suficientes sobre como separar corretamente.

( ) Não conheço o que é feito com os resíduos.

( ) Tenho a impressão de que o resíduo acaba indo para o lixão/aterro junto com os demais resíduos.

( ) Outro

Na sua opinião, qual a maior dificuldade encontrada na separação de resíduos recicláveis secos e verdes?

( ) Falta de comunicação.	( ) Falta de conhecimento.
( ) Falta de incentivo/recompensa.	( ) Mau cheiro.
( ) Falta de cobrança/fiscalização.	( ) Ausência de lixeiras apropriadas.
( ) Não sei	( ) Não saber o que é reciclável ou compostável.
	( ) Saber o que é reciclável e compostável, mas não saber onde descartar.

Qual é o melhor meio para eu adquirir conhecimento sobre a separação correta de resíduos em casa?

( ) Internet e redes sociais.	( ) Televisão e mídias de transmissão televisiva.
( ) Jornais e livros.	( ) Na igreja ou em templos religiosos.
( ) Carros de som.	( ) Por meio de campanhas políticas e comícios.
( ) Através de família e amigos.	( ) Eventos de conscientização, palestras e feiras.
( ) Campanhas educativas na escola.	( ) Materiais impressos (outdoors, faixas, banners, panfletos, etc.).

Qual alternativa mais me incentivaria a separar os resíduos em casa e entregar para a destinação adequada?

( ) Coleta seletiva passando na porta de casa.	( ) Ganhar dinheiro, prêmios, recompensas ou alimentos.
( ) Ter mais espaço em casa.	( ) Ser obrigado através de fiscalização e aplicação de multa.
( ) Ganhar desconto no imposto/taxa de coleta.	( ) Ser convencido de que não separar é prejudicial ao meio ambiente.
( ) Outro.	( ) Possuir local para depositar os resíduos perto de casa.

Indique, em ordem de prioridade, de 1° (mais importante) a 2° (menos importante), os meios que mais te incentivariam a separar os resíduos em casa e entregá-los para a coleta seletiva.

( ) Coleta seletiva passando na porta de casa.	( ) Possuir local para depositar os resíduos perto de casa.

Indique, em ordem de prioridade, de 1° (mais importante) a 3° (menos importante), os meios que mais te incentivariam a separar os resíduos em casa e entregá-los para a coleta seletiva.

( ) Ganhar desconto no imposto/taxa de coleta.	( ) Ser obrigado através de fiscalização e aplicação de multa.
	( ) Ganhar dinheiro, prêmios, recompensas ou alimentos.

O quanto eu estaria disposto a percorrer para entregar gratuitamente os resíduos separados em um Ecoponto?

	Totalmente disposto	Disposto	Neutro	Indisposto	Totalmente indisposto
Até 100 metros.	( )	( )	( )	( )	( )
De 100 metros a 500 metros.	( )	( )	( )	( )	( )
De 501 metros a 5 quilômetros.	( )	( )	( )	( )	( )
Mais de 5 quilômetros.	( )	( )	( )	( )	( )

Indique, em ordem de prioridade, de 1° (mais importante) a 5° (menos importante), os tipos de recompensa pela separação de resíduos que mais te interessam.

( ) Brindes e prêmios.	( ) Dinheiro.

( ) Doações para instituições de caridade. ( ) Troca por alimentos.
( ) Crédito em cartão de transporte ou descontos em tributos.

Em caso de recompensa pela separação e entrega de resíduos (valor por quilograma), o quanto eu estaria disposto a percorrer para entregar em um Ecoponto?

	Menos de R$ 0,20	Entre R$ 0,21 e 0,30	Entre R$ 0,31 e 0,40	Entre R$ 0,41 e 0,50	Mais de R$ 0,50	Não estou disposto.
Até 100 metros.	( )	( )	( )	( )	( )	( )
De 100 metros a 500 metros.	( )	( )	( )	( )	( )	( )
De 501 metros a 5 quilômetros.	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Mais de 5 quilômetros.	( )	( )	( )	( )	( )	( )

Em caso de implementação sistema de cobrança pelo peso do resíduo não separado. Quanto estou disposto a pagar pelo serviço de coleta?

( ) Menos de 0,20 R$ por kg de resíduo coletado. ( ) Entre 0,21 e 0,30 R$ por kg de resíduo coletado.
( ) Entre 0,31 e 0,40 R$ por kg de resíduo coletado. ( ) Entre 0,41 e 0,50 R$ por kg de resíduo coletado.
( ) Mais de 0,50 R$ por kg de resíduo coletado. ( ) Não pretendo pagar pelo serviço.

Indique, em ordem de prioridade, de 1° (mais importante) a 5° (menos importante), os sistemas de cobrança pelo manejo de resíduos sólidos urbanos que você prefere pagar.

( ) Calculado com base no IPTU. ( ) Pela frequência de coleta e destinação de resíduos.
( ) Valor fixo anual. ( ) Medidos a partir do peso ou volume de resíduos gerados.
( ) Calculado com base no consumo de água ou luz.

Considerando que a Prefeitura de Vitória cobra juntamente ao IPTU uma Taxa de Coleta de Resíduos Sólidos de 0,50 R$ por kg de resíduo (Lei Municipal 4.476/97). Calculado a partir de uma casa de 300 m² com 2 moradores que geram 730 kg de resíduos anualmente.
Em caso de mudança do sistema de cobrança para o peso do resíduo não separado. Quanto estou disposto a pagar pelo serviço de coleta?

( ) Menos de 0,20 R$ por kg de resíduo coletado. ( ) Entre 0,21 e 0,30 R$ por kg de resíduo coletado.
( ) Entre 0,31 e 0,40 R$ por kg de resíduo coletado. ( ) Entre 0,41 e 0,50 R$ por kg de resíduo coletado.
( ) Mais de 0,50 R$ por kg de resíduo coletado. ( ) Não pretendo pagar pelo serviço.

APÊNDICE E – OUTROS DADOS PARA AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Quadro 9 - Classificação dos bairros do município de Vitória por Região Administrativa.

Região Administrativa	Bairros	Região Administrativa	Bairros
Centro	Centro	Jardim da Penha	Boa Vista
	Do Moscoso		Jardim da Penha
	Fonte Grande		Mata da Praia
	Ilha do Principe		Morada de Camburi
	Parque Moscoso		
	Piedade		Pontal de Camburi
	Santa Clara		
	Vila Rubim		República
Praia do Canto	Barro Vermelho	São Pedro	Comdusa
	Enseada do Suá		Conquista
	Ilha do Boi		Ilha das Caieiras
	Ilha do Frade		Nova Palestina
	Praia do Canto		Redenção
	Praia do Suá		Resistência
	Santa Helena		Santo André
	Santa Lucia		Santos Reis
	Santa Luiza		São josé
			São Pedro
Santo Antônio	Ariovaldo Favalessa	Maruípe	Andorinhas
	Bela Vista		Bonfim
	Caratoíra		Da Penha
	Do Cabral		Itararé
	Do Quadro		Joana A´arc
	Estrelinha		Maruípe
	Grande Vitória		Santa Cecília
	Inhanguetá		Santa Martha
	Mário Cypreste		Santos Dumont
	Santa Tereza		São Benedito
	Santo Antonio		São Cristóvão
	Universitário		Tabuazeiro
Jucutuquara	Bento Ferreira	Goiabeiras	Antônio Honório
	Consolação		Goiabeiras
	Cruzamento		Jabour
	De Lourdes		Maria Ortiz
	Forte São João		Segurança do Lar
	Fradinhos		Solon Borges
	Gurigica	Jardim Camburi	Jardim Camburi
	Horto		
	Ilha de Santa Maria		
	Jesus de Nazareth		
	Jucutuquara		
	Monte Belo		
	Nazareth		
	Romão		

Tabela 23 - Resultados do teste de hipóteses para o estabelecimento da hierarquia das estratégias de política pública.

Instrumento	Questão N°*	Alternativa mais frequente	Frequência	Qui-quadrado	Valor de p	Interpretação
Vários	26	Desconto no imposto/taxa de coleta.	233	87,31	0,00000	Há diferença significativa entre as opções.
		Recompensas monetárias, prêmios, incentivos ou alimentos.	86			
		Cumprimento obrigatório por meio de fiscalização e multas.	64			
	24	Ponto de entrega conveniente perto de casa.	129	315,76	0,00000	Há diferença significativa entre as opções.
		Serviço de coleta porta a porta.	113			
		Ponto de entrega conveniente perto de casa.	49			
		Ser convencido de que não separar é prejudicial ao meio ambiente.	37			
		Recompensas monetárias, prêmios, incentivos ou alimentos.	30			
		Cumprimento obrigatório por meio de fiscalização e multas.	19			
		Outro	14			
Educacional	23	Internet e redes sociais.	176	766,16	0,00000	Há diferença significativa entre as opções.
		Televisão e mídias de transmissão televisiva.	108			
		Campanhas educativas na escola.	35			
		Eventos de conscientização, palestras e feiras.	33			
		Materiais impressos (outdoors, faixas, panfletos, folhetos, etc.).	18			
		Outros	22			
Econômica: Recompensa	28	Doações para instituições de caridade.	157	256,43	0,00000	Há diferença significativa entre as opções.
		Crédito em cartão de transporte público ou descontos em tributos.	103			
		Dinheiro.	72			
		Troca por alimentos.	41			
		Outros	19			
Econômica: Cobrança	31	Calculado com base no IPTU.	132	256,43	0,00000	Há diferença significativa entre as opções.
		Medido a partir do peso ou volume de resíduos gerados.	93			
		Calculado com base no consumo de água ou luz.	60			
		Valor fixo anual.	58			
		Pela frequência de coleta e destinação de resíduos.	46			
Operacional	25	Ponto de entrega conveniente perto de casa.	199	0,09	0,76190	Sem diferença significativa.
		Serviço de coleta porta a porta.	193			

Fonte: Autoria própria. *Questionário presente no Apêndice D.

Tabela 24 - Coordenadas dos Pontos de Entrega Voluntária (PEV) por Região Administrativa.

Região	PEVs	Coordenadas		PEVs	Coordenadas	
		X	Y		X	Y
Jardim Camburi	1	368545,0	7758647,2	23	367294,8	7759391,0
	2	368293,6	7758640,2	24	368049,1	7759646,0
	3	368035,1	7758636,7	25	367801,2	7759646,0
	4	367804,7	7758633,3	26	367549,7	7759646,0
	5	367542,7	7758622,8	27	367298,3	7759649,5
	6	367301,8	7758643,7	28	367039,9	7759649,5
	7	368545,0	7758895,2	29	367797,7	7759890,4
	8	368286,6	7758891,7	30	367542,7	7759897,4
	9	368038,6	7758891,7	31	367294,8	7759904,4
	10	367794,2	7758895,2	32	367036,4	7759900,9
	11	367539,2	7758891,7	33	367794,2	7760141,9
	12	367298,3	7758891,7	34	367546,2	7760141,9
	13	368548,5	7759146,6	35	367294,8	7760138,4
	14	368293,6	7759136,1	36	367537,5	7760395,0
	15	368038,6	7759153,6	37	367293,0	7760395,0
	16	367801,2	7759136,1	38	367045,1	7760402,0
	17	367539,2	7759150,1	39	367289,6	7760646,5
	18	367287,8	7759146,6	40	367041,6	7760650,0
	19	368293,6	7759412,0	41	367307,0	7760894,4
	20	368045,6	7759398,0	42	367038,1	7760890,9
	21	367801,2	7759394,5	43	367038,1	7761145,9
Goiabeiras	1	365218,7	7759644,2	23	363710,1	7758896,9
	2	364960,3	7759644,2	24	364453,9	7758645,5
	3	364715,8	7759647,7	25	364220,0	7758649,0
	4	364467,9	7759654,7	26	363968,5	7758656,0
	5	364220,0	7759644,2	27	363713,6	7758645,5
	6	363954,5	7759644,2	28	363451,7	7758662,9
	7	364960,3	7759410,3	29	364216,5	7758390,5
	8	364712,3	7759392,8	30	363965,0	7758401,0
	9	364464,4	7759392,8	31	363710,1	7758397,5
	10	364220,0	7759396,3	32	363465,6	7758404,5
	11	363972,0	7759396,3	33	363210,7	7758408,0
	12	363713,6	7759399,8	34	364460,9	7758149,6
	13	364712,3	7759151,8	35	363972,0	7758149,6
	14	364471,4	7759151,8	36	363706,6	7758153,1
	15	364216,5	7759151,8	37	363469,1	7758146,1
	16	363968,5	7759151,8	38	363214,2	7758142,6
	17	363703,1	7759155,3	39	363968,5	7757901,6
	18	364719,3	7758900,4	40	363713,6	7757901,6
	19	364457,4	7758896,9	41	363472,6	7757894,7
	20	364216,5	7758896,9	42	363217,7	7757905,1
	21	363958,0	7758889,9			
Centro	1	360396,0	7753403,7	17	359652,2	7752673,9
	2	360403,0	7753166,3	18	359397,3	7752670,4
	3	360151,6	7753169,8	19	359149,3	7752666,9
	4	359893,2	7753159,3	20	360891,9	7752429,4
	5	359645,2	7753166,3	21	360651,0	7752419,0
	6	360651,0	7752911,4	23	360396,0	7752429,4
	7	360392,5	7752911,4	24	360144,6	7752415,5
	8	360144,6	7752918,3	25	359900,2	7752422,5
	9	359896,7	7752911,4	26	359652,2	7752422,5
	10	359645,2	7752918,3	27	359400,8	7752419,0
	11	361150,3	7752673,9	28	359145,8	7752415,5
	12	360898,9	7752670,4	29	358897,9	7752415,5
	13	360647,5	7752663,4	30	359407,8	7752164,0
	14	360399,5	7752673,9	31	359145,8	7752174,5
	15	360144,6	7752670,4	32	358897,9	7752164,0
	16	359900,2	7752673,9			

Fonte: Autoria própria.

Tabela 25 - Coordenadas dos Pontos de Entrega Incentivada (PEI) por Região Administrativa.

Região	PEIs	Coordenadas		PEIs	Coordenadas	
		X	Y		X	Y
Santo Antônio	1	360595,1	7756036,8	10	359575,4	7754528,2
	2	360085,2	7756029,8	11	359086,5	7754535,2
	3	359589,4	7756036,8	12	359100,5	7754032,3
	4	360092,2	7755534,0	13	359603,3	7753529,5
	5	359582,4	7755534,0	14	359079,5	7753522,5
	6	359079,5	7755534,0	15	358569,6	7753536,4
	7	360085,2	7755024,1	16	359086,5	7753026,6
	8	359568,4	7755038,1	17	358590,6	7753026,6
	9	359093,5	7755010,1	18	358576,6	7752530,7
São Pedro	1	361510,0	7758411,5	7	361531,0	7756909,9
	2	362033,9	7757915,6	8	361028,1	7756909,9
	3	361524,0	7757901,6	9	360518,3	7756902,9
	4	362026,9	7757405,8	10	361028,1	7756414,0
	5	361517,0	7757412,7	11	360525,3	7756414,0
	6	361035,1	7757419,7			
Maruípe	1	362268,1	7756813,1	13	361785,5	7755310,8
	2	363770,4	7756306,3	14	361278,7	7755353,0
	3	363269,6	7756312,3	15	363770,4	7754816,1
	4	362768,9	7756324,4	16	363269,6	7754804,0
	5	362268,1	7756312,3	17	362762,8	7754828,1
	6	363269,6	7755799,5	18	362250,0	7754798,0
	7	362774,9	7755829,7	19	361773,4	7754816,1
	8	362262,1	7755805,5	20	361260,6	7754816,1
	9	361755,3	7755829,7	21	363275,7	7754333,4
	10	363251,5	7755328,9	22	362768,9	7754327,4
	11	362774,9	7755316,8	23	362262,1	7754315,3
	12	362268,1	7755322,9			
Jucutuquara	1	363770,4	7754315,3	11	363275,7	7753313,8
	2	361767,4	7754303,2	12	362774,9	7753319,8
	3	361278,7	7754303,2	13	362268,1	7753313,8
	4	363776,4	7753808,5	14	361767,4	7753301,7
	5	363275,7	7753820,6	15	361290,7	7753325,9
	6	362768,9	7753802,5	16	364259,1	7752794,9
	7	362274,2	7753814,5	17	363788,5	7752813,0
	8	361773,4	7753814,5	18	363281,7	7752801,0
	9	361290,7	7753814,5	19	362280,2	7752819,1
	10	363770,4	7753313,8	20	361767,4	7752801,0

Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE F – DEENVOLVIMENTO DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS

Quadro 10 - Lista de equações do subsistema de comportamento de separação do RDO.

Tipo	Nome	Equação	Unidade
Auxiliar	Grau de implementação da política	RAMP (0.05, 0, 20)	$1.Year^{-1}$
Estoque	Controle comportamental - RDO seco	Controle comportamental - RDO seco (t) = (Efeito da coleta por ponto - RDO seco)dt + (Efeito da coleta porta a porta - RDO seco)dt + 0.55 (t_0)	Dml
Estoque	Atitude - RDO seco	Atitude - RDO seco (t) = (Efeito da educação ambiental - RDO seco)dt + 0.55 (t_0)	Dml
Estoque	Normas subjetivas RDO seco	Normas subjetivas RDO seco (t) = (Efeito da cobrança - manejo do RDO seco)dt + (Efeito da cobrança - manejo do RDO seco)dt + (Efeito da recompensa - entrega RDO seco) dt + 0.55 (t_0)	Dml
Estoque	Controle comportamental percebido RDO verde	Controle comportamental - RDO verde (t) = (Efeito da coleta por ponto - RDO verde)dt + (Efeito da coleta porta a porta - RDO verde)dt + 0.5 (t_0)	Dml
Estoque	Atitude RDO verde	Atitude - RDO verde (t) = (Efeito da educação ambiental - RDO verde)dt + 0.5 (t_0)	Dml
Estoque	Normas subjetivas RDO verde	Normas subjetivas RDO verde (t) = (Efeito da cobrança - manejo do RDO verde)dt + (Efeito da recompensa - entrega RDO verde)dt + 0.5 (t_0)	Dml
Auxiliar	Comportamento de separação RDO Seco	(((0.661*"Atitude - RDO seco")- (0.113*Normas subjetivas RDO seco)+(0.134*"Controle comportamental - RDO seco"))*PERCENTUAL DO RESÍDUO SECO NO RDO)/Tempo	$1.Year^{-1}$
Auxiliar	Comportamento de separação RDO verde	(((0.522*Atitude RDO verde)+ (0.019*Normas subjetivas RDO verde)+ (0.152*Controle comportamental percebido RDO verde))*PERCENTUAL DO RESÍDUO VERDE NO RDO)/Tempo	$1.Year^{-1}$

Fonte: Autoria própria.

Quadro 11 - Lista de equações do subsistema de fluxo de massa do RDO separado e não separado.

Tipo	Nome	Equação	Unidade
Auxiliar	Taxa geométrica de crescimento populacional	WITH LOOKUP (Time,([(1,0) (20,0.015)],(1,0.012),(3,0.0119),(6,0.012), (11,0.0094), (16,0.0065), (19,0.005), (20,0.005)))	$1.Year^{-1}$
Fluxo	Taxa geométrica de crescimento populacional	População*Taxa geométrica de crescimento populacional	$hab.Year^{-1}$
Estoque	População	População (t) = (crescimento populacional) dt + 343378 (t0)	hab
Fluxo	geração de RDO	População*TAXA DE GERAÇÃO PER CAPITA DO RDO	$ton.Year^{-1}$
Estoque	Geração total de RDO	Geração total de RDO (t) = (geração de RDO) dt - (descarte inadequado) dt – (RDO não separado coletado pela convencional) dt – (Separação do RDO reciclável seco) dt – (Separação do RDO verde) dt + 116749 (t_0)	ton
Fluxo	descarte inadequado	Taxa de descarte inadequado*Geração total de RDO	$ton.Year^{-1}$
Estoque	Disposição inadequada do RDO	Disposição inadequada do RDO (t) = (descarte inadequado) dt + 70049.1 (t0)	ton
Auxiliar	Taxa de descarte inadequado	TAXA DE DESCARTE INADEQUADO ATUAL-Efeito da educação ambiental no descarte inadequado	$1.Year^{-1}$
Fluxo	RDO não separado coletado pela convencional	MAX(0, Geração total de RDO*(1-(Comportamento de separação RDO Seco+Comportamento de separação RDO verde+Taxa de descarte inadequado)))	$ton.Year^{-1}$
Fluxo	Separação do RDO reciclável seco	Geração total de RDO*Comportamento de separação RDO Seco	$ton.Year^{-1}$
Fluxo	Separação do RDO verde	Geração total de RDO*Comportamento de separação RDO verde	$ton.Year^{-1}$
Estoque	RDO reciclável seco separado	RDO reciclável seco separado (t) = Separação do RDO reciclável seco-RDO seco separado coletado pela convencional-RDO seco separado coletado por pontos-RDO seco separado coletado por PP dt + 16641.1 (t0)	ton
Estoque	RDO Verde Separado	RDO Verde Separado (t) = Separação do RDO verde-RDO Verde Separado Coletado pela Convencional-RDO Verde Separado Coletado por Pontos-RDO Verde Separado Coletado por PP dt + 8090.71 (t0)	ton
Auxiliar	RDO seco - cobertura por ponto	RDO SECO - COLETA POR PONTO ATUAL+Ampliação CS RDO seco por pontos	$1.Year^{-1}$
Auxiliar	RDO seco - Cobertura da PP	RDO SECO - COLETA PP ATUAL+Ampliação CS RDO seco PP	$1.Year^{-1}$
Auxiliar	RDO verde - cobertura por ponto	RDO VERDE - COLETA POR PONTO ATUAL+Ampliação CS RDO verde por pontos	$1.Year^{-1}$
Auxiliar	RDO verde - cobertura por ponto	RDO VERDE - COLETA POR PONTO ATUAL+Ampliação CS RDO verde por pontos	$1.Year^{-1}$

Fluxo	RDO seco separado coletado por pontos	RDO reciclável seco separado*RDO seco - cobertura por ponto	$1.Year^{-1}$
Fluxo	RDO seco separado coletado por PP	RDO reciclável seco separado*RDO seco - Cobertura da PP	$1.Year^{-1}$
Fluxo	RDO Verde Separado Coletado por PP	RDO Verde Separado*RDO verde - cobertura por ponto	$1.Year^{-1}$
Fluxo	RDO Verde Separado Coletado por Pontos	RDO Verde Separado*RDO verde - Cobertura da PP	$1.Year^{-1}$
Estoque	RDO reciclável seco da CS por ponto	RDO reciclável seco da CS por ponto (t) = (RDO seco separado coletado por pontos) dt – (RDO seco da CS pontos para reciclagem) dt – (rejeitos secos CS por ponto) dt + 665.6 (t_0)	ton
Estoque	RDO reciclável seco da CS PP	RDO reciclável seco da CS PP (t) = (RDO seco separado coletado por PP) dt – (RDO seco da CS PP para reciclagem-rejeitos secos CS PP) dt + 1497.7 (t_0)	ton
Estoque	RDO Verde da CS PP	RDO Verde da CS PP (t) = (RDO Verde Separado Coletado por PP) dt – (RDO verde da CS PP para reciclagem) dt – (rejeitos verdes CS por ponto) dt + 0 (t_0)	ton
Estoque	RDO Verde da CS por Ponto	RDO Verde da CS por Ponto (t) = (RDO Verde Separado Coletado por Pontos) dt – (RDO verde da CS pontos para reciclagem) dt –(rejeitos verdes CS PP) dt + 0 (t_0)	ton
Fluxo	RDO seco separado coletado pela convencional	RDO reciclável seco separado*(1-("RDO seco - Cobertura da PP"+"RDO seco - cobertura por ponto"))	$ton.Year^{-1}$
Fluxo	RDO Verde Separado Coletado pela Convencional	RDO Verde Separado*(1-("RDO verde - Cobertura da PP"-"RDO verde - cobertura por ponto"))	$ton.Year^{-1}$
Auxiliar	Percentual rejeitos secos CS por ponto	REJEITOS SECOS PONTOS ATUAL-Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos	$1.Year^{-1}$
Auxiliar	Percentual rejeitos secos CS PP	REJEITOS SECOS PP ATUAL-Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos	$1.Year^{-1}$
Auxiliar	Percentual enviado para aterro sanitário	ENVIO DE REJEITOS PARA ATERRO ATUAL-Efeito das taxas de aterro	$1.Year^{-1}$
Auxiliar	Percentual rejeitos verdes CS por ponto	REJEITOS VERDES PONTOS ATUAL-Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes	$1.Year^{-1}$
Auxiliar	Percentual rejeitos verdes CS PP	REJEITOS VERDES PP ATUAL-Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes	$1.Year^{-1}$
Fluxo	RDO seco da CS pontos para reciclagem	RDO reciclável seco da CS por ponto*(1-Percentual rejeitos secos CS por ponto)	$ton.Year^{-1}$
Fluxo	rejeitos secos CS por ponto	RDO reciclável seco da CS por ponto*Percentual rejeitos secos CS por ponto	$ton.Year^{-1}$
Fluxo	RDO seco da CS PP para reciclagem	RDO reciclável seco da CS PP*(1-Percentual rejeitos secos CS PP)	$ton.Year^{-1}$
Fluxo	rejeitos secos CS PP	RDO reciclável seco da CS PP*Percentual rejeitos secos CS PP	$ton.Year^{-1}$

Fluxo	envio para aterro sanitário	Rejeito*Percentual enviado para aterro sanitário	ton.Year^{-1}
Auxiliar	Efeito das taxas de aterro	MIN(1 , MAX(0 , 0.03*Taxas de aterro))/Tempo	
Fluxo	envio para aproveitamento energético	Rejeito*(1-Percentual enviado para aterro sanitário)	ton.Year^{-1}
Fluxo	rejeitos verdes CS PP	RDO Verde da CS por Ponto*Percentual rejeitos verdes CS por ponto	ton.Year^{-1}
Fluxo	RDO verde da CS pontos para reciclagem	RDO Verde da CS por Ponto*(1-Percentual rejeitos verdes CS por ponto)	ton.Year^{-1}
Fluxo	rejeitos verdes CS por ponto	RDO Verde da CS PP*Percentual rejeitos verdes CS PP	ton.Year^{-1}
Fluxo	RDO verde da CS PP para reciclagem	RDO Verde da CS PP*Percentual rejeitos verdes CS PP	ton.Year^{-1}
Estoque	Rejeito	Rejeito (t) = (RDO não separado coletado pela convencional) dt + (RDO seco separado coletado pela convencional) dt + (RDO Verde Separado Coletado pela Convencional) dt + (rejeitos secos CS por ponto) dt + (rejeitos secos CS PP) dt + (rejeitos verdes CS por ponto) dt + (rejeitos verdes CS PP) dt – (envio para aproveitamento energético) dt – (envio para aterro sanitário) dt + 108246 (t_0)	ton
Estoque	RDO reciclável seco	RDO reciclável seco (t) = (RDO seco da CS pontos para reciclagem) dt + (RDO seco da CS PP para reciclagem) dt + 1497.67 (t_0)	ton
Estoque	Aterro Sanitário	Aterro Sanitário (t) = (envio para aterro sanitário) dt + 96050.1 (t_0)	ton
Estoque	Aproveitamento energético	Aproveitamento energético (t) = (envio para aproveitamento energético) dt + 0 (t_0)	ton
Estoque	RDO reciclável Verde	RDO reciclável Verde (t) = (RDO verde da CS pontos para reciclagem) dt + (RDO verde da CS PP para reciclagem) dt + 0 (t_0)	ton

Fonte: Autoria própria.

Quadro 12 - Lista de equações do subsistema de custos do manejo do RDO.

Tipo	Nome	Equação	Unidade
Auxiliar	Custos - Manejo do RDO	“Custo - Coleta convencional"+"Custo - Coleta seletiva"+"Custo - Pontos viciados"+"Custos - disposição final dos rejeitos"+"Custos - Educação ambiental"+"Custos - Recompensas"+"Custos - Triagem e Tratamento	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custo - Pontos viciados	CUSTO UNITÁRIO DOS PONTOS VICIADOS*descarte inadequado	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custo - Coleta convencional	RDO total coletado pela convencional*Custo unitário da coleta convencional	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custo - Coleta seletiva	“Custo - CS por ponto"+"Custo - CS Porta a porta"	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custo - CS por ponto	"Custo - CS do seco por ponto"+"Custo - CS do verde por ponto"	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custo - CS do seco por ponto	"Custo unitário - CS do seco por ponto"*RDO seco separado coletado por pontos	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custo - CS do verde por ponto	RDO Verde Separado Coletado por Pontos*"Custo unitário - CS do verde por ponto"	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custo - CS Porta a porta	"Custo - CS do seco Porta a porta"+"Custo - CS do Verde Porta a porta"	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custo - CS do seco Porta a porta	RDO seco separado coletado por PP*"Custo unitário - CS do seco Porta a porta"	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custo - CS do Verde Porta a porta	RDO Verde Separado Coletado por PP*"Custo unitário - CS do Verde Porta a porta"	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custos - Recompensas	Total de RDO para recompensa*Valor unitário da recompensa	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custos - Educação ambiental	Custos da abordagem por mídias de transmissão+Custos da abordagem presencial coletiva+Custos da abordagem presencial individual	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custos da abordagem presencial coletiva	(População*População atendida EA coletiva)*CUSTO UNITÁRIO EA COLETIVA	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custos da abordagem presencial individual	(População*População atendida EA individual)*CUSTO UNITÁRIO EA INDIVIDUAL	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custos da abordagem por mídias de transmissão	(População*População atendida EA mídias)*CUSTO UNITÁRIO EA MÍDIAS	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Custos - Triagem e Tratamento	"Custos - Produção do CDR"+"Custos - Tratamento dos verdes"+"Custos - Triagem dos secos reciclaveis"	R$.Year^{-1}

Auxiliar	Custos - Triagem dos secos recicláveis	(CAPEX UNITÁRIO DA TRIAGEM DE SECOS*(RDO seco separado coletado pela convencional+RDO seco separado coletado por pontos))+(OPEX UNITÁRIO DA TRIAGEM DE SECOS*(RDO seco separado coletado pela convencional+RDO seco separado coletado por pontos))	R.Year^{-1}$
Auxiliar	Custos - Produção do CDR	(CAPEX UNITÁRIO DA PRODUÇÃO DE CDR*envio para aproveitamento energético)+(OPEX UNITÁRIO DA PRODUÇÃO DE CDR*envio para aproveitamento energético)	R.Year^{-1}$
Auxiliar	Custos - Tratamento dos verdes	(CAPEX UNITÁRIO DO TRATAMENTO DE VERDES*(RDO Verde Separado Coletado por Pontos+RDO Verde Separado Coletado por PP))+(OPEX UNITÁRIO DO TRATAMENTO DE VERDES*(RDO Verde Separado Coletado por Pontos+RDO Verde Separado Coletado por PP))	R.Year^{-1}$
Auxiliar	Custos - disposição final dos rejeitos	envio para aterro sanitário*Custo unitário da disposição de rejeitos	R.Year^{-1}$
Auxiliar	Custo - Coleta convencional	CUSTO UNITÁRIO DA COLETA CONVENCIONAL ATUAL*RDO total coletado pela convencional	R.ton^{-1}$
Auxiliar	Custo unitário - CS do seco por ponto	"CUSTO UNITÁRIO - CS SECO POR PONTO"-("CUSTO UNITÁRIO - CS SECO POR PONTO"*"Otimização - CS seco Ponto")	R.ton^{-1}$
Auxiliar	Custo unitário - CS do verde por ponto	"CUSTO UNITÁRIO - CS VERDE POR PONTO"-("CUSTO UNITÁRIO - CS VERDE POR PONTO"*"Otimização - CS Verde Ponto")	R.ton^{-1}$
Auxiliar	Custo unitário - CS do seco Porta a porta	"CUSTO UNITÁRIO - CS SECO PP ATUAL"-("CUSTO UNITÁRIO - CS SECO PP ATUAL"*"Otimização - CS seco PP")	R.ton^{-1}$
Auxiliar	Custo unitário - CS do Verde Porta a porta	"CUSTO UNITÁRIO - CS VERDE PP ATUAL"-("CUSTO UNITÁRIO - CS VERDE PP ATUAL"*"Otimização - CS Verde PP")	R.ton^{-1}$
Auxiliar	Custo unitário da disposição de rejeitos	CUSTO UNITÁRIO DA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS ATUAL+(CUSTO UNITÁRIO DA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS ATUAL*Taxas de aterro)	R.ton^{-1}$
Auxiliar	Total de RDO para recompensa	(RDO seco separado coletado por pontos+RDO seco separado coletado por PP)*"% População atendida por recompensas"	$ton.Year^{-1}$
Auxiliar	% Receitas para Educação Ambiental	"% RECEITAS PARA ED. AMBIENTAL ATUALMENTE"+("Recursos adicionais - Ed. Ambiental")	Dml

Fonte: Autoria própria.

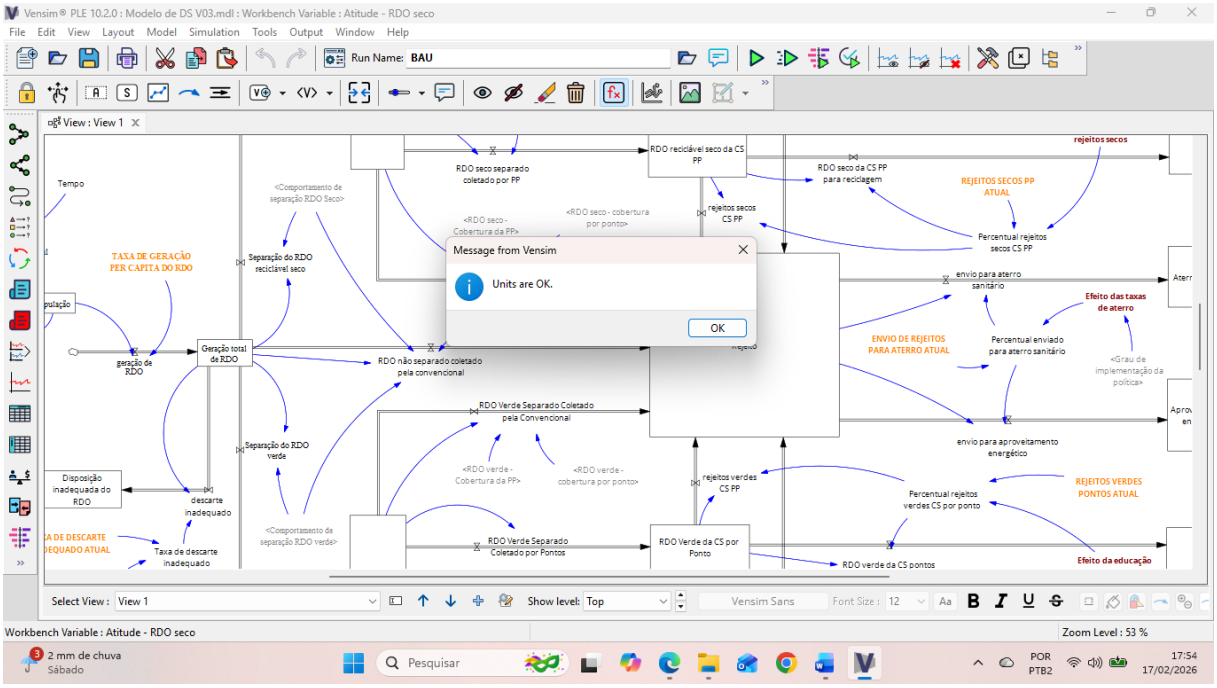
Quadro 13 - Lista de equações do subsistema de receitas decorrentes do tratamento e da destinação do RDO.

Tipo	Nome	Equação	Unidade
Auxiliar	Impacto financeiro - manejo do RDO	"Receitas - Manejo do RDO"-"Custos - Manejo do RDO"	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Receitas - Venda do CDR	Quantidade de CDR gerada*Valor unitário do CDR	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Receitas - Venda de composto	Quantidade de composto gerado*Valor unitário do composto	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Receitas - Venda de recicláveis	(RDO seco da CS pontos para reciclagem+RDO seco da CS PP para reciclagem)*Valor unitário dos recicláveis	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Receitas - cobrança manejo do RDO	"Cobrança - IPTU"+"Cobrança - PAYT"	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Receitas com créditos de carbono	("CC - CDR"+"CC - Compostagem"+"CC - Reciclagem")*Valor do Crédito de Carbono	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Valor do Crédito de Carbono	VALOR DE CC ATUAL-(VALOR DE CC ATUAL*Variabilidade do valor CC)	R$.$t_{CO2}^{-1}$
Auxiliar	CC - Reciclagem	(RDO seco da CS pontos para reciclagem+RDO seco da CS PP para reciclagem)*"CONVERSÃO CC - RECICLAGEM"	t_{CO2}.Year^{-1}
Auxiliar	CC - Compostagem	(RDO verde da CS pontos para reciclagem+RDO verde da CS PP para reciclagem)*"CONVERSÃO CC - COMPOSTAGEM"	t_{CO2}.Year^{-1}
Auxiliar	CC - CDR	envio para aproveitamento energético*"CONVERSÃO CC - CDR"	t_{CO2}.Year^{-1}
Auxiliar	Quantidade de CDR gerada	envio para aproveitamento energético*RAZÃO DE CONVERSÃO DE REJEITOS EM CDR	ton.Year^{-1}
Auxiliar	Valor unitário do CDR	VALOR UNITÁRIO DO CDR ATUAL+(VALOR UNITÁRIO DO CDR ATUAL*"% Valorização do CDR")	R$.ton^{-1}
Auxiliar	Quantidade de composto gerado	RAZÃO DE CONVERSÃO DE VERDES EM COMPOSTO*(RDO verde da CS pontos para reciclagem+RDO verde da CS PP para reciclagem)	ton.Year^{-1}
Auxiliar	Valor unitário do composto	VALOR UNITÁRIO DO COMPOSTADO ATUAL+(VALOR UNITÁRIO DO COMPOSTADO ATUAL*"% Valorização do compostado")	R$.ton^{-1}
Auxiliar	Valor unitário dos recicláveis	VALOR UNITÁRIO DOS RECICLÁVEIS ATUAL+(VALOR UNITÁRIO DOS RECICLÁVEIS ATUAL*"% Valorização dos recicláveis")	R$.ton^{-1}
Auxiliar	Cobrança - PAYT	("RDO - coleta convencional"*Valor unitário de cobrança)*(1-"% residências cobradas IPTU")	R$.Year^{-1}
Auxiliar	Cobrança - IPTU	"ARRECADAÇÃO - IPTU"*"% residências cobradas IPTU"	R$.Year^{-1}
Auxiliar	RDO - coleta convencional	RDO não separado coletado pela convencional+RDO seco separado coletado pela convencional+RDO Verde Separado Coletado pela Convencional	ton.Year^{-1}

Fonte: Autoria própria.

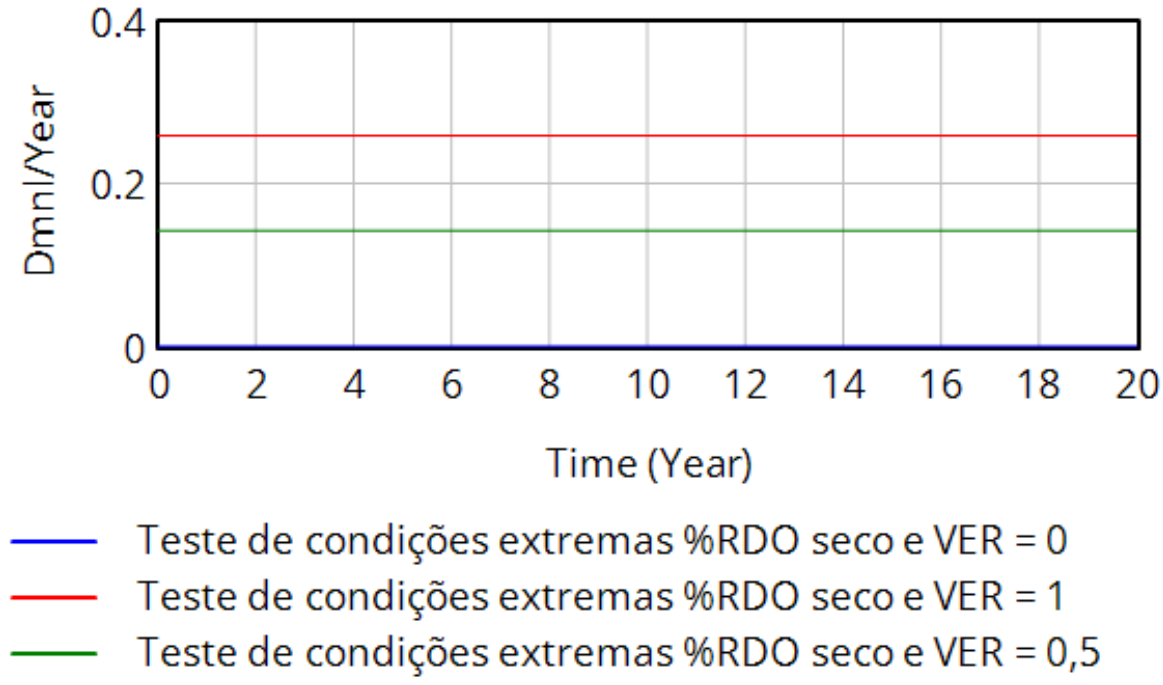
APÊNDICE G – TESTES DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS

Figura 41 - Resultado do teste de consistência dimensional.

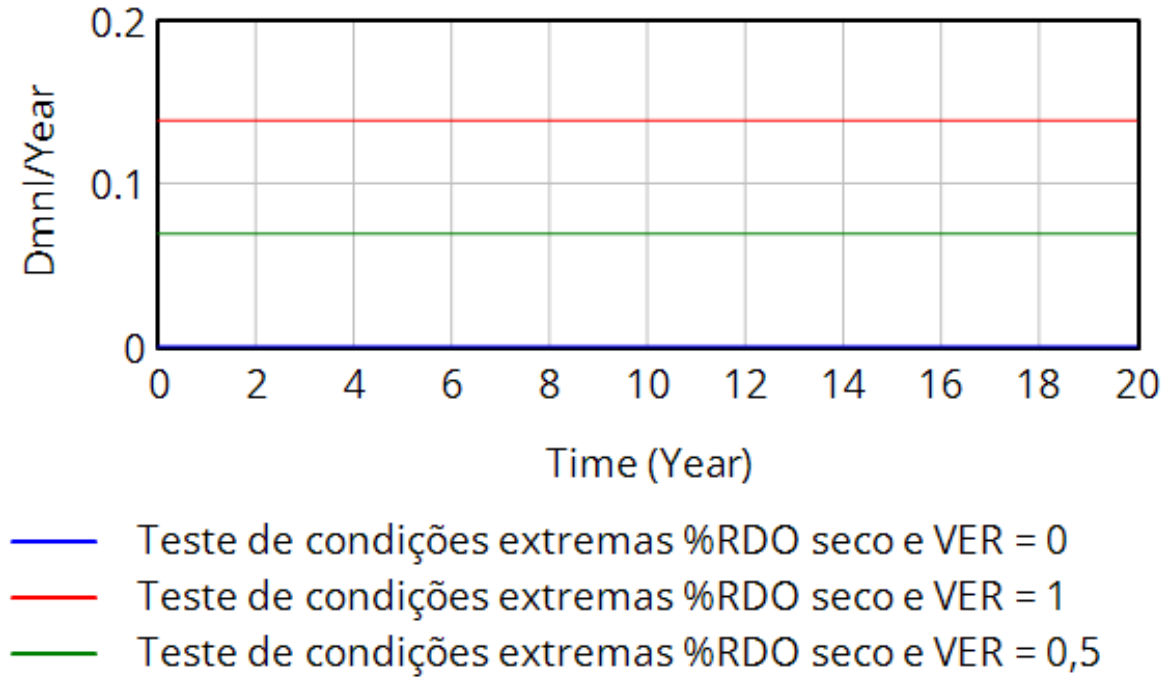


Fonte: Autoria própria.

Figura 42 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) comportamento de separação do RDO seco e (b) comportamento de separação do RDO verde, em função do percentual de recicláveis secos e verdes no RDO.



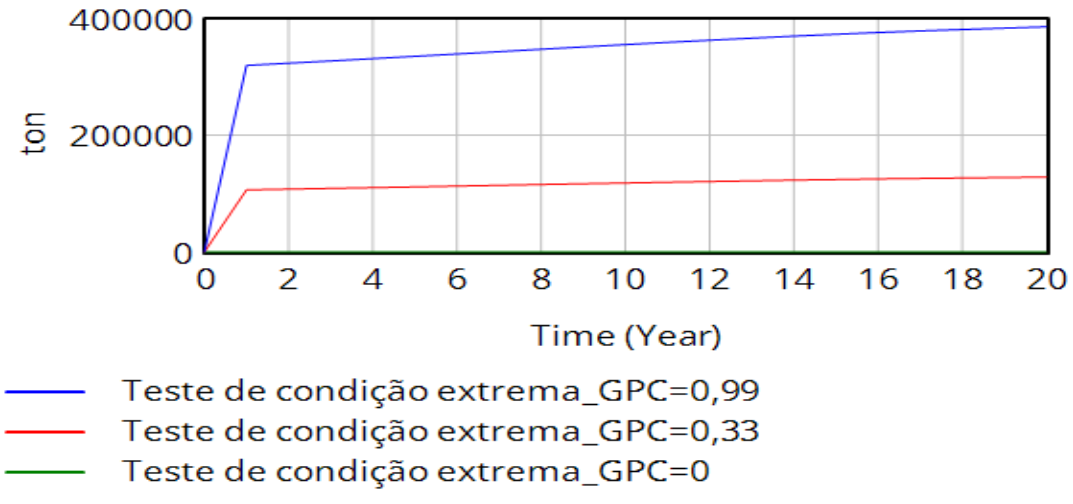
(a)



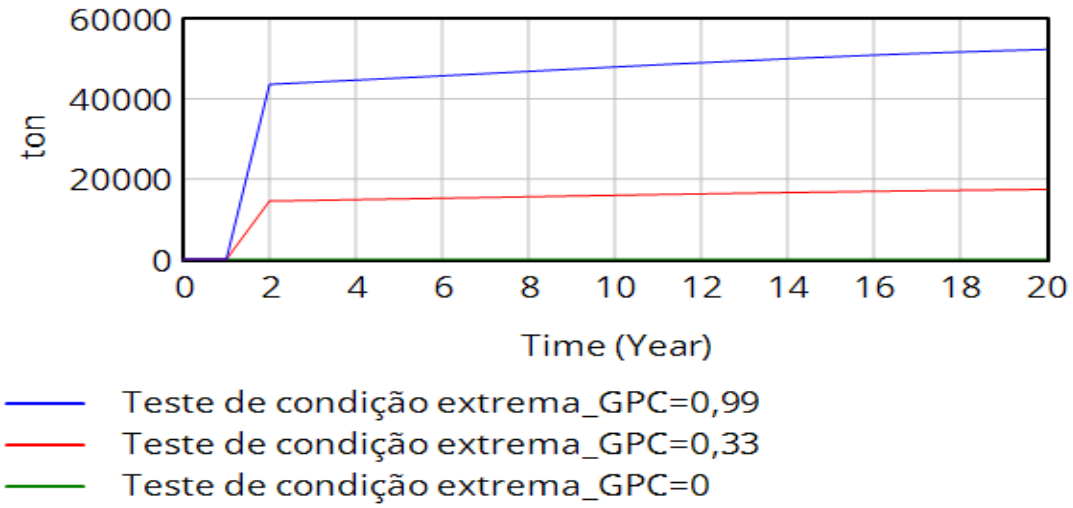
(b)

Fonte: Autoria própria.

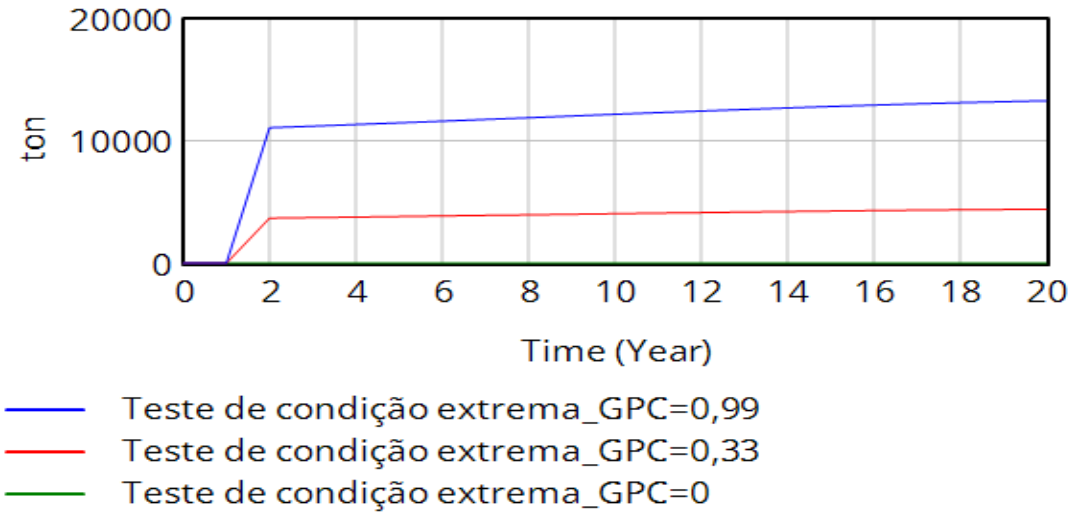
Figura 43 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) geração total de RDO, (b) RDO seco reciclável separado e (c) RDO verde separado, em função da geração per capita de RDO.



(a)



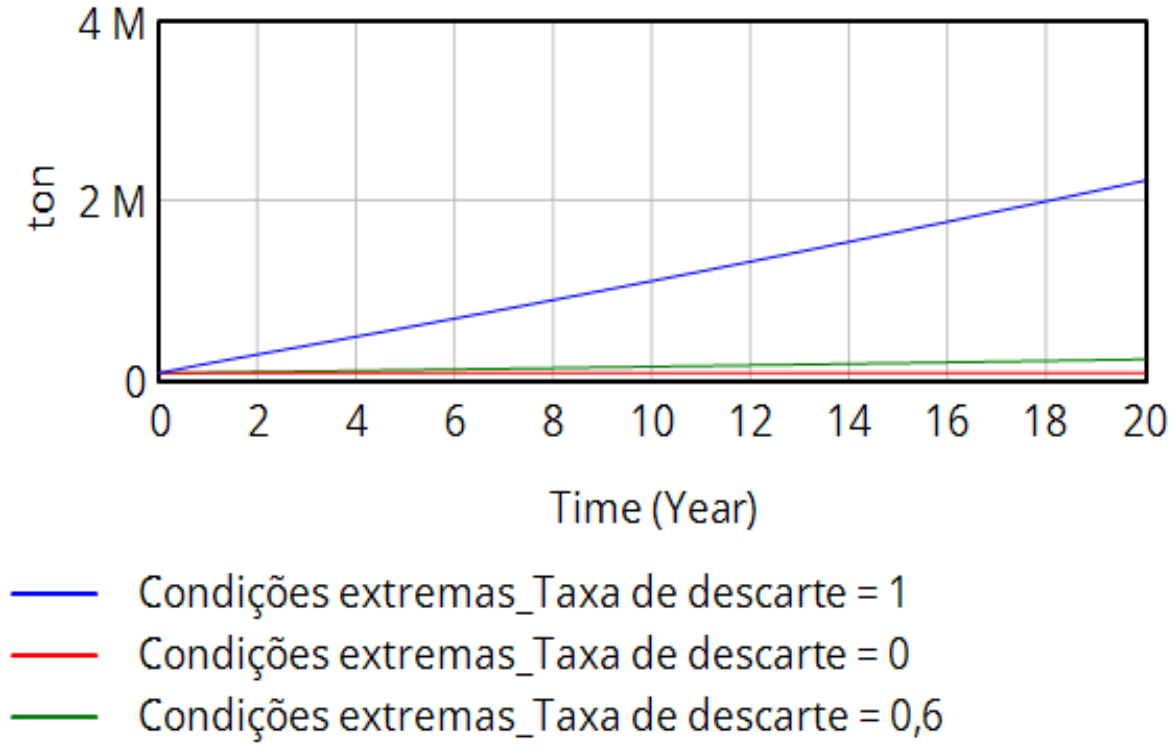
(b)



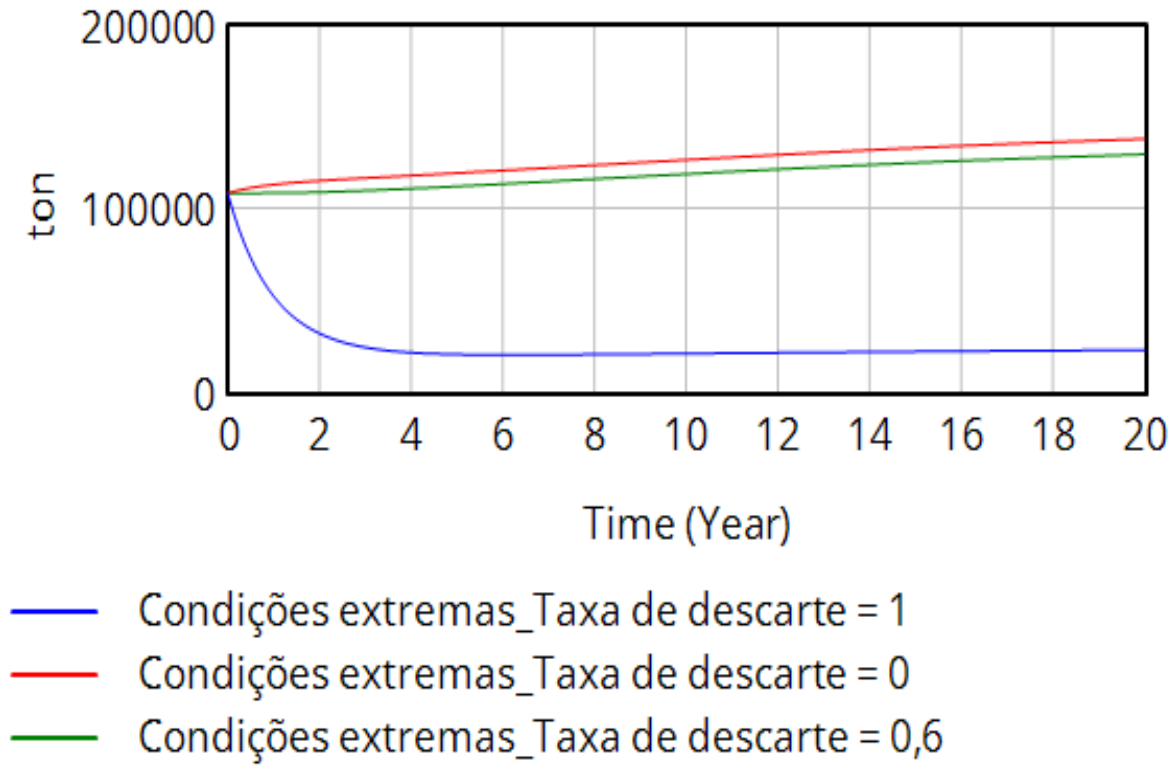
(c)

Fonte: Autoria própria.

Figura 44 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) disposição inadequado do RDO e (b) rejeito, em função do aumento da taxa de descarte inadequado.



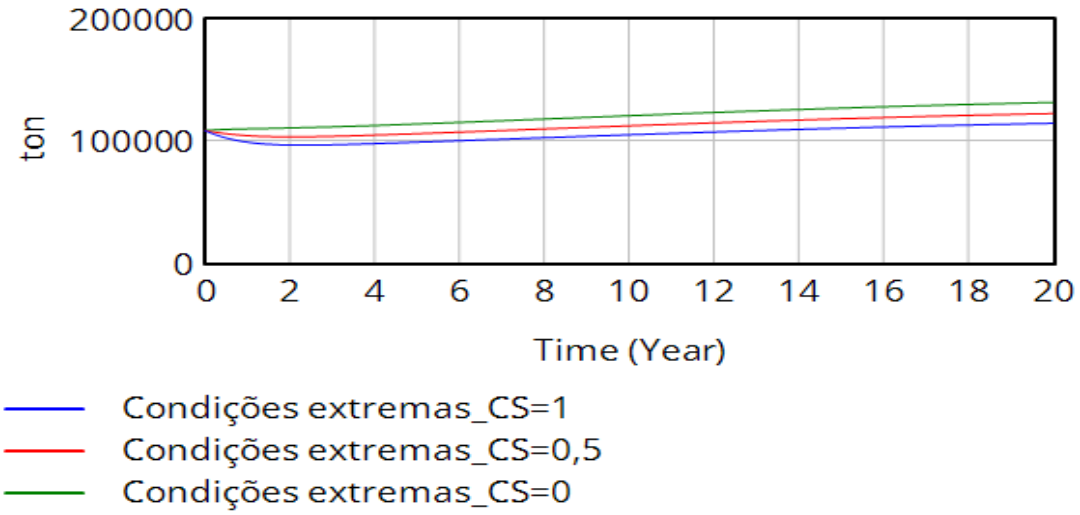
(a)



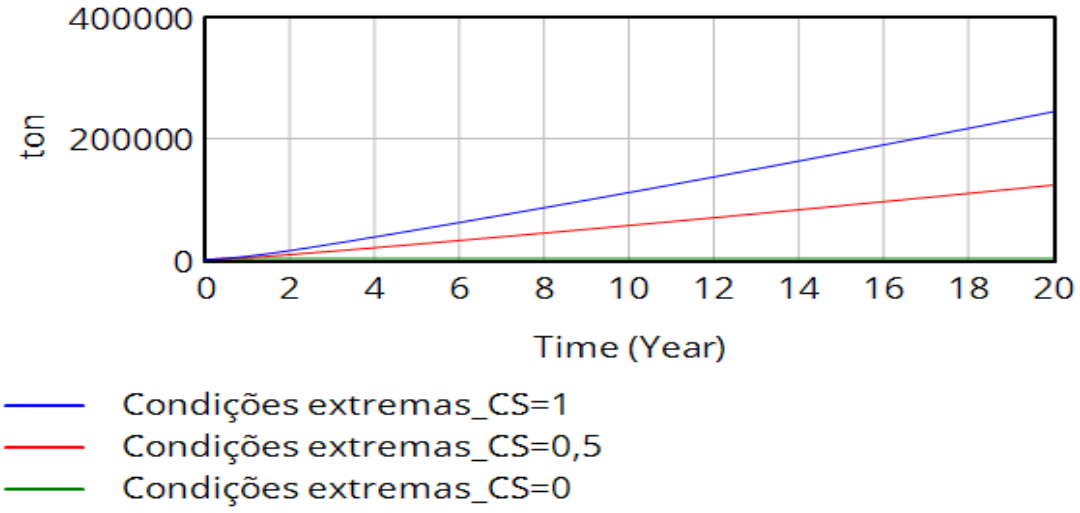
(b)

Fonte: Autoria própria.

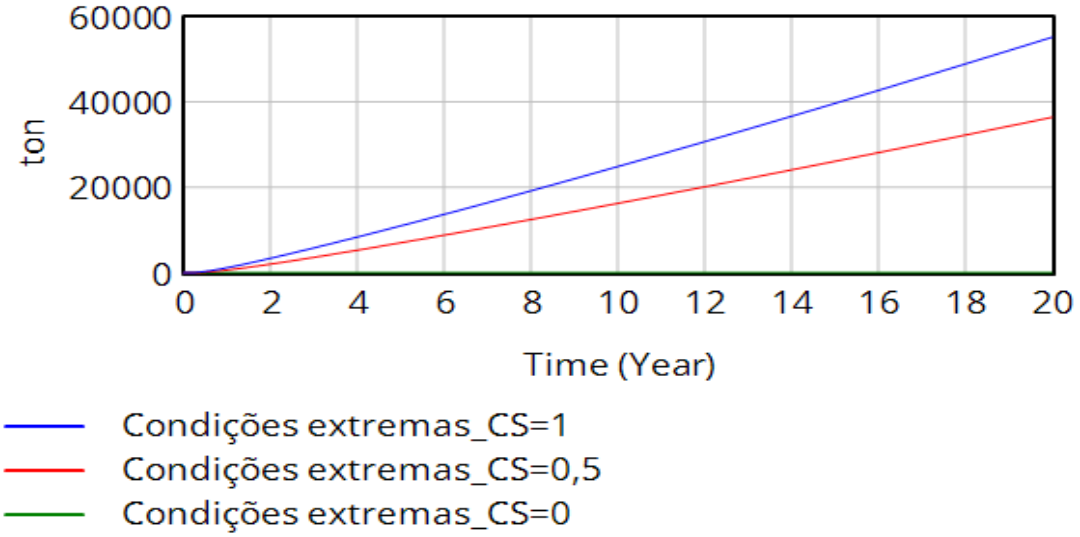
Figura 45 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Rejeito, (b) RDO reciclável seco e (c) RDO reciclável verde, em função da expansão da coleta seletiva.



(a)



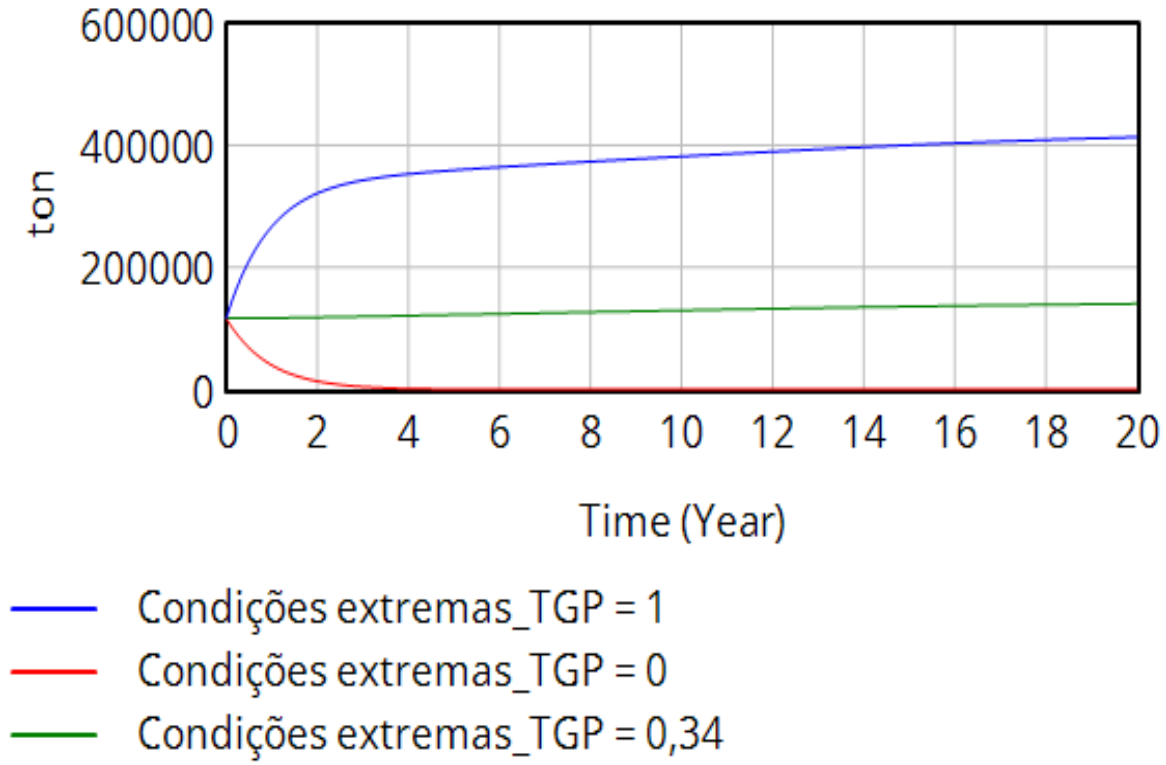
(b)



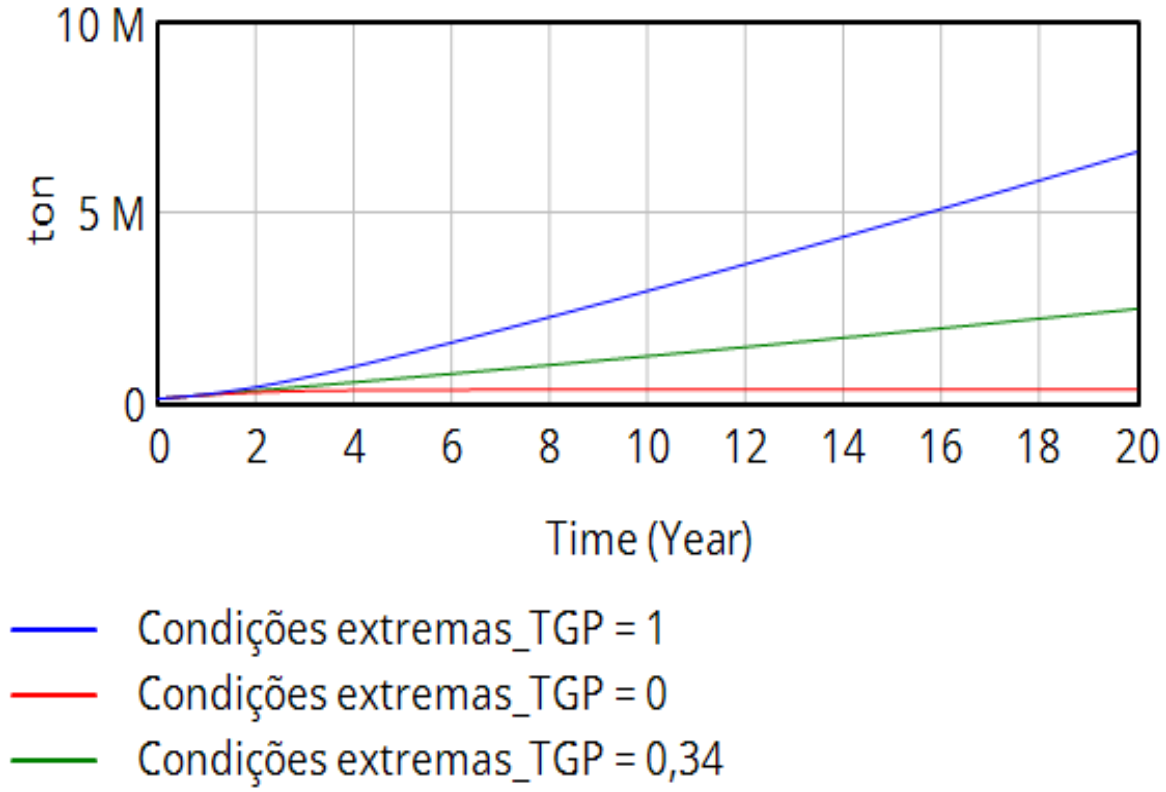
(c)

Fonte: Autoria própria.

Figura 46 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) geração total de RDO e (b) aterro sanitário, em função da taxa de geração do RDO.



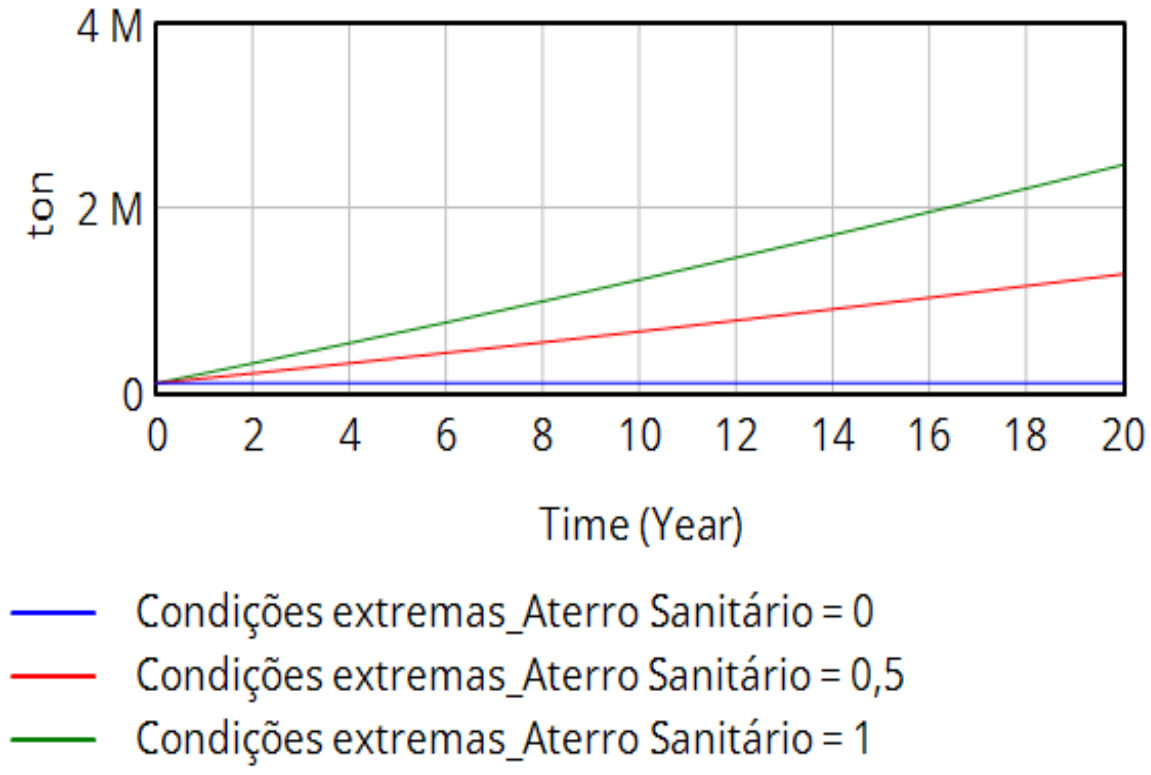
(a)



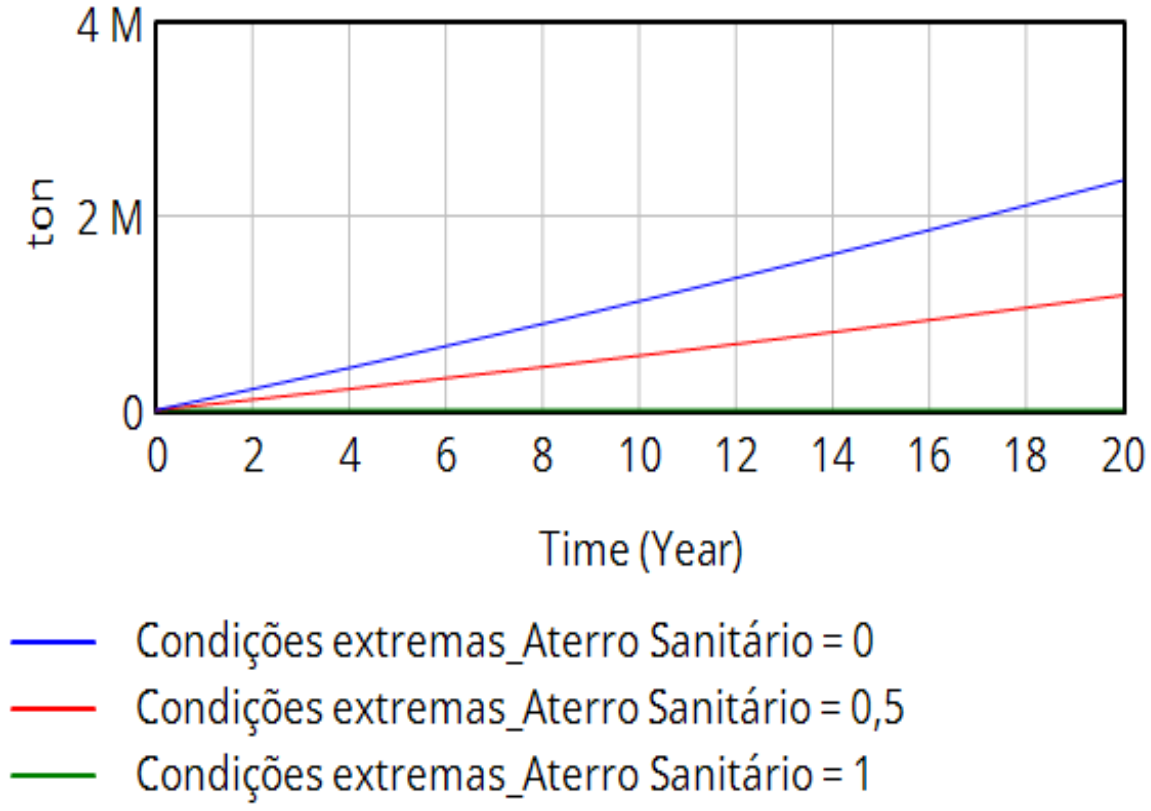
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 47 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) aterro Sanitário e (b) aproveitamento energético, em função do percentual de rejeito enviado para aterro.



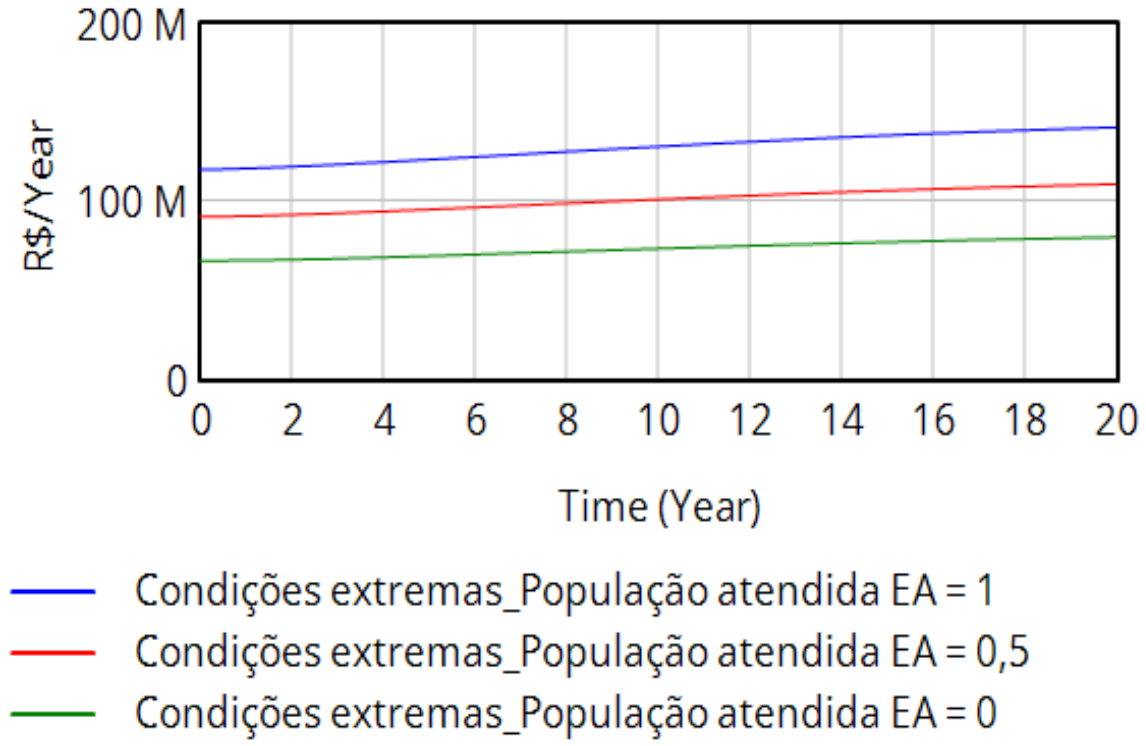
(a)



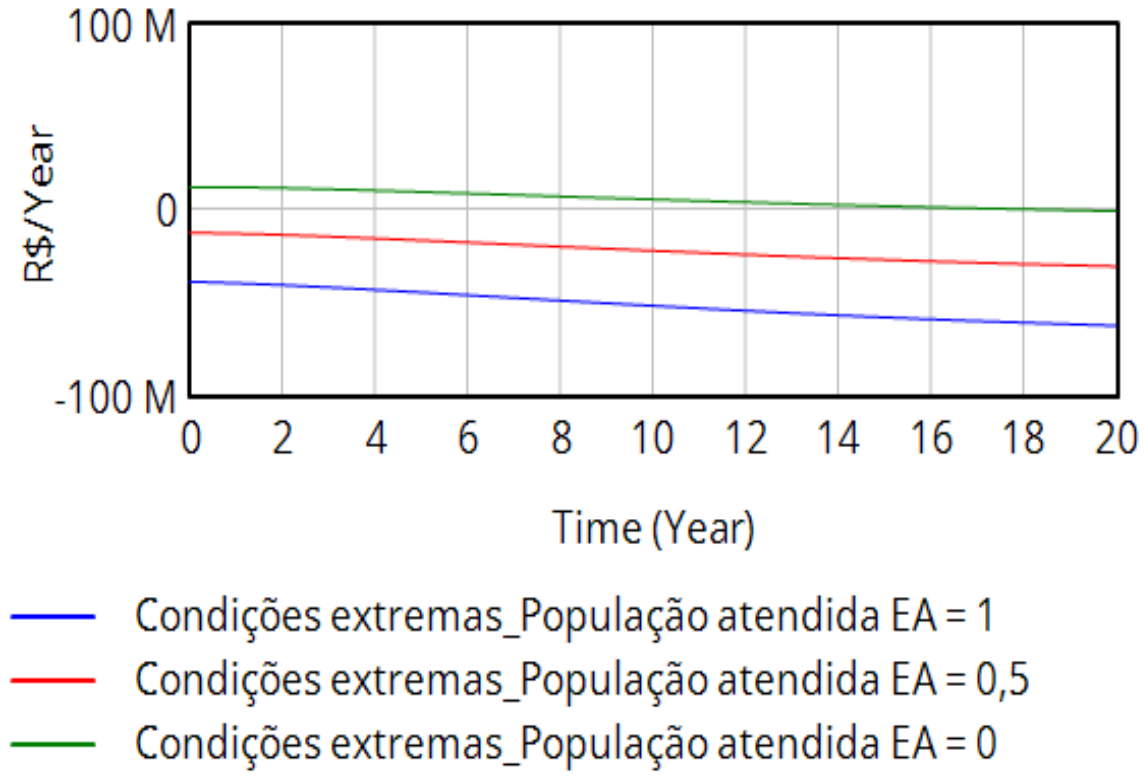
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 48 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função do aumento da população atendida por estratégias de educação ambiental.



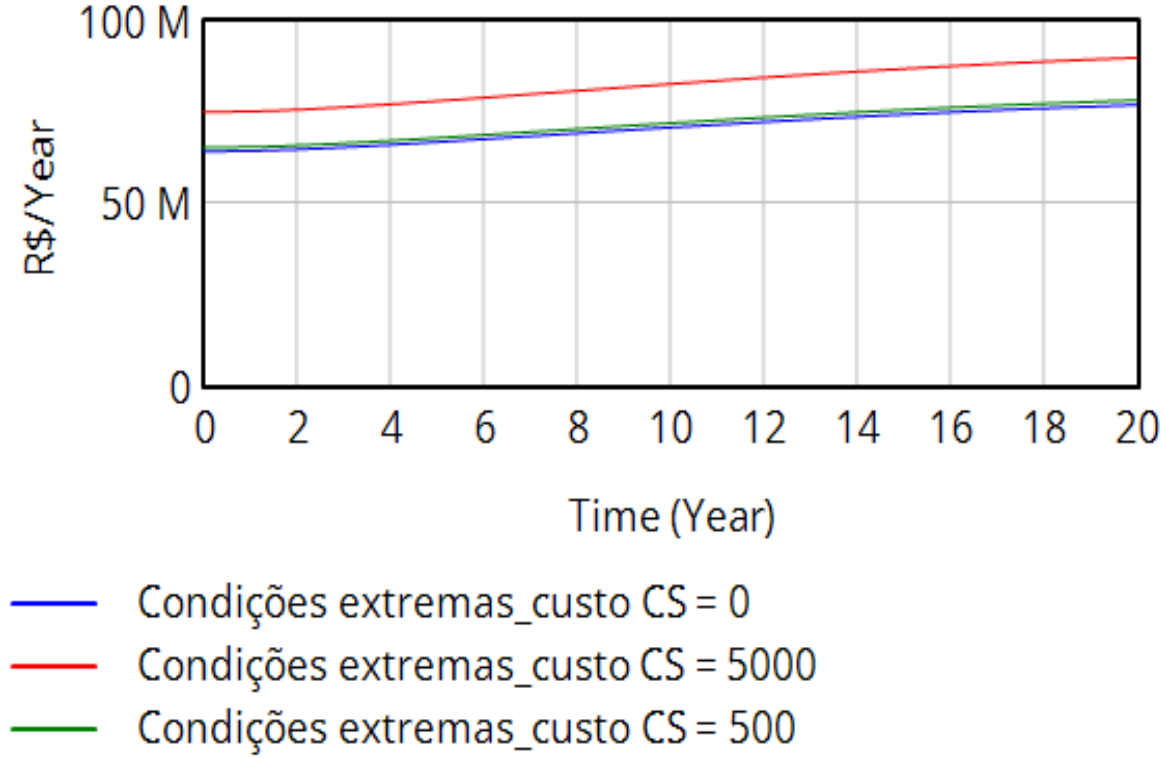
(a)



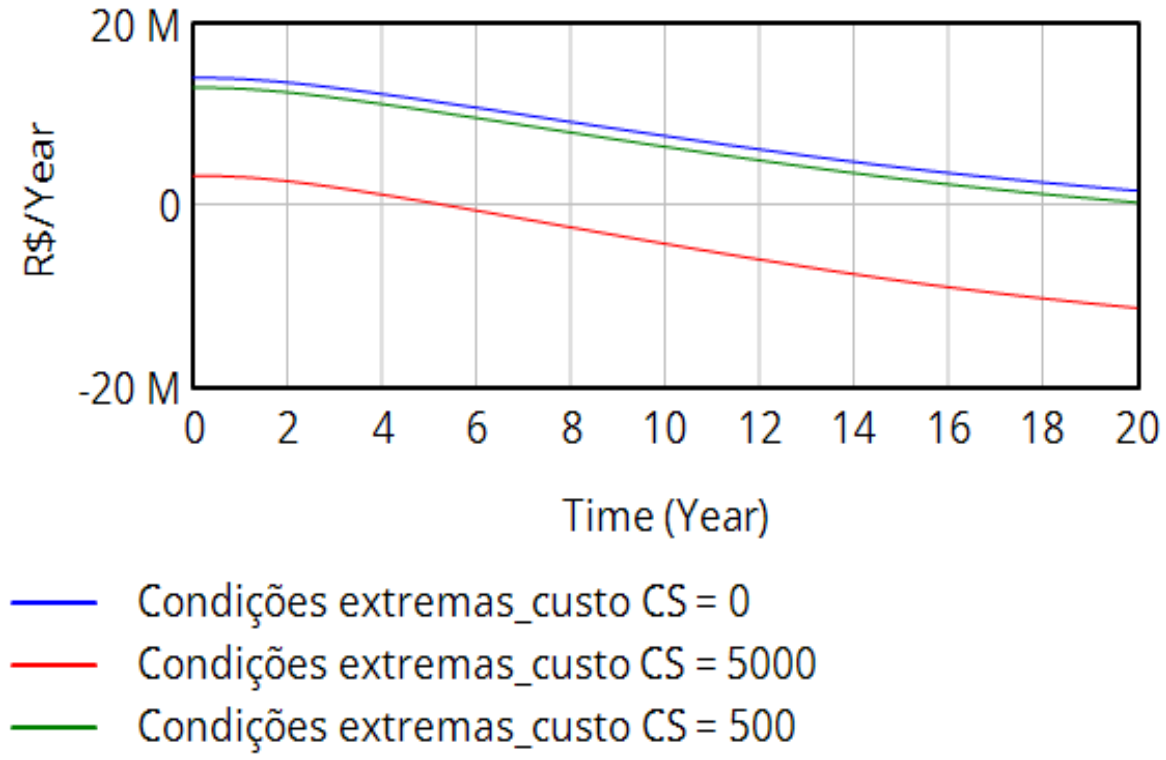
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 49 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função do custo da coleta seletiva.



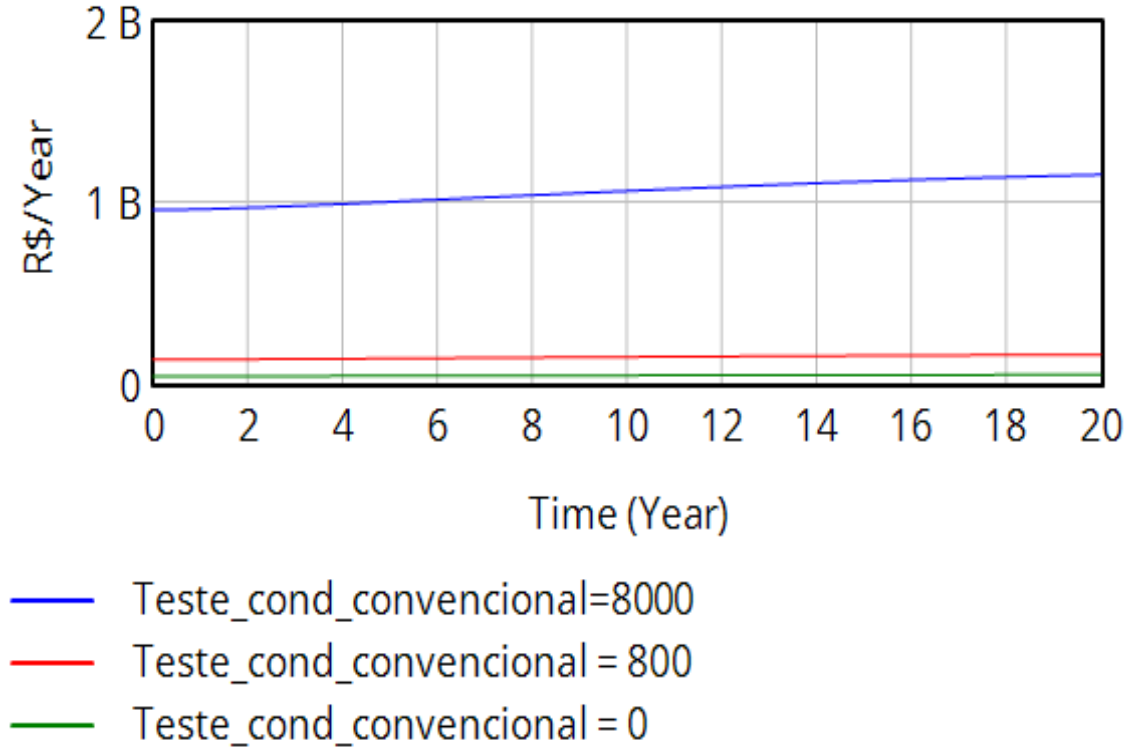
(a)



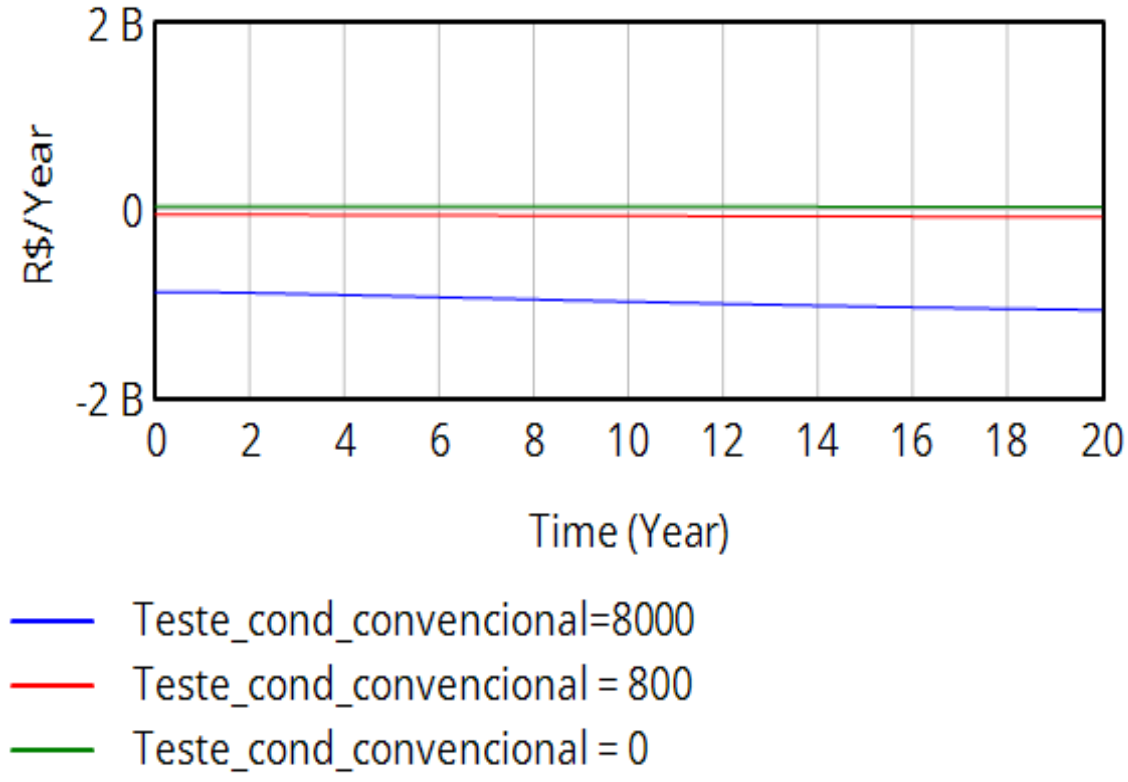
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 50 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função dos custos da coleta convencional e manutenção dos pontos viciados.



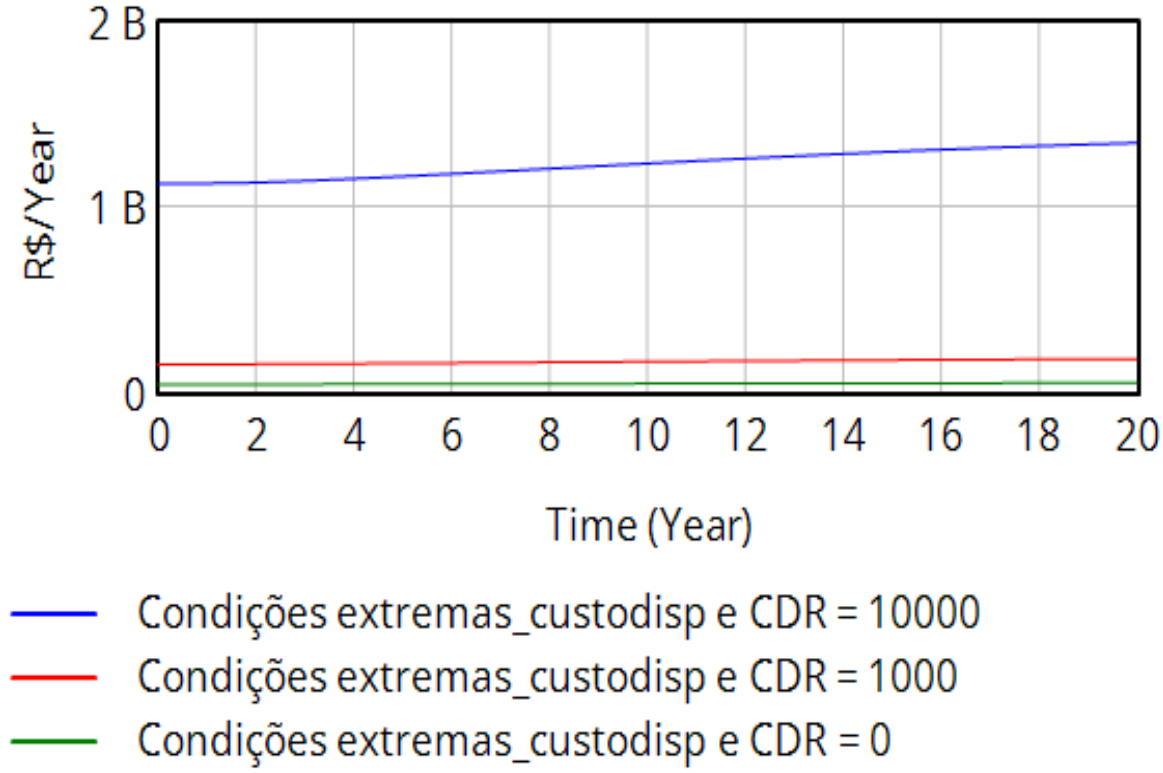
(a)



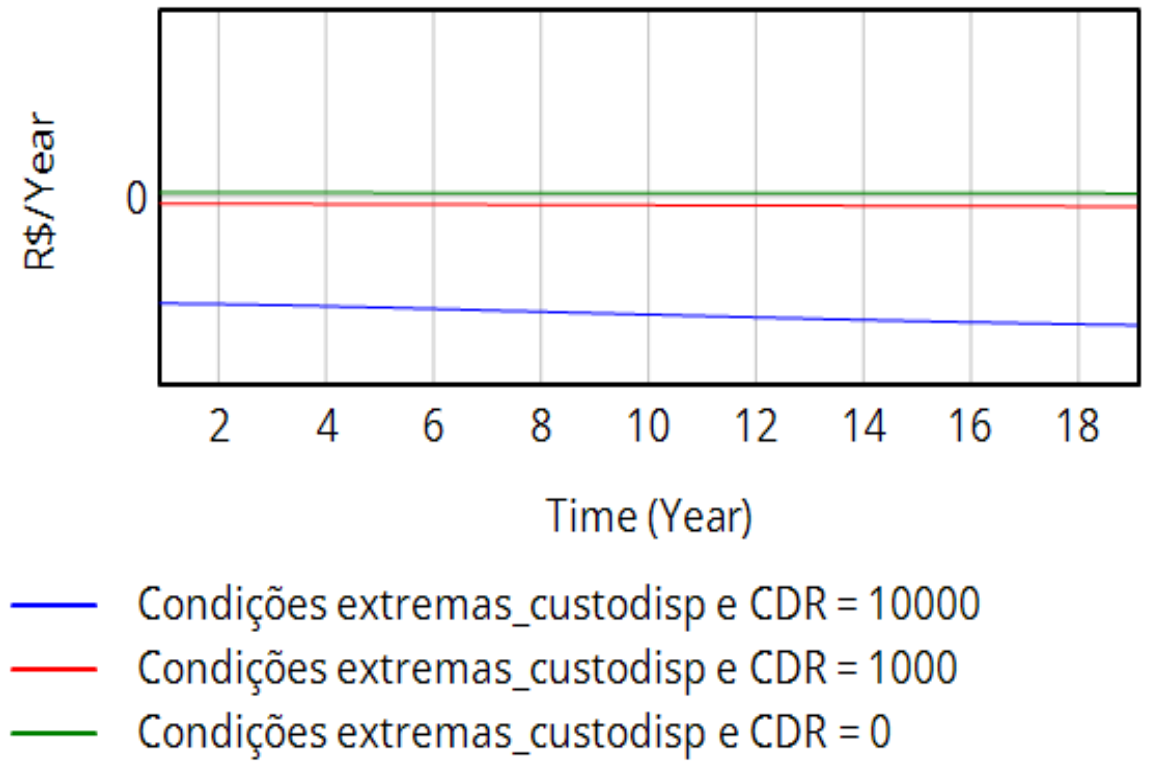
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 51 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função dos custos de disposição final e produção de CDR.



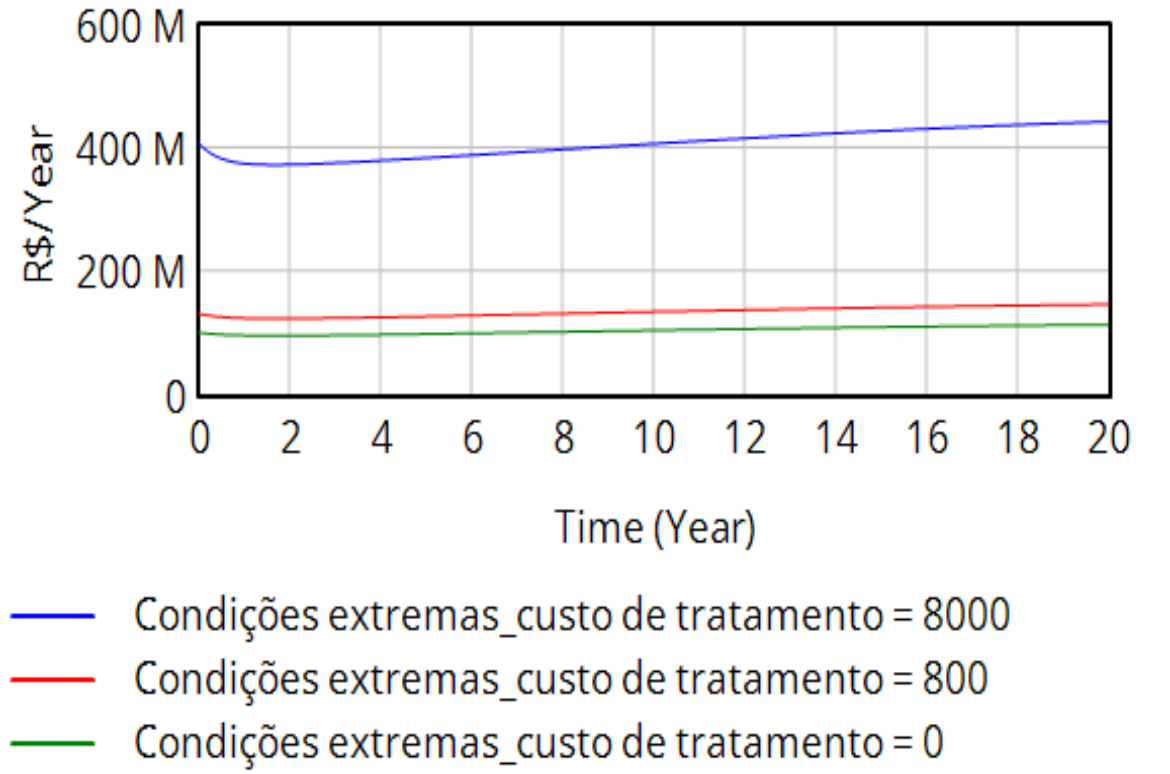
(a)



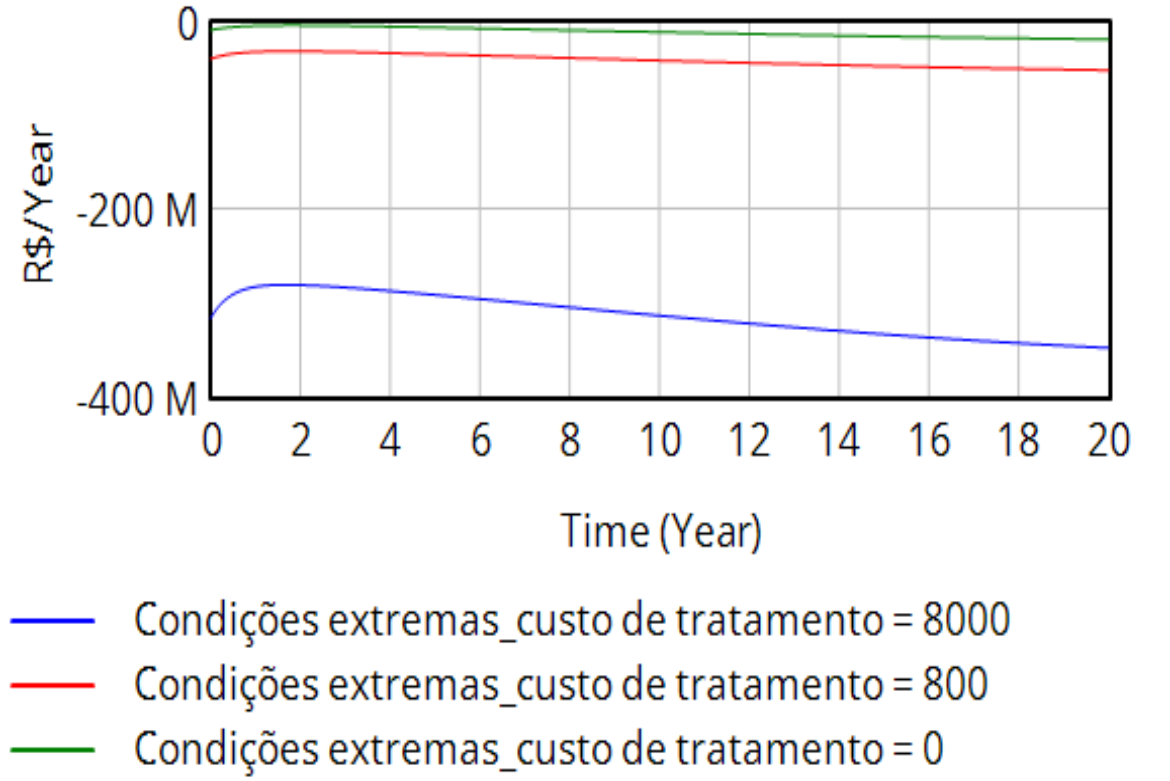
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 52 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Custos – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função dos custos de compostagem e triagem dos recicláveis secos.



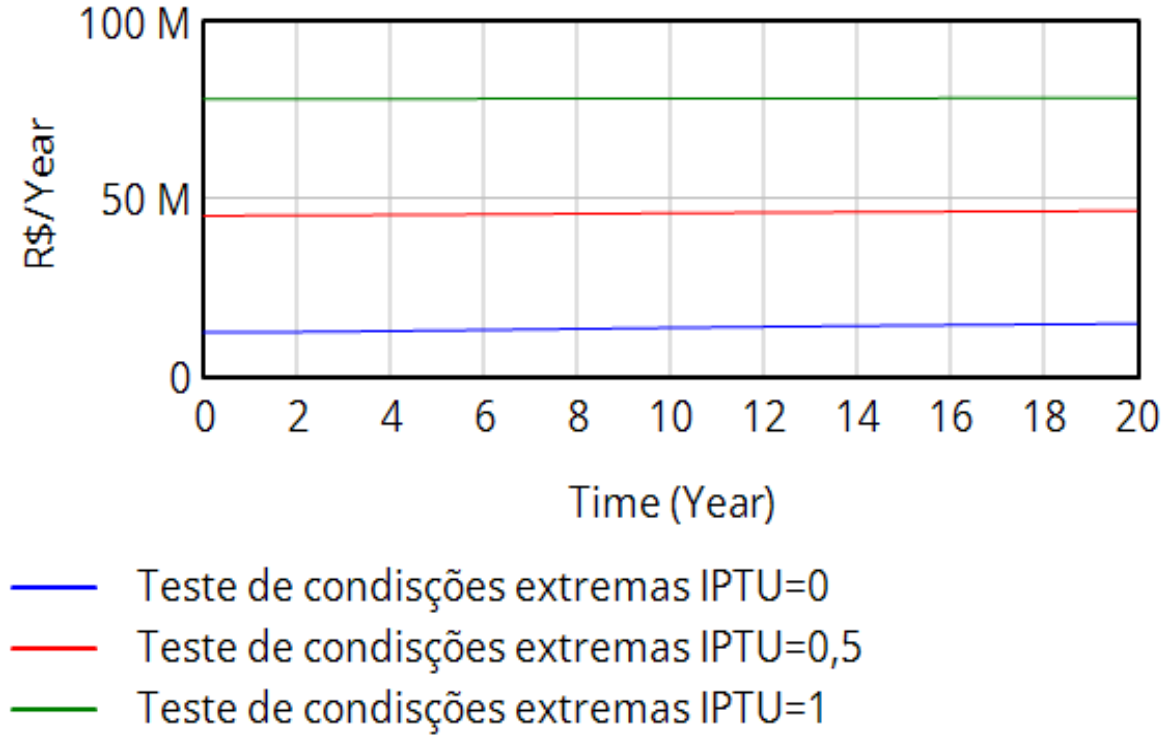
(a)



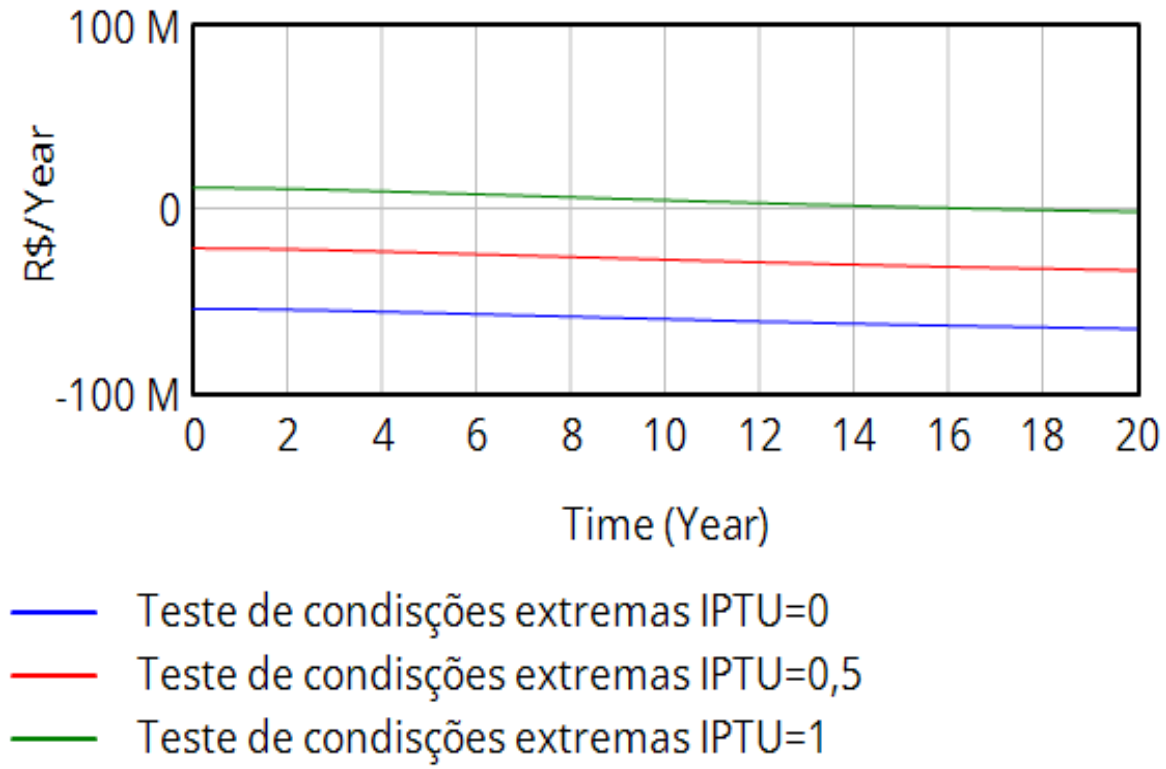
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 53 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Receitas – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função do imposto sob propriedade.



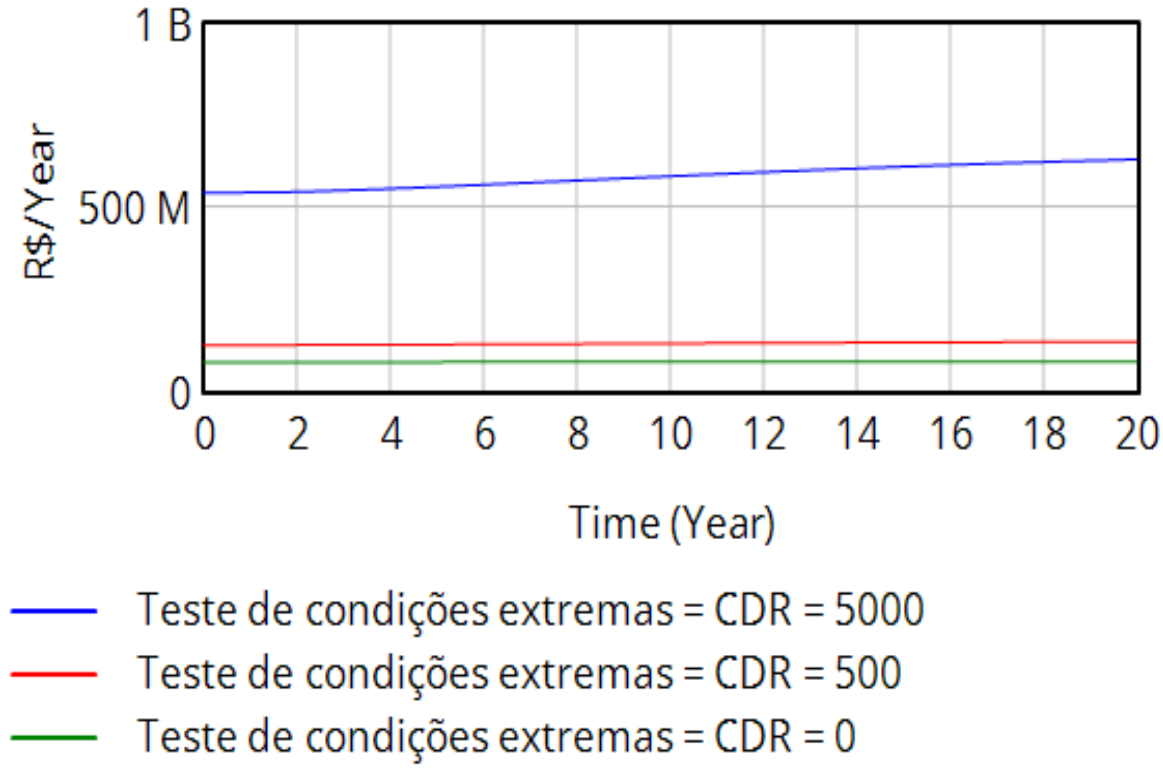
(a)



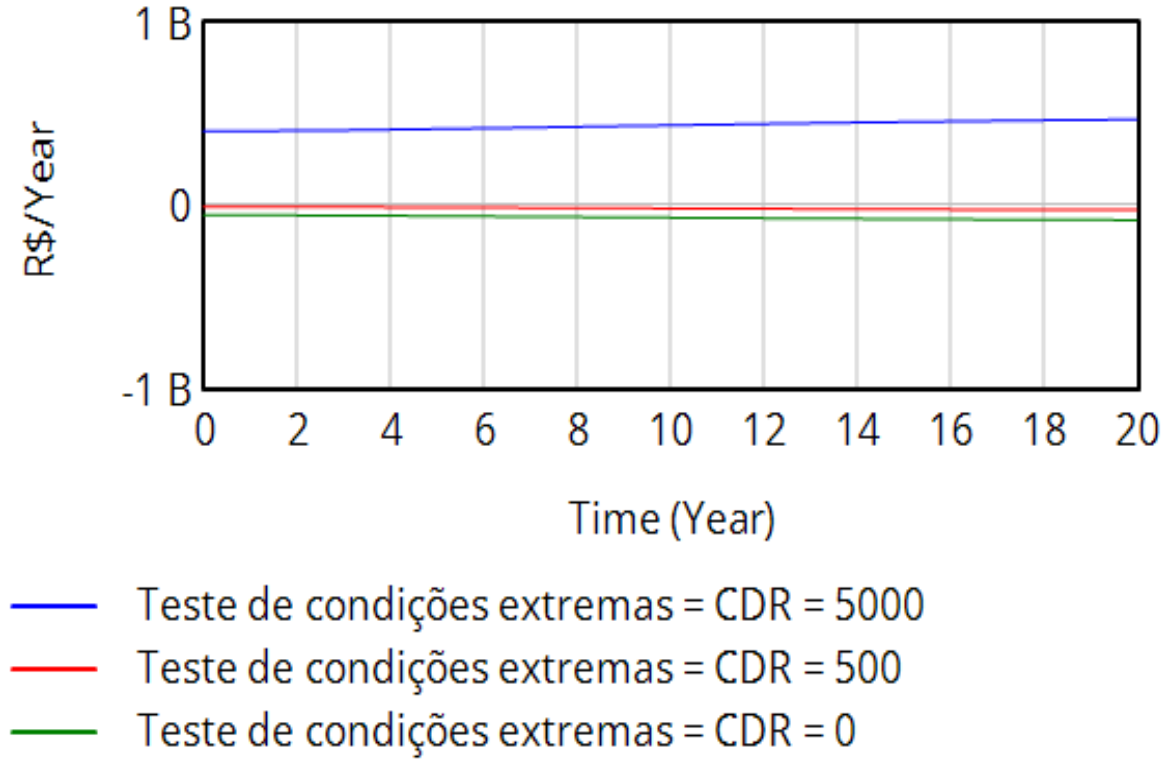
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 54 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Receitas – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função das receitas com CDR.



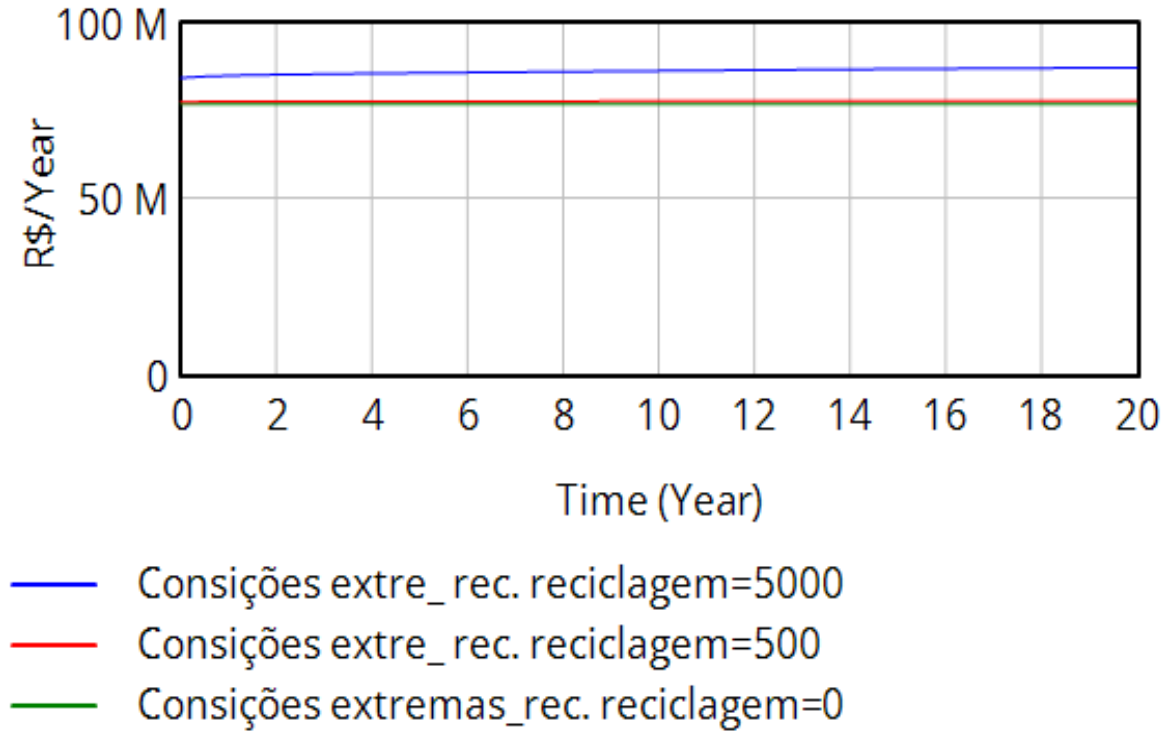
(a)



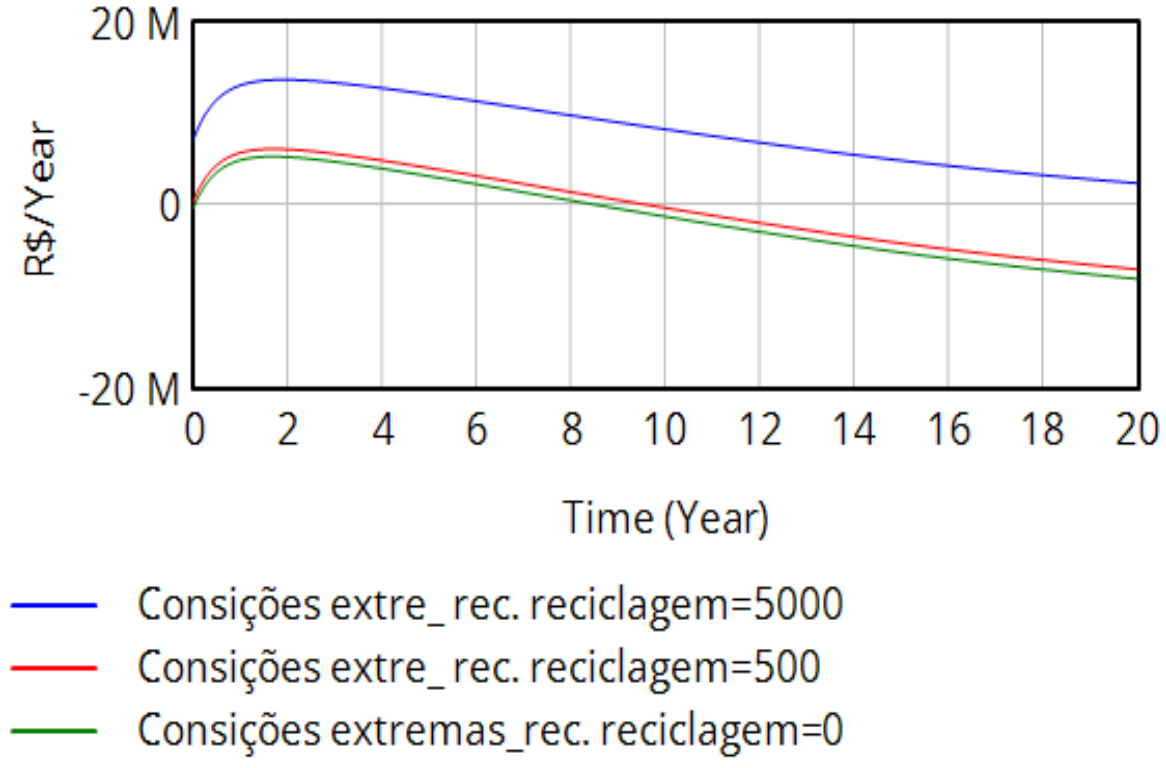
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 55 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Receitas – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função das receitas com a venda de materiais secos e composto.



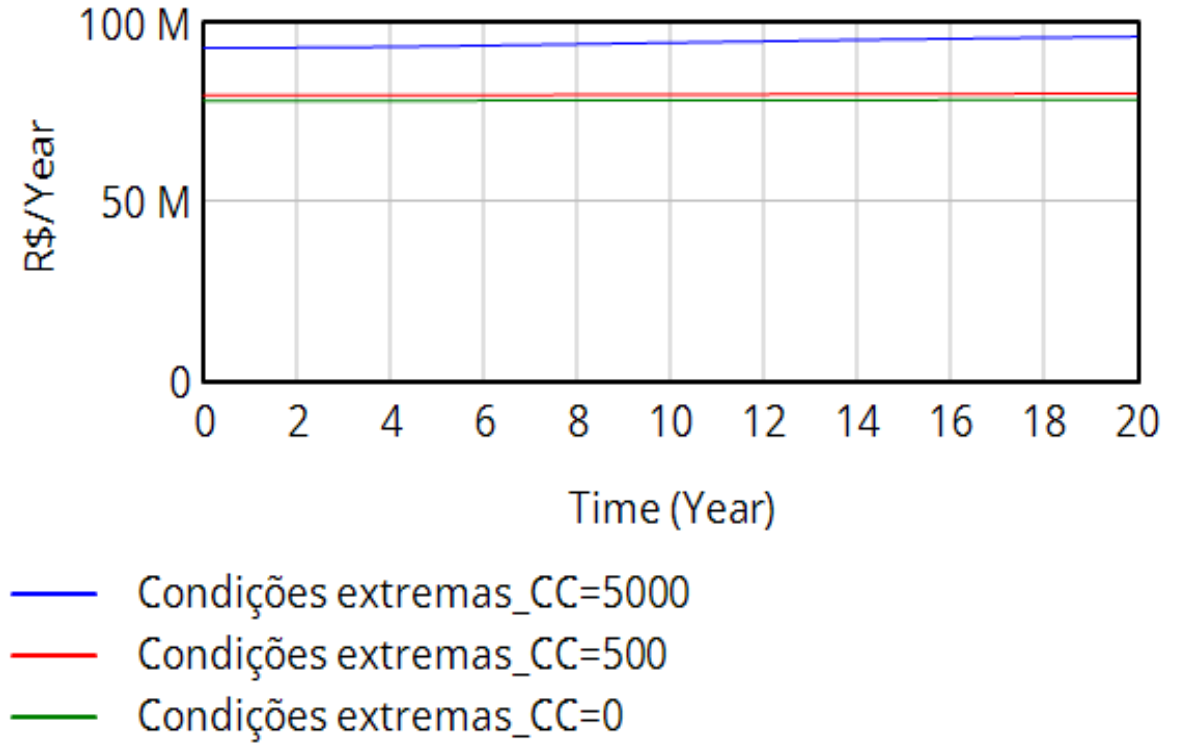
(a)



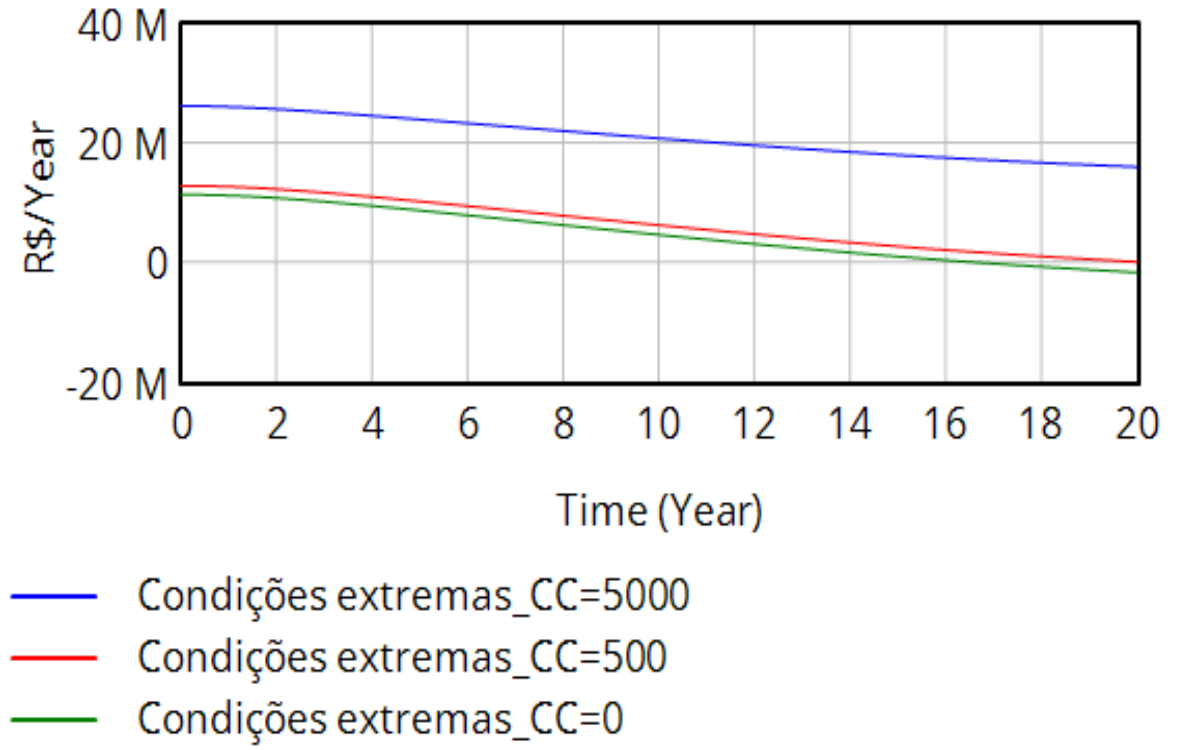
(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 56 - Resultados do teste de condições extremas para as variáveis (a) Receitas – Manejo do RDO e (b) Impacto financeiro, em função das receitas com crédito de carbono.



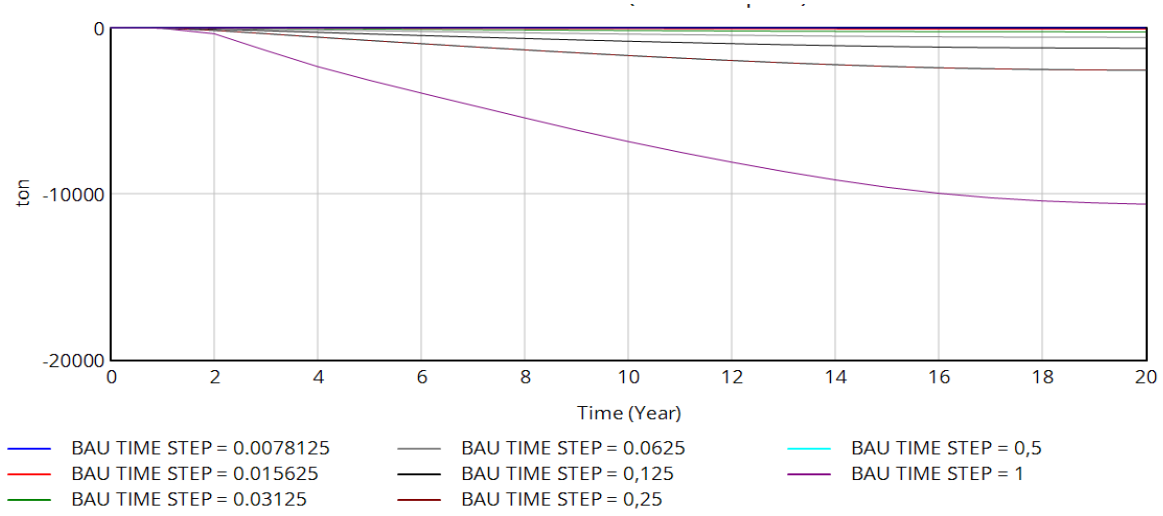
(a)



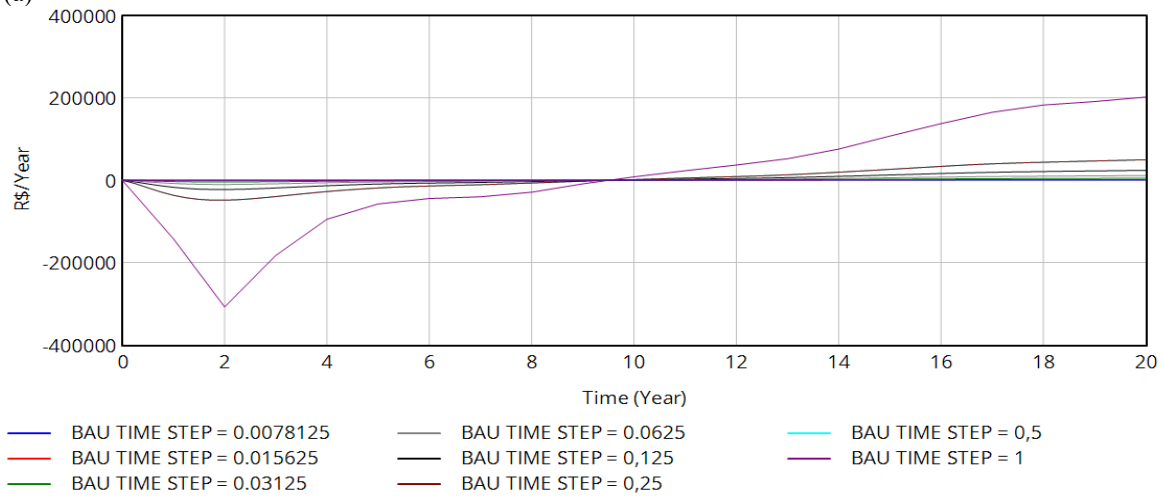
(b)

Fonte: Autoria própria.

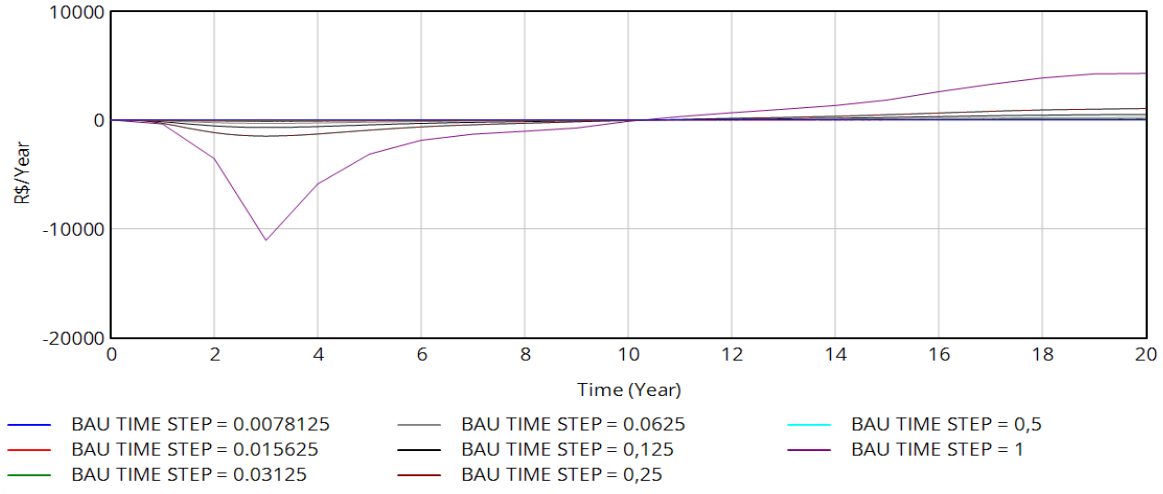
Figura 57 - Resultados do teste de erro de integração para as variáveis (a) Aterro Sanitário, (b) Receitas - Manejo do RDO e (c) Custos - Manejo do RDO.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria própria.

Tabela 26 - Resultados do teste de erro de integração.

Variável	TIME STEP	Valor no ano 20	Erro relativo (%)
Aterro Sanitário	1	2,45508E+06	0,431%
	0,5	2,46316E+06	0,103%
	0,25	2,46316E+06	0,103%
	0,125	2,46448E+06	0,050%
	0,0625	2,46513E+06	0,024%
	0,03125	2,46546E+06	0,010%
	0,015625	2,46563E+06	0,003%
	0,0078125	2,46571E+06	0,000%
Receitas - Manejo do RDO	1	7,82390E+07	0,005%
	0,5	7,82358E+07	0,001%
	0,25	7,82358E+07	0,001%
	0,125	7,82352E+07	0,001%
	0,0625	7,82350E+07	0,000%
	0,03125	7,82348E+07	0,000%
	0,015625	7,82348E+07	0,000%
	0,0078125	7,82347E+07	0,000%
Custos - Manejo do RDO	1	8,01364E+07	0,253%
	0,5	7,99842E+07	0,062%
	0,25	7,99842E+07	0,062%
	0,125	7,99585E+07	0,030%
	0,0625	7,99457E+07	0,014%
	0,03125	7,99392E+07	0,006%
	0,015625	7,99360E+07	0,002%
	0,0078125	7,99344E+07	0,000%

Fonte: Autoria propria. O erro de integração foi avaliado comparando-se os valores das variáveis no horizonte final da simulação (ano 20) para diferentes TIME STEPs. Adotou-se como referência numérica o menor passo de tempo testado (TIME STEP = 0,0078125), por representar a melhor aproximação da solução contínua. As simulações foram realizadas utilizando o método de integração de Euler.

Tabela 27 - Tipos de distribuições dos dados (Normal, Beta e Gama aleatórias), parâmetros e fontes utilizados na análise de sensibilidade.

CONJUNTO DE DADOS COM DISTRIBUIÇÃO NORMAL						
Variável	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Fontes dos dados
Rejeitos verdes pontos atual	$1.Year^{-1}$	0,44	0,01	0,19	0,15	
Rejeitos verdes PP atual	$1.Year^{-1}$	0,50	0,02	0,23	0,18	B
Custo unitário - CS verde PP atual	$R\$.ton^{-1}$	4295,91	309,78	2003,41	1257,76	
Rejeitos secos pontos atual	$1.Year^{-1}$	0,48	0,03	0,28	0,12	
Custo unitário da disposição de rejeitos atual	$R\$.ton^{-1}$	306,61	57,20	154,98	81,62	A
Custo unitário - CS seco por ponto	$R\$.ton^{-1}$	2702,95	71,61	967,34	858,77	
Custo unitário EA mídias	$R\$.(Year*hab)^{-1}$	0,73	0,03	0,293	0,209	E
Capex unitário da produção de CDR	$R\$.ton^{-1}$	164,50	108,50	127,26	18,85	
Valor unitário do CDR atual	$R\$.ton^{-1}$	540,00	124,20	274,14	161,51	F
Conversão CC - CDR	$tCO2.ton^{-1}$	1,61	0,07	0,86	0,52	
Razão de conversão de verdes em composto	Dml	0,51	0,15	0,31	0,12	
Conversão CC - reciclagem	$tCO2.ton^{-1}$	3,60	0,64	1,98	0,91	G

CONJUNTO DE DADOS COM DISTRIBUIÇÃO BETA								
Variável	Unidade	Máximo	Mínimo	α	β	Shift	Stretch	Fontes dos dados
Percentual do resíduo verde no RDO	Dml	0,31	0,03	8,16	32,32	0	1	C
Percentual do resíduo seco no RDO	Dml	0,84	0,06	5,58	9,29	0	1	
Rejeitos secos PP atual	$1.Year^{-1}$	0,95	0,03	0,77	1,84	0	1	
Envio de rejeitos para aterro atual	$1.Year^{-1}$	1,00	0,00	2,02	0,12	0	1	A
Taxa de descarte inadequado atual	$1.Year^{-1}$	1,00	0,00	3.09	73.91	0	1	
Razão de conversão de rejeitos em CDR	Dml	0,85	0,12	1,65	2,51	0	1	F

CONJUNTO DE DADOS COM DISTRIBUIÇÃO UNIFORME				
Variável	Unidade	Máximo	Mínimo	Fontes dos dados
Custo unitário dos pontos viciados	$R\$.ton^{-1}$	160,44	70,00	D
Custo unitário da coleta convencional atual	$R\$.ton^{-1}$	911,06	71,71	
Custo unitário - CS seco pp atual	$R\$.ton^{-1}$	9845,37	108,73	B
Custo unitário - CS verde por ponto	$R\$.ton^{-1}$	2425,81	57,80	
Custo unitário EA coletiva	$R\$.(Year*hab)^{-1}$	266,67	16,67	E
Custo unitário EA individual	$R\$.(Year*hab)^{-1}$	9,15	4,56	
Opex unitário do tratamento de verdes	$R\$.ton^{-1}$	968,68	21,70	H
Capex unitário do tratamento de verdes	$R\$.ton^{-1}$	172,80	10,60	

Conversão CC - compostagem	$t_{CO2}.ton^{-1}$	4,50	0,86	
Valor unitário do compostado atual	$R\$.ton^{-1}$	1284,93	62,10	
Opex unitário da produção de CDR	$R\$.ton^{-1}$	890,46	69,64	F
Opex unitário da triagem de secos	$R\$.ton^{-1}$	1813,32	108,00	
Capex unitário da triagem de secos	$R\$.ton^{-1}$	1846,80	24,00	G
Valor unitário dos recicláveis atual	$R\$.ton^{-1}$	4158,00	440,00	
Valor de CC atual	$R\$.t_{CO2}$	608,84	0,06	I
Arrecadação - IPTU	$R\$.Year^{-1}$	67085484,00	5160,00	A
Taxa de geração per capita do RDO	$ton.(hab*Year)^{-1}$	1,00	0,10	

RDO: Resíduos domiciliares; PP: porta a porta; CDR: Combustível Derivado de Resíduos; CS: coleta seletiva; IPTU: Imposto Predial e Territorial Urbano; CC: Crédito de Carbono; EA: Educação Ambiental.

A: Municípios do estado do Espírito Santo com dados disponíveis (SINISA, 2026).

B: Municípios brasileiros com dados disponíveis (SINISA, 2026).

C: Municípios brasileiros que fizeram gravimetria nos últimos três anos (SINISA, 2026).

D: Municípios brasileiros com dados disponíveis (ARAÇATUBA, 2025; BELÉM, 2017; BLUMENAU, 2015; BRASILIA, 2025; FOLHA VITÓRIA, 2024; JN ONLINE, 2025; MACEIÓ, 2024; SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2025; TABORÁ, 1DC)

E: Dados de diversos meios de comunicação A/B Lab (2024), AD Distribuição (2024), Aliança distribuição (2025), Banco de palestrantes (2026), DF Panfletagem (2025), EXPO distribuição (2024), Litoral FM (2026), Ludisciência Educacional (2026), Radio MIX (2026), Recify (2026) e TV Gazeta (2026).

F: Dados de diversos países incluindo o Brasil (ALSULAILI *et al.*, 2025; CĂLIN *et al.*, 2021; CHAIYAT; SUVARNABOL, 2025; CHAVES *et al.*, 2021; DEVELOPMENT ZAHIR *et al.*, 2024; FERRARIO *et al.*, 2025; HAN *et al.*, 2021; IGE; KABEYA, 2025; JUÁREZ-HERNÁNDEZ, 2021; KARPAN *et al.*, 2022; MUTTARAID *et al.*, 2023; NAAZ *et al.*, 2025; PACHAKIS *et al.*, 2025; PRATEEP NA TALANG; SIRIVITHAYAPAKORN, 2022; PURWANTO; NURHASANA; ROHIMAH, 2025; RATTANADILOK NA PHUKET *et al.*, 2023; SAKRI *et al.*, 2021; SARQUAH *et al.*, 2025; WIHARJA *et al.*, 2025).

G: Dados de diversos países incluindo o Brasil (ABDALLAH; ELFEKY, 2021; ABDALLAH; HAMDAN; SHABIB, 2021; ALQARALEH; ABU HAJAR; MATARNEH, 2024; ARYAN *et al.*, 2023; BERARDOCCO *et al.*, 2022; GADALETA *et al.*, 2020, 2022; MÜLLER *et al.*, 2021; OLAFASAKIN *et al.*, 2023; PERERA *et al.*, 2025; PUCHONGKAWARIN, 2024; SAFAR *et al.*, 2021; (THANOS) BOURTSALAS; THEMELIS, 2022; YAMAN, 2020; YAMAN; ANIL; ALAGHA, 2020).

H: Dados de diversos países incluindo o Brasil (ABU-QDAIS; SHATNAWI; AL-SHAHRABI, 2023; CASTELLANI *et al.*, 2023; CHIN *et al.*, 2023; CHIN; LEE; WOON, 2022; EDITORS *et al.*, 2021; GYANWALI *et al.*, 2023; HIBINO *et al.*, 2023; JAMIALAHMADI; HASHEMI; JALILI GHAZIZADE, 2022; JUÁREZ-HERNÁNDEZ, 2021; LIMA *et al.*, 2022; NANLIN *et al.*, 2023; OTTANI *et al.*, 2024; PRATEEP NA TALANG; SIRIVITHAYAPAKORN, 2021, 2022; SAMARASINGHE; WIJAYATUNGA, 2022; SHARMA; RAWAL, 2022; SHARMA; CHANDEL, 2021; TÚLIO; SCHMITZ, 2023).

I: Dados de mercado dos últimos 20 anos (INVESTING, 2026).

APÊNDICE H – DESCRIÇÃO DETALHADA DOS CENÁRIOS

- **Gestão de resíduos secos: educação ambiental e expansão da coleta seletiva**

Os cenários do primeiro grupo (Quadro 14) avaliam combinações de níveis de implementação de estratégias de educação ambiental (EA) e de ampliação da coleta seletiva do RDO seco. Consideram-se os efeitos da EA (modalidades coletiva, individual e por mídias) sobre os fatores internos que influenciam a separação na fonte, bem como seus impactos na redução de rejeitos e do descarte inadequado. Também são analisados os efeitos da expansão da coleta seletiva pelas modalidades porta a porta, por pontos de entrega e mista. Os cenários variam do nível inexistente ao pleno, permitindo avaliar os impactos dessas políticas nos custos municipais.

A abrangência da educação ambiental varia conforme a modalidade. A EA coletiva, baseada em ações como workshops, palestras, eventos de conscientização e atividades em escolas, alcança de cerca de 5% da população no nível limitado até aproximadamente 45% no pleno. A EA individual, mais intensiva e personalizada, parte de cerca de 3% e atinge aproximadamente 30%. Já a EA via mídias apresenta maior alcance, variando de cerca de 40% até 90–100% da população.

O efeito de iniciativas de EA sobre a atitude em relação à separação de resíduos aumenta progressivamente com o nível de implementação, passando de baixo (≈0,20) no nível limitado para intermediário (≈0,45) no moderado, elevado (≈0,65) no avançado e muito alto (≈0,80) no pleno, indicando a crescente internalização do comportamento. Já a redução de rejeitos acompanha essa intensificação, variando de ≈ -5% no nível limitado a ≈ -23% no pleno, com ganhos graduais nos níveis intermediários. Para o descarte inadequado, os efeitos são menores, mas também crescentes, indo de ≈ -1% a ≈ -6%.

A ampliação da coleta seletiva também difere entre os cenários. A coleta por pontos de entrega apresenta maior cobertura, variando de cerca de 15% no nível limitado a cerca de 97% no pleno, devido à sua maior abrangência territorial com o aumento progressivo dos pontos. Já a coleta porta a porta parte de aproximadamente 11% no nível limitado e alcança até 75% no nível pleno, com menor cobertura, em comparação a coleta por pontos, porém maior conveniência para o usuário. Já os efeitos da infraestrutura sobre o controle comportamental percebido aumentam com a expansão da coleta seletiva. No nível limitado, os efeitos são medianos (≈0,35 para PP e ≈0,30 para PEV); no moderado, aumentam (≈0,50 e ≈0,40); no avançado, tornam-se elevados (≈0,75 e ≈0,65); e, no pleno, atingem valores muito altos (≈0,85 e ≈0,75), refletindo maior acessibilidade e menor barreira à separação na fonte.

Quadro 14 - Cenários de gestão de resíduos recicláveis secos: educação ambiental e coleta seletiva.

Variáveis	Cenários								
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
Efeito da educação ambiental - RDO seco	L	L	I	M	M	A	P	P	P
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos	L	L	I	M	M	A	P	P	P
População atendida EA coletiva	I	I	I	L	M	I	M	A	P
População atendida EA individual	I	I	I	I	M	M	M	A	P
População atendida EA mídias	L	L	I	M	M	A	A	P	P
Efeito da educação ambiental no descarte inadequado	L	L	I	M	M	A	A	P	P
Efeito da coleta porta a porta - RDO Seco	I	L	M	M	L	M	A	M	P
Efeito da coleta por ponto - RDO Seco	L	I	M	M	L	M	M	A	P
Ampliação CS RDO seco por pontos	L	I	M	M	L	M	M	A	P
Ampliação CS RDO seco PP	I	L	M	M	L	M	A	M	P

Fonte: Autoria própria. I: Inexistente; L: Limitado; M: Moderado; A: Avançado; P: Pleno.

Quadro 15 - Cenários do Grupo I: Gestão de resíduos secos com educação ambiental e expansão da coleta seletiva.

Cenários		**Descrição**
1.1	Conscientização Inicial com Expansão por Pontos Limitada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental por mídias que alcançam uma parcela reduzida da população, mantendo-se os níveis atuais de atendimento coletivo e sem oferta de atendimento individual. A coleta seletiva por pontos de entrega voluntária é ampliada de forma limitada, enquanto a coleta seletiva porta a porta permanece com os níveis de cobertura existentes.
1.2	Conscientização Inicial com Expansão Porta a Porta Limitada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental por mídias que alcançam uma parcela reduzida da população, sem a realização de iniciativas coletivas ou individuais. A coleta seletiva porta a porta é ampliada em nível baixo de cobertura, enquanto a coleta por pontos de entrega voluntária mantém a infraestrutura previamente existente.
1.3	Expansão Operacional Moderada sem Ampliação Educativa	Neste cenário, são mantidas as iniciativas atuais de educação ambiental, sem a introdução de novas ações. A intervenção concentra-se na expansão moderada da coleta seletiva, tanto por pontos de entrega voluntária quanto por coleta porta a porta, ampliando a cobertura operacional existente dos serviços.
1.4	Educação Coletiva Inicial com Expansão Mista Moderada	Neste cenário, são implementadas ações coletivas de educação ambiental voltadas a uma parcela reduzida da população, associadas a campanhas em mídias direcionadas a um nível médio da população, sem iniciativas de caráter individual. A coleta seletiva é ampliada de forma moderada por pontos de entrega voluntária e por coleta porta a porta, mantendo-se ambas as modalidades em operação de forma complementar.
1.5	Educação Ambiental Moderada com Coleta Seletiva Limitada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental coletiva e individual em nível médio, acompanhadas de campanhas em mídias também em nível médio. A coleta seletiva por pontos de entrega voluntária e por porta a porta é ampliada de forma limitada, sem aumento significativo da cobertura dos serviços.
1.6	Conscientização Intensificada com Expansão Mista Moderada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental predominantemente por mídias em nível alto, associadas a iniciativas individuais e coletivas em nível médio ou inexistente. A coleta seletiva é ampliada de forma moderada e combinada, tanto por pontos de entrega voluntária quanto por coleta porta a porta.
1.7	Educação Intensificada com Expansão Porta a Porta Elevada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental em nível elevado por mídias e em nível médio nas modalidades coletiva e individual. A coleta seletiva porta a porta é ampliada de forma elevada, enquanto a ampliação por pontos de entrega voluntária ocorre em nível alto.
1.8	Educação Intensificada com Expansão por Pontos Elevada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental em nível alto nas modalidades coletiva e individual e em nível elevado por mídias. A coleta seletiva por pontos de entrega voluntária é ampliada em nível elevado, enquanto a coleta porta a porta é expandida em nível alto.
1.9	Conscientização Máxima com Expansão Operacional elevada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental em níveis elevados em todas as modalidades. A coleta seletiva é amplamente expandida, tanto por pontos de entrega voluntária quanto por coleta porta a porta, representando o mais alto nível de intervenção operacional entre os cenários do Grupo I.

Fonte: Autoria própria.

- **Gestão de resíduos secos e verdes: educação ambiental e expansão da coleta seletiva**

Os cenários do segundo grupo incorporam, além dos resíduos recicláveis secos, os resíduos verdes domiciliares na análise das estratégias de educação ambiental e de expansão da coleta seletiva (Quadro 16). Nesse contexto, avaliam-se os efeitos da ampliação da coleta seletiva nas modalidades porta a porta, por pontos de entrega e mista, bem como o impacto da educação ambiental sobre a atitude de separação do RDO verde. Os cenários variam do nível inexistente ao pleno, permitindo analisar os efeitos dessas estratégias nos custos municipais.

A coleta porta a porta cresce de forma gradual, partindo de aproximadamente 11% da população atendida no nível limitado e alcançando até 72% no pleno, destacando-se pela proximidade com o gerador e maior potencial de adesão contínua. Em contraste, a coleta por pontos de entrega inicia em um patamar mais elevado (≈15%) e pode atingir até 97%, evidenciando maior cobertura e capilaridade territorial.

Essa expansão da coleta seletiva se reflete diretamente no controle comportamental percebido. À medida que a infraestrutura é ampliada, os efeitos tornam-se mais expressivos: no nível limitado, são mais baixos (≈0,30 para porta a porta e ≈0,20 para pontos de entrega), em função da cobertura restrita; no nível intermediário, aumentam (≈0,50 e ≈0,45); e, no nível avançado, tornam-se moderados a elevados (≈0,60 e ≈0,65), indicando maior capilaridade e adesão. No nível pleno, atingem valores elevados (≈0,80 e ≈0,75), refletindo ampla cobertura e o aumento da conveniência.

De forma complementar, o efeito da educação ambiental (EA) sobre a atitude em relação à separação de resíduos verdes aumenta progressivamente com o nível de implementação, passando de baixo (≈0,20) no nível limitado para intermediário (≈0,30) no moderado, elevado (≈0,50) no avançado e muito alto (≈0,70) no pleno, indicando a crescente internalização do comportamento. Esse avanço também se reflete na redução de rejeitos, que varia de ≈ -3% no nível limitado a ≈ -15% no pleno, com ganhos graduais nos níveis intermediários. Para o descarte inadequado, os efeitos são mais modestos, porém igualmente crescentes, indo de ≈ -1% no nível limitado a ≈ -6% no nível pleno.

Quadro 16 - Cenários de gestão de resíduos recicláveis secos e verdes: educação ambiental e coleta seletiva.

Variáveis	Cenários								
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
Efeito da educação ambiental - RDO seco	L	L	I	M	M	A	P	P	P
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos	L	L	I	M	M	A	P	P	P
População atendida EA coletiva	I	I	I	L	M	I	M	A	P
População atendida EA individual	I	I	I	I	M	M	M	A	P
População atendida EA mídias	L	L	I	M	M	A	A	P	P
Efeito da educação ambiental no descarte inadequado	L	L	I	M	M	A	A	P	P
Efeito da coleta porta a porta - RDO Seco	I	L	M	M	L	M	A	M	P
Efeito da coleta por ponto - RDO Seco	L	I	M	M	L	M	M	A	P
Ampliação CS RDO seco por pontos	L	I	M	M	L	M	M	A	P
Ampliação CS RDO seco PP	I	L	M	M	L	M	A	M	P
Efeito da educação ambiental - RDO Verde	L	L	I	M	M	A	P	P	P
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes	L	L	I	M	M	A	P	P	P
Efeito da coleta porta a porta - RDO Verde	I	L	M	M	L	M	A	M	P
Efeito da coleta por ponto - RDO Verde	L	I	M	M	L	M	M	A	P
Ampliação CS RDO verde PP	I	L	M	M	L	M	A	M	P
Ampliação CS RDO verde por pontos	L	I	M	M	L	M	M	A	P

Fonte: Autoria própria. I: Inexistente; L: Limitado; M: Moderado; A: Avançado; P: Pleno.

Quadro 17 - Cenários do Grupo II: Gestão de resíduos secos com educação ambiental e expansão da coleta seletiva.

Cenários		**Descrição**
2.1	Manutenção Educativa com Expansão por Pontos Limitada	Neste cenário, são mantidas as iniciativas coletivas atuais de educação ambiental, com pequena ampliação das ações por mídias. A coleta seletiva de resíduos verdes e de recicláveis secos é ampliada em nível baixo na modalidade por pontos de entrega voluntária, enquanto a coleta porta a porta permanece nos níveis atuais de cobertura.
2.2	Manutenção Educativa com Expansão Porta a Porta Limitada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental por mídias voltadas aos resíduos verdes, alcançando parcela reduzida da população, mantendo-se os níveis atuais de atendimento coletivo. A coleta seletiva porta a porta de resíduos recicláveis e verdes é ampliada de forma limitada, enquanto a coleta por pontos de entrega voluntária permanece nos níveis atuais de cobertura dos serviços.
2.3	Expansão Operacional Moderada sem Ampliação Educativa	Neste cenário, não são introduzidas novas ações de educação ambiental, mantendo-se níveis atuais de cobertura populacional. A intervenção concentra-se na ampliação moderada da coleta seletiva de resíduos recicláveis secos e verdes, tanto na modalidade porta a porta quanto por pontos de entrega voluntária.
2.4	Educação Midiática Moderada com Expansão Mista Moderada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental por mídias em nível moderado, com introdução de atendimento coletivo em nível baixo e ausência de atendimento individual. A coleta seletiva de resíduos secos e verdes é ampliada moderadamente nas modalidades porta a porta e por pontos de entrega voluntária.
2.5	Conscientização Moderada com Expansão Operacional Moderada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental por mídias e coletivas em nível moderado, com introdução de atendimento individual também em nível moderado. A coleta seletiva apresenta expansão intermediária nas duas modalidades, porta a porta e por pontos, para resíduos secos e verdes.
2.6	Educação Intensiva com Expansão Mista Moderada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental em níveis elevados por mídias e atendimento individual, mantendo-se cobertura coletiva nos níveis atuais. A coleta seletiva de resíduos secos e verdes é ampliada de forma moderada nas duas modalidades.
2.7	Educação Intensiva com Expansão Porta a Porta Elevada	Neste cenário, são implementadas ações intensivas de educação ambiental por mídias, coletivas e individuais. A coleta seletiva porta a porta é ampliada em nível alto para resíduos secos e verdes, enquanto a coleta por pontos apresenta expansão moderada.
2.8	Educação Intensiva com Expansão por Pontos Elevada	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental em níveis muito elevados por mídias, coletivas e individuais. A coleta seletiva por pontos de entrega voluntária é ampliada em nível alto, enquanto a coleta porta a porta apresenta expansão moderada para resíduos recicláveis secos e verdes.
2.9	Educação Ambiental Máxima com Expansão Operacional Ampla	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental em nível máximo por mídias, bem como por estratégias coletivas e individuais. A coleta seletiva de resíduos secos e verdes é ampliada de forma elevada tanto na modalidade porta a porta quanto por pontos de entrega voluntária, com ampla cobertura dos serviços.

Fonte: Autoria própria.

- **Gestão de resíduos secos e verdes: inserção de instrumentos econômicos**

Os cenários do terceiro grupo avaliaram, além das estratégias previamente analisadas, a aplicação de instrumentos econômicos (Quadro 18), incluindo a cobrança pelo manejo do RDO não separado, recompensas pela entrega de materiais recicláveis e taxas de disposição em aterro.

Para a cobrança, consideraram-se diferentes níveis de influência e abrangência. No nível limitado, a cobrança apresenta influência muito baixa nas normas subjetivas (≈0,15), sendo proposto um projeto piloto em Jardim Camburi, devido à maior predisposição ao pagamento associada a determinados perfis socioeconômicos (GALAVOTE et al., 2026). No nível moderado, a influência torna-se moderada (≈0,30), com ampliação para regiões de características semelhantes, como Praia do Canto e Jardim da Penha. No nível avançado, a influência permanece moderada (≈0,40), e a cobrança é estendida para áreas mais periféricas, como Centro, Santo Antônio e São Pedro. Por fim, no nível pleno, a influência é alta (≈0,60), com substituição integral do IPTU por um sistema de cobrança baseado na quantidade de RDO não separado.

Para as recompensas, no nível limitado, a influência nas normas subjetivas é muito baixa (≈0,10–0,13), sendo aplicadas apenas em regiões de menor poder aquisitivo, como Santo Antônio e São Pedro. No nível moderado, a influência é moderada (≈0,30), com ampliação para regiões como Maruípe e Jucutuquara. No nível avançado, a influência permanece moderada (≈0,40), abrangendo todas as regiões de menor poder aquisitivo, incluindo Centro e Goiabeiras. No nível pleno, a influência torna-se moderada a alta (≈0,50), e o incentivo passa a abranger todo o município.

O valor unitário da cobrança e da recompensa foi definido com base em Galavote et al. (2026 – Cities), variando entre R$ 100 e R$ 600 por tonelada. A definição da população atendida considerou a influência da idade e da classe socioeconômica na predisposição ao pagamento e ao recebimento, prevendo expansão progressiva dos instrumentos até cobertura universal. Para as taxas de aterro, considerou-se um aumento de 263% no nível limitado, 450% no moderado, 700% no avançado e 1200% no nível pleno, ao longo de 20 anos (HEZARDASTAN; SHMELEV, 2025; HOOGMARTENS; EYCKMANS; VAN PASSEL, 2016; YI *et al.*, 2025).

Quadro 18 - Cenários de gestão de resíduos recicláveis secos e verdes: educação ambiental, instrumentos econômicos e coleta seletiva.

Variáveis	Cenários								
	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9
Efeito da educação ambiental - RDO seco	L	M	A	L	M	A	M	A	P
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos	L	M	A	L	M	A	M	A	P
População atendida EA coletiva	I	B	M	I	L	M	L	M	P
População atendida EA individual	I	B	M	I	L	M	L	M	P
População atendida EA mídias	L	M	A	L	M	A	M	A	P
Efeito da educação ambiental no descarte inadequado	L	M	A	L	M	A	M	A	P
Efeito da coleta porta a porta - RDO Seco	L	M	A	L	M	A	M	A	P
Efeito da coleta por ponto - RDO Seco	L	M	A	L	M	A	M	A	P
Ampliação CS RDO seco por pontos	L	M	A	L	M	A	M	A	P
Ampliação CS RDO seco PP	L	M	A	L	M	A	M	A	P
Efeito da cobrança - manejo do RDO Seco	I	I	I	L	M	A	M	A	P
Efeito da recompensa - entrega RDO Seco	L	M	A	I	I	I	M	A	P
Efeito da educação ambiental - RDO Verde	I	I	M	I	I	M	I	M	A
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes	I	I	M	I	I	M	I	M	A
Efeito da coleta porta a porta - RDO Verde	I	I	M	I	I	M	I	M	A
Efeito da coleta por ponto - RDO Verde	I	I	M	I	I	M	I	M	A
Ampliação CS RDO verde PP	I	I	M	I	I	M	I	M	A
Ampliação CS RDO verde por pontos	I	I	M	I	I	M	I	M	A
Efeito da cobrança - manejo do RDO Verde	I	I	I	I	I	M	I	M	A
Efeito da recompensa - entrega RDO Verde	I	I	M	I	I	I	I	M	A
Valor unitário de cobrança	I	I	I	L	M	A	M	A	A
% residências cobradas IPTU	I	I	I	L	M	A	M	A	P
% População atendida por recompensas	L	M	A	I	I	I	M	A	P
Valor unitário da recompensa	L	M	A	I	I	I	M	A	A
Efeito das taxas de aterro	I	I	L	I	I	L	L	L	M

Fonte: Autoria própria. I: Inexistente; L: Limitado; M: Moderado; A: Avançado; P: Pleno.

Quadro 19 - Cenários do Grupo III: Gestão de resíduos secos com educação ambiental e expansão da coleta seletiva.

Cenários		**Descrição**
3.1	Incentivo Inicial aos Recicláveis Secos por Recompensa	Neste cenário, são implementadas ações de educação ambiental voltadas aos resíduos recicláveis secos para uma pequena parcela da população, com ampliação gradual da coleta seletiva nas modalidades porta a porta e por pontos de entrega voluntária. Introduz-se um sistema de recompensa pela entrega de recicláveis secos, também direcionado a uma parcela limitada da população.
3.2	Incentivo Moderado aos Secos com Ampliação das Recompensas	Neste cenário, são ampliadas as ações educativas e a coleta seletiva de recicláveis secos, acompanhadas pela expansão do sistema de recompensas, tanto em valor quanto em cobertura populacional. Os custos de disposição final permanecem sem variações significativas.
3.3	Incentivo Máximo aos Secos com Inclusão Inicial dos Verdes	Neste cenário, as ações de educação ambiental e a coleta seletiva de recicláveis secos atingem níveis elevados, acompanhadas de recompensas ampliadas à população. Introduz-se, de forma inicial, a coleta seletiva de resíduos verdes. Os custos de disposição final passam a apresentar variação limitada.
3.4	Introdução da Cobrança pelo Manejo dos Secos	Neste cenário, mantém-se a expansão da educação ambiental e da coleta seletiva de recicláveis secos, substituindo-se o sistema de recompensas pela introdução de cobrança pelo manejo dos resíduos secos. A cobrança é aplicada em nível inicial.
3.5	Cobrança Moderada com Integração Operacional dos Verdes	Neste cenário, mantêm-se a expansão da educação ambiental e da coleta seletiva de recicláveis secos, acompanhadas pela aplicação de cobrança pelo manejo desses resíduos em nível moderado.
3.6	Cobrança Ampliada para Secos e Introdução para Verdes	Neste cenário, a cobrança pelo manejo dos resíduos recicláveis secos atinge níveis elevados e passa a ser aplicada também aos resíduos verdes em caráter inicial. A educação ambiental e a coleta seletiva mantêm expansão moderada para ambas as frações. Os custos de disposição final passam a exercer maior influência sobre o sistema.
3.7	Instrumentos Econômicos Combinados para Secos e Verdes	Neste cenário, são aplicados simultaneamente instrumentos de cobrança e recompensa para resíduos recicláveis secos e verdes, com ampla cobertura populacional. A educação ambiental e a coleta seletiva são intensificadas, especialmente na modalidade porta a porta. Custos de disposição final apresentam variabilidade.
3.8	Gestão Econômica Integrada Secos e Verdes	Neste cenário, mantêm-se instrumentos econômicos combinados para ambas as frações, com maior expansão da coleta seletiva para resíduos recicláveis secos. As ações educativas atingem níveis elevados em todas as modalidades. Os custos de disposição final apresentam variabilidade.
3.9	Sistema Econômico Completo para Resíduos Secos e Verdes	Neste cenário, são implementados instrumentos econômicos em nível máximo, combinando cobrança e recompensa para resíduos recicláveis secos e verdes, com ampla cobertura da população. A educação ambiental atinge níveis elevados em todas as modalidades. Os custos de disposição final apresentam variabilidade moderada.

Fonte: Autoria própria.

- **Alternativas de reequilíbrio financeiro: otimização de coleta seletiva, valorização de resíduos sólidos e mercado de carbono**

Os cenários do quarto grupo incorporam, além das estratégias já avaliadas, medidas voltadas ao reequilíbrio financeiro do sistema de gestão de resíduos (Quadro 20). Nesse contexto, analisam-se estratégias de otimização da coleta seletiva, valorização dos produtos gerados (composto, recicláveis e CDR) e inserção no mercado de créditos de carbono.

Para avaliar a redução dos custos do sistema de coleta seletiva, foram considerados diferentes níveis de otimização. Na coleta por pontos, a otimização limitada concentrou-se na melhor localização dos contêineres e na redução das distâncias percorridas pelos veículos. No nível moderado, foram incorporadas tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial (IA), com o uso de contêineres inteligentes equipados com sensores, permitindo a coleta apenas quando necessário. No nível avançado, o planejamento das rotas passou a utilizar algoritmos heurísticos e metaheurísticos, considerando a localização dos contêineres, a capacidade dos caminhões e restrições operacionais, além do uso de frota composta por veículos convencionais e elétricos para áreas de difícil acesso. Já na otimização plena, o sistema passou a integrar planejamento de rotas e múltiplas viagens por turno, aumentando a utilização da frota e reduzindo deslocamentos desnecessários.

Na coleta porta a porta, a otimização limitada baseou-se na substituição de recipientes menores por contêineres maiores com rodas, permitindo a adoção de um sistema parcialmente mecanizado. No nível moderado, foram aplicados modelos de roteirização de veículos, incluindo o uso de caminhões de compartimento único ou multi-compartimentados capazes de coletar diferentes frações de resíduos em uma mesma rota. No nível avançado, foram definidos o número e o tipo ideal de recipientes, bem como a sequência ótima das rotas, reduzindo distâncias e tempo de coleta. Por fim, no nível pleno, a otimização considerou rotas, frequência de coleta, capacidade dos caminhões e proporção dos compartimentos, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o modelo Vehicle Routing Problem (VRP).

Para os cenários com variabilidade do crédito de carbono, considerou-se uma tendência de alta no nível avançado. Para esse cenário, adotou-se o valor máximo registrado nos últimos 20 anos, correspondente a 120% do valor atual. Para os níveis moderado e limitado, assumiu-se uma tendência de queda. No nível moderado, utilizou-se o valor médio do período, equivalente a 40% do valor atual, enquanto para o nível limitado considerou-se 10% do valor atual. Para os cenários com valorização dos produtos, foram considerados valores reportados na literatura para países desenvolvidos nos níveis avançado e pleno, e para países em desenvolvimento nos níveis limitado e moderado. Assim como mencionado anteriormente,

adotou-se um atraso de 5 anos para a implementação das estratégias nos níveis limitado e moderado e de 2 anos para os níveis avançado e pleno.

Quadro 20 - Cenários de alternativas de reequilíbrio financeiro: otimização da coleta seletiva, valorização de produtos e mercado de carbono.

Variáveis	Cenários																										
	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11	4.12	4.13	4.14	4.15	4.16	4.17	4.18	4.19	4.20	4.21	4.22	4.23	4.24	4.25	4.26	4.27
Efeito da educação ambiental - RDO seco	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P
População atendida EA coletiva	L	M	L	M	L	M	L	M	P	L	M	L	M	L	M	L	M	P	L	M	L	M	L	M	L	M	P
População atendida EA individual	L	M	L	M	L	M	L	M	P	L	M	L	M	L	M	L	M	P	L	M	L	M	L	M	L	M	P
População atendida EA mídias	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P
Efeito da educação ambiental no descarte inadequado	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P
Efeito da coleta porta a porta - RDO Seco	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P
Efeito da coleta por ponto - RDO Seco	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P
Ampliação CS RDO seco por pontos	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P
Ampliação CS RDO seco PP	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P	M	A	M	A	M	A	M	A	P
Efeito da cobrança - manejo do RDO Seco	I	I	M	A	M	A	M	A	P	I	I	M	A	M	A	M	A	P	I	I	M	A	M	A	M	A	P
Efeito da recompensa - entrega RDO Seco	M	A	I	I	M	A	M	A	P	M	A	I	I	M	A	M	A	P	M	A	I	I	M	A	M	A	P
Efeito da educação ambiental - RDO Verde	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A
Efeito da coleta porta a porta - RDO Verde	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A
Efeito da coleta por ponto - RDO Verde	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A
Ampliação CS RDO verde PP	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A
Ampliação CS RDO verde por pontos	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A	I	M	I	M	I	M	I	M	A

Efeito da cobrança - manejo do RDO Verde	I	I	I	M	I	M	I	M	A	I	I	I	M	I	M	I	M	A	I	I	I	M	I	M	I	M	A
Efeito da recompensa - entrega RDO Verde	I	M	I	I	I	M	I	M	A	I	M	I	I	I	M	I	M	A	I	M	I	I	I	M	I	M	A
Valor unitário de cobrança	I	I	M	A	M	A	M	A	A	I	I	M	A	M	A	M	A	A	I	I	M	A	M	A	M	A	A
% residências cobradas IPTU	I	I	M	A	M	A	M	A	P	I	I	M	A	M	A	M	A	P	I	I	M	A	M	A	M	A	P
% População atendida por recompensas	M	A	I	I	M	A	M	A	P	M	A	I	I	M	A	M	A	P	M	A	I	I	M	A	M	A	P
Valor unitário da recompensa	M	A	I	I	M	A	M	A	A	M	A	I	I	M	A	M	A	A	M	A	I	I	M	A	M	A	A
Efeito das taxas de aterro	I	L	I	L	L	L	L	L	M	I	L	I	L	L	L	L	L	M	I	L	I	L	L	L	L	L	M
Otimização - CS Seco por Ponto	L	M	L	M	M	A	A	A	A	B	M	B	M	M	A	M	A	A	L	M	B	M	M	A	M	A	A
Otimização - CS Seco PP	L	M	L	M	M	A	A	A	A	B	M	B	M	M	A	M	A	A	L	M	B	M	M	A	M	A	A
Otimização - CS Verde por Ponto	I	L	I	L	I	M	I	A	A	I	L	I	L	I	M	I	M	A	I	L	I	L	I	M	I	M	A
Otimização - CS Verde PP	I	L	I	L	I	M	I	A	A	I	L	I	L	I	M	I	M	A	I	L	I	L	I	M	I	M	A
% Valorização dos recicláveis	I	I	I	I	I	I	I	I	I	L	L	M	M	M	M	A	A	A	L	L	M	M	M	M	A	A	A
% Valorização do compostado	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	L	I	M	I	M	I	A	A	I	L	I	M	I	M	I	A	A
% Valorização do CDR	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	L	I	L	L	L	L	L	M	I	L	I	L	L	L	L	L	M
Variabilidade do valor CC	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	L	L	L	L	M	M	M	M	A

Fonte: Autoria própria. I: Inexistente; L: Limitado; M: Moderado; A: Avançado; P: Pleno.

Quadro 21 - Cenários do Grupo IV: Alternativas de reequilíbrio financeiro: otimização de coleta seletiva, valorização de produtos e mercado de carbono.

Cenários		**Descrição**
4.1	Otimização da Coleta Seletiva de Secos com Recompensa	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos recicláveis secos é otimizada em nível baixo, tanto na modalidade porta a porta quanto por pontos de entrega voluntária, sendo acompanhada por ações educativas e recompensas em nível moderado. Não há aplicação de cobrança nem inclusão dos resíduos verdes no sistema de coleta seletiva.
4.2	Otimização Elevada da Coleta de Secos com Recompensa e Inclusão dos Verdes	Neste cenário, a otimização da coleta seletiva de resíduos recicláveis secos atinge nível alto, com expansão significativa nas modalidades porta a porta e por pontos de entrega voluntária. Introduz-se a coleta seletiva de resíduos verdes em nível inicial, com otimização operacional moderada para os recicláveis secos e baixa para os resíduos verdes, sendo acompanhada por ações educativas e recompensas em nível alto.
4.3	Otimização da Coleta Seletiva de Secos com Cobrança	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos recicláveis secos é otimizada em nível moderado, acompanhada da introdução de cobrança pelo manejo desses resíduos e de ações de educação ambiental também em nível moderado. Não há inclusão dos resíduos verdes no sistema de coleta seletiva.
4.4	Otimização Elevada da Coleta Seletiva com Cobrança e Inclusão dos Verdes	Neste cenário, a otimização da coleta seletiva de resíduos recicláveis secos atinge nível moderado, acompanhada da ampliação da cobrança pelo manejo desses resíduos em nível alto, bem como de ações educativas e da expansão da coleta seletiva. A coleta seletiva de resíduos verdes é introduzida com otimização inicial.
4.5	Otimização da Coleta Seletiva de Secos com Instrumentos Combinados	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos recicláveis secos é otimizada em nível intermediário, acompanhada de ações educativas em nível moderado e da aplicação simultânea de cobrança e recompensa. Não há implementação da coleta seletiva de resíduos verdes, que permanecem fora do sistema otimizado.
4.6	Otimização Intensiva da Coleta Seletiva com Instrumentos Combinados	Neste cenário, a otimização da coleta seletiva de resíduos recicláveis secos e de resíduos verdes ocorre em níveis alto e moderado, respectivamente, com expansão das modalidades porta a porta e por pontos de entrega voluntária e aplicação combinada de instrumentos econômicos de cobrança e recompensa.
4.7	Otimização Intensiva da Coleta Seletiva de Secos com Instrumentos Combinados	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos secos é otimizada em nível intermediário, acompanhada por instrumentos econômicos combinados, ações educativas equivalentes e ampliação moderada dos serviços de coleta seletiva.
4.8	Otimização Avançada da Coleta Seletiva Integrada	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos secos e verdes é otimizada em níveis elevado e moderado, respectivamente, com ampla cobertura das modalidades porta a porta e por pontos de entrega voluntária, forte integração operacional e ações intensivas de educação ambiental.
4.9	Otimização Máxima da Coleta Seletiva de Secos e Verdes	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos recicláveis secos e verdes atinge o nível máximo de otimização operacional em todas as modalidades, acompanhada pela ampla aplicação de instrumentos econômicos, elevada cobertura populacional e elevada abrangência dos programas de educação ambiental.
4.10	Otimização Inicial da Coleta Seletiva de Secos com Valorização Inicial	Neste cenário, a coleta seletiva de recicláveis secos é otimizada em nível inicial nas modalidades porta a porta e por pontos de entrega voluntária, acompanhada por ações educativas e recompensas moderadas. Inicia-se a valorização dos recicláveis recuperados, sem inclusão dos resíduos verdes e sem aplicação de cobrança.

4.11	Otimização da Coleta de Secos com Inclusão Inicial dos Verdes e Valorização	Neste cenário, a otimização da coleta seletiva de recicláveis secos e as iniciativas de educação ambiental atingem nível alto, acompanhadas pela introdução inicial da coleta seletiva de resíduos verdes com otimização moderada. Mantém-se a valorização dos recicláveis, iniciando-se também a valorização do composto orgânico e do CDR.
4.12	Otimização da Coleta de Secos com Cobrança e Valorização dos Secos	Neste cenário, a coleta seletiva de recicláveis secos é otimizada em nível moderado, acompanhada pela introdução de cobrança pelo manejo desses resíduos. A valorização dos recicláveis é mantida, sem inclusão dos resíduos verdes no sistema.
4.13	Otimização da Coleta Integrada com Cobrança e Valorização dos Secos e Verdes	Neste cenário, a otimização da coleta seletiva de recicláveis secos atinge nível elevado, com aplicação ampliada de cobrança, acompanhada pela inclusão da coleta seletiva de resíduos verdes com otimização moderada. Implementam-se ações de educação ambiental, enquanto a valorização dos recicláveis e do composto orgânico é ampliada.
4.14	Otimização Moderada com Instrumentos Econômicos Combinados e Valorização	Neste cenário, a coleta seletiva de recicláveis secos é otimizada em nível intermediário, acompanhada por medidas de educação ambiental de mesma abrangência e pela aplicação simultânea de cobrança e recompensa. Mantém-se a valorização dos recicláveis, iniciando-se também a valorização energética por CDR em nível inicial.
4.15	Otimização Elevada Integrando Secos e Verdes com Valorização Ampliada	Neste cenário, a coleta seletiva de recicláveis secos e de resíduos verdes é otimizada em níveis alto e intermediário, respectivamente, acompanhada de instrumentos econômicos combinados e medidas educativas de alta abrangência. A valorização dos recicláveis e do composto orgânico é ampliada, mantendo-se a valorização do CDR em nível baixo.
4.16	Otimização Integrada Moderada com Valorização Diversificada	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos secos é otimizada em nível intermediário, com instrumentos econômicos combinados e ações educativas equivalentes, abrangendo um percentual elevado da população. A valorização é intensificada para os recicláveis e ocorre em nível inicial para o CDR.
4.17	Otimização Avançada da Coleta Seletiva com Valorização Ampliada	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos secos e verdes é otimizada em nível elevado, com forte integração operacional e ampla aplicação de instrumentos econômicos. A valorização dos recicláveis e do composto orgânico atinge níveis elevados, com valorização complementar do CDR.
4.18	Otimização Máxima da Coleta Seletiva com Valorização Plena dos Produtos	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos recicláveis secos e verdes atinge o nível máximo de otimização operacional em todas as modalidades. A valorização dos recicláveis, do composto orgânico e do CDR ocorre em níveis elevados, acompanhada pela ampla aplicação de instrumentos econômicos e educativos e por elevada cobertura populacional.
4.19	Otimização Inicial da Coleta de Secos com Recompensa e Créditos de Carbono	Neste cenário, a coleta seletiva de recicláveis secos é otimizada em nível moderado, acompanhada de educação ambiental em nível equivalente, recompensas proporcionais e início da valorização dos recicláveis. A variabilidade do valor dos créditos de carbono é considerada em nível inicial.
4.20	Otimização da Coleta de Secos com Inclusão dos Verdes, Recompensa e Créditos de Carbono	Neste cenário, a otimização da coleta seletiva de recicláveis secos atinge nível elevado, com introdução inicial da coleta seletiva de resíduos verdes e valorização moderada do composto orgânico. A variabilidade dos créditos de carbono é ampliada.
4.21	Otimização da Coleta de Secos com Cobrança e Valorização	Neste cenário, a coleta seletiva de recicláveis secos é otimizada em nível moderado, acompanhada pela introdução de cobrança pelo manejo e valorização dos recicláveis. Não há inclusão dos resíduos verdes. A variabilidade dos créditos de carbono permanece moderada.
4.22	Otimização da Coleta com Cobrança e Inclusão dos Verdes com Créditos de Carbono	Neste cenário, a otimização da coleta seletiva de recicláveis secos atinge nível elevado, acompanhada da inclusão dos resíduos verdes e valorização do composto orgânico. A cobrança é aplicada às duas frações. A variabilidade dos créditos de carbono é mantida em nível moderado.

4.23	Otimização com Instrumentos Econômicos Combinados e Crédito de Carbono	Neste cenário, a coleta seletiva de recicláveis secos é otimizada em nível intermediário, com aplicação simultânea de cobrança e recompensa e valorização dos produtos gerados. Os resíduos verdes são incluídos em nível moderado. A variabilidade do valor dos créditos de carbono aumenta.
4.24	Otimização Elevada Integrando Secos e Verdes com Valorização Ampliada	Neste cenário, a coleta seletiva de recicláveis secos e resíduos verdes é otimizada em nível alto, com aplicação combinada de instrumentos econômicos de cobrança e recompensa e ampliação da valorização dos recicláveis e do composto orgânico. A variabilidade do valor dos créditos de carbono é significativa.
4.25	Otimização Integrada Moderada com Valorização de Produtos e Créditos de Carbono	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos secos é otimizada em nível intermediário, com valorização dos recicláveis e do CDR em níveis moderado e baixo, respectivamente. A educação ambiental é aplicada com abrangência moderada, enquanto a variabilidade do valor dos créditos de carbono influencia o sistema.
4.26	Otimização Avançada da Coleta Seletiva com Valorização e Créditos de Carbono Elevados	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos secos e verdes é otimizada em níveis alto e moderado, respectivamente, com ampla valorização material e orgânica e forte influência dos créditos de carbono. Instrumentos econômicos são aplicados de forma combinada, enquanto a educação ambiental abrange uma parcela elevada da população.
4.27	Otimização Máxima da Coleta Seletiva com Valorização Plena e Mercado de Carbono	Neste cenário, a coleta seletiva de resíduos recicláveis secos e verdes atinge o nível máximo de otimização operacional, com valorização plena dos recicláveis, do composto orgânico e do CDR. A variabilidade do valor dos créditos de carbono é elevada, assim como a ampla abrangência dos programas de educação ambiental.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 28 - Parâmetros utilizados para a confecção dos cenários.

Variáveis	Limitado	Moderado	Avançado	Pleno	Fonte
Efeito da educação ambiental - RDO seco	0,20	0,45	0,65	0,80	Chuah et al. (2023), Nketiah et al. (2022) e Thakur & Onwubu (2024)
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos	-5%	-10%	-15%	-23%	Galavote et al. (2023), Parreira (2010) e Sena (2020)
População atendida EA coletiva	5%	15%	25%	45%	Castro & De Marco (2026), McClendon et al. (2024) e Vaccaro & Korach (2025)
População atendida EA individual	3%	10%	20%	30%	Campos et al. (2025), Castro & De Marco (2026) e Feo (2025)
População atendida EA mídias	40%	60%	80%	95%	Goel et al. (2023), Huang et al. (2022) e Kireitseva et al. (2025)
Efeito da educação ambiental no descarte inadequado	-1%	-2%	-4%	-6%	Galavote et al. (2022), Margallo et al. (2019), Miner et al. (2020)
Efeito da coleta porta a porta - RDO Seco	0,35	0,50	0,75	0,85	Bardus & Massoud (2022), Goh et al. (2022), Islam et al. (2025) eZaikova et al. (2022)
Efeito da coleta por ponto - RDO Seco	0,30	0,40	0,65	0,75	Ajzen (2021), Najmi et al. (2022), Yu & Pan (2025) e Y. Zhang et al. (2022)
Ampliação CS RDO seco por pontos	15%	28%	60%	97%	Abdel-Shafy & Mansour (2025), Fontaine et al. (2024), Gritsch et al. (2025) e Kählig et al. (2025)
Ampliação CS RDO seco PP	11%	27%	50%	75%	Fernando & Toshiya (2025), Meng et al. (2025) e Nejadsadeghi et al. (2025)
Efeito da cobrança - manejo do RDO Seco	0,15	0,30	0,40	0,60	Bonan et al. (2025), Okonta & Mohlalifi (2020), Xie et al. (2025) e Zhang et al. (2024)
Efeito da recompensa - entrega RDO Seco	0,13	0,30	0,40	0,50	Li et al. (2025), Tang et al. (2022), Xia et al. (2021) e Xu et al. (2023)
Efeito da educação ambiental - RDO Verde	0,20	0,30	0,50	0,70	Bardus & Massoud (2022), Guichard et al. (2024), Montero-Vega et al. (2024) e Nik Masdek et al. (2023)
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes	-3%	-7%	-10%	-15%	Galavote et al. (2023), Parreira (2010) e Sena (2020)
Efeito da coleta porta a porta - RDO Verde	0,30	0,50	0,60	0,80	Bardus & Massoud (2022), Guichard et al. (2024), Montero-Vega et al. (2024) e Nik Masdek et al. (2023)
Efeito da coleta por ponto - RDO Verde	0,20	0,45	0,65	0,75	Guichard et al. (2024), Nik Masdek et al. (2023) e Tahulela et al. (2025)
Ampliação CS RDO verde PP	11%	27%	50%	72%	Alibardi et al. (2025), Bitir-Istrate et al. (2026), Fernando & Toshiya (2025) e Meng et al., 2025)
Ampliação CS RDO verde por pontos	15%	28%	60%	97%	Abdel-Shafy & Mansour (2025), Bitir-Istrate et al. (2026), Ermayendri et al. (2025) e Fontaine et al. (2024)
Efeito da cobrança - manejo do RDO Verde	0,15	0,30	0,40	0,60	Bonan et al. (2025), Okonta & Mohlalifi (2020) e Zhang et al., 2024)
Efeito da recompensa - entrega RDO Verde	0,10	0,30	0,40	0,50	Govindan et al. (2022), Ling et al. (2021), Xia et al. (2021) e Xu et al. (2023)

Valor unitário de cobrança	R$ 100,00.ton^{-1}	R$ 200,00.ton^{-1}	R$ 400,00.ton^{-1}	R$ 600,00.ton^{-1}	Galavote et al. (2026)
% residências cobradas IPTU	85%	59%	27%	0%	Galavote et al. (2026)
% População atendida por recompensas	21%	47%	60%	100%	Galavote et al. (2026)
Valor unitário da recompensa	R$ 100,00.ton^{-1}	R$ 200,00.ton^{-1}	R$ 400,00.ton^{-1}	R$ 600,00.ton^{-1}	Galavote et al. (2026);
Taxa de aterro	263%	450%	700%	1200%	Hezardastan & Shmelev (2025), Hoogmartens et al. (2016) e Yi et al. (2025)
Otimização - CS Seco por Ponto	10%	25%	32%	48%	Lakhouit (2025), Sheriff et al. (2017), Silva et al. (2025) e Venes et al. (2023)
Otimização - CS Seco PP	10%	17%	25%	30%	Blazquez & Paredes-Belmar (2020), Degli Esposti et al. (2023), Vu et al. (2020) e Zbib & Wøhlk (2019)
Otimização - CS Verde por Ponto	10%	25%	32%	48%	Lakhouit (2025), Sheriff et al. (2017), Silva et al. (2025) e Venes et al. (2023)
Otimização - CS Verde PP	10%	17%	25%	30%	Blazquez & Paredes-Belmar (2020), Degli Esposti et al. (2023), Vu et al. (2020) e Zbib & Wøhlk (2019)
% Valorização dos recicláveis	28%	40%	50%	77%	AlQaraleh et al. (2024), Gadaleta et al. (2022), Puchongkawarin (2024) e Bourtsalas & Themelis (2022)
% Valorização do compostado	26%	100%	200%	400%	Gyanwali et al. (2023), Nanlin et al. (2023) e Prateep Na Talang & Sirivithayapakorn (2021, 2022)
% Valorização do CDR	10%	30%	70%	100%	Alsulaili et al. (2025), Călin et al. (2021), Ferrario et al. (2025) e Ige & Kabeya (2025)
Variabilidade do valor CC	-95%	-80%	-60%	20%	Investing (2026)

Fonte: Autoria própria.

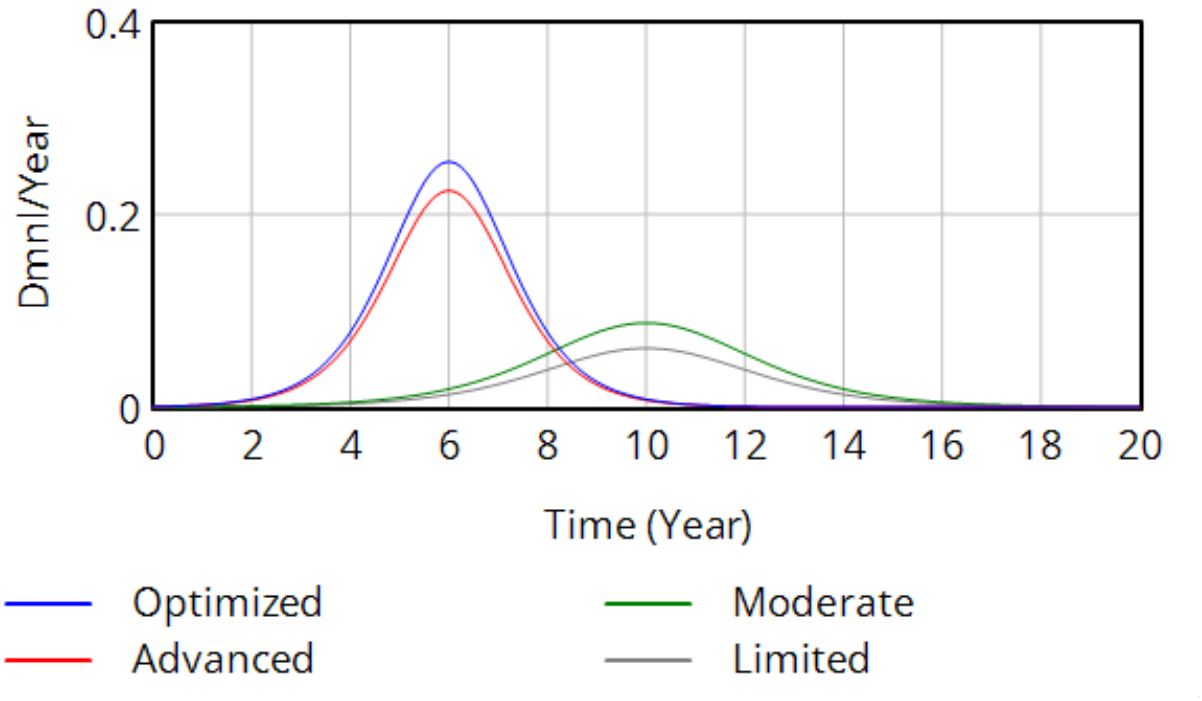
Quadro 22 - Equações derivadas dos valores apresentados na Tabela S5, utilizadas para a elaboração dos cenários analisados.

Variáveis	Limitado	Moderado	Avançado	Pleno
Efeito da educação ambiental - RDO seco	((0.7 *(1- (tanh (7 *x -3.5)^2))))*0.05	((1.575 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((3.9 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05	((4.8 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos	(-0.0250*tanh((7*X)-3.5000)-0.0250)	(-0.0500*tanh((7*X)-3.5000)-0.0500)	(-0.0750*tanh((12*X)-3.6000)-0.0750)	(-0.1150*tanh((12*X)-3.6000)-0.1150)
População atendida EA coletiva	0.01+DELAY1(RAMP(0.0039, 4 , 20), 6)	0.01+DELAY1(RAMP(0.014, 4 , 20), 6)	0.01+DELAY1(RAMP(0.015, 1 , 20), 2)	0.01+DELAY1(RAMP(0.026, 1 , 20), 2)
População atendida EA individual	DELAY1(RAMP(0.003, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.0094, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.012, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.018, 1 , 20), 2)
População atendida EA mídias	DELAY1(RAMP(0.038, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.058, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.047, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.056, 1 , 20), 2)
Efeito da educação ambiental no descarte inadequado	(-0.0050*tanh((7*X)-3.5000)-0.0050)	(-0.0100*tanh((7*X)-3.5000)-0.0100)	(-0.0200*tanh((12*X)-3.6000)-0.0200)	(-0.0300*tanh((12*X)-3.6000)-0.0300)
Efeito da coleta porta a porta - RDO Seco	((1.225 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((1.75 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((4.5 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05	((5.1 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05
Efeito da coleta por ponto - RDO Seco	((1.05 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((1.4 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((3.9 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05	((4.5 *(1- (tanh (12 *x -3.6)^2))))*0.05
Ampliação CS RDO seco por pontos	(0.0750*tanh((7*X)-3.5000)+0.0750)	(0.1400*tanh((7*X)-3.5000)+0.1400)	(0.3000*tanh((7*X)-3.6000)+0.3000)	(0.4850*tanh((12*X)-3.6000)+0.4850)
Ampliação CS RDO seco PP	(0.0550*tanh((7*X)-3.5000)+0.0550)	(0.1350*tanh((7*X)-3.5000)+0.1350)	(0.2500*tanh((12*X)-3.6000)+0.2500)	(0.3750*tanh((12*X)-3.6000)+0.3750)
Efeito da cobrança - manejo do RDO Seco	((0.525 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((1.05 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((2.4 *(1- (tanh (12*x-3.6)^2))))*0.05	((3.6 *(1- (tanh (12*x-3.6)^2))))*0.05
Efeito da recompensa - entrega RDO Seco	((0.455 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((1.5 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((2.4 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05	((3 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05
Efeito da educação ambiental - RDO Verde	((0.7 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((1.05 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((3 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05	((4.2 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05
Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes	(-0.0150*tanh((7*X)-3.5000)-0.0150)	(-0.0350*tanh((7*X)-3.5000)-0.0350)	(-0.0500*tanh((12*X)-3.6000)-0.0500)	(-0.0750*tanh((12*X)-3.6000)-0.0750)
Efeito da coleta porta a porta - RDO Verde	((1.05 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((1.75 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((3.6 *(1- (tanh (12 * x-3.6)^2))))*0.05	((4.8 *(1- (tanh (12 *x-3.6)^2))))*0.05
Efeito da coleta por ponto - RDO Verde	((0.7 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((1.575 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((3.9 *(1- (tanh (12 * x-3.6)^2))))*0.05	((4.5 *(1- (tanh (12 *x -3.6)^2))))*0.05
Ampliação CS RDO verde PP	(0.0550*tanh((7*X)-3.5000)+0.0550)	(0.1350*tanh((7*X)-3.5000)+0.1350)	(0.2500*tanh((12*X)-3.6000)+0.2500)	(0.3600*tanh((12*X)-3.6000)+0.3600)
Ampliação CS RDO verde por pontos	(0.0750*tanh((7*X)-3.5000)+0.0750)	(0.1350*tanh((7*X)-3.5000)+0.1350)	(0.3000*tanh((12*X)-3.6000)+0.3000)	(0.4850*tanh((12*X)-3.6000)+0.4850)
Efeito da cobrança - manejo do RDO Verde	((0.525 *(1- (tanh (7 * x-3.5)^2))))*0.05	((1.05 *(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((2.4 *(1- (tanh (12 * x-3.6)^2))))*0.05	((3.6 *(1- (tanh (12 * x-3.6)^2))))*0.05
Efeito da recompensa - entrega RDO Verde	((0.35*(1- (tanh (7 * x-3.5)^2))))*0.05	((1.05*(1- (tanh (7 *x-3.5)^2))))*0.05	((2.4*(1- (tanh (12 * x-3.6)^2))))*0.05	((3*(1- (tanh (12 * x-3.6)^2))))*0.05

% residências cobradas IPTU	1+DELAY1(RAMP(-0.015, 4 , 20), 6)	1+DELAY1(RAMP(-0.04, 4 , 20), 6)	1+DELAY1(RAMP(-0.043, 1 , 20), 2)	1+DELAY1(RAMP(-0.058, 1 , 20), 2)
% População atendida por recompensas	DELAY1(RAMP(0.02, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.045, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.036, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.059, 1 , 20), 2)
Taxa de aterro	DELAY1(RAMP(0.26, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.44, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.41, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.71, 1 , 20), 2)
Otimização - CS Seco por Ponto	DELAY1(RAMP(0.0095, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.024, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.019, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.028, 1 , 20), 2)
Otimização - CS Seco PP	DELAY1(RAMP(0.0095, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.017, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.015, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.018, 1 , 20), 2)
Otimização - CS Verde por Ponto	DELAY1(RAMP(0.0095, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.024, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.019, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.028, 1 , 20), 2)
Otimização - CS Verde PP	DELAY1(RAMP(0.0095, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.017, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.015, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.018, 1 , 20), 2)
% Valorização dos recicláveis	DELAY1(RAMP(0.028, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.039, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.03, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.046, 1 , 20), 2)
% Valorização do compostado	DELAY1(RAMP(0.025, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.098, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.12, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.24, 1 , 20), 2)
% Valorização do CDR	DELAY1(RAMP(0.0095, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.03, 4 , 20), 6)	DELAY1(RAMP(0.041, 1 , 20), 2)	DELAY1(RAMP(0.06, 1 , 20), 2)
Variabilidade do valor CC	RAMP(-0.048, 0, 20)	RAMP(-0.04, 0, 20)	RAMP(-0.03, 0, 20)	RAMP(0.01, 0, 20)

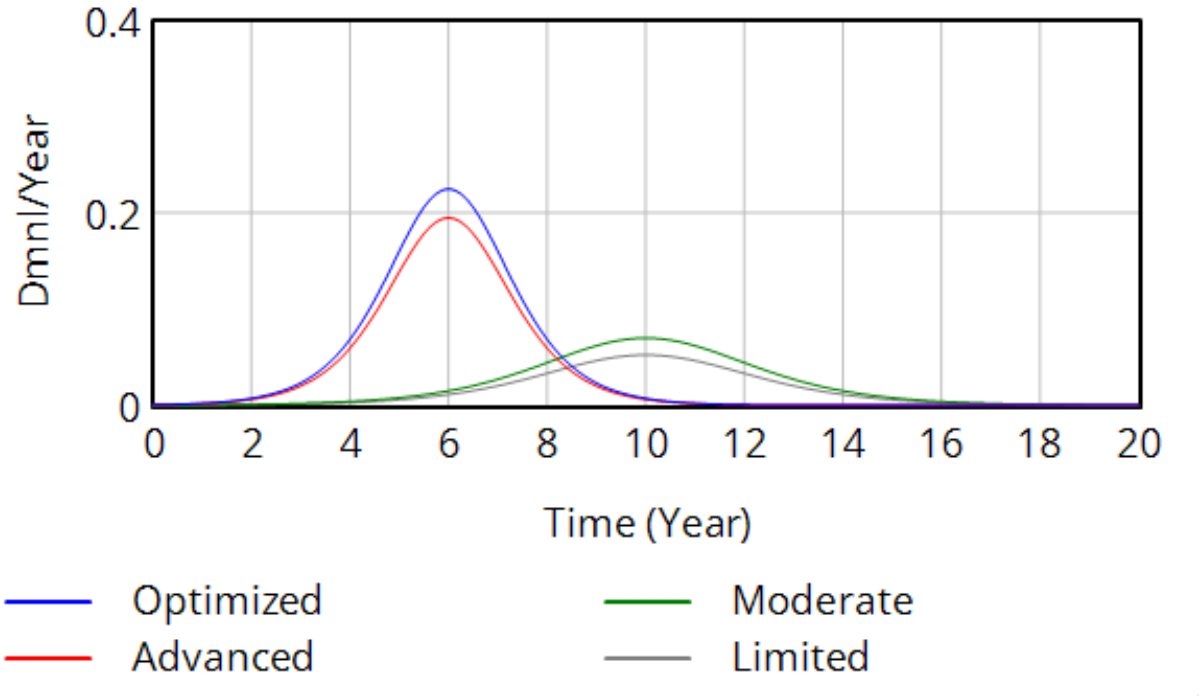
Fonte: Autoria própria.

Figura 58 - Níveis de implementação da variável Efeito da Coleta porta a porta - RDO Seco.



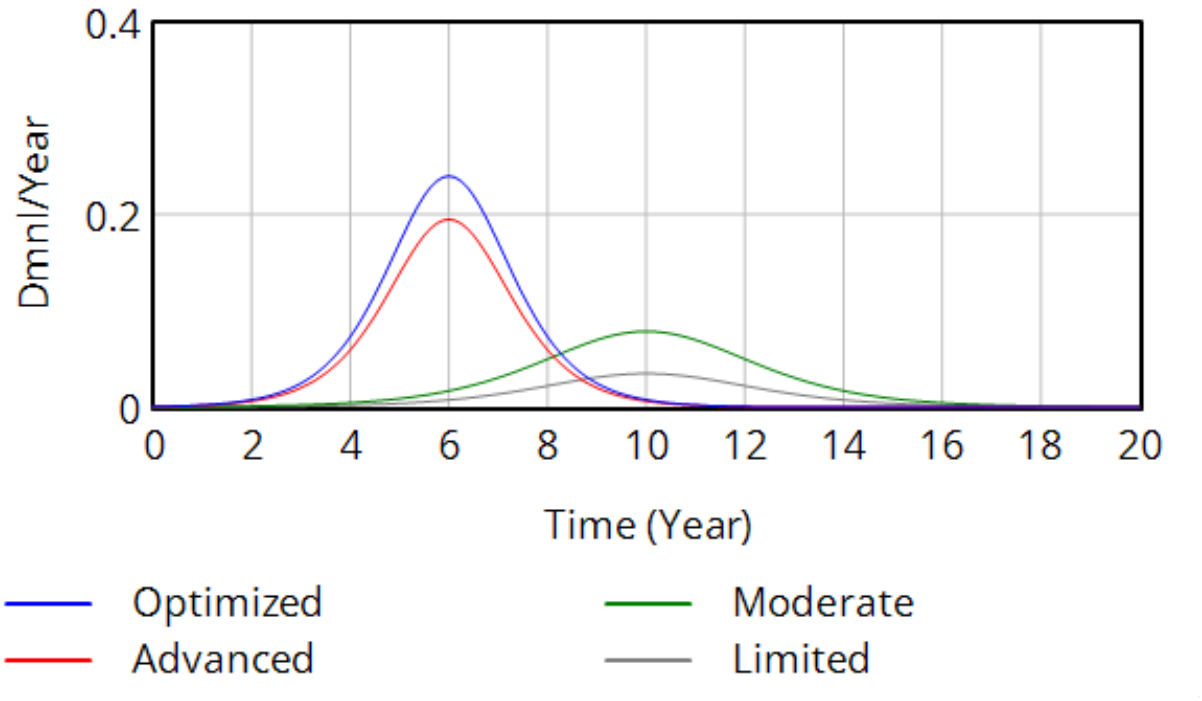
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 59 - Níveis de implementação da variável Efeito da Coleta por ponto - RDO Seco.



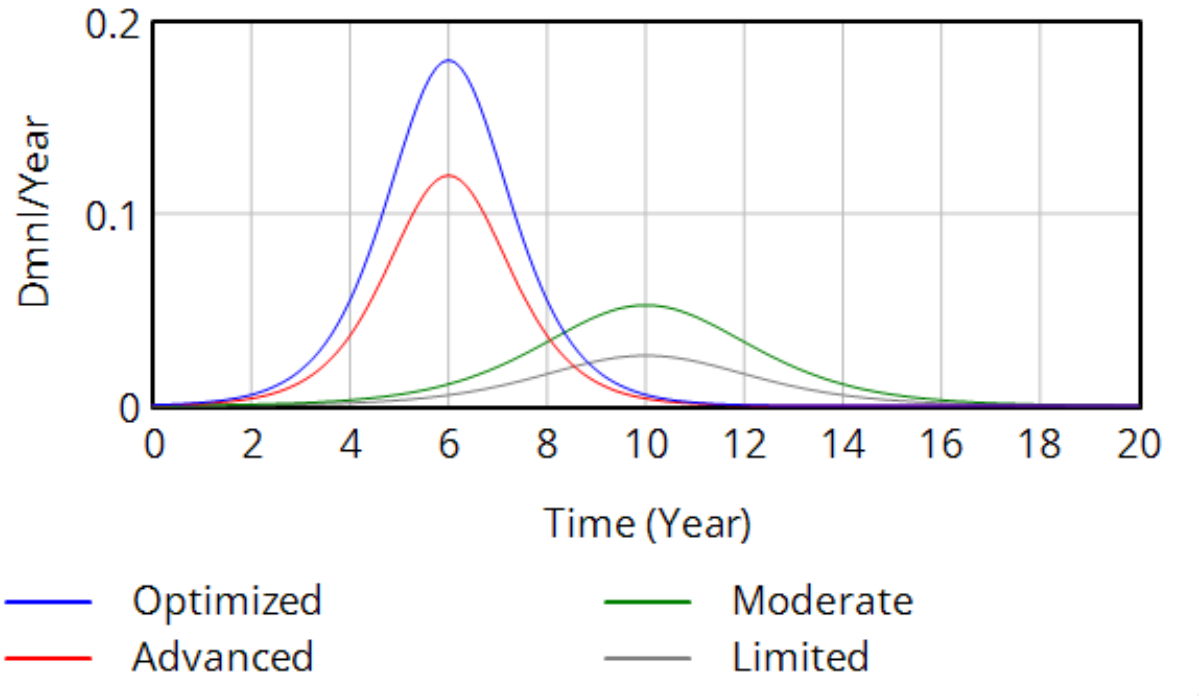
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 60 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental - RDO Seco.



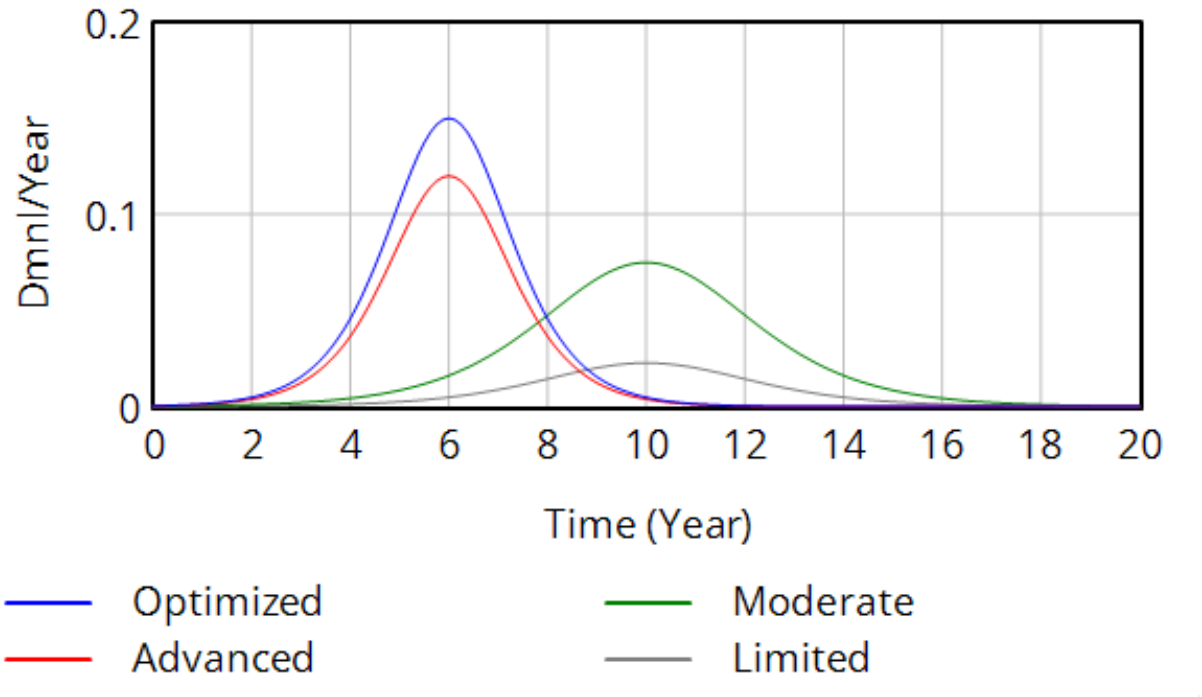
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 61 - Níveis de implementação da variável Efeito da cobrança – manejo do RDO Seco.



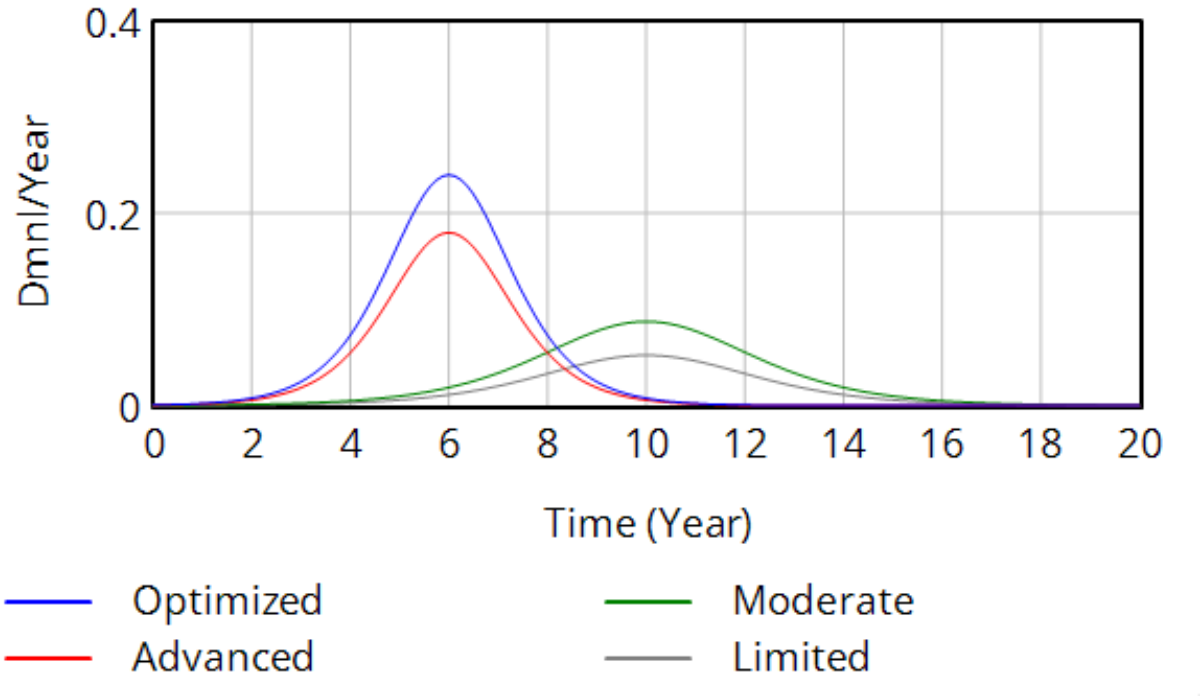
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 62 - Níveis de implementação da variável Efeito da recompensa – entrega do RDO Seco.



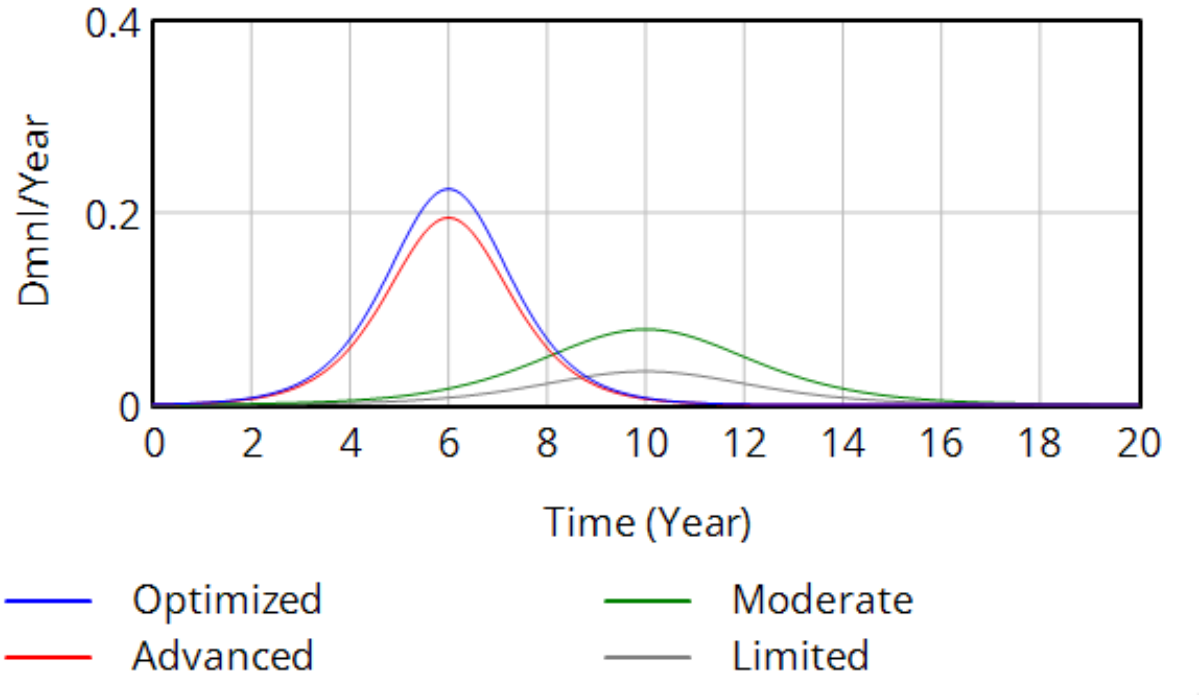
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 63 - Níveis de implementação da variável Efeito da Coleta porta a porta - RDO Verde.



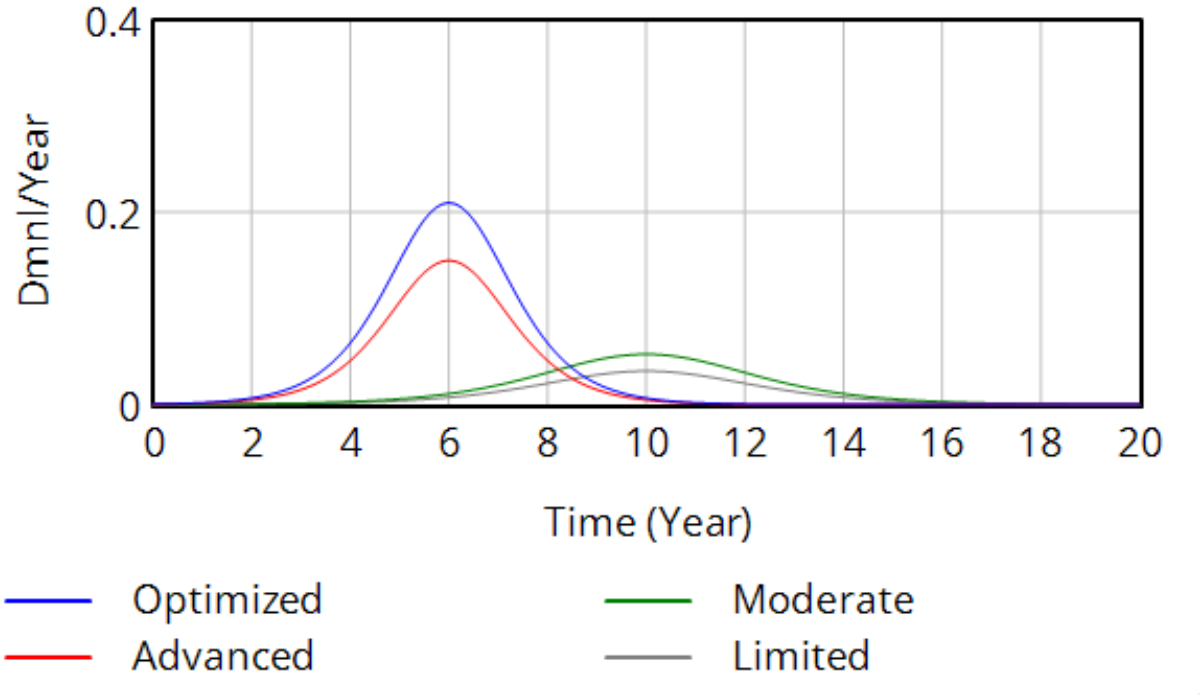
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 64 - Níveis de implementação da variável Efeito da Coleta por ponto - RDO Verde.



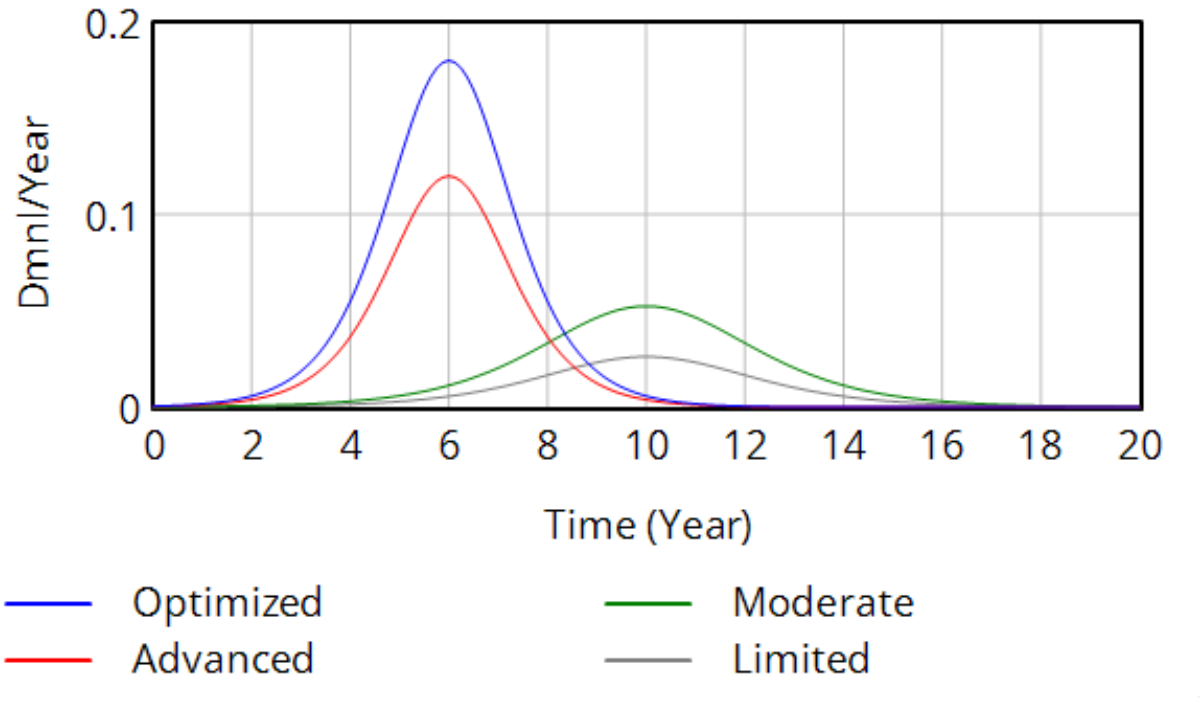
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 65 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental - RDO Verde.



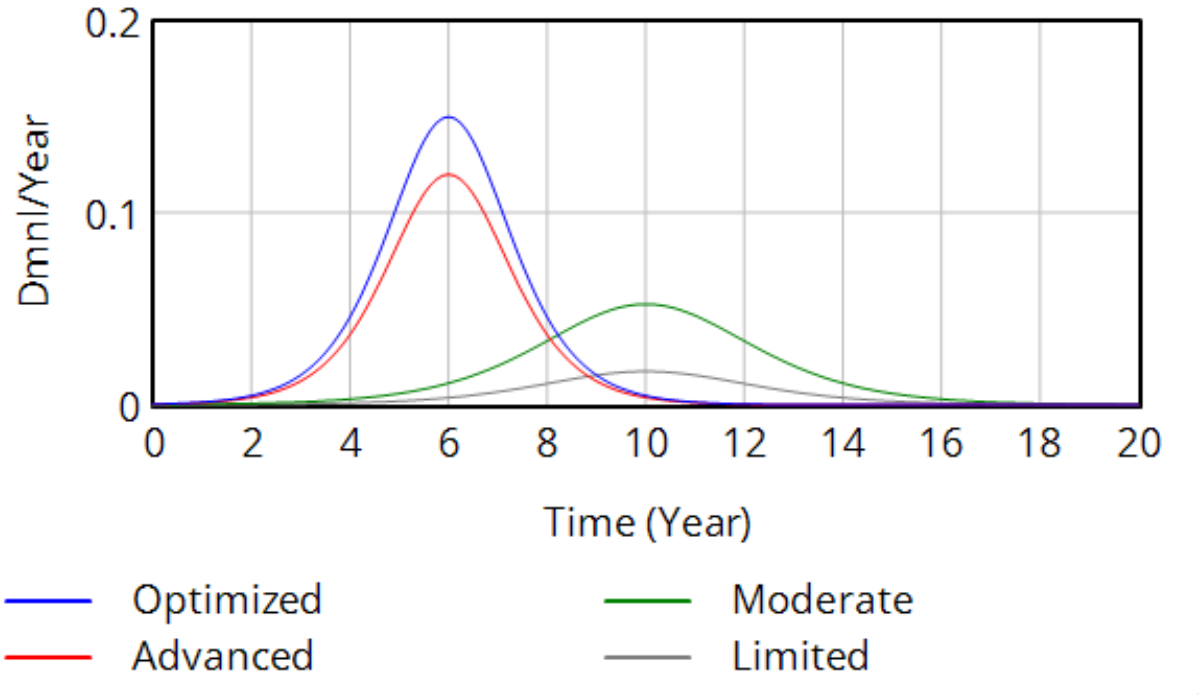
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 66 - Níveis de implementação da variável Efeito da cobrança – manejo do RDO Verde.



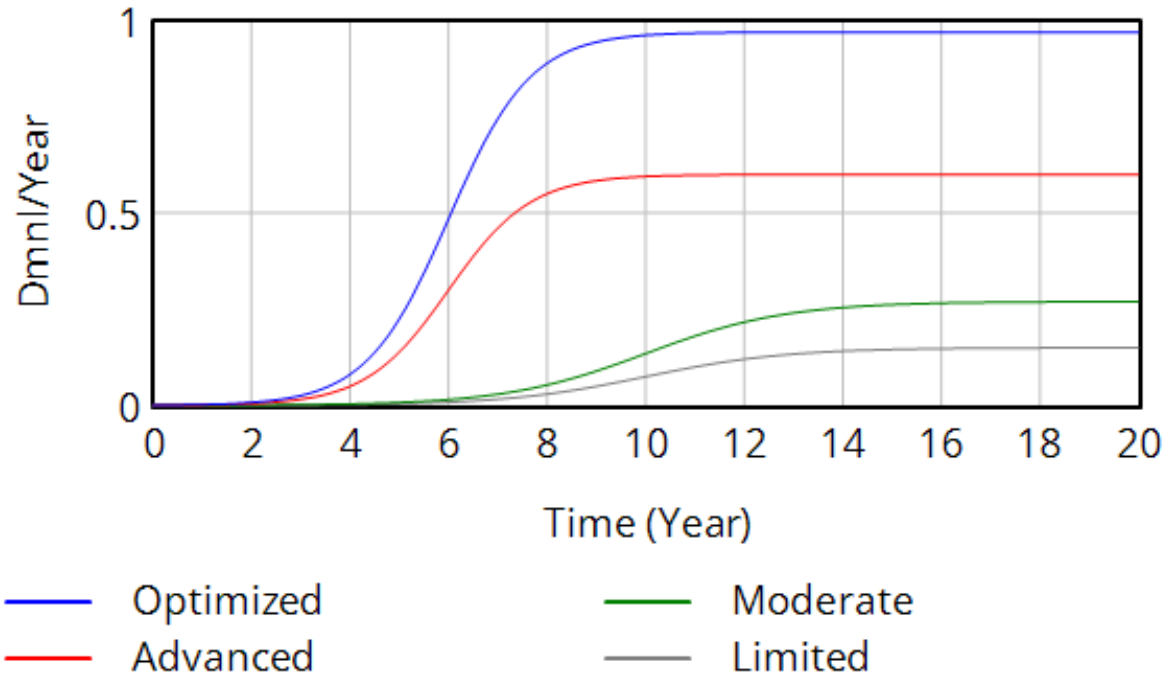
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 67 - Níveis de implementação da variável Efeito da recompensa – entrega do RDO Verde.



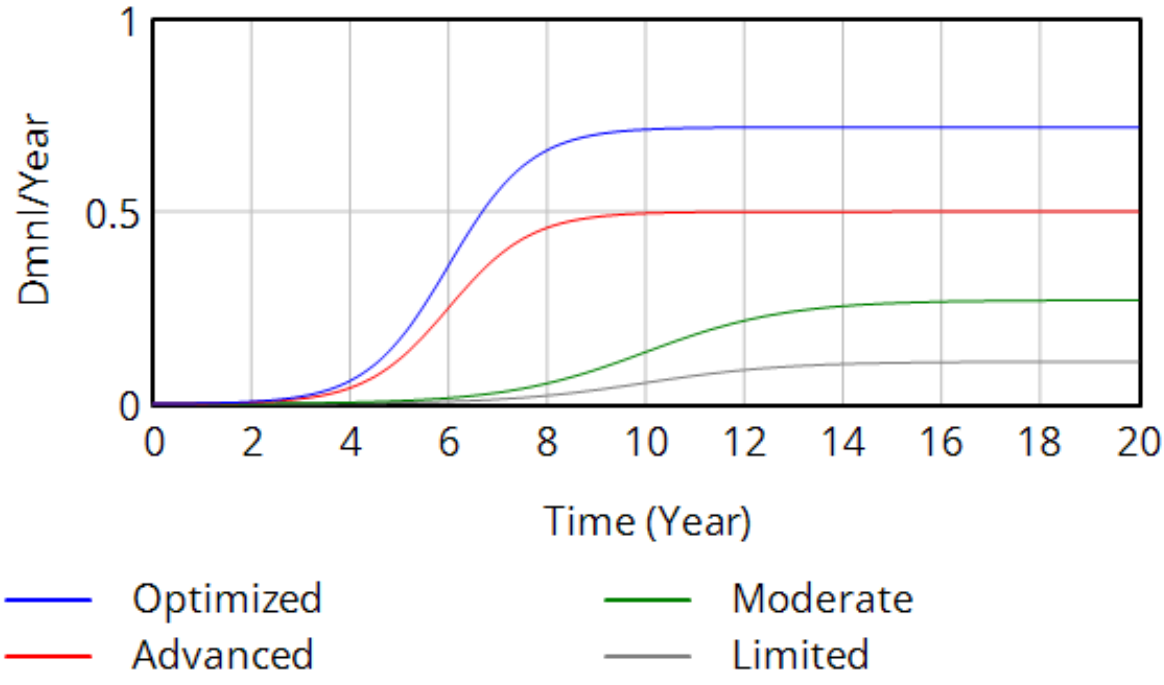
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares

Figura 68 - Níveis de implementação da variável Ampliação CS RDO verde por pontos.



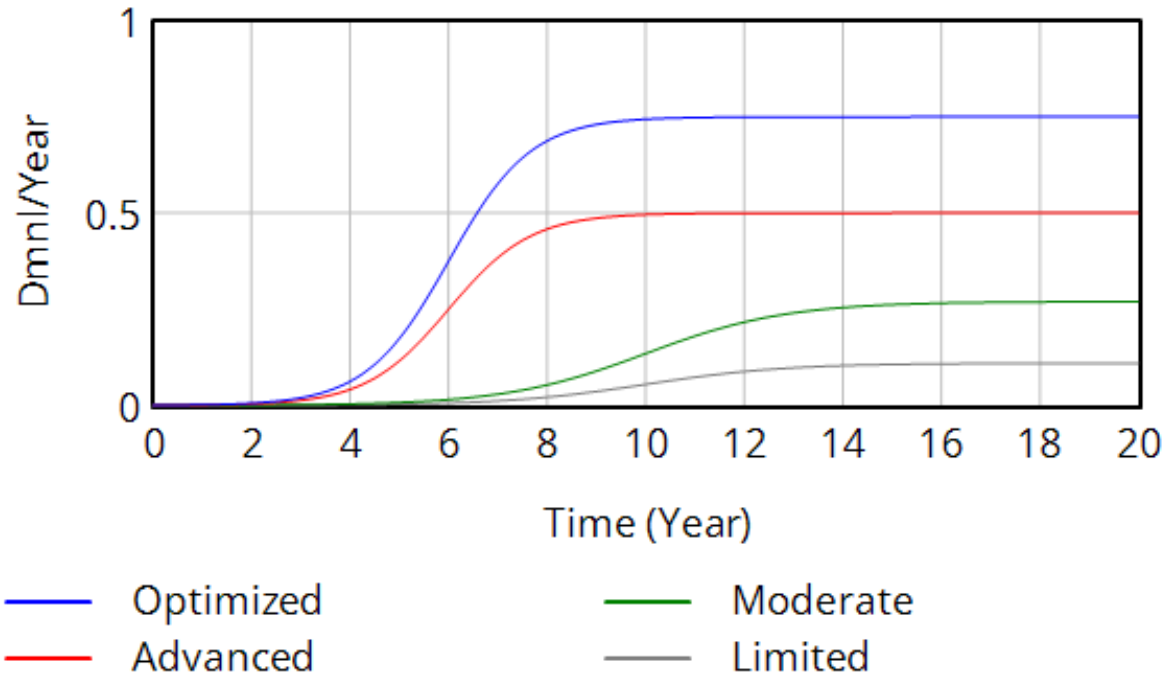
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares; CS: coleta seletiva

Figura 69 - Níveis de implementação da variável Ampliação CS RDO verde porta a porta.



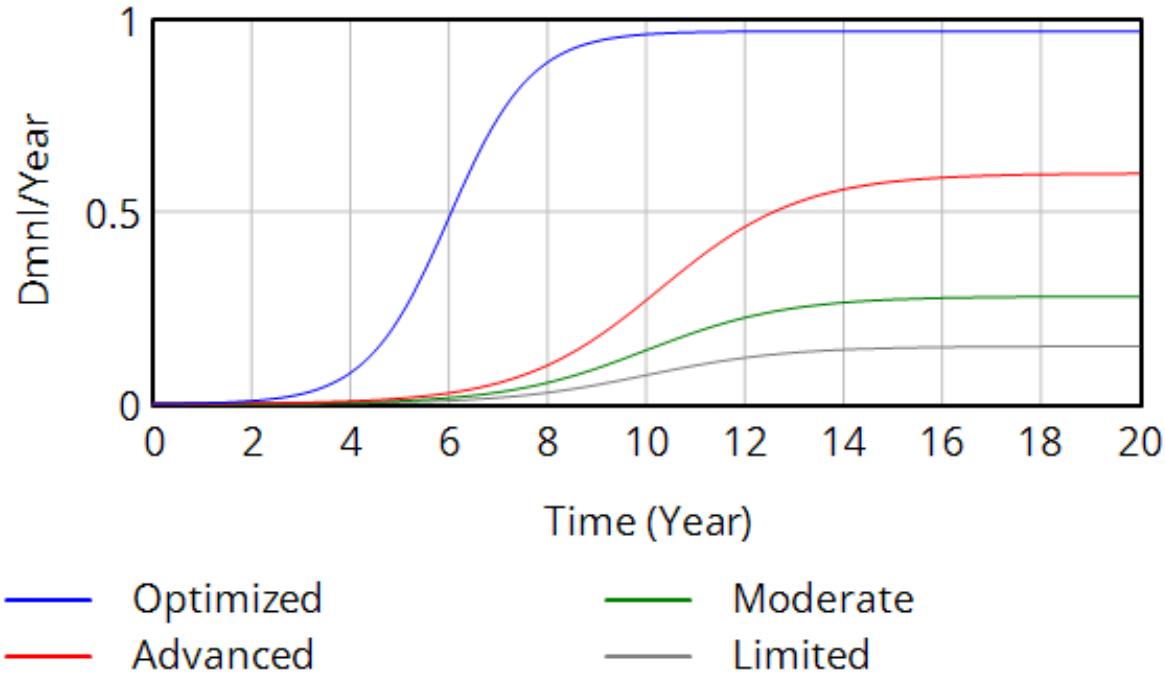
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares; CS: coleta seletiva

Figura 70 - Níveis de implementação da variável Ampliação CS RDO seco porta a porta.



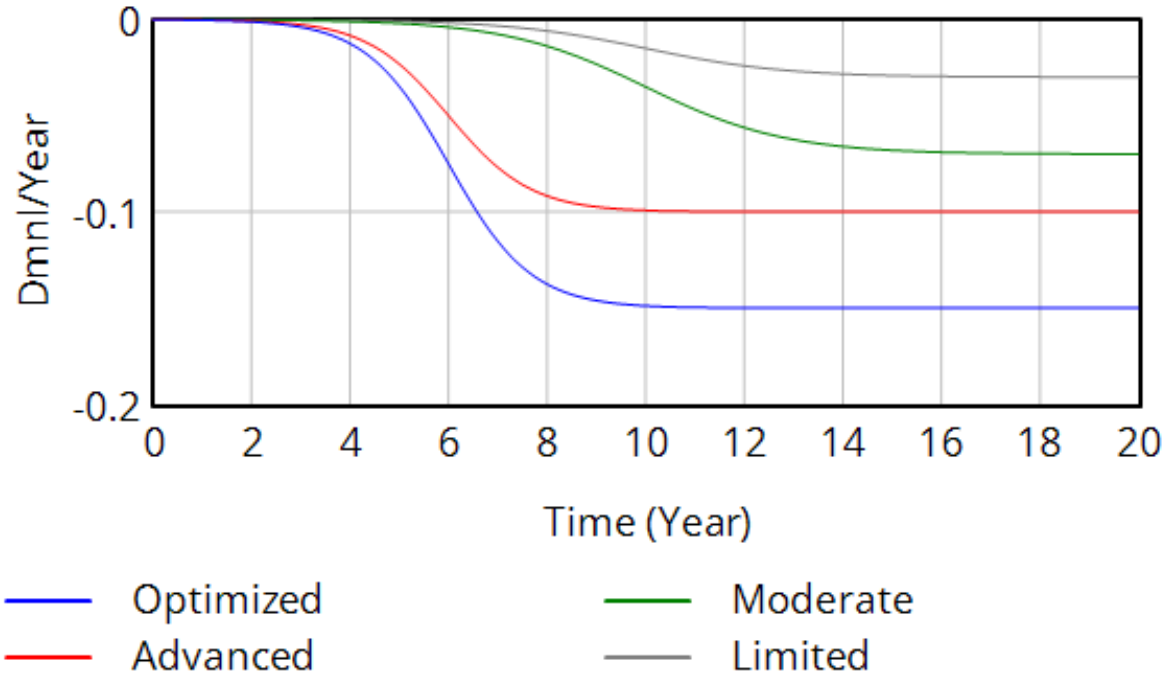
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares; CS: coleta seletiva

Figura 71 - Níveis de implementação da variável Ampliação CS RDO seco por pontos.



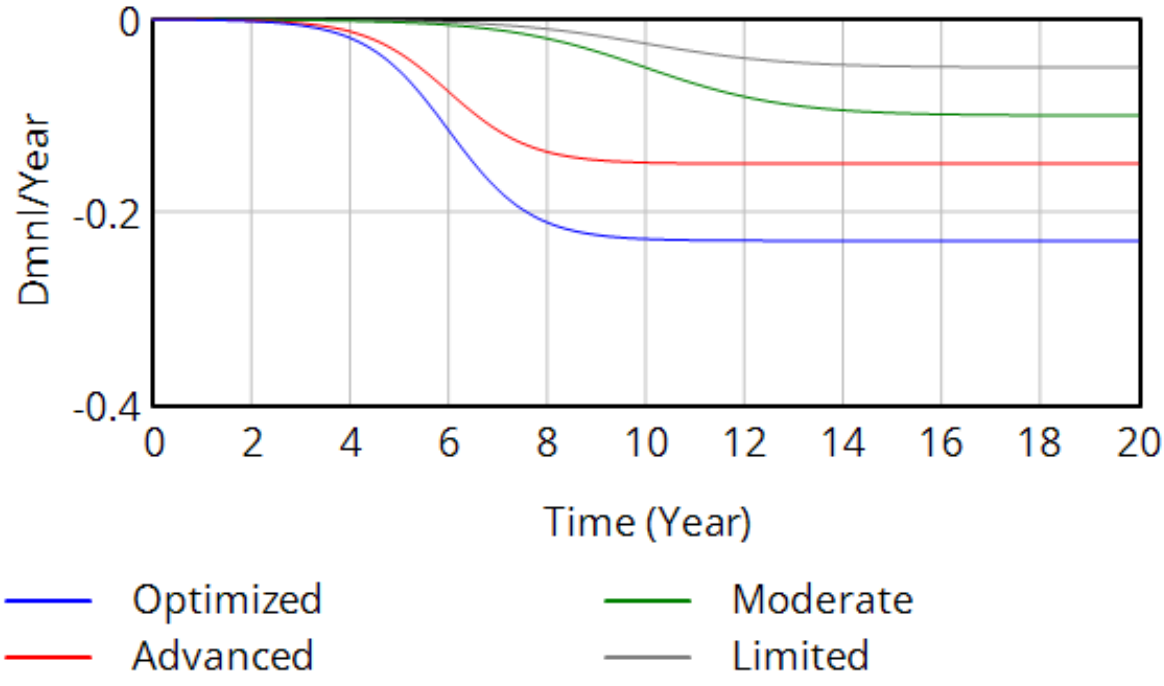
Fonte: Autoria própria. RDO: Resíduos domiciliares; CS: coleta seletiva

Figura 72 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos verdes.



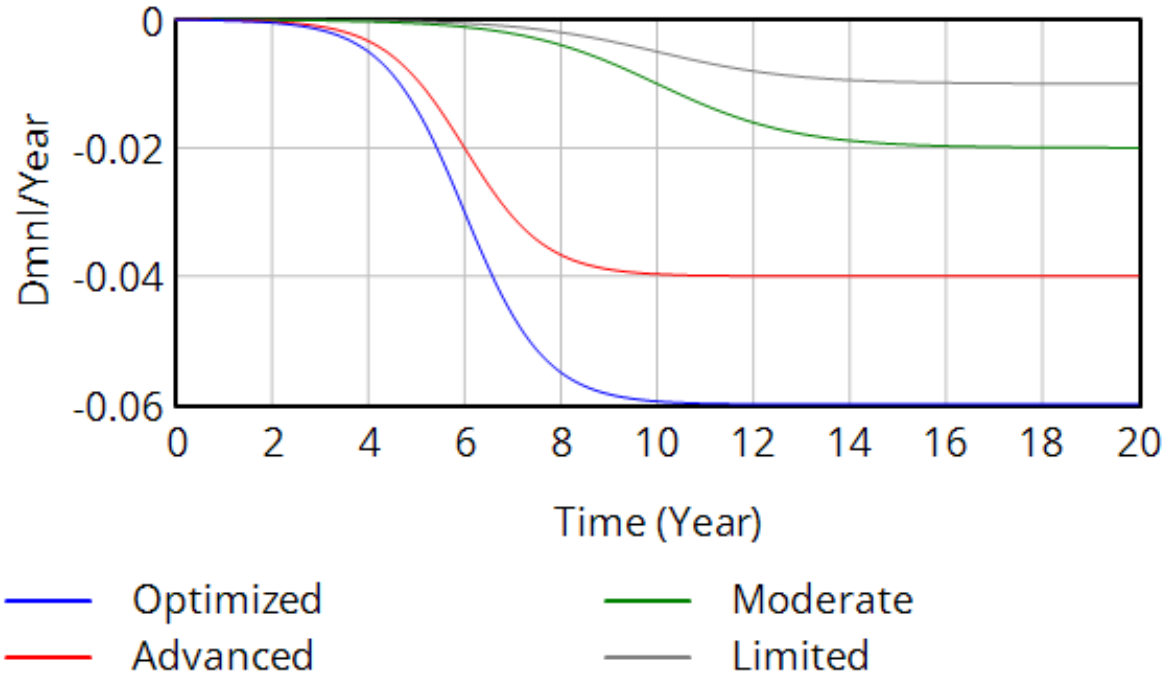
Fonte: Autoria própria.

Figura 73 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental na redução dos rejeitos secos.



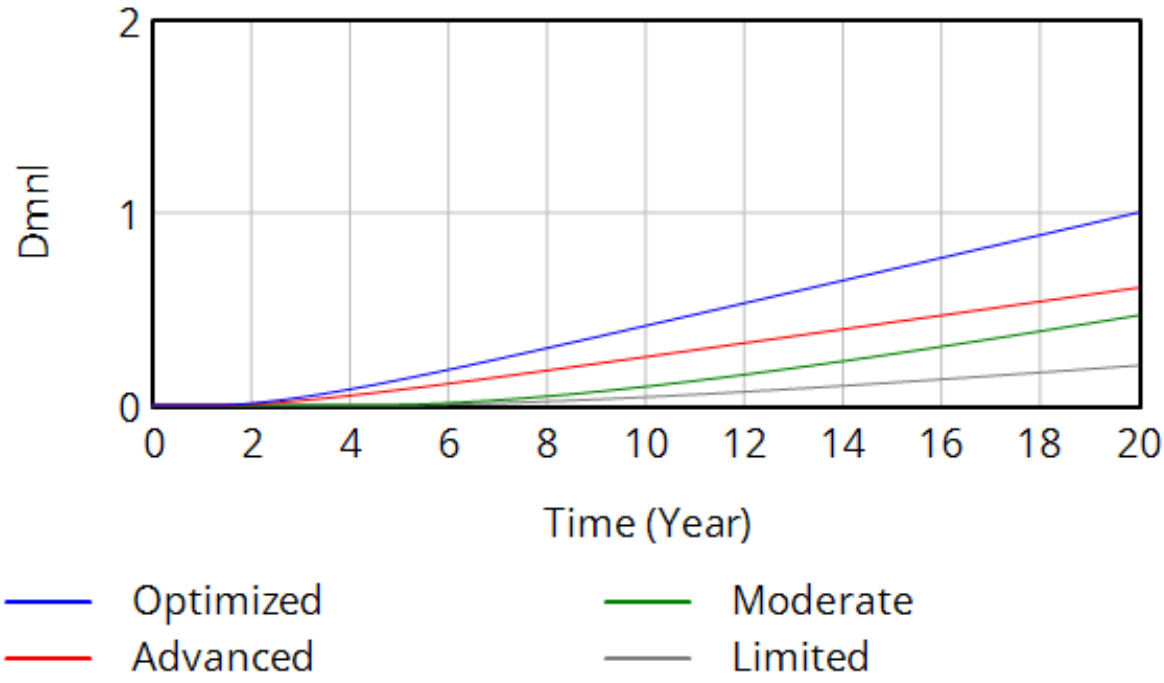
Fonte: Autoria própria.

Figura 74 - Níveis de implementação da variável Efeito da educação ambiental no descarte inadequado.



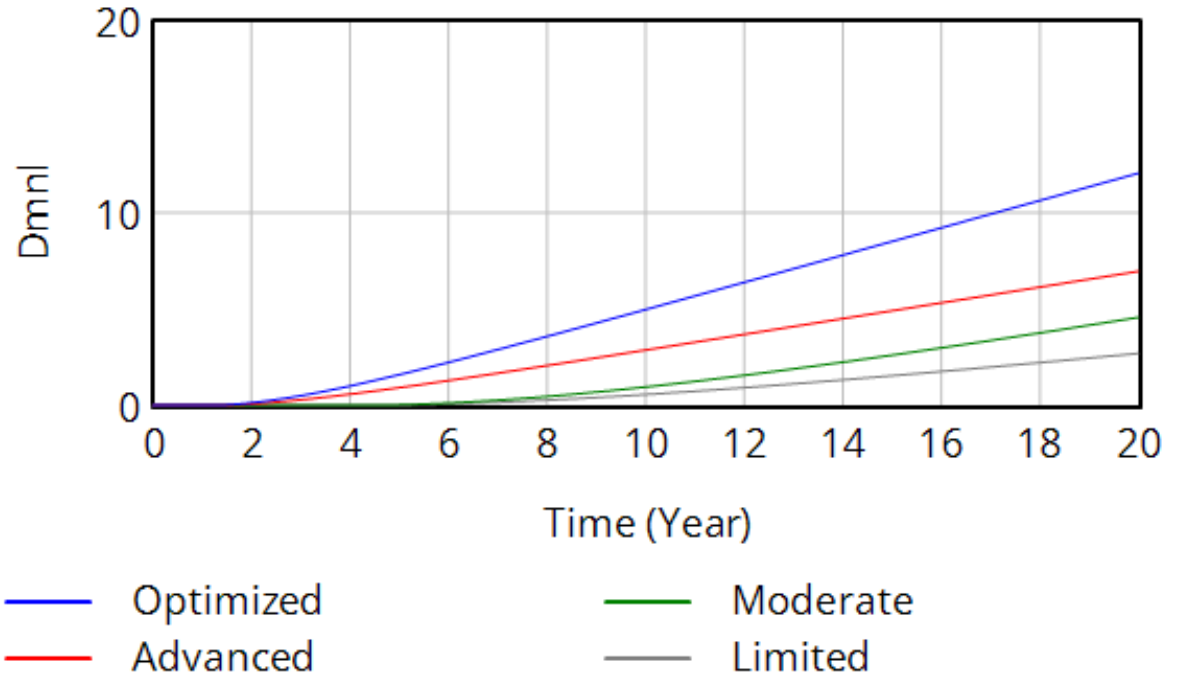
Fonte: Autoria própria.

Figura 75 - Níveis de implementação da variável % População atendida por recompensas.



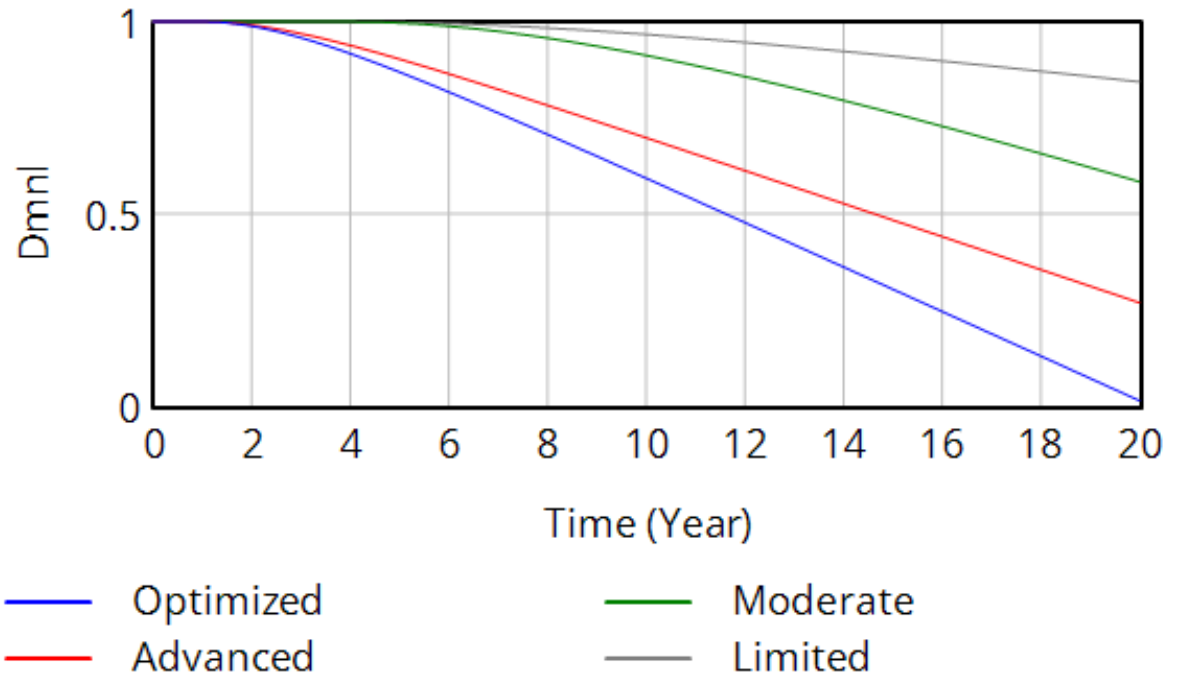
Fonte: Autoria própria.

Figura 76 - Níveis de implementação da variável taxa de aterro.



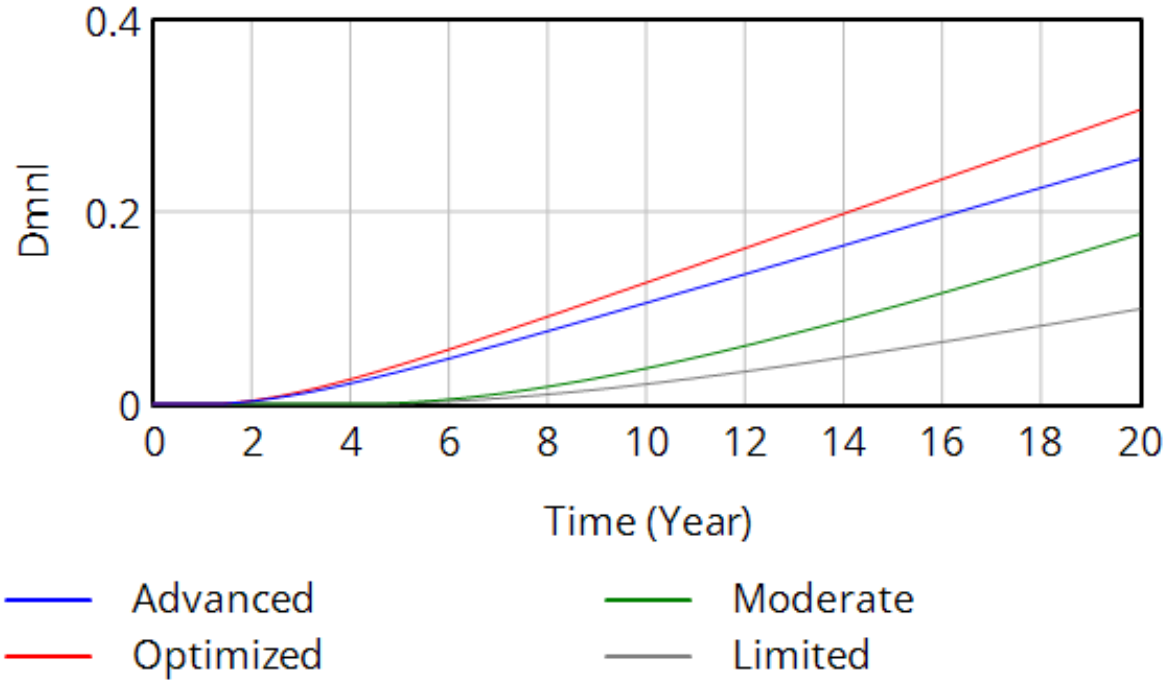
Fonte: Autoria própria.

Figura 77 - Níveis de implementação da variável % residências cobradas por meio de IPTU.



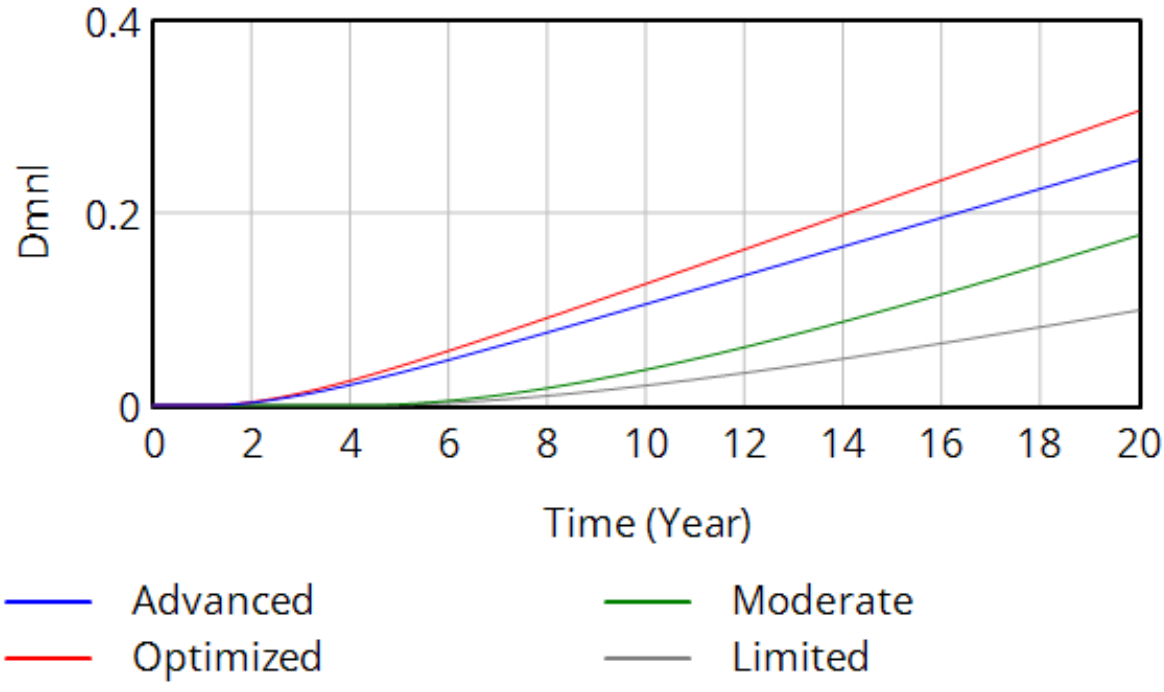
Fonte: Autoria própria. IPTU: Imposto Predial e Territorial Urbano

Figura 78 - Níveis de implementação da variável Otimização – CS Verde por porta a porta.



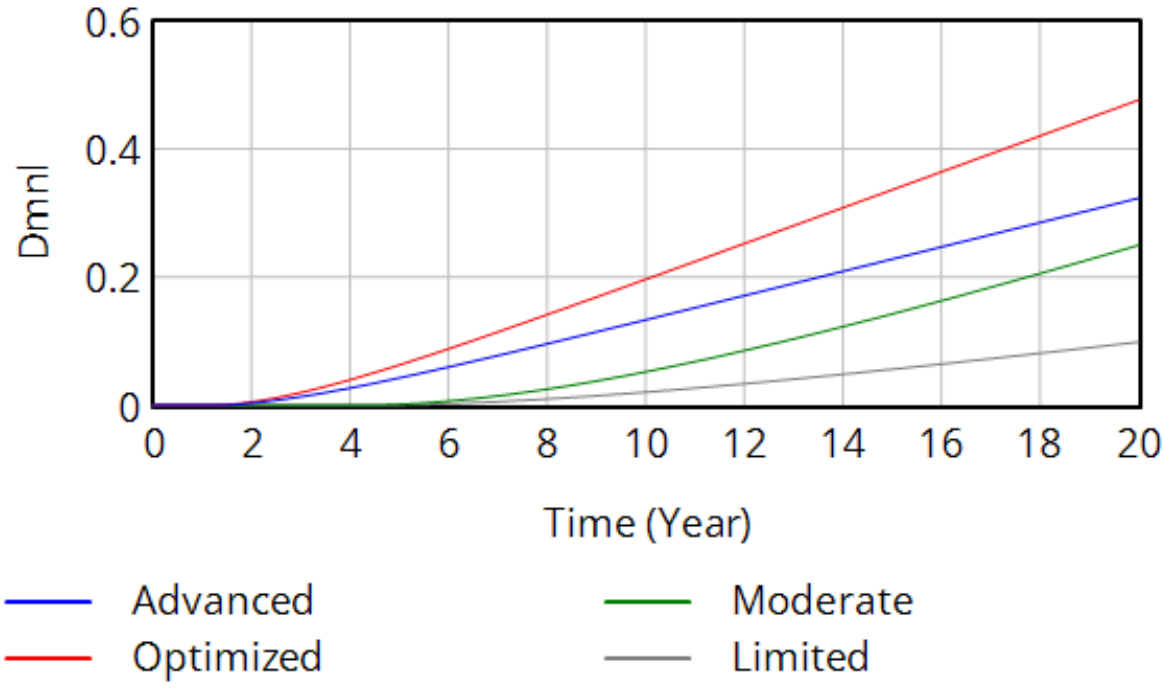
Fonte: Autoria própria. CS: coleta seletiva

Figura 79 - Níveis de implementação da variável Otimização – CS Seco por porta a porta.



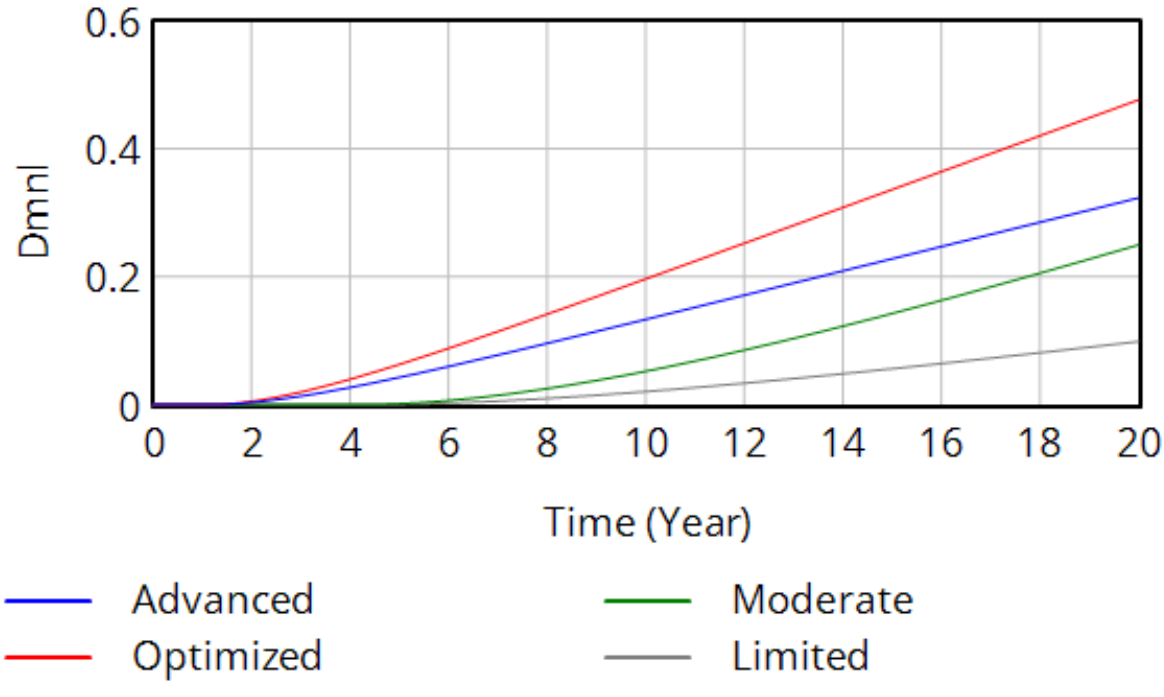
Fonte: Autoria própria. CS: coleta seletiva

Figura 80 - Níveis de implementação da variável Otimização – CS Verde por ponto.



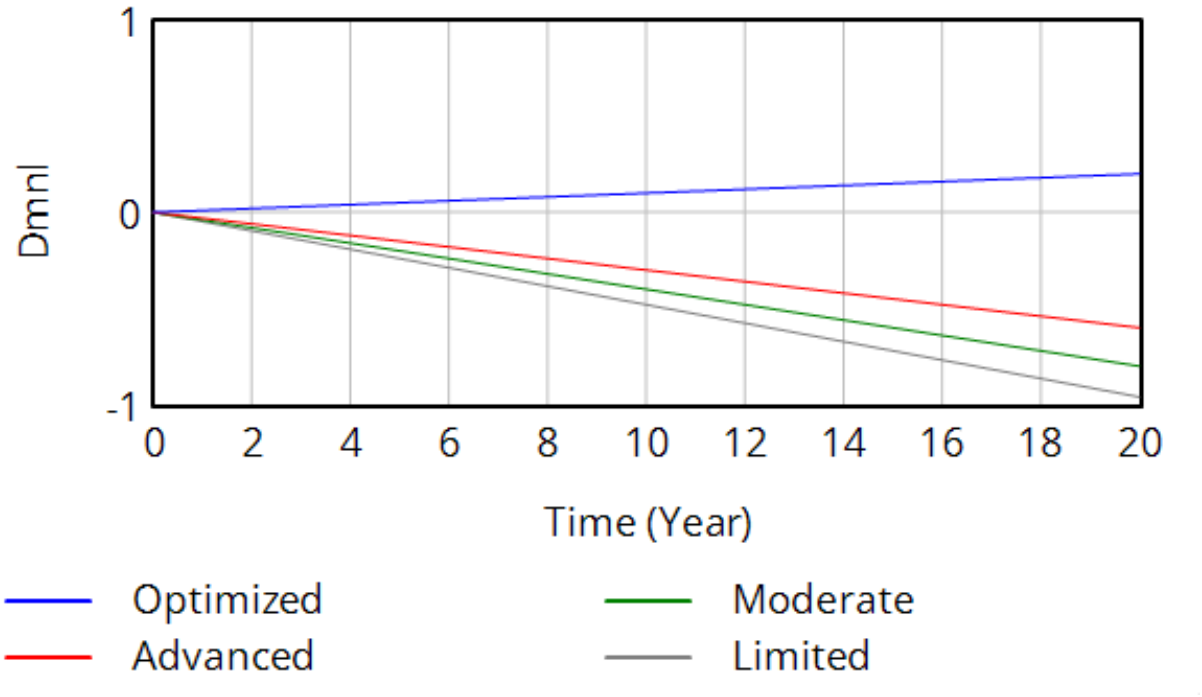
Fonte: Autoria própria. CS: coleta seletiva

Figura 81 - Níveis de implementação da variável Otimização – CS Seco por ponto.



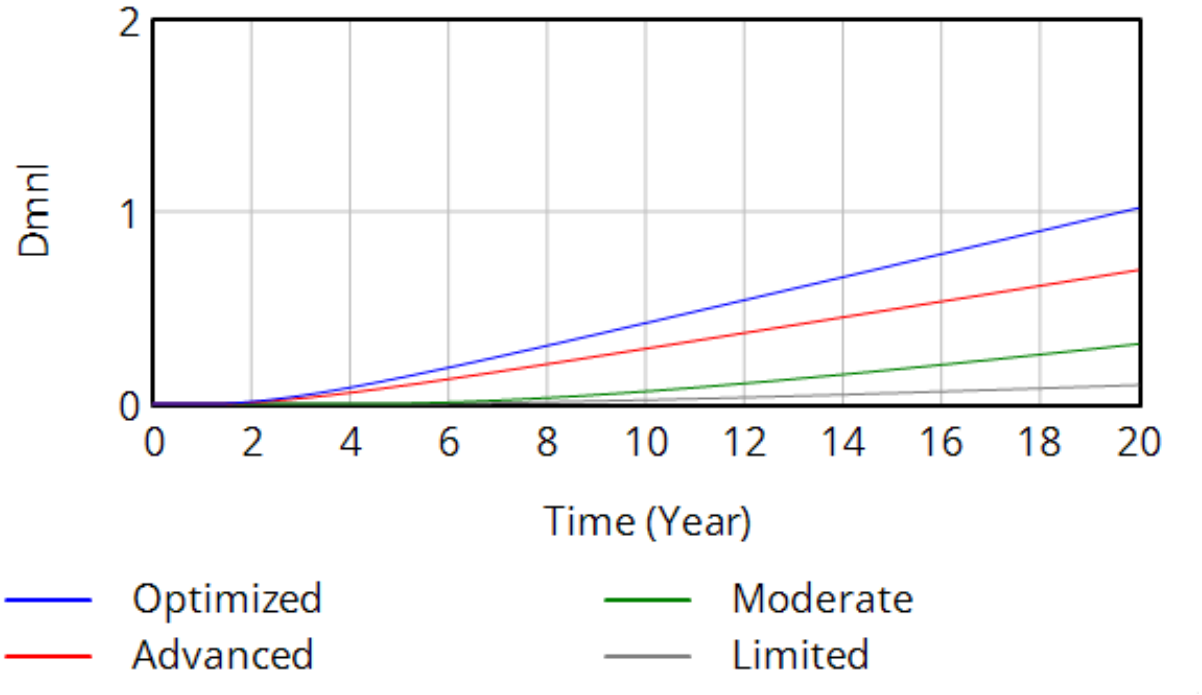
Fonte: Autoria própria. CS: coleta seletiva

Figura 82 - Níveis de implementação da variável Variabilidade do Valor de CC.



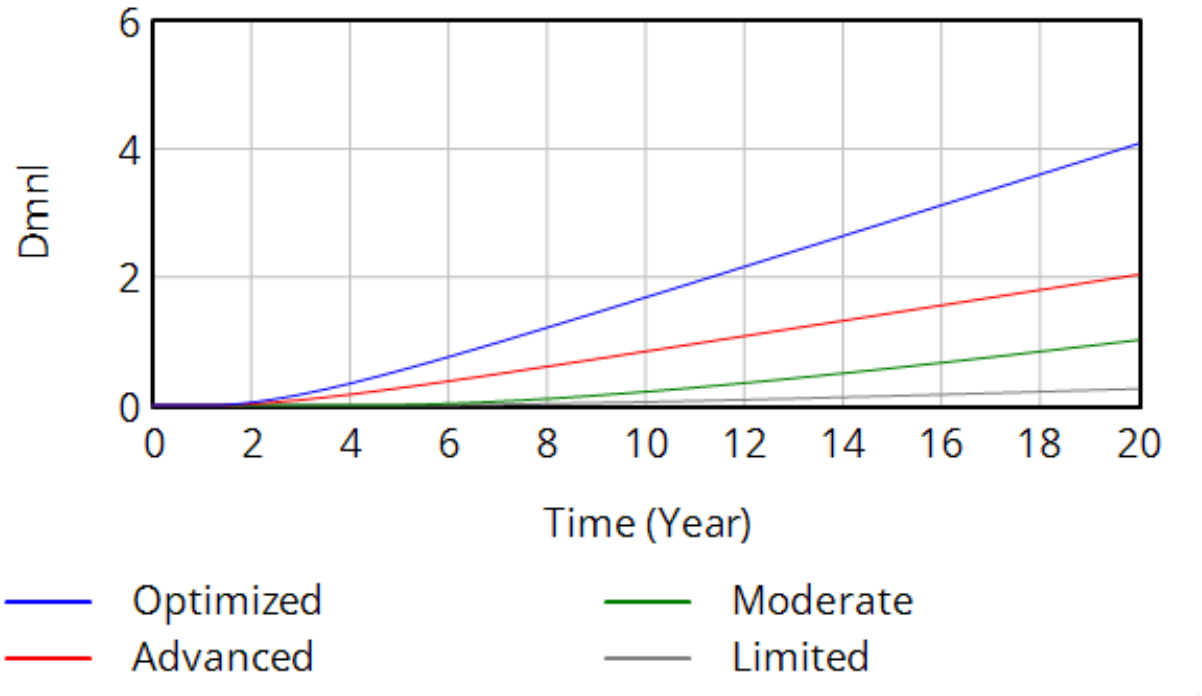
Fonte: Autoria própria. CC: crédito de carbono

Figura 83 - Níveis de implementação da variável % Valorização do CDR.



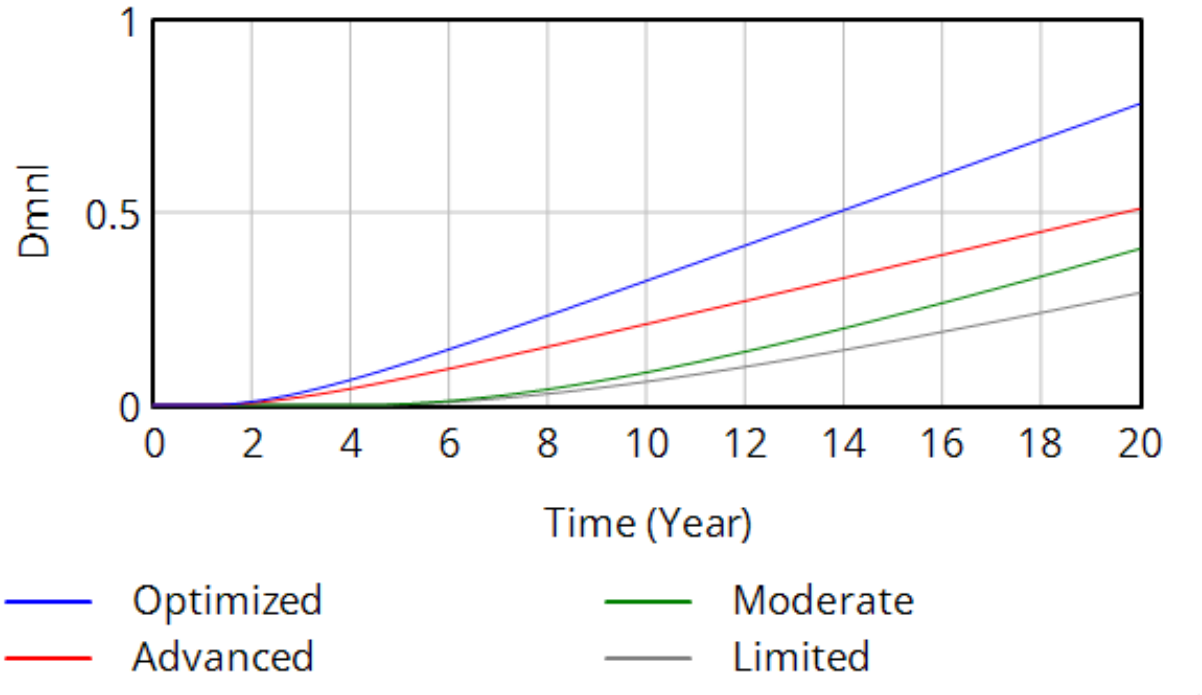
Fonte: Autoria própria. CDR: Combustível Derivado de Resíduos

Figura 84 - Níveis de implementação da variável % Valorização do Compostado.



Fonte: Autoria própria.

Figura 85 - Níveis de implementação da variável % Valorização dos recicláveis.



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE I – RESULTADOS ADICIONAIS DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS

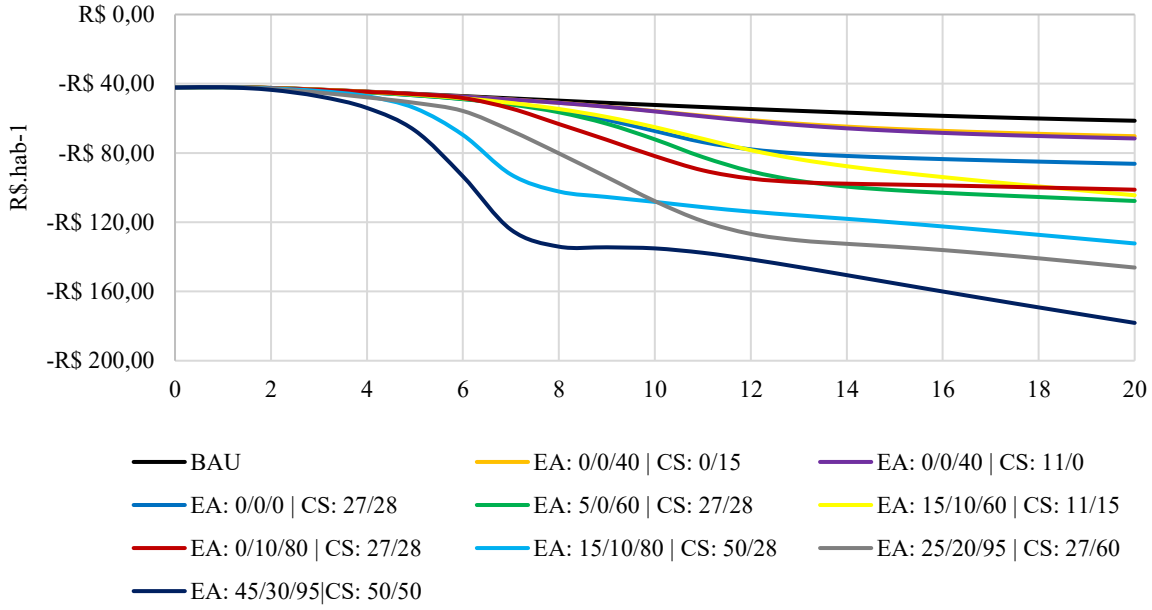
Tabela 29 - Resultados dos indicadores utilizados na análise multicritério TOPSIS dos cenários simulados.

Grupo	Cenário	DIP	DIN	ST	CCS	CCV	CRS	CRV	CAE	CIF	CAS
G4.27	EA:95 | CS:75/50 | IE:100/100/450 | OC:25/25 | VR:50/200/30|CC:-60	0,018788	0,092265	0,830817	0,008774	0	0,015976	0,001841	0	0,973356	5,32E-05
G4.22	EA:80 | CS:60/28 | IE:0/73/263| OC:17/10 | VR:40/100/10|CC:-95	0,034026	0,093516	0,733216	0,003362	0,014773	0,022024	0,893811	0,06576	0	0,00027
G4.26	EA:80 | CS:60/28 | IE:73/60/263| OC:25/25 | VR:50/200/10|CC:-80	0,034243	0,089498	0,723269	0,004278	0,013582	0,025552	0,876651	0,064035	0,015619	0,000284
G4.24	EA:80 | CS:60/28 | IE:73/60/263| OC:25/17 | VR:40/100/10|CC:-80	0,034459	0,088155	0,718964	0,004224	0,013412	0,025233	0,865706	0,063235	0,027909	0,000281
G4.20	EA:80 | CS:60/28 | IE:60/0/263| OC:17/10 | VR:28/26/10|CC:-95	0,035353	0,0848	0,705768	0,003114	0,013685	0,020402	0,827988	0,060917	0,073643	0,00025
G4.23	EA:60 | CS:28/0 | IE:41/47/263| OC:17/0 | VR:40/0/10|CC:-80	0,04178	0,07105	0,629708	0,003055	0,100017	0,249107	0,306423	0,026751	0,313993	0,000654
G2.7	EA: 15/10/80 | CS: 50/28	0,044329	0,073501	0,623787	1,96E-06	9,48E-06	0,014212	0,008543	0,300412	0,676731	9,11E-05
G4.19	EA:60 | CS:28/0 | IE:47/0/0| OC:10/0 | VR:28/0/0|CC:-95	0,059654	0,085828	0,589955	0,001331	0,04906	0,120148	0,662573	0,165888	0,000406	0,000593
G4.21	EA:60 | CS:28/0 | IE:0/41/263| OC:10/0 | VR:40/0/0|CC:-95	0,059597	0,084818	0,587322	0,000826	0,049154	0,117873	0,66385	0,166207	0,001504	0,000585
G2.9	EA: 45/30/95 | CS: 50/50	0,05342	0,071531	0,572474	0	5,2E-06	0	0	0,206868	0,793127	0
G2.6	EA: 0/10/80 | CS: 27/28	0,050629	0,064057	0,558544	0,000132	5,63E-05	0,118843	0,320912	0,230302	0,329204	0,00055
G2.4	EA: 5/0/60 | CS: 27/28	0,053904	0,061683	0,533653	0,000138	0,006518	0,13706	0,359085	0,20317	0,293517	0,000512
G3.6	EA: 80 | CS: 100/55 | IE: 0/73/0	0,054216	0,060509	0,527425	0,001324	0,005819	0,008675	0,352063	0,200835	0,431114	0,000169
G2.3	EA: 0/0/0 | CS: 27/28	0,057399	0,063471	0,525121	0,03106	0,032161	0,19361	0,388177	0,179181	0,175136	0,000674
G2.2	EA: 0/0/40 | CS: 11/0	0,062027	0,068364	0,524302	0,010548	0,014706	0,220311	0,515368	0,15344	0,084812	0,000815
G2.1	EA: 0/0/40 | CS: 0/15	0,06338	0,067564	0,515975	0,010792	0,016327	0,205749	0,53199	0,146957	0,08742	0,000766
G4.10	EA:60 | CS:28/00 | IE:47/0/0| OC:10/0 | VR:28/0/0	0,063074	0,066866	0,514591	0,001191	0,043884	0,107473	0,592673	0,148387	0,105861	0,000531
G1.1	EA: 0/0/40 | CS: 0/15	0,065488	0,068949	0,512873	0,010108	0,040708	0,192715	0,549781	0,137648	0,068285	0,000755
G2.8	EA: 25/20/95 | CS: 27/60	0,054925	0,057818	0,512831	1,38E-06	5,97E-06	0,024609	0,209213	0,195684	0,570395	9,07E-05
G1.6	EA: 0/10/80 | CS: 27/28	0,062731	0,065817	0,512001	8,62E-05	0,044365	0,077411	0,599167	0,150013	0,128429	0,000529
Bau	BAU	0,067018	0,070234	0,511717	0,032494	0,038871	0,217501	0,524967	0,131435	0,053925	0,000807
G1.2	EA: 0/0/40 | CS: 11/0	0,065688	0,068729	0,511312	0,009405	0,040461	0,196437	0,546443	0,136812	0,069678	0,000764
G3.1	EA: 40 | CS: 26/0 | IE: 21/0/0	0,065143	0,067704	0,50964	0,009648	0,04114	0,1735	0,555618	0,139109	0,080283	0,000702
G4.25	EA:60 | CS:28/0 | IE:41/47/263| OC:25/0 | VR:50/0/10|CC:-80	0,061083	0,063361	0,509151	0,001429	0,046792	0,116541	0,631939	0,009395	0,193459	0,000446
G2.5	EA: 15/10/60 | CS: 11/15	0,0603	0,062377	0,508466	0,00012	0,005295	0,175471	0,472614	0,162353	0,183485	0,000661
G4.12	EA:60 | CS:28/0 | IE:00/41/263| OC:10/0 | VR:40/0/0	0,063499	0,065494	0,507732	0,000728	0,043299	0,103831	0,584767	0,146407	0,120453	0,000515
G1.7	EA: 15/10/80 | CS: 50/28	0,062679	0,064611	0,507588	9,79E-07	0,044439	0,007109	0,600161	0,150261	0,197818	0,000211
G1.3	EA: 0/0/0 | CS: 27/28	0,065276	0,066216	0,503577	0,024016	0,040974	0,149702	0,553365	0,138545	0,092782	0,000616

G4.1	EA:60 | CS:28/0 | IE:47/0/0| OC:10/0	0,063886	0,064548	0,502577	0,001161	0,042775	0,104756	0,577694	0,144636	0,128461	0,000517
G1.4	EA: 5/0/60 | CS: 27/28	0,063882	0,064235	0,501377	9,8E-05	0,042781	0,097588	0,577778	0,144657	0,136608	0,000489
G3.4	EA: 40 | CS: 26/0 | IE: 0/15/0	0,065685	0,065927	0,500921	0,009704	0,040465	0,170886	0,546498	0,136826	0,094929	0,000691
G3.2	EA: 60 | CS: 55/0 | IE: 47/0/0	0,064331	0,063366	0,496222	0,001145	0,042185	0,103312	0,56973	0,142642	0,140475	0,00051
G1.5	EA: 15/10/60 | CS: 11/15	0,065535	0,064067	0,494336	0,000102	0,040649	0,148556	0,548988	0,137449	0,123621	0,000635
G4.3	EA:60 | CS:28/0 | IE:0/41/263| OC:10/0	0,064749	0,062209	0,489996	0,0007	0,041643	0,09986	0,562402	0,140808	0,154093	0,000495
G4.13	EA:80 | CS:60/28 | IE:0/73/263| OC:17/10 | VR:40/100/10	0,057136	0,054553	0,488439	0,001192	0,00524	0,007811	0,317002	0,023323	0,645336	9,57E-05
G1.8	EA: 25/20/95 | CS: 27/60	0,064158	0,061136	0,487941	1,01E-06	0,042413	0,018036	0,572807	0,143413	0,223002	0,000328
G4.17	EA:80 | CS:60/28 | IE:73/60/263| OC:25/25 | VR:50/200/10	0,057326	0,054174	0,485865	0,001526	0,004846	0,009117	0,312801	0,022848	0,64876	0,000101
G4.18	EA:95 | CS:75/50 | IE:100/100/450 | OC:25/25 | VR:50/200/30	0,069256	0,065305	0,485318	0,000646	0	0,001176	0,000136	0	0,998039	3,92E-06
G3.5	EA: 60 | CS: 55/0 | IE: 0/41/0	0,065246	0,061007	0,483213	0,000689	0,041011	0,098346	0,553876	0,138673	0,166917	0,000488
G4.15	EA:80 | CS:60/28 | IE:73/60/263| OC:25/17 | VR:40/100/10	0,058522	0,053103	0,475726	0,001465	0,00465	0,008748	0,300143	0,021924	0,662973	9,73E-05
G1.9	EA: 45/30/95 | CS: 50/50	0,066397	0,060157	0,475349	0	0,039602	0	0,534838	0,133907	0,291514	0,000139
G4.4	EA:80 | CS:60/28 | IE:0/73/263| OC:17/10	0,061589	0,050712	0,451571	0,001026	0,004509	0,006722	0,272816	0,020072	0,694772	8,24E-05
G4.9	EA:95 | CS:75/50 | IE:100/100/450 | OC:25/25	0,07743	0,063717	0,451422	0,000517	0	0,000941	0,000108	0	0,998431	3,13E-06
G4.8	EA:80 | CS:60/28 | IE:73/60/263| OC:25/25	0,062584	0,049695	0,442601	0,001281	0,004066	0,00765	0,26245	0,019171	0,705298	8,51E-05
G4.6	EA:80 | CS:60/28 | IE:73/60/263| OC:25/17	0,062977	0,049383	0,439506	0,001265	0,004015	0,007554	0,259182	0,018932	0,708967	8,4E-05
G4.11	EA:80 | CS:60/28 | IE:60/0/263| OC:17/10 | VR:28/26/10	0,065094	0,047985	0,424348	0,000919	0,004037	0,006018	0,244229	0,017969	0,726756	7,38E-05
G3.9	EA: 95 | CS: 100/100 | IE: 100/100/450	0,085852	0,063157	0,423848	0,00042	0	0,000765	8,82E-05	0	0,998724	2,55E-06
G4.2	EA:80 | CS:60/28 | IE:60/0/263| OC:17/10	0,068408	0,045649	0,400229	0,000832	0,003655	0,005449	0,221136	0,01627	0,752592	6,68E-05
G3.3	EA: 80 | CS: 100/55 | IE: 60/0/263	0,072204	0,04328	0,374771	0,000747	0,003281	0,004891	0,198498	0,014604	0,777919	6E-05
G3.8	EA: 80 | CS: 100/55 | IE: 60/73/263	0,073321	0,042407	0,366436	0,000933	0,002962	0,005573	0,19121	0,013967	0,785293	6,2E-05
G4.16	EA:60 | CS:28/0 | IE:41/47/263| OC:25/0 | VR:50/0/10	0,074677	0,042139	0,360731	0,000956	0,031306	0,077973	0,422804	0,006286	0,460377	0,000298
G4.7	EA:60 | CS:28/0 | IE:41/47/263| OC:25/0	0,076947	0,039439	0,338865	0,000901	0,029487	0,07344	0,398229	0,00592	0,491743	0,000281
G4.5	EA:60 | CS:28/0 | IE:41/47/263| OC:17/0	0,077602	0,038692	0,332708	0,000885	0,028991	0,072205	0,391532	0,005821	0,50029	0,000276
G4.14	EA:60 | CS:28/0 | IE:41/47/263| OC:17/0 | VR:40/0/10	0,077924	0,03833	0,329707	0,000878	0,028751	0,071609	0,3883	0,005773	0,504415	0,000274
G3.7	EA: 60 | CS: 100/0 | IE: 47/41/263	0,079389	0,036727	0,316295	0,000846	0,0277	0,068992	0,374105	0,005562	0,522532	0,000264

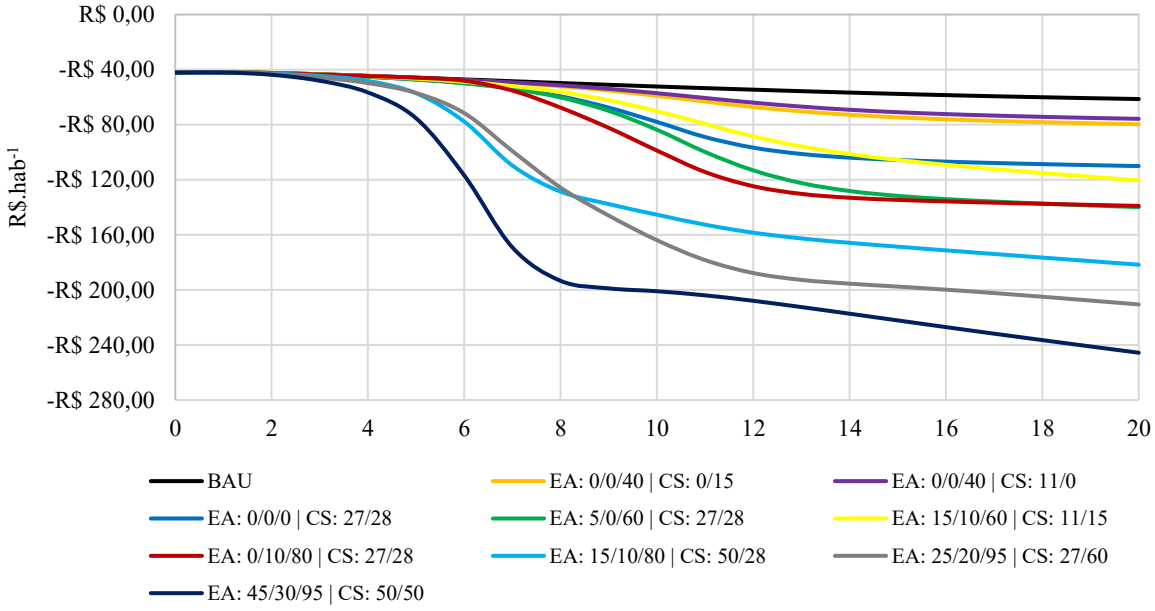
Fonte: Autoria própria. DIP: Distância Ideal Positiva; DIN: Distância Ideal Negativa; ST: Score TOPSIS; CCS: Contribuição positiva do comportamento de separação do RDO seco (%); CCV: Contribuição positiva do comportamento de separação da fração verde (%); CRS: Contribuição positiva da reciclagem de resíduos secos (t); CRV: Contribuição positiva da reciclagem da fração verde (t); CAE: Contribuição positiva do aproveitamento energético (t); CIF: Contribuição positiva do impacto financeiro (R$ ano^{-1}); CAS: Contribuição positiva da redução da disposição em aterro sanitário (t).

Figura 86 - Evolução temporal do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares recicláveis secos em diferentes cenários de estratégias de intervenção.



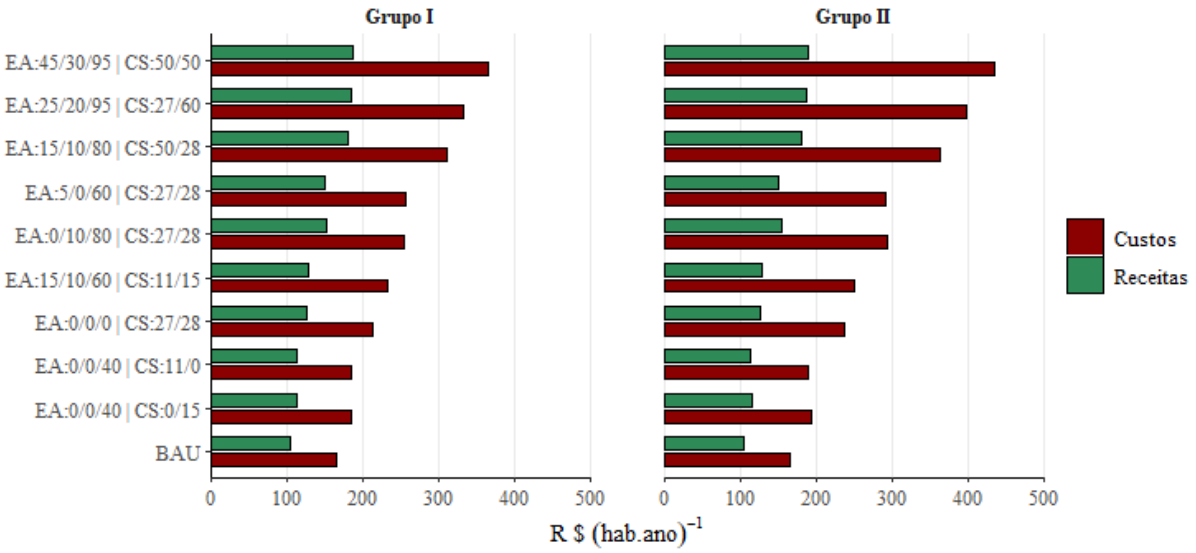
Fonte: Autoria própria. EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva (% da população atendida). EA: coletiva/individual/mídias. CS: porta a porta/pontos de entrega.

Figura 87 - Evolução temporal dos impactos financeiros do manejo de RDO recicláveis secos e verdes em diferentes cenários de estratégias de intervenção.



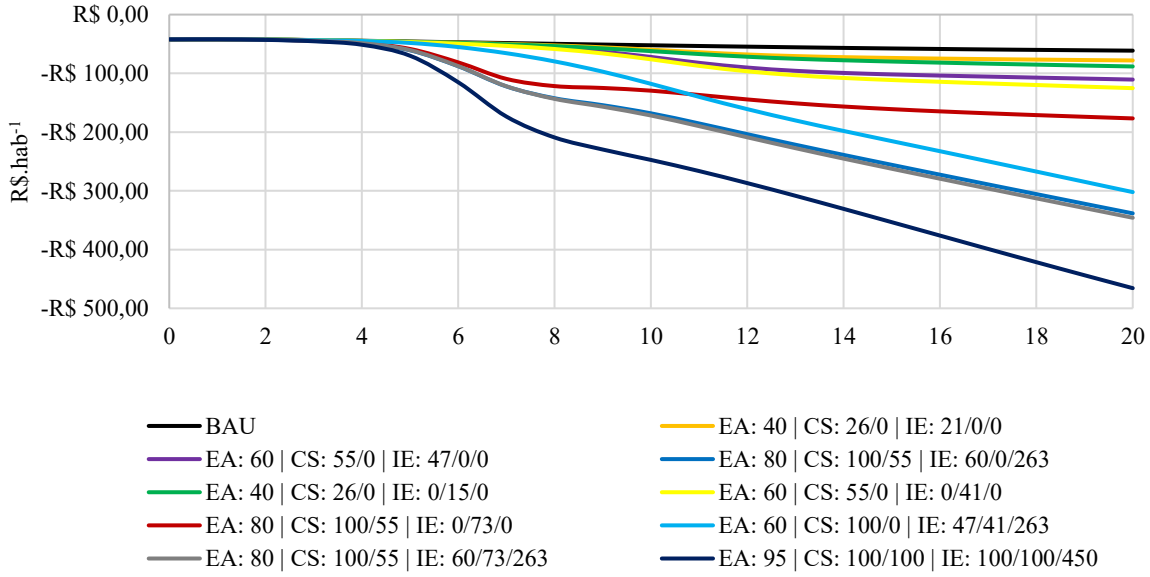
Fonte: Autoria própria. EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva (% da população atendida). EA: coletiva/individual/mídias. CS: porta a porta/pontos de entrega.

Figura 88 - Comparação do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares em diferentes cenários de intervenção: (a) resíduos recicláveis secos (Grupo I); e (b) resíduos recicláveis secos e verdes (Grupo II), considerando custos e receitas no ano final (ano).



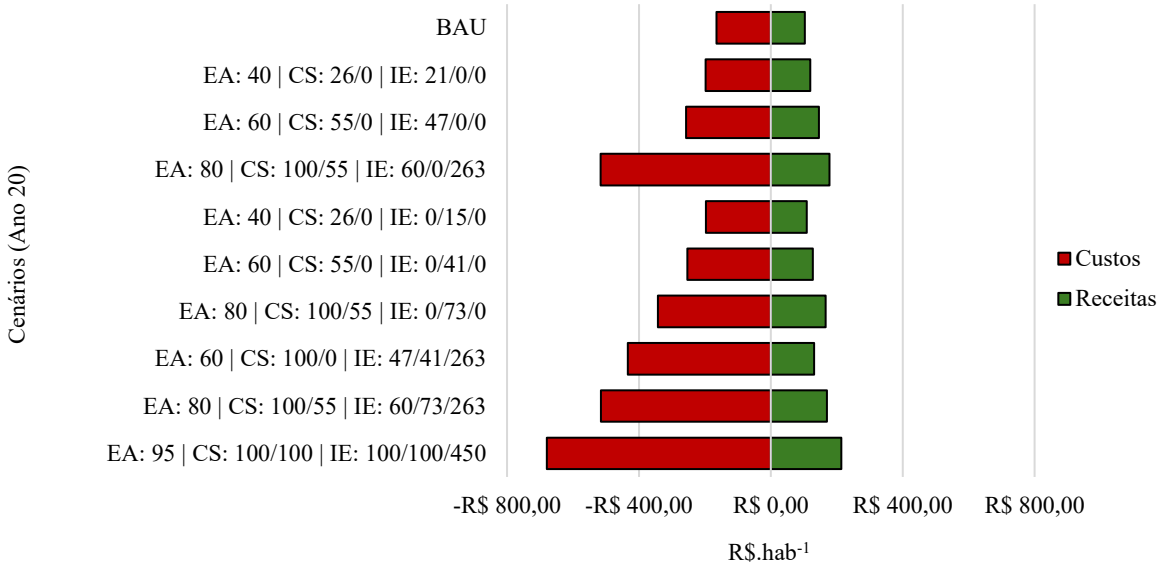
Fonte: Autoria própria. EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva (% da população atendida). EA: coletiva/individual/mídias. CS: porta a porta/pontos de entrega. R$.hab-1: Reais por habitante ano.

Figura 89 - Evolução temporal do impacto financeiro do manejo de resíduos domiciliares sob diferentes cenários com instrumentos econômicos.



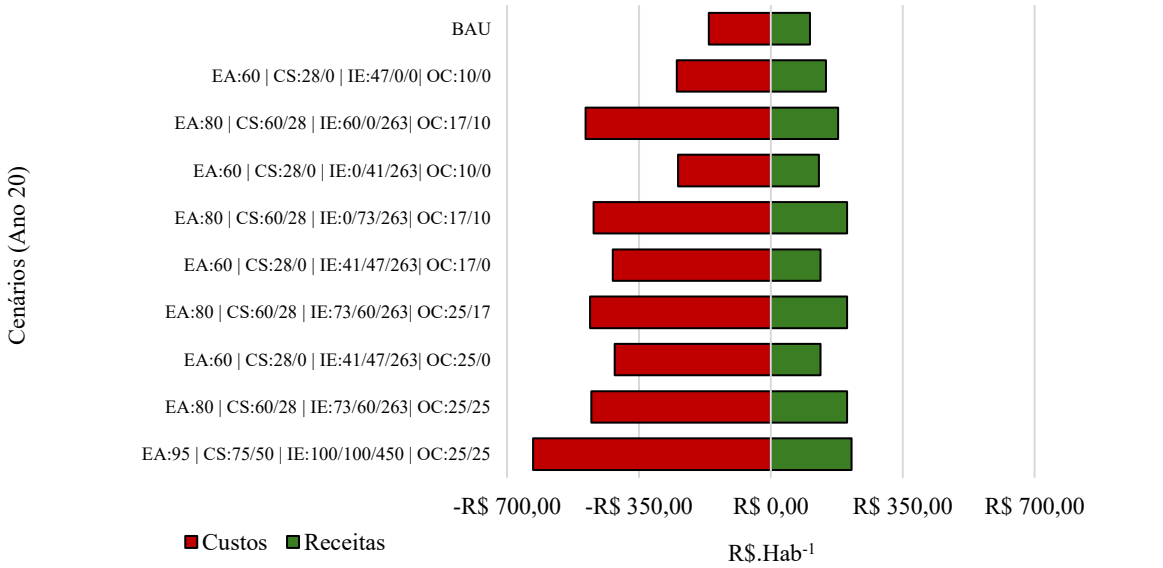
Fonte: Autoria própria. EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva mista nas modalidades porta a porta e por ponto (% da população atendida); IE: instrumento econômico (recompensa e cobrança: % da população atendia e taxa de aterro:% de aumento). EA: coletiva. CS: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. IE: recompensa/cobrança/taxa de aterro.

Figura 90 - Comparação entre custos e receitas do manejo de resíduos domiciliares no ano final da simulação (ano 20) sob diferentes cenários de implementação de instrumentos econômicos.



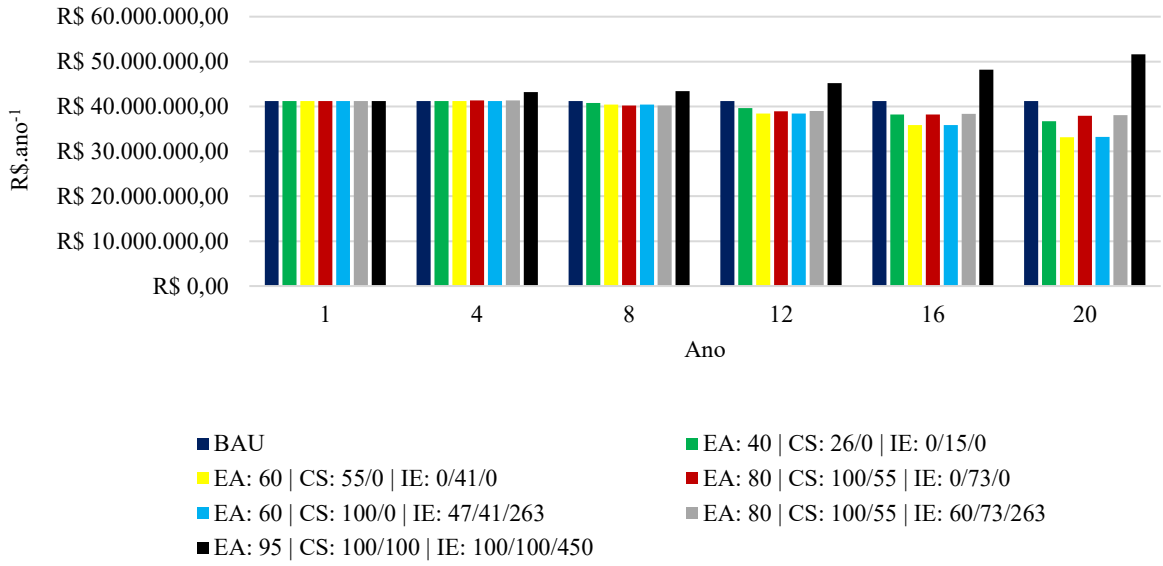
Fonte: Autoria própria. EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva mista nas modalidades porta a porta e por ponto (% da população atendida); IE: instrumento econômico (recompensa e cobrança: % da população atendia e taxa de aterro:% de aumento). EA: coletiva. CS: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. IE: recompensa/cobrança/taxa de aterro.

Figura 91 - Comparação entre custos e receitas do manejo de resíduos domiciliares no ano final da simulação (ano 20) sob diferentes cenários de otimização da coleta seletiva.



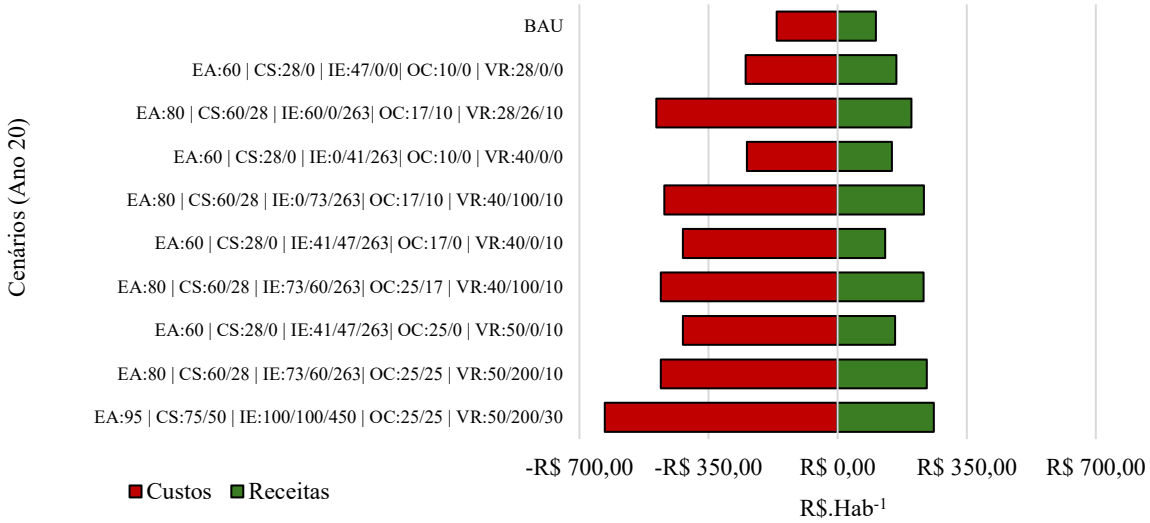
Fonte: Autoria própria. EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva mista nas modalidades porta a porta e por ponto (% da população atendida); IE: instrumento econômico (recompensa e cobrança: % da população atendia e taxa de aterro: % de aumento) e OC: otimização da coleta seletiva (% de redução dos custos). EA: coletiva. CS: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. IE: recompensa/cobrança/taxa de aterro. OC: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes.

Figura 92 - Evolução das receitas associadas à cobrança de resíduos (IPTU e PAYT) sob diferentes cenários.



Fonte: Autoria própria. EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva mista nas modalidades porta a porta e por ponto (% da população atendida); IE: instrumento econômico (recompensa e cobrança: % da população atendia e taxa de aterro: % de aumento). EA: coletiva. CS: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. IE: recompensa/cobrança/taxa de aterro.

Figura 93 - Comparação entre custos e receitas do manejo de resíduos domiciliares no ano final da simulação (ano 20) sob diferentes cenários de valorização de resíduos.



Fonte: Autoria própria. EA: educação ambiental (% da população atendida); CS: coleta seletiva mista nas modalidades porta a porta e por ponto (% da população atendida); IE: instrumento econômico (recompensa e cobrança: % da população atendia e taxa de aterro:% de aumento) e OC: otimização da coleta seletiva (% de redução dos custos). VR: valorização dos resíduos (% de aumento do valor de venda). EA: coletiva. CS: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. IE: recompensa/cobrança/taxa de Aterro. OC: resíduos recicláveis secos/resíduos verdes. VR: recicláveis secos/composto/combustível derivado de resíduos.