



Contributo para a Valorização Energética e Ambiental dos Resíduos Sólidos Urbanos de
São Tomé e Príncipe

Liliã da Fonseca e Silva Fernandes Batista – a39728

Dissertação apresentada à Escola Superior Tecnologia e Gestão de Bragança para
obtenção do Grau de Mestre em Energias Renováveis e Eficiência Energética

Orientado por:

João Paulo Miranda de Castro

Coorientador:

Artur Jorge de Jesus Gonçalves

Bragança, 2025



Contributo para a Valorização Energética e Ambiental dos Resíduos Sólidos Urbanos de
São Tomé e Príncipe

Liliã da Fonseca e Silva Fernandes Batista – a39728

Dissertação apresentada à Escola Superior Tecnologia e Gestão de Bragança para
obtenção do Grau de Mestre em Energias Renováveis e Eficiência Energética

Orientado por:

João Paulo Miranda de Castro

Coorientador:

Artur Jorge de Jesus Gonçalves

Bragança, 2025

Porque é d'Ele (Deus) que vem a força e a esperança maior “LUDMILLA”

Agradecimentos

Meu Pai do Céu, por lutar tanto tempo comigo, por não me deixar desistir e sempre me ensinar a sonhar, a viver, a valorizar o bom da vida.

Quero agradecer, e muito, ao meu orientador, Professor Doutor João Paulo Castro, por mais uma vez me apoiar e orientar durante esta dissertação, mas também pelos conhecimentos transmitidos durante o Mestrado. Aproveito, ainda, para agradecer a todos os Docentes que contribuíram de forma direta e/ou indireta na aprendizagem, porque estamos cá para aprender e também ensinar algo.

Não poderia deixar de agradecer ao Professor Doutor Luís Frolên pelo apoio e o facto, de não se esquecer da minha proposta inicial da dissertação. Também aproveito para agradecer a oportunidade e a disponibilidade do Professor Doutor Artur Gonçalves por se oferecer em ser o Coorientador esta tese, minha gratidão.

Em especial aos meus Pais (Miguel Batista e Margarida Batista) e restantes familiares, que embora longe, estão sempre perto e sempre me aconselharam a não desistir dos meus objetivos. Agradeço, também, a duas pessoas maravilhosas que a vida me presenteou, os meus Pais adotivos (Fernando Pereira e Paula Ribeiro) e a todos os meus amigos queridos.

Muito obrigada

A todos

Resumo

A gestão dos resíduos sólidos urbanos em São Tomé e Príncipe configura-se como um desafio estrutural de elevada complexidade, refletindo fragilidades institucionais, técnicas e infraestruturais que comprometem a eficiência dos sistemas de saneamento e o equilíbrio ambiental. Entre as principais limitações identificadas destacam-se a proliferação de lixeiras a céu aberto, a ausência de mecanismos de separação na origem, e a insuficiência de infraestruturas especializadas para o tratamento, valorização e disposição final dos resíduos. Estas deficiências resultam na intensificação de impactes ambientais e sociais, nomeadamente na degradação dos ecossistemas urbanos e na exposição das populações a riscos sanitários significativos. Não obstante, o contexto nacional revela um potencial considerável para a valorização energética e ambiental dos resíduos sólidos urbanos, em virtude da elevada fração orgânica que caracteriza a sua composição. O presente estudo tem como objetivo analisar criticamente o estado atual da gestão dos resíduos sólidos urbanos em São Tomé e Príncipe e propor um modelo de valorização sustentável, que baseia-se no aproveitamento de subprodutos agrícolas, mas priorize recursos energéticos renováveis e de origem local.

Estima-se que em São Tomé e Príncipe, os resíduos orgânicos dominam a composição dos RSU, mas apresentam baixo potencial energético face ao seu volume. Apesar de o plástico possuir um poder calorífico superior mais elevado, a elevada proporção de matéria orgânica faz com que ambas as frações apresentem contributos energéticos semelhantes no total anual produzido. Neste estudo apresentam-se várias propostas que visam contribuir para o desenvolvimento de estratégias integradas de gestão, promotoras de uma transição para a economia circular e da redução dos impactes ambientais, reforçando, assim, a resiliência dos sistemas urbanos insulares face às dinâmicas contemporâneas de sustentabilidade.

Palavras-Chave: São Tomé e Príncipe, Resíduos Sólidos Urbanos, Valorização Energética e Ambiental, Economia Circular, Energia Renovável.

Abstract

The management of municipal solid waste in São Tomé and Príncipe is a highly complex structural challenge, reflecting institutional, technical and infrastructural weaknesses that compromise the efficiency of sanitation systems and environmental balance. Among the main limitations identified are the proliferation of open dumps, the absence of mechanisms for separation at source, and the lack of specialised infrastructure for the treatment, recovery and final disposal of waste. These deficiencies result in intensified environmental and social impacts, namely the degradation of urban ecosystems and the exposure of populations to significant health risks. Nevertheless, the national context reveals considerable potential for the energy and environmental recovery of municipal solid waste, due to the high organic fraction that characterises its composition. The present study aims to critically analyse the current state of urban solid waste management in São Tomé and Príncipe and propose a sustainable recovery model based on the use of agricultural by-products, but prioritising renewable and locally sourced energy resources. It is estimated that in São Tomé and Príncipe, organic waste dominates the composition of MSW, but has low energy potential in relation to its volume. Although plastic has a higher calorific value, the high proportion of organic matter means that both fractions make similar energy contributions to the total annual output. This study presents several proposals aimed at contributing to the development of integrated management strategies that promote a transition to a circular economy and reduce environmental impacts, thereby strengthening the resilience of urban island systems in the face of contemporary sustainability dynamics.

Keywords: São Tomé and Príncipe, Municipal Solid Waste, Energy and Environmental Recovery, Circular Economy, Renewable Energy.

Lista de Abreviaturas

AVALER - Associação das Entidades de Valorização Energética de Resíduos Sólidos Urbanos

ALER - Associação Lusófona de Energias Renováveis

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APP - Aplicação ou Aplicativo

BAD - Banco Africano de Desenvolvimento

CDAG – Câmara Distrital de Água Grande

CML - Câmara Municipal de Lisboa

DGRNE - Direção Geral dos Recursos Naturais e Energia

DGS - Direção Geral da Saúde

EA - Educação Ambiental

EEA - Agência Europeia do Ambiente

EMAE – Empresa de Água e Eletricidade de São Tomé e Príncipe

ESE - Empresa de Soluções Ecológicas

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

INE-STP - Instituto Nacional de Estatística de São Tomé e Príncipe

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONG - Organização Não Governamental

PCS - Poder Calorífico Superior

PNGIRSU - Plano Nacional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

POPs - Poluentes Orgânicos Persistentes

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

STP - São Tomé e Príncipe

TESE - Associação para o Desenvolvimento

UCCLA - União das Cidades Capitais de Língua Portuguesa

UE - União Europeia

UNIDO - Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

Índice Geral

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Lista de Abreviaturas	vi
Índice de Tabelas	xi
Índice de Figuras	xii
Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Objetivo Geral.....	2
1.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Estrutura da Tese.....	3
Capítulo 2 Revisão Bibliográfica	5
2.1 Resíduos.....	6
2.2 Tipos de Resíduos	6
2.3 Legislação sobre Resíduos.....	7
2.4 Gestão de Resíduos	8
2.4.1 Separação e Armazenamento na Origem	8
2.4.2 Recolha e Transporte.....	9
2.4.3 Processamento dos Resíduos.....	17
2.5 Valorização Energética e Ambiental	18
2.5.1 Tecnologia de Valorização Energética de Resíduos Sólidos Urbanos.....	19
2.6 Economia Circular	29
2.7 Educação Ambiental	31
2.7.1 Escolas.....	31
2.7.2 Igrejas	32
2.7.3 Palestras Comunitárias	32

2.8	Propostas Futuras para Redução dos Resíduos	33
2.8.1	Redução do Uso de Plásticos Descartáveis	34
2.8.2	Promoção do Consumo Responsável e da Venda a Granel	34
2.8.3	Avaliação de Alternativas Sustentáveis aos Sacos Plásticos	34
2.8.4	Redução do Desperdício Alimentar	35
Capítulo 3 Metodologia		37
3.1	Área de Estudo	37
3.2	Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos em São Tomé e Príncipe.....	38
3.3	Quantificação da Produção de Resíduos Sólidos Urbanos	40
3.4	Tipologias de Resíduos Sólidos Urbanos em São Tomé e Príncipe.....	42
3.5	Quantificação do Potencial Energético dos RSU em São Tomé e Príncipe.....	43
3.6	Plano Estratégico de Logística para a Otimização da Recolha e do Transporte de RSU nas Igrejas de São Tomé e Príncipe.....	43
Capítulo 4 Resultados e Discussão		46
4.1	Valorização Estratégicas de Redução de Resíduos Sólidos Urbanos.....	46
4.1.1	Reciclagem de vidro.....	46
4.1.2	Reciclagem de plástico, metal e papel ou cartão.....	47
4.1.3	Potencial para Compostagem Doméstica em São Tomé e Príncipe	48
4.1.4	Distribuição Populacional e Solução na Gestão de Resíduos por Distrito em São Tomé e Príncipe.....	49
4.1.5	Solução Energética para os Resíduos.....	50
4.2	Reflexão sobre a Criação de Central de Incineração em São Tomé e Príncipe	53
4.2.1	Alternativas sobre a Produção de Energia.....	54
4.3	Desafios e Evolução da Produção de Energia em São Tomé e Príncipe.....	55
Capítulo 5 Conclusão		58
Referências Bibliográficas.....		59

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tipo de Resíduos e as Implicações (Fonte: Silva, 2022)	10
Tabela 2: Vantagens e Desvantagens dos Processos Térmicos de Valorização Energética de Resíduos (Fonte: Yousaf et al., 2023)	24
Tabela 3: Vantagens e Desvantagens dos Processos Bioquímicos de Valorização Ambiental de Resíduos (Fonte: United States Environmental Protection Agency, 2025)	29
Tabela 4: Comparativo da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos entre São Tomé e Príncipe e Portugal (Fonte: DGRNE, 2019)	43
Tabela 5: Plano Semanal de Recolha de RSU por Distrito (Fonte: ESE, 2024).....	44
Tabela 6: Distribuição da População em São Tomé e Príncipe	50
Tabela 7: Cálculo de Energias Térmica e Elétrica dos Resíduos Orgânicos	51
Tabela 8: Cálculo de Energias Térmica e Elétrica do Papel e Cartão.....	52
Tabela 9: Cálculo de Energias Térmica e Elétrica dos Plásticos	52
Tabela 10: Cálculo de Energias Térmica e Elétrica dos Outros Resíduos Mistos.....	53
Tabela 11: Centrais de Eletricidade em São Tomé e Príncipe (Fonte: EMAE).....	56

Índice de Figuras

Figura 1: Diversos contentores para separar e armazenar os resíduos	9
Figura 2: Cidade mais limpa.....	12
Figura 3: Viaturas de recolha de resíduos com compactação	13
Figura 4: Viaturas de recolha seletiva de resíduos de trifluxe.....	14
Figura 5: Viaturas e equipamentos para a limpeza do espaço público	14
Figura 6: Viatura específica para a recolha e o transporte de RSU em São Tomé e Príncipe	15
Figura 7: Viatura comum que recolhe e transportar RSU em São Tomé e Príncipe.....	17
Figura 8: Esquema de incineração com recuperação de energia	20
Figura 9: Diagrama de incineração com recuperação de energia na LIPOR II.....	21
Figura 10: Etapa do processo de Pirólise.....	23
Figura 11: Etapa do processo de Gaseificação	24
Figura 12: Esquema do processo de Digestão Anaeróbia.....	26
Figura 13: Processo de Digestão Anaeróbia	27
Figura 14: Ciclo da Compostagem	28
Figura 15: Modelo de economia circular.....	30
Figura 16: Educação ambiental no ensino primário	32
Figura 17: Projeto do bairro limpo	33
Figura 18: Pedido e a recolha do serviço Too Good To Go.....	36
Figura 19: Localização geográfica de São Tomé e Príncipe.....	38
Figura 20: Localização da Lixeira da Penha	39
Figura 21: Queima de resíduos a céu aberto.....	40
Figura 22: Percentual da população de São Tomé e Príncipe.....	42
Figura 23: Venda do milho, reciclando plástico e lata.....	48
Figura 24: Produção Diária dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	54
Figura 25: Produção Elétrica com Solução da Incineração dos RSU.....	54
Figura 26: Central Energética de Santo Amaro em São Tomé e Príncipe	56

Capítulo 1 Introdução

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) constitui um dos maiores desafios ambientais enfrentados pelas sociedades contemporâneas. O aumento da população, o crescimento económico e o padrão de consumo intensivo têm conduzido à produção crescente de resíduos. De acordo com o Banco Mundial (2018), a produção mundial de resíduos tem vindo a atingir níveis sem precedentes, ultrapassando os dois mil milhões de toneladas anuais e com previsões de crescimento para 3,4 mil milhões até 2050, cuja gestão inadequada compromete o equilíbrio ambiental e a saúde pública. Embora a problemática seja global, as suas dimensões e impactes variam conforme o nível de desenvolvimento económico e a capacidade institucional de cada região.

Na Europa, nas últimas décadas, têm sido implementadas políticas e estratégias voltadas para a economia circular, privilegiando a reciclagem, a reutilização e a compostagem. Esses mecanismos permitem reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterros, promovendo a valorização de materiais e a sustentabilidade ambiental. Apesar dos avanços, ainda subsistem desafios, como o elevado consumo de recursos e a produção contínua de lixo, que exigem uma adaptação constante das políticas de gestão (Comissão Europeia, 2020).

Em contrapartida, em grande parte do continente africano, a situação é mais crítica. Muitos países enfrentam carência de infraestruturas adequadas, ausência de políticas públicas eficazes e limitações financeiras e técnicas que dificultam a recolha, o tratamento e a eliminação dos resíduos (Programa das Nações Unidas para o Ambiente – PNUMA, 2018). O descarte a céu aberto, a queima descontrolada e a inexistência de sistemas de reciclagem e compostagem são práticas comuns, com sérias consequências ambientais e sanitárias. Estas condições refletem a necessidade urgente de promover modelos de gestão sustentáveis e adaptados à realidade africana.

No caso específico de São Tomé e Príncipe, a problemática revela-se ainda mais evidente. A maioria dos resíduos sólidos é depositada a céu aberto, sem qualquer tratamento, o que provoca poluição do solo e das águas, além de representar riscos diretos à saúde da população.

A inexistência de um sistema estruturado de recolha e valorização dos resíduos, associada à falta de sensibilização ambiental e de recursos técnicos, dificulta o desenvolvimento de soluções eficazes. Esta situação evidencia a urgência de elaborar e implementar estratégias integradas de gestão de resíduos sólidos urbanos, capazes de conciliar proteção ambiental, inclusão social e desenvolvimento económico sustentável (Ministério do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2018).

Assim, a análise da problemática dos resíduos sólidos urbanos na Europa, em África e particularmente em São Tomé e Príncipe permite compreender as desigualdades regionais, identificar boas práticas internacionais e propor medidas adaptadas à realidade local, de modo a promover uma gestão ambiental mais eficiente e sustentável (Banco Mundial, 2018).

Deste modo, o estudo justifica-se pela necessidade de propor soluções técnicas e sustentáveis para o contexto de São Tomé e Príncipe, privilegiando a eficiência energética, a preservação ambiental e a inclusão social. Pretende-se contribuir para a definição de um modelo integrado de gestão de resíduos sólidos urbanos que possa servir de base a políticas públicas e projetos futuros de valorização e aproveitamento energético.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese é analisar o sistema de gestão de resíduos em São Tomé e Príncipe e compreender, de forma abrangente, como os resíduos são produzidos, recolhidos, transportados, tratados e dispostos no território nacional, tendo em conta a referência europeia, particularmente a de Portugal. Este estudo permite identificar as fragilidades estruturais, técnicas e institucionais que afetam a eficiência do sistema atual e comprometem a sustentabilidade ambiental e a saúde pública.

Ao avaliar o modelo de recolha, pretende-se observar os métodos de recolha praticados, a frequência, o tipo de contentores disponíveis, a abrangência geográfica do serviço, bem como as condições logísticas e operacionais das entidades responsáveis (como municípios e empresas privadas).

Esta análise é essencial para verificar se o modelo vigente é adequado às características urbanas e demográficas do país, ou se necessita de reestruturação e modernização.

A caracterização e quantificação dos resíduos produzidos constitui outra dimensão crucial. Implica identificar os tipos predominantes de resíduos (orgânicos, recicláveis,

perigosos, industriais, hospitalares, etc.), a origem dos mesmos (doméstica, comercial, institucional) e as quantidades produzidas por habitante/dia. Esses dados são fundamentais para definir políticas de gestão adequadas, projetar infraestruturas e determinar o potencial de valorização energética.

A identificação de estratégias de valorização energética tem como finalidade explorar alternativas tecnológicas e sustentáveis que permitam transformar resíduos em fontes de energia (por exemplo, através de biogás, incineração controlada). Esta abordagem procura não apenas reduzir a quantidade de resíduos destinados às lixeiras a céu aberto, mas também gerar benefícios energéticos e económicos, promovendo uma transição para uma economia circular.

1.2 Objetivos Específicos

- Avaliação do modelo de gestão de resíduos,
- Avaliação do modelo de recolha,
- Caracterização e quantificação dos resíduos produzidos,
- Análise estratégica das opções de gestão com o foco na valorização energética.

1.3 Estrutura da Tese

Esta tese em Engenharia de Energias Renováveis e Eficiência Energética encontra-se estruturada em cinco capítulos.

O Capítulo 1 Introdução, introduz a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos (RSU) em São Tomé e Príncipe, justificando a ausência de uma estrutura adequada para a recolha e transporte de resíduos indiferenciados, e apresentando os objetivos de avaliação do modelo de recolha, bem como a caracterização e quantificação dos resíduos produzidos e a estrutura da tese.

O Capítulo 2 Revisão Bibliográfica, explora a gestão de resíduos desde a produção até a deposição final, valorização energética e ambiental dos resíduos, incluindo a digestão anaeróbia, a compostagem, a incineração, a pirólise e a gaseificação, além de avaliar as melhores estratégias para a redução dos resíduos, a recolha e o transporte, avaliando a logística do serviço.

O Capítulo 3 Metodologia, analisa a metodologia aplicada, destacando o enquadramento geográfico e a área de estudo referentes à deposição final dos resíduos, salientando ainda

a importância da sensibilização a comunidade através da educação ambiental, desde a escola até à igreja, e avaliando as estratégias de gestão com foco na valorização energética e estratégias para a melhoria da recolha.

No Capítulo 4 Resultados e Discussão, apresentam-se as quantificações da produção dos RSU com base da população atual, assim como propostas da incineração para a melhoria da produção elétrica, identificando as fragilidades existentes e a necessidade de maior eficiência.

Por fim, o Capítulo 5 Conclusão, expõe as conclusões, refletindo sobre a situação atual e propondo melhorias para a gestão sustentável dos resíduos em São Tomé e Príncipe.

Capítulo 2 Revisão Bibliográfica

A gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em países em desenvolvimento evidencia que os principais desafios resultam do rápido crescimento populacional, da urbanização acelerada e da falta de infraestruturas adequadas para a recolha e tratamento. Em São Tomé e Príncipe, estas limitações tornam-se ainda mais evidentes devido às restrições financeiras, tecnológicas e logísticas, conduzindo à manutenção de lixeiras a céu aberto e à adoção de um modelo linear de eliminação dos resíduos. Estudos internacionais demonstram que esta prática acarreta impactes ambientais significativos, nomeadamente contaminação de solos e recursos hídricos, emissões de metano e riscos para a saúde pública.

A valorização energética como uma alternativa estratégica, alinhada aos princípios da economia circular, que permite transformar resíduos em recursos úteis. Tecnologias como a incineração com recuperação de energia, a pirólise, a gaseificação, a digestão anaeróbia e a compostagem aeróbia têm sido amplamente estudadas, revelando capacidade para reduzir o volume de resíduos enviados para aterro, gerar energia e diminuir emissões poluentes. A compostagem destaca-se igualmente como uma solução ambientalmente relevante, sobretudo em contextos onde a fração orgânica é predominante, contribuindo para a melhoria da fertilidade dos solos.

Em países insulares e de pequena dimensão, como São Tomé e Príncipe, reforça a necessidade de soluções adaptadas ao contexto local, tecnicamente viáveis e economicamente sustentáveis. Sublinha ainda que a implementação de unidades de valorização energética deve integrar políticas abrangentes de gestão dos resíduos, programas de sensibilização ambiental, melhorias estruturais na recolha e estímulos à reciclagem.

De forma geral, o corpo teórico consultado demonstra que a valorização energética e ambiental dos RSU constitui uma oportunidade para promover a sustentabilidade, reforçar a segurança energética e melhorar as condições ambientais. No caso de São Tomé e Príncipe, a adoção destas abordagens poderá impulsionar a transição de um sistema baseado na deposição inadequada para um modelo mais eficiente, moderno e ambientalmente responsável.

2.1 Resíduos

Resíduos são quaisquer matérias, substâncias ou objetos que perderam a sua utilidade para quem o produz ou utiliza, e precisam de ser descartados ou tratados de forma adequada. As atividades humanas são predominantes na produção de resíduos, sejam eles domésticos, industriais, agrícolas ou provenientes dos serviços de saúde.

Diante dessa vasta e diversificada geração de materiais descartados, a gestão eficaz e sustentável dos resíduos torna-se um dos maiores desafios ambientais da atualidade, impondo a necessidade de classificar os diferentes tipos de resíduos e de aplicar métodos de tratamento distintos (Reno, 2015).

2.2 Tipos de Resíduos

No âmbito dos resíduos, existe uma regulamentação que abrange os resíduos urbanos e dos resíduos não urbanos, nomeadamente os resíduos hospitalares e industriais, incluindo os resíduos perigosos, (APA, 2021).

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) correspondem aos resíduos gerados pelas atividades domésticas da população, bem como pelos estabelecimentos comerciais, de serviços e outros que, pela sua natureza e composição, sejam semelhantes aos resíduos domésticos. São exemplos resíduos comuns do dia a dia, como restos de alimentos, embalagens, papel, plástico e outros materiais descartados nas habitações.

Os Resíduos Industriais são materiais resultantes dos processos e das atividades de produção do setor industrial. A sua caracterização e composição variam consoante o tipo de indústria e os processos produtivos envolvidos, por exemplo, sobras de tecidos, resíduos químicos e lamas industriais.

Os Resíduos de Serviços de Saúde são gerados em unidades hospitalares, institutos de investigação, institutos veterinários e laboratórios devido às atividades de diagnóstico, tratamento, vacinação, prevenção de doenças e investigação biomédica, como defende a Direção Geral da Saúde (DGS, 2020). Incluem-se neste grupo materiais como seringas usadas, pensos, luvas descartáveis e todos os resíduos contaminados provenientes dessas unidades de saúde.

2.3 Legislação sobre Resíduos

No âmbito da legislação da União Europeia, em 2018, foi atualizado o quadro jurídico em matéria de gestão de resíduos através de um conjunto de Diretivas, nomeadamente as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852. Estas revisões, conforme defende o Diário da República, n.º 239/2020, abrangeram instrumentos relativos aos veículos em fim de vida (VFV), pilhas e acumuladores, resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE), deposição de resíduos em aterros, ao regime geral de resíduos e, por fim, às embalagens e respetivos resíduos.

Perante esta atualização europeia, Portugal verificou a necessidade de rever e articular a sua legislação interna, nomeadamente o Regime Geral da Gestão de Resíduos (RGGR), o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e o regime jurídico da gestão de fluxos específicos de resíduos (Decreto-Lei n.º 152-D/2017).

O Decreto-Lei centra-se na atualização do Decreto-Lei n.º 152-D/2017, procedendo à transposição para a ordem jurídica portuguesa das alterações introduzidas pelas Diretivas (UE) 2018/849 a (UE) 2018/852. Estas dizem respeito aos seguintes fluxos específicos de resíduos em Portugal: embalagens e resíduos de embalagens, veículos em fim de vida, pilhas e acumuladores e respetivos resíduos, bem como resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE).

Entre as medidas legais em vigor na legislação em São Tomé e Príncipe destaca-se a Lei n.º 8/2020, que proíbe a produção, importação, comercialização e distribuição de sacos de plástico não biodegradáveis, como defende São Tomé e Príncipe (2020), este é um passo relevante na redução da poluição plástica. De acordo com MOPIIRNMA (2011). (2011), anteriormente, foi implementado o Plano de Ação para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (PAGIRSU 2011–2016), que estabeleceu diretrizes para o aumento da cobertura de recolha, tratamento e destino final dos RSU.

Apesar desses avanços, persistem grandes limitações, como a ausência de infraestruturas adequadas como aterros sanitários e centrais de triagem, uma gestão deficiente de resíduos perigosos e uma baixa taxa de reciclagem e de recolha seletiva. Projetos desenvolvidos com apoio de organizações como a UCCLA e a ONG TESE têm procurado reforçar a capacidade institucional e promover práticas sustentáveis de gestão de resíduos.

2.4 Gestão de Resíduos

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (2021), a gestão de resíduos assenta numa hierarquia que privilegia, em primeiro lugar, a prevenção, seguida da redução, reutilização, reciclagem, valorização e, apenas como última opção, a eliminação. O conceito de gestão de resíduos refere-se ao conjunto de ações e procedimentos que abrangem todo o ciclo de vida dos resíduos, desde a sua geração até à disposição final. Este processo integra-se num sistema mais amplo de políticas e práticas orientadas para o aproveitamento eficiente dos RSU, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde pública. Além disso, a gestão de resíduos promove a redução, reutilização e reciclagem, assegurando que todo o processo decorre de forma sustentável, eficiente e ambientalmente responsável.

2.4.1 Separação e Armazenamento na Origem

De acordo com Tchobanoglous & Kreith (2002), a eficiência do sistema de gestão de resíduos depende diretamente da forma como estes são separados e armazenados no local de produção. Nesta etapa de separação e armazenamento na origem, é essencial compreender a procedência dos resíduos e a importância de uma gestão integrada eficaz. Trata-se de um momento crucial em que o produtor de resíduos, seja um cidadão, uma empresa ou uma instituição, assume um papel ativo na separação e no armazenamento adequado dos materiais.

A importância desta fase reside no facto de que uma separação eficiente melhora a qualidade dos resíduos recicláveis, reduz os custos operacionais e minimiza os impactos ambientais associados ao tratamento e eliminação. Além disso, um armazenamento adequado assegura condições de higiene e segurança, evitando riscos para a saúde pública e para o meio ambiente.

Após esta separação, os resíduos são encaminhados para os destinos mais adequados, como a reciclagem, compostagem, valorização energética ou deposição final. Antes desse encaminhamento, devem ser colocados nos contentores correspondentes a cada tipo de resíduo, como mostra na Figura 1, azul para papel e cartão, verde para vidro, amarelo para plástico e metal, castanho para resíduos orgânicos e vermelho para pilhas.



Figura 1: Diversos contentores para separar e armazenar os resíduos

Fonte: (Biofactor, 2024)

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2024), os contentores de duas rodas possuem uma capacidade que varia entre 60 e 360 litros, enquanto os contentores de quatro rodas disponibilizam capacidades entre 660 e 1100 litros. Estes modelos em polietileno são os mais comuns, embora também existam contentores subterrâneos, com capacidades que variam entre 800 e 5000 litros, os quais se adaptam eficazmente a diferentes tipos de resíduos e frequências de recolha (Lasso Eco Innovation, 2016).

2.4.2 Recolha e Transporte

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (2025), a fase de recolha e transporte de resíduos é estrategicamente importante por ter impactes ambientais, económicos e sociais. Uma má recolha causa poluição e prejudica a reciclagem; o transporte produz emissões de gases poluentes (Tabela 1). Economicamente, é a parte mais cara da gestão de resíduos, afetada pela mão de obra e logística. Socialmente, uma recolha eficiente garante saúde pública e qualidade de vida.

Tabela 1: Tipo de Resíduos e as Implicações (Fonte: Silva, 2022)

Tipo de Recolha	Descrição	Vantagens	Desafios
Indiferenciada	O lixo é misturado (orgânico, papel, plástico, etc.) em contentores comuns.	Simples e de baixo custo inicial.	Máximo desperdício de recursos; o resíduo tem de ser tratado (separado ou enviado para aterro/valorização energética).
Seletiva (Ecopontos)	O cidadão separa as frações valorizáveis (papel, vidro, plástico/metálico) em ecopontos na via pública.	Essencial para a reciclagem; permite a valorização de fluxos específicos.	Dependente da adesão do público; risco de "contaminação" (resíduos incorretos misturados); necessita de uma rede de ecopontos adequada.
Porta-a-Porta (PaP)	Os resíduos, indiferenciados ou já separados (seletiva PaP), são recolhidos junto à habitação ou estabelecimento em dias e horários definidos.	Aumenta drasticamente as taxas de separação e a qualidade do material.	Maior custo operacional; exige planeamento logístico complexo; exige maior disciplina dos cidadãos.
Biorresíduos (Orgânicos)	Recolha separada de restos de comida, aparas e podas, obrigatória em Portugal a partir de 2024.	Permite a produção de composto de qualidade ou biogás (valorização energética).	Necessita de contentores e logística dedicados; o resíduo orgânico é pesado e húmido.

Segundo as Nações Unidas em Guiné-Bissau (2024), a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos na Guiné-Bissau, embora reconhecida como um desafio significativo, constitui uma oportunidade para impulsionar mudanças estruturais e promover o desenvolvimento sustentável. O reconhecimento das fragilidades do sistema permite priorizar o saneamento nas agendas política e local, bem como mobilizar financiamento e assistência técnica de parceiros internacionais.

O país encontra-se numa posição favorável para adotar soluções inovadoras, sobretudo devido ao elevado peso dos resíduos orgânicos, que potencia a compostagem e a produção de biofertilizantes. Paralelamente, existe margem para modernizar infraestruturas, como aterros sanitários controlados e sistemas de compostagem descentralizada.

Os benefícios sociais e ambientais são imediatos: o desafio estimula o envolvimento cívico, incentiva o empreendedorismo no setor da reciclagem, contribui para a redução de vetores de doenças e protege os recursos hídricos e os solos. Assim, a atual situação funciona como um catalisador para a criação de um sistema de gestão de resíduos mais sustentável, resiliente e inclusivo na Guiné-Bissau (Figura 2).



Figura 2: Cidade mais limpa

Fonte: (Nações Unidas em Guiné-Bissau, 2024)

Em Portugal e na maioria dos países da Europa utiliza-se uma frota diversificada de veículos para gerir os resíduos sólidos urbanos, adaptando-se ao tipo de resíduo, volume e destino. A escolha do camião certo contribui para uma gestão de resíduos mais eficiente, higiénica e sustentável. De acordo com Morais (2019), os camiões para RSU, realizam a recolha de resíduos diariamente nas diversas cidades e vilas de Portugal. Esta categoria inclui também veículos dedicados à limpeza urbana e ao saneamento de esgotos, como varredoras, varredores mecânicos e camiões-cisterna equipados com bombas de aspiração ou vácuo, outro tipo de equipamento enquadrado na categoria de RSU é o lavador-despolvilhador de contentores, seja de carga traseira ou lateral.

Viaturas de recolha de resíduos com compactação por placas, com capacidade entre 5 m³ e 21 m³, podem estar equipadas com grua para contentores enterrados, tremonha dinâmica ou fixa, sistemas de lavagem, desinfecção dos contentores, kit para resíduos orgânicos, diversos tipos de elevadores e sistema de pesagem de resíduos (Transtel, 2023). Estes tipos de viaturas são mais comuns na recolha dos resíduos (Figura 3).



Figura 3: Viaturas de recolha de resíduos com compactação

Fonte: (Transtel, 2023)

Segundo a Resíduos do Nordeste (2024), as viaturas de recolha seletiva de resíduos são concebidas para diferentes tipos de fluxos, incluindo sistemas bifluxo, trifluxo e tetrafluxo. Existem modelos específicos para resíduos orgânicos e vidro, bem como viaturas equipadas com compactadores, guas ou contentores com taipal hidráulico, adaptadas às necessidades da recolha seletiva. Por sua vez, as viaturas e os equipamentos destinados à limpeza do espaço público incluem soluções variadas, como viaturas de lavagem de ruas (em chassis ou elétricas), equipamentos específicos para a remoção de grafitis e limpeza de mobiliário urbano, sistemas de monda térmica para controlo de vegetação e limpa-bermas para manutenção de vias. Estes recursos visam garantir a higiene, a conservação e a estética dos espaços urbanos, podem ser observadas nas Figura 4 e Figura 5.



Figura 4: Viaturas de recolha seletiva de resíduos de trífalxo

Fonte: (Simopeças, 2025)



Figura 5: Viaturas e equipamentos para a limpeza do espaço público

Fonte: (Transtel, 2023)

Recolha e Transporte em São Tomé e Príncipe

De acordo com Marques (2024), a gestão dos resíduos dos espaços urbanos em São Tomé e Príncipe, enfrenta desafios significativos, típicos de Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (PEID). O aumento da importação de produtos embalados e a mudança nos estilos de vida provocam crescimento na produção de RSU. A eliminação de resíduos

é insuficiente, sendo grande parte depositada em lixeiras não controladas, o que origina problemas de saúde pública, poluição do solo, da água e ar. A recolha enfrenta limitações logísticas, incluindo capacidade reduzida, rotas ineficientes e falta de meios adequados, sendo a recolha seletiva ainda incipiente. Por fim, a deposição descontrolada de resíduos e o lixo marinho constituem graves ameaças ambientais, afetando ecossistema, a pesca e o potencial turístico do país.

A Câmara Distrital de Água Grande, em São Tomé, dispõe atualmente de 17 viaturas, das quais cinco pertencem à própria Câmara, três encontram-se avariadas e as restantes são alugadas. Cada viatura tem uma capacidade de armazenamento de 3 m³, como mostra a Figura 6: Viatura específica para a recolha e o transporte de RSU em São Tomé e Príncipe sendo responsável pela organização do transporte de resíduos na capital do país.

De acordo com um funcionário da autarquia (Zeca Sousa), cada viatura realiza entre seis e sete viagens por dia, tendo como destino final a Lixeira da Penha.



Figura 6: Viatura específica para a recolha e o transporte de RSU em São Tomé e Príncipe

Fonte: (Batista, 2022)

As viaturas utilizadas na recolha e transporte de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em São Tomé e Príncipe correspondem, na sua maioria, a camiões compactadores de carga traseira, semelhantes aos modelos utilizados em Portugal e noutros países lusófonos (PNUD, 2021). Existem também viaturas comuns que realizam o mesmo processo, conforme ilustrado na Figura 7.

Este processo de recolha é frequentemente manual, devido à falta de equipamentos mecanizados e de contentores normalizados, o que torna o trabalho mais demorado e fisicamente exigente para os operadores. As rotas de recolha são geralmente definidas de forma empírica, sem o apoio de sistemas de georreferenciação ou de planeamento digital, o que conduz a ineficiências logísticas e maiores custos operacionais.

Apesar destas limitações, as viaturas desempenham um papel essencial na gestão de resíduos urbanos, assegurando a recolha diária nas zonas urbanas e o transporte para a Lixeira da Penha.

De acordo com estudos internacionais, a modernização da frota e a introdução de tecnologias de gestão inteligente de rotas são essenciais para melhorar a eficiência operacional e reduzir as emissões associadas (Ashwin et al., 2021) (Huang et al., 2024).



Figura 7: Viatura comum que recolhe e transportar RSU em São Tomé e Príncipe

Fonte: (Batista, 2022)

2.4.3 Processamento dos Resíduos

O processo de valorização dos resíduos consiste na otimização do seu tratamento, permitindo a sua reconversão com um objetivo específico, seja este a produção de energia ou a obtenção de novas matérias-primas.

De acordo com Vertown (2025), o tratamento de resíduos recorre a tecnologias que procuram neutralizar as suas características negativas, podendo ainda transformá-los em produtos capazes de gerar rendimento, através da produção de matérias-primas secundárias.

As principais tecnologias de tratamento de resíduos sólidos agrupam-se em três categorias: tratamento mecânico, tratamento bioquímico e tratamento térmico.

O tratamento mecânico provoca alterações físicas nos resíduos, através de operações como trituração, compactação, filtragem ou evaporação, sendo adequado a resíduos inertes e não inertes. A reciclagem constitui um exemplo deste tipo de tratamento, permitindo poupar energia e reduzir o consumo de matérias-primas.

O tratamento bioquímico ocorre mediante a ação de micro-organismos que decompõem a matéria orgânica. Entre as suas formas mais comuns destacam-se a digestão anaeróbia realizada na ausência de oxigénio, e a compostagem, que origina um composto orgânico aplicável ao solo sem riscos ambientais.

O tratamento térmico, por sua vez, expõe os resíduos a temperaturas elevadas, provocando transformações físico-químicas. Inclui processos como a incineração, a pirólise e a gaseificação.

O reaproveitamento de resíduos proporciona diversos benefícios, nomeadamente a poupança de energia e de matérias-primas, a redução do impacto ambiental, a geração de rendimento e a valorização económica dos resíduos (Vertown, 2025).

2.5 Valorização Energética e Ambiental

Os setores industrial, da construção e da agricultura contribuem significativamente para o aumento da produção de resíduos, gerando grandes quantidades de resíduos sólidos, líquidos e perigosos. O avanço da urbanização, da industrialização e do consumismo intensifica o problema, tornando a gestão de resíduos uma prioridade global.

Os métodos tradicionais, como a deposição em aterro, a incineração e a deposição a céu aberto, são crescentemente criticados pelas suas limitações ambientais e económicas (Zhang & Biao, 2021). Estes processos geram emissões de metano e libertam poluentes atmosféricos nocivos, agravando as alterações climáticas e colocando em risco a saúde pública. Além disso, não enfrentam de forma eficaz a dependência de recursos naturais, contribuindo para o seu esgotamento e para o aumento dos custos de eliminação.

A valorização energética e ambiental dos RSU tem sido um tema central nas políticas de sustentabilidade e economia circular, especialmente em países com desafios estruturais na gestão de resíduos, como São Tomé e Príncipe (Instituto Nacional de Estatística de São Tomé e Príncipe, 2022).

São Tomé e Príncipe enfrenta desafios estruturais na gestão dos RSU, como a falta de infraestruturas para triagem e reciclagem, a ausência de incentivos à economia circular e a necessidade de sensibilização ambiental. Além disso, segundo Mandinga (2010), questões logísticas e económicas dificultam a implementação de tecnologias de valorização energética. Superar estes desafios exige investimento em infraestruturas, políticas eficazes e Educação Ambiental (EA) para promover um modelo sustentável de gestão de resíduos. Listam-se na Tabela 2 as Vantagens e Desvantagens dos Processos Térmicos de Valorização Energética de Resíduos.

2.5.1 Tecnologia de Valorização Energética de Resíduos Sólidos Urbanos

A valorização energética dos resíduos pode ocorrer através de diversas tecnologias, nomeadamente (Fonseca, 2020):

- Incineração com recuperação de energia: queima controlada de resíduos não recicláveis para produção de eletricidade e calor, reduzindo a quantidade de resíduos enviados para aterro.
- Pirólise e gaseificação: processos térmicos avançados que convertem resíduos em combustíveis e produtos químicos de valor acrescentado.

a) Incineração com Recuperação de Energia

A Incineração com Recuperação de Energia é um processo de tratamento de resíduos em que os resíduos são queimados a altas temperaturas, ocorre geralmente entre 850 °C e 1.100 °C, podendo atingir 1.200 °C em casos de resíduos perigosos ou hospitalares, de uma forma controlada e monitorizada, como mostra na Figura 8, com o objetivo principal de reduzir o volume e a massa dos resíduos e, simultaneamente, aproveitar a energia térmica produzida (National Institute for Public Health and the Environment, 2021).

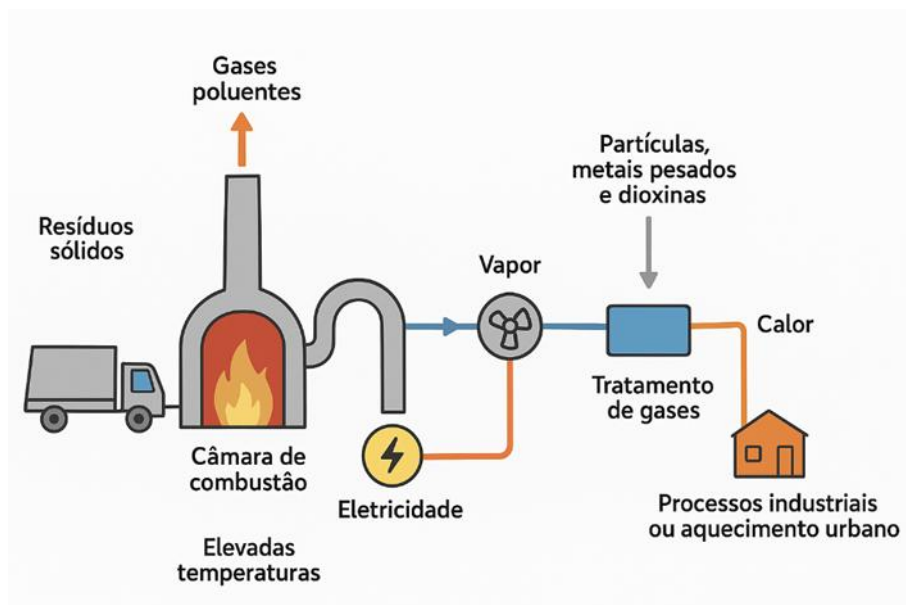


Figura 8: Esquema de incineração com recuperação de energia

Fonte: (OpenAI, 2025)

O processo de incineração com recuperação de energia inicia-se com os resíduos recolhidos e introduzidos numa câmara de combustão, onde são queimados a elevadas temperaturas. A partir da combustão, produz-se vapor ou gás, que é utilizado para mover turbinas, sendo transformado em eletricidade ou em calor recuperado para outros processos industriais ou para a rede de aquecimento urbano. De acordo com Santos (2013), o sistema reduz significativamente o volume de resíduos, podendo atingir cerca de 70 a 90 % em alguns casos. Além disso, apresenta-se como uma alternativa à deposição direta em aterro, contribuindo para a valorização dos resíduos. No entanto, este processo exige sistemas rigorosos de tratamento de gases e filtros, devido às emissões de partículas, metais pesados e dioxinas, o que implica custos elevados e um controlo ambiental apertado.

A LIPOR II é uma central de valorização energética localizada em Portugal, responsável pelo tratamento anual de cerca de 500.000 toneladas de resíduos urbanos, gerados por aproximadamente um milhão de habitantes (Figura 9). Os resíduos que não são destinados à reciclagem, designados resíduos indiferenciados, são submetidos a incineração controlada, um processo que permite a recuperação de aproximadamente 1 250 MWh de eletricidade por ano. Este procedimento gera cerca de 75 000 toneladas de escórias anuais,

consideradas subprodutos da incineração (Lipor, 2025). Para maximizar o seu valor e assegurar a conformidade ambiental, as escórias são submetidas a processamento, maturação e rigoroso controlo de qualidade, culminando na obtenção do agregado artificial AAGE 32, certificado com marcação CE. Este material apresenta-se como alternativa sustentável aos agregados naturais em camadas de base não ligadas e sub-bases de pavimentos rodoviários, alinhando-se com estratégias de economia circular e valorização de resíduos (COTEC Portugal, 2020).

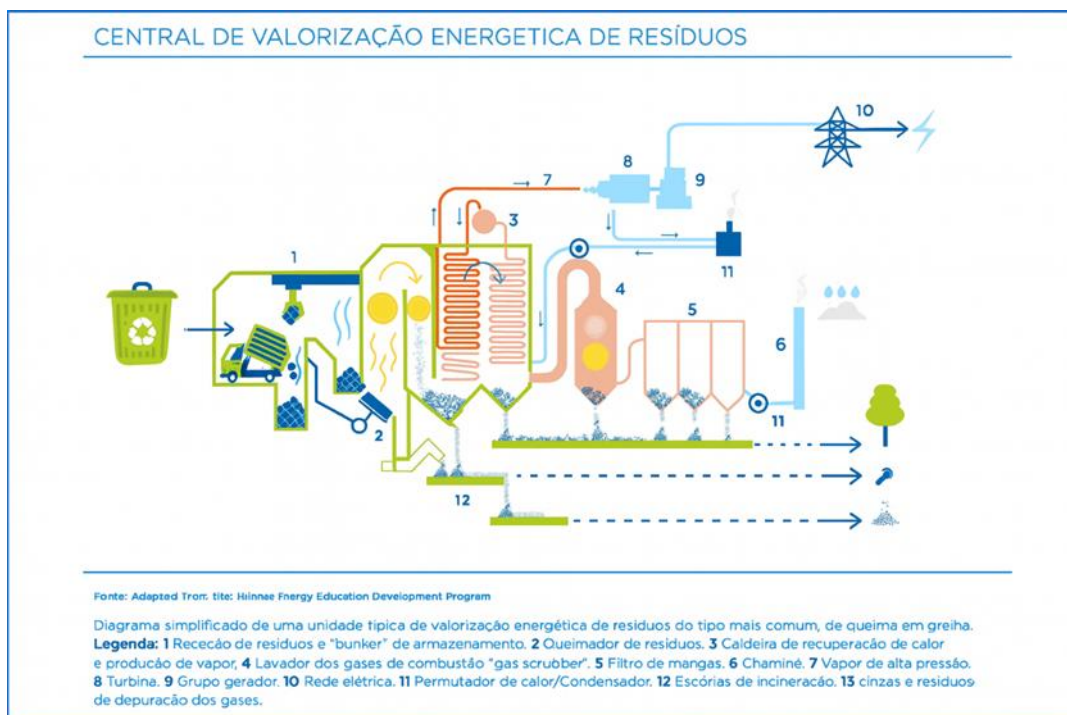


Figura 9: Diagrama de incineração com recuperação de energia na LIPOR II

Fonte: (AVALER, 2023)

Segundo Pereira (2025), o crescimento das incineradoras de resíduos na Europa tem levantado preocupações ambientais e sociais. A crise global de resíduos foi agravada em 2018, quando a China restringiu a importação de plásticos, papel, alumínio e vidro, deixando muitos países desenvolvidos incapazes de gerir os seus resíduos, devido à desmantelamento histórico do sistema de reciclagem continental.

Como resposta, toneladas de resíduos foram enviadas para outras regiões do mundo, mas a solução mostrou-se estruturalmente insuficiente. Atualmente, a Europa recorre maioritariamente à incineração e aos aterros sanitários, queimando cerca de 60 milhões

de toneladas de resíduos urbanos por ano. Esta situação tem motivado a ação de organizações ambientais que pedem à União Europeia as novas incineradoras, promovendo estratégias de redução gradual da capacidade existente e investimentos em infraestruturas de economia circular, como sistemas de reutilização, compostagem e reciclagem. O crescimento contínuo da incineração implica riscos climáticos e sanitários significativos, tornando a busca por alternativas sustentáveis uma prioridade urgente (Zero Waste Europe, 2023).

b) Pirólise e a Gaseificação

A pirólise e a gaseificação são processos de decomposição térmica. A pirólise ocorre na ausência completa ou quase completa de oxigênio, levando à produção de produtos sólidos, líquidos e gasosos, enquanto a gaseificação ocorre na ausência parcial de oxigênio, produzindo principalmente gás de síntese (syngas) (Machado, 2019). De acordo com Basu (2010), ambos os processos podem converter materiais orgânicos em produtos valiosos e podem ser usados para produção de energia (Tabela 2).

Pirólise

A pirólise é um processo termoquímico que ocorre na ausência de oxigênio, onde os resíduos sólidos urbanos, biomassa ou plásticos são decompostos em altas temperaturas (300 °C – 900 °C), gerando produtos como gás de síntese, bio-óleo e carvão vegetal (biochar), (Silva & Pereira, 2021). Este processo permite a conversão de resíduos em energia e materiais reutilizáveis, reduzindo a dependência de aterros sanitários e contribuindo para a mitigação da poluição ambiental

De acordo com Fahmy et al. (2020), a pirólise da biomassa constitui uma fonte de energia renovável e sustentável com elevado potencial para a produção de combustíveis e substitutos petroquímicos, contribuindo para reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Este processo pode ser aplicado a diversos tipos de biomassa, como madeira, resíduos agrícolas e lamas de esgoto, como se apresenta na Figura 10, sendo classificado em diferentes categorias, nomeadamente pirólise rápida, lenta e flash. Tendências recentes incluem o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, como a pirólise por micro-ondas, solar e de plasma, bem como a copirólise com polímeros sintéticos ou resíduos urbanos.

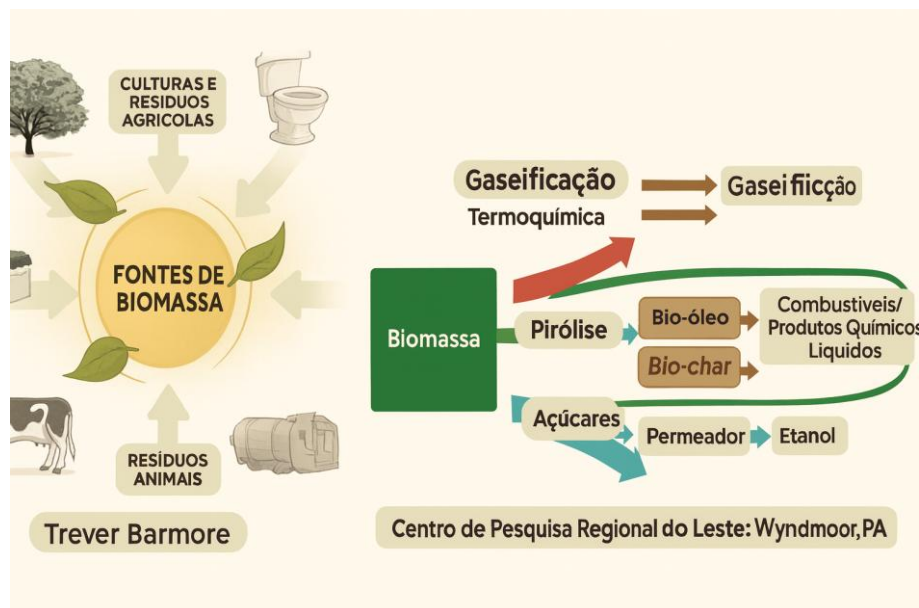


Figura 10: Etapa do processo de Pirólise

Fonte: (Fahmy et al., 2020; Melhoria da Figura OpenAI)

Gaseificação

A gaseificação converte os RSU em syngas, sendo a produção deste gás que distingue a gaseificação da incineração (Machado, 2019). No processo de gaseificação, os RSU não funcionam como combustível, mas como matéria-prima para um processo de conversão química a alta temperatura. No gaseificador, os resíduos reagem com pouco oxigénio, quebrando-se em moléculas simples e convertendo-se em syngas. Em vez de produzir apenas calor e eletricidade, como ocorre numa central de valorização energética por incineração, o syngas resultante da gaseificação pode ser transformado em produtos comerciais de maior valor, como combustíveis para transporte, produtos químicos e fertilizantes.

A gaseificação da biomassa apresenta um elevado potencial de aplicação no tratamento de resíduos, quando comparada com outras técnicas, como o aterro ou a incineração, uma vez que permite a utilização de uma ampla variedade de matérias-primas e a produção de diversos produtos úteis. Trata-se de um processo complexo que envolve a secagem da biomassa, seguida da pirólise, da combustão parcial dos intermediários e, por fim, da gaseificação dos produtos resultantes (Sikarwar et al., 2016) (Figura 11). O processo é

realizado na presença de um agente de gaseificação, oxigénio (O₂), vapor de água (H₂O) ou dióxido de carbono (CO₂) no interior de um reator designado por gaseificador.

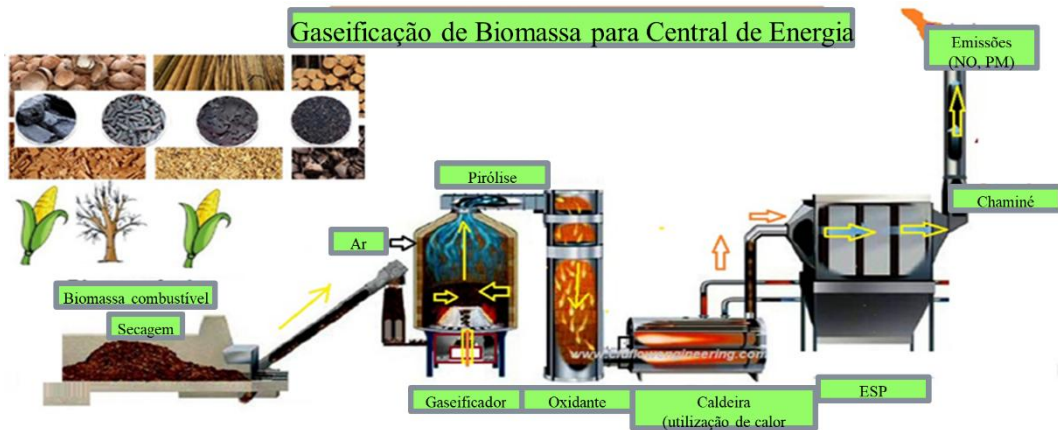


Figura 11: Etapa do processo de Gaseificação

Fonte: (CFD Flow Engineering, 2023)

Tabela 2: Vantagens e Desvantagens dos Processos Térmicos de Valorização Energética de Resíduos (Fonte: Yousaf et al., 2023)

Processo	Vantagens	Desvantagens
Incineração com recuperação de energia	<p>Reduz significativamente o volume dos resíduos (até 90%).</p> <p>Permite a geração de eletricidade e calor (cogeração).</p> <p>Possibilidade de controlo das emissões através de filtros e lavadores de gases.</p>	<p>Elevado custo de investimento e operação.</p> <p>Emissão de gases poluentes e produção de cinzas perigosas.</p> <p>Menor eficiência energética em resíduos com elevado teor de humidade.</p>
Pirólise	<p>Produz energia sob a forma de gás, óleo e carvão pirolítico.</p> <p>Menor emissão de poluentes atmosféricos face à incineração.</p> <p>Processo controlável em ambiente fechado, com menor impacte ambiental.</p>	<p>Elevado custo tecnológico e necessidade de controlo rigoroso de temperatura.</p> <p>Requer pré-tratamento dos resíduos.</p>

Processo	Vantagens	Desvantagens
		Subprodutos (óleos e alcatrões) exigem tratamento posterior.
Gaseificação	<p>Produz um gás combustível (syngas) com elevado potencial energético.</p> <p>Possibilidade de integração com turbinas ou motores para produção elétrica.</p> <p>Conversão mais eficiente da fração orgânica dos resíduos.</p>	<p>Tecnologia complexa e de elevado custo de manutenção.</p> <p>Formação de alcatrões e impurezas no syngas requer tratamento adicional.</p> <p>Implementação limitada e dependente de inovação tecnológica.</p>

Tecnologia da conversão química de Resíduos Sólidos Urbanos

A valorização ambiental dos resíduos pode ocorrer através de diversas tecnologias, nomeadamente (Fonseca, 2020):

- **Digestão anaeróbia:** consiste na transformação de resíduos orgânicos em biogás, em condições de ausência de oxigénio. É um processo mais rápido do que a compostagem aeróbia, produzindo biogás rico em metano e um resíduo estabilizado que necessita de tratamento adicional.
- **Compostagem aeróbia:** ocorre na presença de oxigénio, permitindo a decomposição da matéria orgânica por microrganismos aeróbios. Gera calor, dióxido de carbono e húmus, sem a emissão de odores desagradáveis.

Apresentam-se na Tabela 3 algumas das Vantagens e Desvantagens dos Processos Bioquímicos de Valorização Ambiental de Resíduos.

a) Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo que converte o biogás, composto principalmente por metano e dióxido de carbono numa fonte de energia renovável. Este processo de biometano possibilita também a geração de eletricidade e origina o digestato, um subproduto do processo digestivo que pode ser utilizado como condicionador de solo ou

fertilizante, como mostra a Figura 12. O tratamento de resíduos orgânicos, permitindo a valorização ambiental destes materiais (Neri et al., 2023).

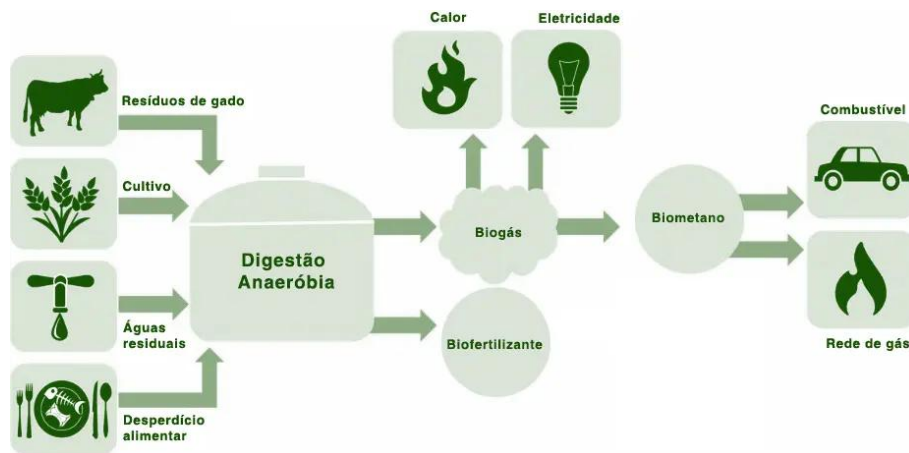


Figura 12: Esquema do processo de Digestão Anaeróbia

Fonte: (Renováveis Magazine, 2023)

Segundo Rehman (2019), o processo ocorre em quatro fases principais: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese (Figura 13):

Na hidrólise, as macromoléculas orgânicas carboidratos, proteínas e lípidos são degradadas em moléculas mais simples (açúcares, aminoácidos e ácidos gordos) por ação de enzimas hidrolíticas. Durante a acidogénese, estes produtos são convertidos em ácidos orgânicos voláteis (ácido acético, propiónico e butírico), além de álcool, dióxido de carbono, hidrogénio e amoníaco. Na acetogénese, os ácidos e o álcool são transformados em ácido acético, dióxido de carbono e hidrogénio por bactérias acetogénicas. Por fim, na metanogénese, os produtos da acetogénese são convertidos em metano e dióxido de carbono por arqueias metanogénicas, resultando na produção de biogás e de um digestado que requer tratamento complementar.

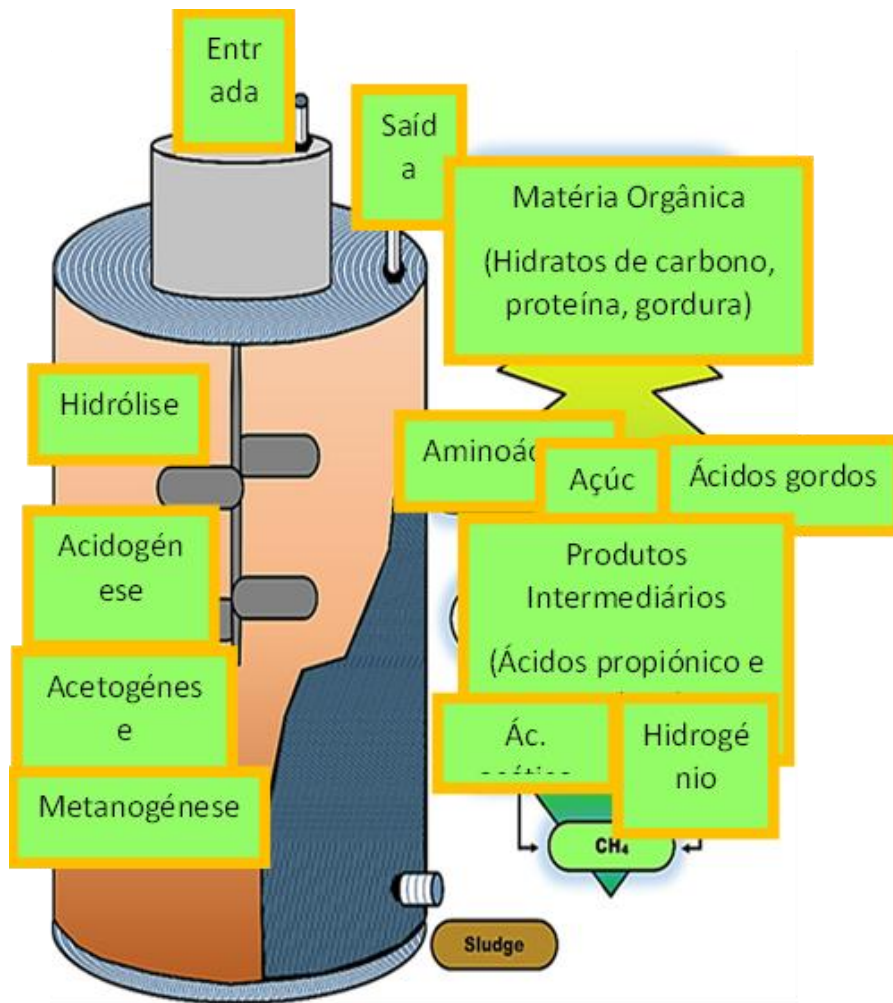


Figura 13: Processo de Digestão Anaeróbia

Fonte: (Rehman, 2019)

b) Compostagem Aeróbia

A compostagem aeróbia, realizada na presença de oxigénio, é um processo biológico rápido e eficaz para a gestão de resíduos orgânicos, permitindo reduzir odores e minimizar a emissão de gases nocivos, como o metano. De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (2023), este método diminui a quantidade de resíduos enviados para aterros, transforma-os em composto rico em nutrientes, útil como fertilizante natural e corretivo do solo, e promove a segurança alimentar local. A compostagem aeróbia é aplicada em ambientes domésticos, agrícolas, industriais e comunitários, como observa-se na Figura 14, sendo essencial o desenvolvimento de programas de apoio, que incluam a

disponibilização de compostores, formação prática e recursos educativos, para incentivar a adoção desta prática e promover a gestão sustentável de resíduos orgânicos.

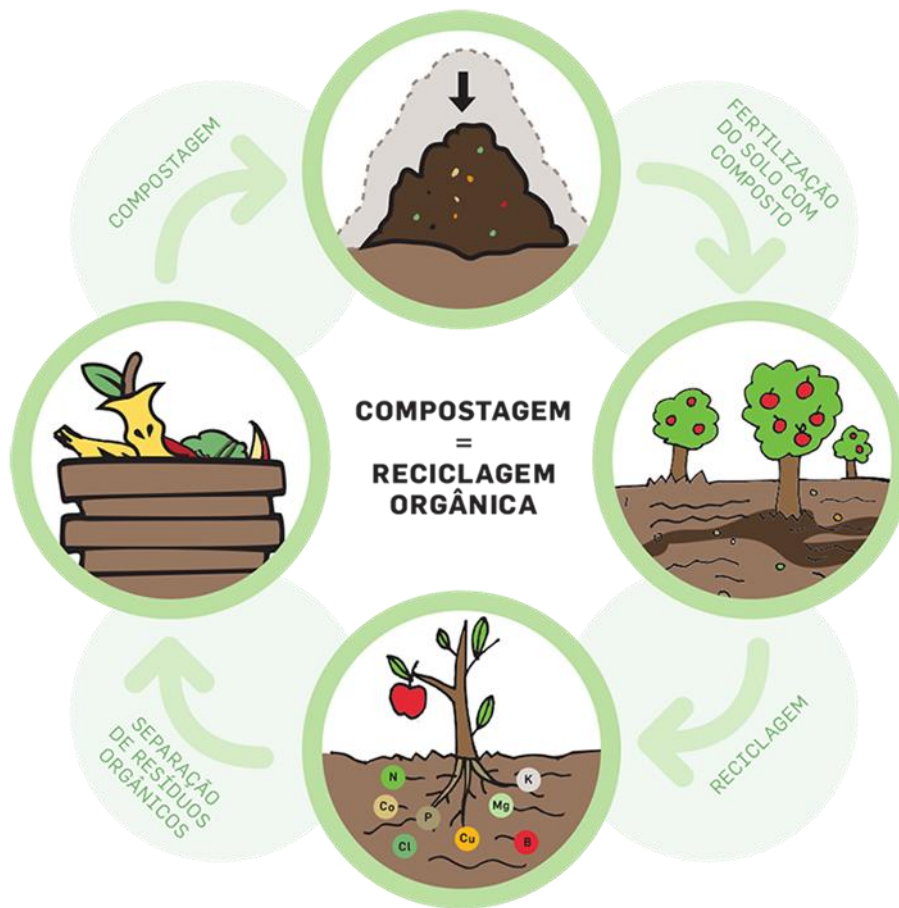


Figura 14: Ciclo da Compostagem

Fonte: (Serviço Municipal de Saneamento Básico de Viana do Castelo, 2018)

Segundo o Serviço Municipal de Saneamento Básico de Viana do Castelo (2018), a compostagem inicia-se com a separação dos resíduos orgânicos, etapa essencial para garantir a qualidade e a pureza do material a compostar. Segue-se um processo biológico controlado, geralmente aeróbio, no qual a matéria orgânica é decomposta por microrganismos, sendo transformada num composto estável e rico em nutrientes. O produto final é aplicado como fertilizante natural e corretivo do solo, contribuindo para a melhoria da fertilidade, a redução da dependência de fertilizantes químicos.

A eficiência do processo depende de fatores como a temperatura, a humidade, o tipo de material e o método de compostagem utilizado.

Tabela 3: Vantagens e Desvantagens dos Processos Bioquímicos de Valorização Ambiental de Resíduos (Fonte: United States Environmental Protection Agency, 2025)

Processo	Vantagens	Desvantagens
Digestão Anaeróbia	<p>Produz biogás (metano) utilizável para energia.</p> <p>Produz digestado rico em nutrientes, aplicável como fertilizante.</p> <p>Contribui para a redução de emissões de gases com efeito de estufa.</p>	<p>Requer controlo rigoroso de temperatura e pH.</p> <p>Processo mais lento para certos tipos de resíduos.</p> <p>Digestado pode necessitar de tratamento complementar antes da aplicação no solo.</p>
Compostagem Aeróbia	<p>Transformação de resíduos orgânicos em composto aplicável ao solo.</p> <p>Processo simples e de baixo custo operacional.</p> <p>Pode ser realizado em pequena ou grande escala.</p>	<p>Requer gestão adequada de humidade, temperatura e aeração.</p> <p>Produção limitada de energia.</p> <p>Processo lento comparado à digestão anaeróbia.</p>

2.6 Economia Circular

Segundo o Parlamento Europeu (2023), a economia circular é um modelo de produção e consumo sustentável que promove a partilha, o aluguer, a reutilização, a reparação, a renovação e a reciclagem de produtos e materiais, prolongando o seu ciclo de vida. Na prática, este modelo visa minimizar a produção de resíduos e o desperdício, mantendo os materiais em circulação na economia durante o máximo de tempo possível, através da reciclagem e reaproveitamento, o que permite criar mais valor e reduzir o consumo de recursos naturais.

A economia circular contrasta com o modelo linear tradicional, baseado no princípio “produz, utiliza e deita fora”, que depende de grandes quantidades de matérias-primas baratas e energia abundante. Neste modelo, destaca-se ainda a obsolescência programada,

em que os produtos são concebidos para ter uma vida útil limitada, incentivando o consumo repetido uma prática que o Parlamento Europeu procura combater por meio de políticas de durabilidade e a capacidade que um produto tem de ser reparado (Figura 15).



Figura 15: Modelo de economia circular

Fonte: (Parlamento Europeu, 2023)

Em São Tomé e Príncipe, a economia circular tem vindo a ganhar relevância no domínio da gestão de resíduos, através da implementação de políticas e projetos que promovem a valorização e o reaproveitamento dos materiais. O Plano Nacional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (2018-2023) definiu metas para melhorar a recolha e o tratamento dos resíduos, incentivando a compostagem, a reciclagem e outras formas de valorização energética.

De acordo com Grensavers (2023), o país conta também com iniciativas apoiadas por parceiros internacionais, como o projeto REHDES, financiado pela União Europeia, que visa transformar resíduos em energia e gerar oportunidades de emprego no setor

ambiental. Paralelamente, pequenos projetos de bioenergia e compostagem comunitária têm contribuído para reduzir o impacto ambiental e substituir fertilizantes importados.

Apesar dos avanços, persistem desafios significativos, nomeadamente a cobertura limitada da recolha de resíduos, a escassez de infraestruturas adequadas, a dependência de financiamento externo e a baixa adesão da população à separação na origem. Assim, embora São Tomé e Príncipe tenha dado passos importantes rumo a um modelo de economia circular, a sua consolidação depende do reforço institucional, da EA e do investimento contínuo em tecnologias de tratamento e reciclagem (FAO, 2024).

2.7 Educação Ambiental

Segundo a empresa Resíduos Nordeste (2025), é urgente promover uma transformação profunda nas atitudes e comportamentos dos cidadãos, de forma a integrar o bem-estar individual e coletivo com os princípios do desenvolvimento sustentável.

Contudo, a mudança de comportamentos exige tempo, consistência e envolvimento social; por isso, torna-se cada vez mais essencial investir em ações contínuas de educação ambiental, informação e sensibilização, capazes de despertar uma consciência ecológica sólida, participativa e duradoura (Acosta Castellanos, 2022).

A EA em São Tomé e Príncipe atua como instrumento fundamental para a sustentabilidade, abordando áreas-chave como a gestão de resíduos, a conservação da biodiversidade e a eficiência energética.

Face à falta de infraestruturas adequadas e à elevada riqueza ecológica do país, a EA procura promover práticas sustentáveis, reduzir o impacto ambiental e incentivar a participação comunitária.

Através de ações educativas em escolas, igrejas e comunidades, diversas entidades têm contribuído para fortalecer a consciência ecológica e integrar o bem-estar social com o desenvolvimento sustentável (Carvalho, 2021).

2.7.1 Escolas

Nas escolas, a EA integra-se no currículo escolar, sendo desenvolvida tanto como disciplina formal como através de atividades extracurriculares.

Projetos, como o promovido pela Associação Baobá, como mostra na Figura 16, têm reforçado a sensibilização ambiental dos alunos, sublinhando a importância da biodiversidade local e das práticas sustentáveis. (Almeida, 2024).



Figura 16: Educação ambiental no ensino primário

Fonte: (Almeida, 2024)

2.7.2 Igrejas

As igrejas desempenham um papel fundamental na sensibilização ambiental, utilizando a sua influência nas comunidades para promover valores de responsabilidade ecológica. Através de sermões, eventos e campanhas, as igrejas têm incentivado práticas sustentáveis e a conservação do meio ambiente.

A maioria da população professa a religião cristã, sendo predominante pertencente à Igreja Católica Romana, à Igreja Protestante Evangélica e à Igreja Adventista do Sétimo Dia, em consonância com os princípios de ecologia integral (Agudo & Teixeira, 2021).

2.7.3 Palestras Comunitárias

Palestras e workshops têm sido organizados em diversas comunidades para abordar temas ambientais relevantes. Estas sessões educativas visam aumentar a conscientização sobre questões como a gestão de resíduos, como observa-se na Figura 17, a conservação da biodiversidade e as alterações climáticas, promovendo o envolvimento da população em ações sustentáveis (Agência Ambiental Sustentável, 2023).



Figura 17: Projeto do bairro limpo

Fonte: (Batista, 2022)

2.8 Propostas Futuras para Redução dos Resíduos

A produção crescente de resíduos sólidos urbanos constitui um dos principais desafios ambientais a nível mundial, especialmente em países com infraestruturas limitadas para a recolha e o tratamento (World Bank, 2018). Em contextos insulares e africanos, como é o caso de São Tomé e Príncipe, este problema assume contornos particularmente preocupantes devido à fragilidade dos ecossistemas, à pressão demográfica nas áreas urbanas e à escassez de soluções tecnológicas adequadas.

Entre os resíduos mais problemáticos encontram-se os plásticos descartáveis, cuja decomposição lenta e acumulação nos ambientes terrestres e marinhos representam uma ameaça grave à biodiversidade e à saúde humana.

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (2022), a redução de resíduos deve incentivar a reutilização de sacos, recipientes e materiais, apoiar a compostagem doméstica e comunitária e promover a EA nas escolas, de forma a mudar hábitos a longo prazo e com baixo custo. Por conseguinte, é fundamental assentar numa abordagem integrada, que combine políticas públicas, EA, alteração de comportamentos de consumo e promoção de alternativas sustentáveis e economicamente viáveis. Apresentam-se, de seguida, algumas estratégias que podem ser implementadas no contexto são-tomense, tendo em conta que se trata de um país em vias de desenvolvimento.

2.8.1 Redução do Uso de Plásticos Descartáveis

Uma das formas mais eficazes de combater o problema dos resíduos sólidos é a limitação dos usos de plásticos descartáveis, em particular os sacos e garrafas de uso único. A implementação de regulamentos que restrinjam a utilização de sacos plásticos, acompanhada de promoção de alternativas ecológicas, pode produzir efeitos significativos na redução dos resíduos urbanos (Geyer et al., 2017).

Paralelamente, campanhas de sensibilização podem incentivar os consumidores a optar por recipientes reutilizáveis, como garrafas de vidro ou alumínio, reduzindo a dependência de garrafas PET. Estas medidas devem ser acompanhadas de incentivos à produção e comercialização local de produtos reutilizáveis, adaptadas ao contexto económico e cultural do país.

2.8.2 Promoção do Consumo Responsável e da Venda a Granel

Outra estratégia eficaz consiste em promover o consumo responsável, incentivando a compra de produtos a granel, como arroz, feijão, ou especiarias, e desencorajando o uso excessivo de embalagens. A disponibilização de produtos sem embalagem e o estímulo ao uso de recipientes reutilizáveis em mercados e supermercados contribuem para reduzir a produção de resíduos na origem.

Para maximizar os impactos positivos, é também importante fomentar a produção local, o uso de corantes naturais e a educação dos consumidores sobre os benefícios ambientais, económicos e sociais das opções reutilizáveis (Reisch et al, 2013a, Reisch et al, 2013b).

2.8.3 Avaliação de Alternativas Sustentáveis aos Sacos Plásticos

A substituição dos sacos plásticos por alternativas sustentáveis deve ter em conta todo o ciclo de vida dos materiais. Diferentes tipos de sacos reutilizáveis apresentam vantagens e desvantagens que importa considerar à luz do contexto local (Zambrano-Monserrate et al, 2020):

- **Sacos de algodão cru:** biodegradáveis, duráveis e de possível produção local, no entanto, a cultura do algodão pode ser intensiva em água e pesticidas (WWF, 2023).
- **Sacos de juta:** resistentes e com baixo impacto ambiental, mas de textura mais áspera (Mohanty et al., 2000).

- **Sacos de fibras de sisal:** biodegradáveis e promotores do emprego rural, mas com menor conforto ao toque (Lewandowski et al., 2017).
- **Sacos de tecidos reciclado:** reduzem o desperdício têxtil e permitem personalização, embora a durabilidade possa variar (Niinimäki et al., 2020).
- **Sacos de tecidos africanos:** valorizam a identidade cultural e a economia local, mas sua sustentabilidade depende dos materiais usados (Acquaye, 2018a e 2018b e Sultana & Muhammad, 2018a e 2018b).

A escolha das alternativas deve, portanto, ser informada por critérios ecológicos, sociais e económicos e adaptada à realidade das comunidades.

2.8.4 Redução do Desperdício Alimentar

A construção de uma sociedade mais sustentável exige um esforço coletivo e contínuo para sensibilizar a população e os estabelecimentos comerciais para evitar o desperdício de comida (Lipinski et al., 2013).

Campanhas de informação sobre o valor dos alimentos e as consequências do desperdício podem revelar-se eficazes. Uma medida eficiente para otimizar a gestão de resíduos alimentares consiste em criar parcerias com restaurantes e supermercados, de modo a doar os excedentes alimentos a instituições de solidariedade (European Parliament, 2017). O Too Good To Go é uma plataforma que combate o desperdício alimentar, permitindo que restaurantes, supermercados e outros estabelecimentos vendam excedentes de comida a preços reduzidos.

Os utilizadores da aplicação podem adquirir “surpresas” com alimentos que, de outra forma, seriam desperdiçados, o pedido é feito na aplicação (APP), de acordo com o serviço e o respetivo horário de recolha, como mostra a Figura 18, contribuindo para a redução do impacte ambiental e para uma economia mais sustentável (Too Good To Go, 2019).

A implementação de uma aplicação semelhante em São Tomé e Príncipe, poderia ser adaptada ao contexto local, promovendo a redução do desperdício alimentar em mercados, padarias e restaurantes, facilitando o acesso a refeições mais económicas e impulsionando a economia local.

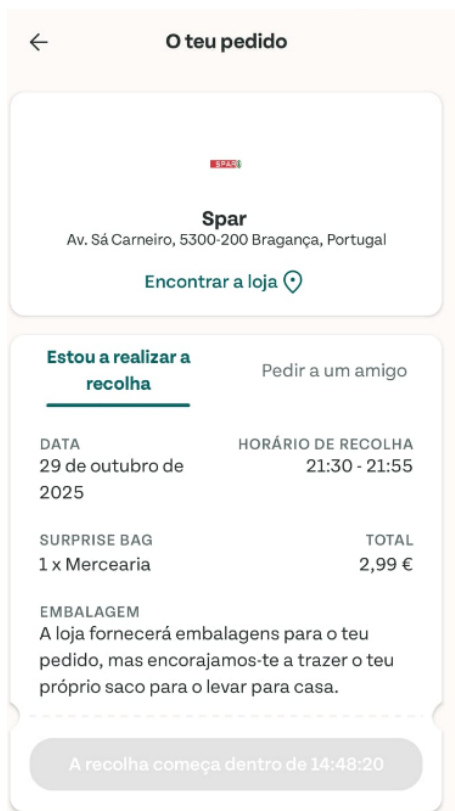


Figura 18: Pedido e a recolha do serviço Too Good To Go

Capítulo 3 Metodologia

O estudo sobre a valorização energética e ambiental dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em São Tomé e Príncipe assenta numa abordagem estruturada e progressiva, que permite analisar de forma completa a geração de resíduos, a sua composição e as tecnologias mais adequadas ao contexto nacional.

Numa fase inicial, procede-se ao estudo da área, à recolha e análise de dados secundários, incluindo estatísticas populacionais, indicadores de produção de resíduos e informações provenientes das entidades responsáveis pela gestão e limpeza urbanas, cada alternativa é analisada quanto à sua viabilidade técnica, económica, ambiental e operacional, tendo em consideração as especificidades de São Tomé e Príncipe, como a escala do sistema, os custos envolvidos e a capacidade institucional existente.

Com base nessa avaliação, desenvolve-se um modelo de valorização energética que utiliza o potencial calorífico dos resíduos e o desempenho das tecnologias selecionadas para estimar a energia recuperável. Esta modelação permite ainda calcular o contributo da valorização energética para a matriz energética nacional e o impacto na redução dos resíduos depositados em aterro. Por fim, são formuladas propostas de melhoria que englobam estratégias de redução na fonte, reforço da reciclagem, incentivo à compostagem doméstica e implementação de uma Unidade de Valorização Energética (UVE), acompanhada de ações de educação ambiental e de otimização da recolha e transporte dos resíduos.

3.1 Área de Estudo

São Tomé e Príncipe é um arquipélago localizado no Golfo da Guiné, constituído pelas ilhas de São Tomé e Príncipe e por vários ilhéus. O país tem uma área total de 1.001 km², sendo São Tomé a maior ilha, com 857 km², e o Príncipe, com 142 km², como observa-se na Figura 19. O relevo é montanhoso, destacando-se o Pico de São Tomé, com 2.024 metros de altitude, como defende (Instituto Nacional de Estatística de São Tomé e Príncipe, 2022). Com o clima caracterizado por temperaturas médias entre 23 °C e 30 °C nas zonas costeiras e valores mais baixos nas regiões montanhosas.



Figura 19: Localização geográfica de São Tomé e Príncipe

Fonte: (WordAtlas, 2023)

3.2 Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos em São Tomé e Príncipe

No que respeita à gestão de resíduos, o país não dispõe de um sistema estruturado. Existem apenas as denominadas “lixeiros a céu aberto”, sendo a principal a Lixeira da Penha, situada no distrito de Água Grande, em São Tomé e Príncipe (Figura 20). Esta lixeira serve também a população de Mé-Zóchi e encontra-se localizada a cerca de dois quilómetros do centro da cidade de São Tomé, ocupando uma área superior a dois hectares.

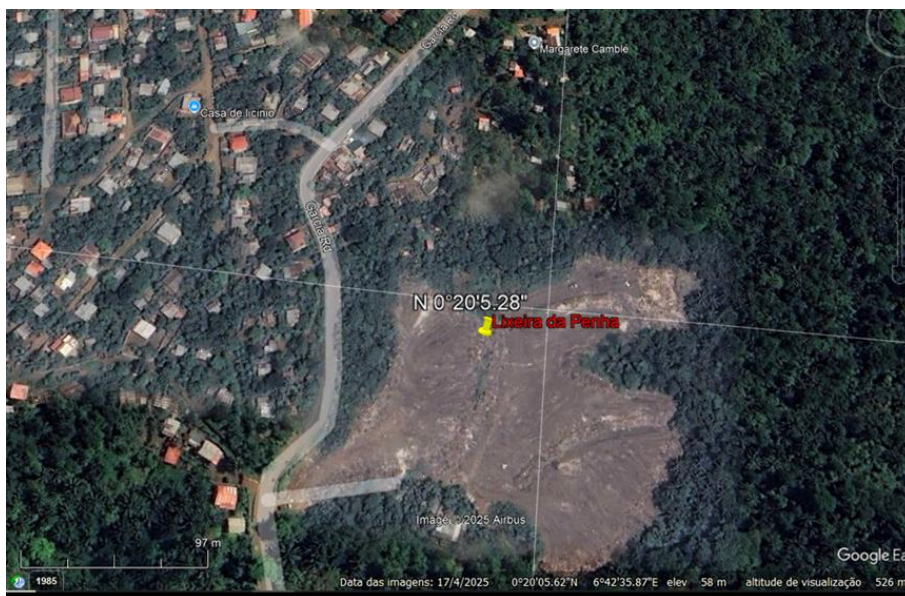


Figura 20: Localização da Lixeira da Penha

Fonte: (Google Earth Pro, 2025)

Esta lixeira constitui um dos maiores problemas ambientais do país, uma vez que não possui qualquer tipo de tratamento ou controlo. No local ocorrem queimas frequentes de resíduos, que como refere Afonso (2022) e como mostra a Figura 21, contribuem para a poluição do ar e agravam problemas respiratórios entre os habitantes locais. Além disso, a ausência de cercas ou barreiras de proteção permite o acesso de pessoas e animais, expondo-os a riscos sanitários significativos e potenciando situações de degradação e contaminação ambiental.

A contaminação ambiental não se verifica apenas nas lixeiras existentes no país, mas também dentro das comunidades onde não há recolha regular de resíduos. Nesses locais, os próprios habitantes criam soluções improvisadas para armazenar ou reduzir os resíduos produzidos, o que pode contribuir para problemas ambientais e sanitários.



Figura 21: Queima de resíduos a céu aberto

Fonte: (Batista, 2022)

3.3 Quantificação da Produção de Resíduos Sólidos Urbanos

Não se dispõem de dados oficiais sobre a capitação de RSU em São Tomé e Príncipe, a quantificação foi estimada com base na população, assumindo uma média de 0,7 kg/hab.dia. Uma abordagem é basear-se na capitação em países africanos com dimensão e economia semelhantes, como Cabo Verde ou Guiné-Bissau, que varia entre 0,3 e 1,2 kg/hab.dia, dependendo do nível de desenvolvimento (World Bank, 2023). Segundo Levy & Cabeças (2006), destaca-se um valor estimado da produção diária de RSU. Considerando a população de São Tomé e Príncipe, estimada em 209.607 habitantes obtêm-se os seguintes dados de produção de RSU diária (RSU/dia) e anual (RSU/ano):

$$\begin{aligned} \text{RSU} &= \text{População} * 0,7 \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right) * 365 \text{ dias} = 209.607 * 0,7 * 365 \\ &= 146.724,9 \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right) * 365 \text{ dias} = 53,6 \left(\frac{\text{kt}}{\text{ano}} \right) \end{aligned}$$

No entanto, a crescente urbanização, o acesso a produtos importados e a transformação dos hábitos alimentares indicam uma tendência para o aumento gradual na produção de resíduos, com especial incidência nos materiais plásticos, metálicos e eletrónicos.

Esta estimativa, ainda que conservadora face aos valores registados em países desenvolvidos, revela um volume significativo de resíduos a gerir anualmente: mais de 53 mil toneladas. Sendo o caso de estudo relativo à população dos distritos de Água Grande e Mé-Zóchi, correspondente a 131 400 pessoas, o valor da produção de RSU será:

$$\begin{aligned} \text{RSU} &= \text{População} * 0,7 \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right) * 365 \text{ dias} = 131.400 * 0,7 * 365 \\ &= 91.980 \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right) * 365 \text{ dias} = 33,57 \left(\frac{\text{kt}}{\text{ano}} \right) \end{aligned}$$

Assim, a produção anual de resíduos sólidos urbanos (RSU) em São Tomé e Príncipe está estimada em cerca de 33,57 mil toneladas. Em termos geográficos, a produção concentra-se nos distritos de Água Grande e Mé-Zóchi, que representam cerca de 63 % do total como se demonstra na Figura 22, utilizando dados externos. Do total de resíduos produzidos, cerca de 50 % são biodegradáveis (restos de comida e resíduos de jardim), enquanto o papel e o vidro representam, cada um, cerca de 5 %.

Verifica-se, assim, que, segundo Kaza et al., (2018), cerca de 1.500 toneladas de vidro são desperdiçadas nas várias lixeiras do país, constituindo um prejuízo económico considerável.

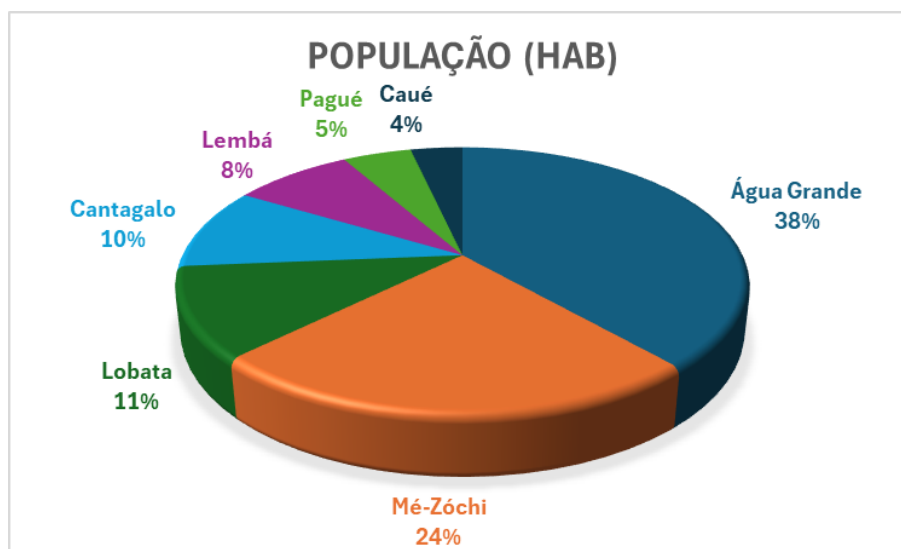


Figura 22: Percentual da população de São Tomé e Príncipe

3.4 Tipologias de Resíduos Sólidos Urbanos em São Tomé e Príncipe

De acordo com dados da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e da Universidade do Porto, a composição típica dos RSU em Portugal é a seguinte: aproximadamente 46 % são resíduos orgânicos, 17 % papel e cartão, 10 % plástico, 5 % vidro, 4 % metal e cerca de 18 % pertencem à categoria "outros", que inclui têxteis, cinzas e materiais mistos. Estes valores representam uma média nacional e mantêm-se consistentes entre diferentes fontes especializadas na caracterização dos RSU em território português.

Relativamente a São Tomé e Príncipe, e em comparação com os dados portugueses, observa-se uma proporção significativamente mais elevada de resíduos orgânicos (entre 60 % e 70 %), o que se deve à forte dependência de produtos frescos e à baixa industrialização, como é o caso dos sectores da pesca e da agricultura local. Por outro lado, a recolha indiferenciada é praticamente total, verificando-se uma quase ausência de sistemas formais de separação ou reciclagem de plástico, vidro e papel ou cartão. (Direção Geral dos Recursos Naturais e Energia - DGRNE, 2019)

Assim, estima-se que a composição típica dos RSU em São Tomé e Príncipe seja a seguinte: cerca de 65 % correspondem a resíduos orgânicos, 7,5 % a papel e cartão, 9 % a plástico, 3,5 % a vidro, 2 % a metal e aproximadamente 13 % para outros resíduos (têxteis, mistos), como se pode verificar na Tabela 4.

Tabela 4:Comparativo da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos entre São Tomé e Príncipe e Portugal (Fonte: DGRNE, 2019)

Aspeto	São Tomé e Príncipe	Portugal
Proporção de resíduos orgânicos	60 % – 70 % (predominante)	34 % – 46 %
Papel e cartão	Cerca de 5 % – 10 % (estimado)	17 % – 21 %
Plástico	Aproximadamente 10 %	10 % – 11 %
Vidro	Menos de 5 %	5 % – 7 %
Metal	Muito residual (<3 %)	4 %
Outros (têxteis, mistos, etc.)	10 % – 20 %	18 % – 23 %

3.5 Quantificação do Potencial Energético dos RSU em São Tomé e Príncipe

Em São Tomé e Príncipe, a análise da produção diária de resíduos permite compreender a composição e o potencial energético associado às diferentes frações geradas. Verifica-se uma produção aproximada de 95 371 kg/dia, refletindo a predominância de resíduos orgânicos (65 %). As frações de papel e cartão (7,5 %) e plástico (9 %) correspondem, respetivamente, a 11 004 kg/dia e 13 205 kg/dia, enquanto os outros resíduos (têxteis e mistos) (13 %) totaliza cerca de 2 935 kg/dia. O vidro (3,5 %) e o metal (2 %) não foram considerados nos cálculos, uma vez que não contribuem para a produção de energia. Esta caracterização quantitativa dos resíduos sólidos urbanos (RSU) constitui um passo fundamental para o planeamento e a implementação de estratégias de valorização energética e ambiental, cujos resultados se encontram representados nos dados analisados.

3.6 Plano Estratégico de Logística para a Otimização da Recolha e do Transporte de RSU nas Igrejas de São Tomé e Príncipe

Para planear o melhor trajeto de recolha de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em São Tomé e Príncipe com base na localização de igrejas, é possível aproveitar o facto de muitas destas estarem estrategicamente localizadas no centro das comunidades. Isso torna-as pontos de referência ideais para planeamento de rotas de recolha com impacte

social e logístico positivo. A otimização do trajeto pode ser baseada nos seguintes princípios (Williams et al., 2013):

- Definição inteligente de rotas: usar mapas digitais e dados geográficos, mesmo que básicos, para definir rotas curtas e eficientes;
- Priorização por densidade populacional: dar prioridade às zonas com maior produção de resíduos (ex.: cidade de São Tomé, Trindade, Neves);
- Horários estratégicos: evitar horários de maior tráfego e calor extremo;
- Recolha diferenciada: por tipo de resíduos (orgânicos, recicláveis, indiferenciados).

Pretendendo uma gestão eficiente dos resíduos sólidos urbanos em São Tomé e Príncipe, recomenda-se: afetação de 2 a 3 viaturas por distrito, consoante a densidade populacional; colocação de contentores partilhados próximos das igrejas, como pontos estratégicos de recolha; criação de um calendário impresso com os dias de recolha, a ser distribuído nas comunidades e paróquias; realização de campanhas de sensibilização ambiental aos domingos ou durante atividades religiosas, promovendo o envolvimento da população (International Solid Waste Association (ISWA), 2015). Com estes métodos adequados fará um trajeto mais eficiente bem rápido na recolha e transporte destes RSU, baseado no seguinte plano de distribuição na Tabela 5.

Tabela 5: Plano Semanal de Recolha de RSU por Distrito (Fonte: ESE, 2024)

Distrito	Zonas-chave (ponto de referência: igrejas)	Dias de Recolha	Observações
Água Grande (Cidade)	Sé Catedral, Riboque, Pantufo, São Marçal	Segunda, quarta, sexta	Alta densidade. Necessário reforço com contentores.
Mé-Zóchi	Trindade (Igreja de São José), Bombom, Batepá	Terça, quinta, sábado	Zonas periurbanas. Recolha alternada em zonas interiores.
Lembá	Neves (Nossa Senhora da Luz), Santa Catarina	Terça, sexta	Recolha costeira, rota com apoio logístico.

Distrito	Zonas-chave (ponto de referência: igrejas)	Dias de Recolha	Observações
Lobata	Guadalupe, Santo Amaro, Conde	Segunda, quinta	Possível instalar pontos de recolha comunitária junto a igrejas.
Cantagalo	Santana (Igreja de Santana), Água Izé	Segunda, sexta	Considerar recolha complementar por cooperativas locais.
Caué	São João dos Angolares, Ribeira Peixe, Porto Alegre	Quarta (quinzenal)	Zona rural. Recolha móvel ou com apoio distrital quinzenal.
Príncipe	Santo António (Igreja Matriz), Aeroporto	Terça, sexta	Sistema separado. Necessita de melhoria de infraestruturas.

Capítulo 4 Resultados e Discussão

Os resultados do estudo demonstram que a produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em São Tomé e Príncipe é marcada por uma forte predominância da fração orgânica, constituindo a maior parte dos resíduos gerados no país. Esta característica reflete o elevado volume de restos alimentares e de materiais biodegradáveis, seguidos por papel/cartão, plástico e outros resíduos com potencial energético. Embora a fração orgânica apresente um poder calorífico reduzido, a sua abundância contribui significativamente para o potencial global de valorização.

A análise realizada permitiu determinar o potencial energético dos resíduos, evidenciando que a adoção de uma tecnologia de valorização térmica, como a incineração com recuperação de energia, poderia gerar uma quantidade relevante de eletricidade, com impacto positivo no sistema energético nacional. O modelo desenvolvido confirma a viabilidade técnica da valorização energética, demonstrando capacidade para reduzir substancialmente o volume de resíduos destinados a aterro, de forma geral, os resultados confirmam que a valorização energética e ambiental dos RSU constitui uma oportunidade estratégica para São Tomé e Príncipe. A combinação de tecnologias de baixo custo, associada a soluções de produção energética em escala ajustada, representa o caminho mais sustentável para modernizar o sistema de gestão de resíduos, reduzir impactos ambientais e reforçar a autonomia energética do país.

4.1 Valorização Estratégicas de Redução de Resíduos Sólidos Urbanos

Para reverter a atual situação da reciclagem de vidro, plástico e papel ou cartão em São Tomé e Príncipe, podem ser consideradas as seguintes medidas:

4.1.1 Reciclagem de vidro

No contexto local, é necessário reduzir o consumo de embalagens de vidro não retornáveis (tara perdida) e aumentar a utilização de vasilhame retornável, como as garrafas reutilizáveis da cerveja Nacional. Deve-se também ponderar a diminuição da importação de cervejas internacionais, podendo estimular-se um maior consumo de cervejas locais em embalagens retornáveis.

No setor da construção civil, podendo ser considerada a trituração do vidro (de forma manual ou com equipamento adequado), transformando os cacos em materiais ou

produtos aplicáveis na construção de caminhos, estradas ou como inertes (Sustainability, 2024).

4.1.2 Reciclagem de plástico, metal e papel ou cartão

Estes materiais devem ser processados para a criação de novos produtos, reduzindo o impacto ambiental. Tendo em conta que São Tomé e Príncipe ainda não dispõe de uma central de triagem para a separação destes resíduos, uma solução alternativa poderia consistir na prensagem e enfardamento dos materiais, com posterior envio para países que possuam infraestruturas adequadas de reciclagem. No entanto, este método compromete a qualidade dos materiais e dificulta o processo de reciclagem, além de o transporte por barcaças continuar a constituir um obstáculo logístico e económico significativo (United Nations Environment Programme - UNEP, 2021). Assim, recorre-se frequentemente a outras formas de valorização destes materiais, como a sua comercialização em mercados, postos de abastecimento ou mercearias do país, como se pode verificar na Figura 23.



Figura 23: Venda do milho, reciclando plástico e lata

Fonte: (Tiny, 2025)

Apesar o esforço da comunidade a reciclagem os plásticos nas vendas, as autoridades de São Tomé e Príncipe implementaram, a 15 de setembro de 2025, a proibição da venda de sacos de plástico convencionais. A medida, que prevê multas entre 400 e 4.000 euros, visa reduzir a poluição e promover o uso de alternativas biodegradáveis. Esta iniciativa resulta de um processo iniciado em 2019, com a aprovação de legislação para limitar o uso de plásticos e reforçado pelo governo e pelo primeiro-ministro em apoio a políticas de reciclagem (São Tomé e Príncipe, 2020). Embora a multa seja elevada em termos monetários, faz todo o sentido para a melhoria do bem-estar ambiental.

4.1.3 Potencial para Compostagem Doméstica em São Tomé e Príncipe

São Tomé e Príncipe apresenta um perfil de resíduos sólidos urbanos (RSU) predominantemente orgânico e biodegradável, o que constitui uma condição ideal para a

compostagem. Neste contexto, a compostagem doméstica pode ser iniciada com qualquer volume de resíduos orgânicos produzidos regularmente no agregado familiar (Agência Ambiental Sustentável, 2023):

a) **Famílias pequenas** (1 a 4 pessoas)

Produzem em média 2 a 10 kg de resíduos orgânicos por semana (8 a 40 kg/mês). A compostagem pode ser realizada em composteiras pequenas, minhocários ou recipientes domésticos.

b) **Famílias médias** (4 a 10 pessoas)

Produzem aproximadamente 10 a 30 kg de resíduos orgânicos por semana (40 a 120 kg/mês). Recomenda-se o uso de composteiras de pátio ou tambores giratórios, que permitem processar maiores volumes de forma mais rápida.

c) **Famílias grandes** (10 a 15 pessoas)

Produzem mais de 30 kg de resíduos orgânicos por semana (>120 kg/mês). O tratamento é mais adequado em sistemas de três pilhas ou composteiras de grande capacidade, capazes de gerir volumes significativos (Pacific Regional Environment Programme, 2022)

Na maioria dos agregados familiares santomenses, observa-se uma produção de resíduos orgânicos compatível com famílias médias. A implementação de compostagem doméstica contribuiria para o fortalecimento das plantações, melhorando a fertilidade e a estrutura do solo, bem como a capacidade de retenção de água.

Por outro lado, a compostagem comunitária exige a participação de um grupo mais alargado de famílias ou a existência de zonas com baixa densidade populacional (a partir de 20 pessoas). Este tipo de compostagem revela-se particularmente eficaz para enriquecer hortas escolares, religiosas ou outras, quando existe uma necessidade significativa de fertilização natural.

4.1.4 Distribuição Populacional e Solução na Gestão de Resíduos por Distrito em São Tomé e Príncipe

Em São Tomé e Príncipe, a população encontra-se maioritariamente concentrada na capital, o que permite uma recolha de resíduos mais frequente nos distritos mais populosos. Para garantir uma gestão mais equilibrada, é essencial reforçar os meios logísticos e operacionais nos distritos mais afastados, de forma a assegurar a recolha

eficiente e sustentável dos resíduos. Atualmente, os distritos de Água Grande e Mé-Zóchi beneficiam de um tratamento mais adequado dos resíduos na Lixeira da Penha. Contudo, para os restantes distritos Lobata, Caué, Lembá e Cantagalo é necessária a implementação de soluções estruturais, como a criação de pequenas estações de transferência, reforço de frotas de recolha e formação técnica de equipas locais.

A médio e longo prazo, recomenda-se o investimento na construção de uma central de valorização energética e ambiental, como o caso a incineração que não necessita de separação de resíduos, que complementa o atual sistema das lixeiras, promovendo a produção de energia a partir de resíduos e a redução do volume destinado a deposição final. No entanto o distrito de Pagué, localizado na Ilha do Príncipe, requer uma estratégia própria, como mostra na Tabela 6, que poderá incluir a criação de uma unidade autónoma de tratamento e o desenvolvimento de infraestruturas portuárias adequadas ao transporte de resíduos (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento PNUD, 2022).

Tabela 6: Distribuição da População em São Tomé e Príncipe

Local	Capital	População (hab)
Água Grande	São Tomé	80,647
Mé-Zóchi	Trindade	50,697
Lobata	Guadalupe	23,086
Cantagalo	Santana	20,794
Lembá	Neves	17,129
Pagué	Príncipe	9,830
Caué	São J. Angolares	7,424
Total		209,607

4.1.5 Solução Energética para os Resíduos

A composição e o teor de humidade influenciam significativamente o valor do Poder Calorífico Superior (PCS). Deste modo, os resíduos mais secos, como os plásticos e o papel, apresentam valores de PCS mais elevados, enquanto os resíduos húmidos, como os restos alimentares, evidenciam valores mais baixos. No final de cada uma das tabelas seguintes (Tabela 7 a Tabela 10), encontram-se os cálculos das energias térmica e elétrica

correspondentes aos diferentes tipos de RSU, quais como: resíduos orgânicos, papel e cartão, plásticos e outros (como têxteis e resíduos mistos). O vidro e o metal não são considerados nestes cálculos, uma vez que possui um Poder Calorífico Superior muito baixo, praticamente nulo, não contribuindo, portanto, para a produção de energia.

Foram assumidas as seguintes frações: 65 % de matéria orgânica, 7,5 % de papel/cartão, 9 % de plástico e 13 % de outros resíduos, com Poderes Caloríficos Superiores (PCS) médios de 5 MJ/kg, 16 MJ/kg, 35 MJ/kg e 17,5 MJ/kg, respetivamente.

Para a conversão energética, considerou-se que 1 kWh equivale a 3,6 MJ e, tendo em conta uma eficiência de conversão (η) que varia entre 18 % e 25 %, estima-se uma média de 20 %, tal como se estimou a média do valor per capita. (Colorado & McDonell, 2018).

Tabela 7: Cálculo de Energias Térmica e Elétrica dos Resíduos Orgânicos

Local	População (hab)	Produção diária (kg/dia)	Resíduos orgânicos (kg/dia)	Energia Térmica (GWh/ano)	Energia Elétrica (GWh/ano)
		0,7	65,0%	5,0	20%
Á. Grande	80.647	56.453	36.694	18,347	3,669
Mé-Zóchi	50.697	35.488	23.067	11,534	2,307
Lobata	23.086	16.160	10.504	5,252	1,050
Cantagalo	20.794	14.556	9.461	4,731	0,946
Lembá	17.129	11.990	7.794	3,897	0,779
Pagué	9.830	6.881	4.473	2,236	0,447
Caué	7.424	5.197	3.378	1,689	0,338
Total	209.607	146.724,9	95.371,8	47,69	9,54

Tabela 8: Cálculo de Energias Térmica e Elétrica do Papel e Cartão

Local	População (hab)	Produção diária (kg/dia)	Papel e cartão (kg/dia)	Energia Térmica (GWh/ano)	Energia Elétrica (GWh/ano)
		0,7	7,5%	16,0	20%
Á. Grande	80.647	56.453	4.234	6,774	1,355
Mé-Zóchi	50.697	35.488	2.662	4,259	0,852
Lobata	23.086	16.160	1.212	1,939	0,388
Cantagalo	20.794	14.556	1.092	1,747	0,349
Lembá	17.129	11.990	899	1,439	0,288
Pagué	9.830	6.881	516	0,826	0,165
Caué	7.424	5.197	390	0,624	0,125
Total	209.607	146.724,9	11.004,4	17,61	3,52

Tabela 9: Cálculo de Energias Térmica e Elétrica dos Plásticos

Local	População (hab)	Produção diária (kg/dia)	Plástico (kg/dia)	Energia Térmica (GWh/ano)	Energia Elétrica (GWh/ano)
		0,7	9,0%	35,0	20%
Á. Grande	80.647	56.453	5.081	17,783	3,557
Mé-Zóchi	50.697	35.488	3.194	11,179	2,236
Lobata	23.086	16.160	1.454	5,090	1,018
Cantagalo	20.794	14.556	1.310	4,585	0,917
Lembá	17.129	11.990	1.079	3,777	0,755
Pagué	9.830	6.881	619	2,168	0,434
Caué	7.424	5.197	468	1,637	0,327
Total	209.607	146.724,9	13.205,3	46,22	9,24

Tabela 10: Cálculo de Energias Térmica e Elétrica dos Outros Resíduos Mistos

Local	População (hab)	Produção diária (kg/dia)	Outros (kg/dia)	Energia Térmica (GWh/ano)	Energia Elétrica (GWh/ano)
		0,7	13,0%	17,5	20%
Á. Grande	80.647	56.453	5.081	8,891	1,778
Mé-Zóchi	50.697	35.488	3.194	5,589	1,118
Lobata	23.086	16.160	1.454	2,545	0,509
Cantagalo	20.794	14.556	1.310	2,293	0,459
Lembá	17.129	11.990	1.079	1,888	0,378
Pagué	9.830	6.881	619	1,084	0,217
Caué	7.424	5.197	468	0,818	0,164
Total	209.607	146.724,9	13.205,4	23,11	4,62

4.2 Reflexão sobre a Criação de Central de Incineração em São Tomé e Príncipe

A análise dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em São Tomé e Príncipe evidencia que os resíduos orgânicos predominam, representando cerca de 65 % do total produzido, mas apresentam o menor poder calorífico superior (PCS) de aproximadamente 5 MJ/kg, permitindo produzir cerca de 9,54 GWh/ano mediante incineração controlada. Em contrapartida, resíduos com maior PCS, como papel/cartão (16 MJ/kg), plástico (35 MJ/kg) e outros (têxteis) (17,5 MJ/kg), apesar de representarem menor quantidade, oferecem maior retorno energético, podendo produzir 3,52 GWh, 9,24 GWh, e 4,62 GWh anuais, respetivamente, como mostra a Figura 24 e Figura 25, utilizando dados externos, verifica-se que, embora o plástico apresente um poder calorífico superior mais elevado do que a fração orgânica, ambas possuem valores de energia elétrica equivalentes.

A implementação de uma central de incineração deve, portanto, considerar a composição e o PCS dos RSU, priorizando a valorização de resíduos mais energéticos e adotando estratégias complementares, como a pré-separação de materiais recicláveis e a utilização de resíduos orgânicos em digestão anaeróbia ou compostagem.

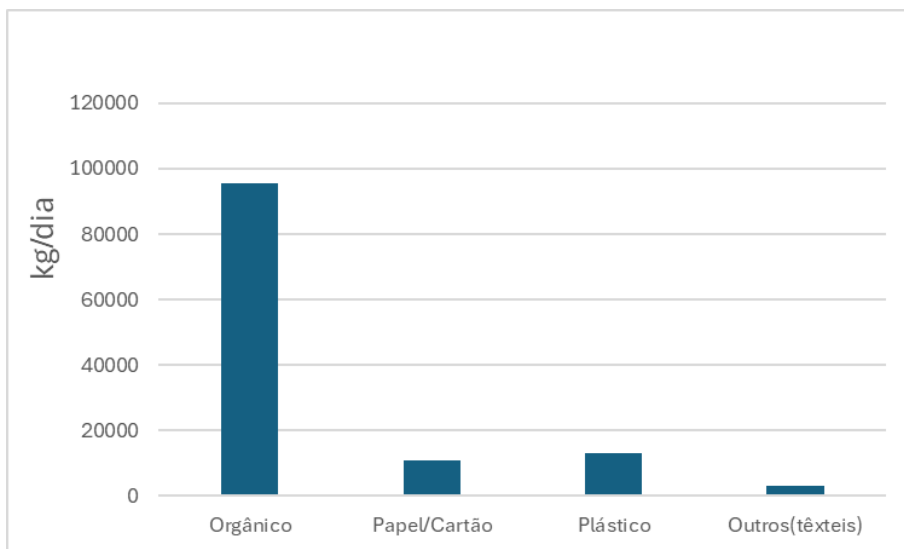


Figura 24: Produção Diária dos Resíduos Sólidos Urbanos

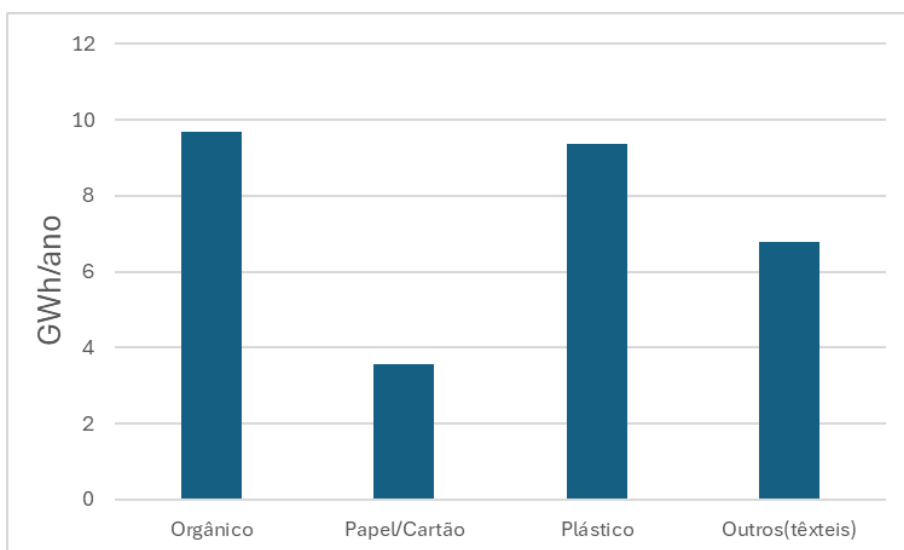


Figura 25: Produção Elétrica com Solução da Incineração dos RSU

4.2.1 Alternativas sobre a Produção de Energia

Assumindo-se que a produção anual total de energia é de 26,9 GWh (26.924.019 kWh), apresentam-se a seguir estimativas da sua capacidade de abastecimento em diferentes cenários de consumo, segundo a Country Economy (2023):

1. Capacidade de Abastecimento de Agregados Domésticos

Este cálculo estima quantos agregados domésticos poderiam ser abastecidos anualmente, considerando um consumo médio de 816 kWh/ano por agregado.

Resultado: A energia produzida permitiria abastecer aproximadamente 32.995 agregados domésticos por ano (\approx 33 mil famílias/ano).

2. Autonomia de Veículos Elétricos

Este cálculo determina a distância máxima que poderia ser percorrida por veículos elétricos, assumindo um consumo médio de 16 kWh/100 km (0,16 kWh/km).

Resultado: A energia disponível permitiria percorrer cerca de 168.273.000 km.

Observação: O valor é estimativo; o consumo real varia com o modelo do veículo, condições de condução e eficiência energética.

3. Capacidade de Iluminação Pública (Postes LED)

O cálculo estima quantos postes de iluminação LED poderiam ser alimentados anualmente, considerando: Potência: 100 W (0,1 kW)

Tempo de funcionamento: 4.000 h/ano

Consumo anual por poste: 400 kWh/ano.

Resultado: A produção energética poderia alimentar aproximadamente 67.310 postes LED, (\approx 67 mil postes).

Observação: O número real depende das horas efetivas de funcionamento e da potência dos equipamentos.

4. Equivalência em Eletrodomésticos (Frigoríficos)

Este cálculo estima quantos frigoríficos poderiam ser alimentados anualmente, assumindo um consumo médio de 360 kWh/ano por equipamento.

Resultado: A energia total corresponde ao consumo anual de cerca de 74.789 frigoríficos (\approx 75 mil frigoríficos/ano).

4.3 Desafios e Evolução da Produção de Energia em São Tomé e Príncipe

A Empresa de Água e Eletricidade de São Tomé e Príncipe (EMAE) é uma entidade pública, detida integralmente pelo Estado, responsável pela distribuição de água e energia elétrica no país.

Segundo os dados da EMAE, a produção de eletricidade baseia-se essencialmente em centrais termoelétricas a gasóleo, que representam cerca de 90 % da capacidade instalada, complementadas por uma central hidroelétrica e uma central solar fotovoltaica em Santo

Amaro, como mostra na Figura 26, com 1,2 MW. O projeto das centrais solares resulta de financiamento conjunto do BAD, PNUD e UNIDO, permitindo a construção de 1,7 MWp em duas fases: 0,5 MWp (PNUD, 2022) e 1,2 MWp (BAD, 2025).



Figura 26: Central Energética de Santo Amaro em São Tomé e Príncipe

Fonte: (Téla Nón, 2023)

Atualmente, a capacidade instalada das centrais termoelétricas é de 19,3 MW, num total de 38,5 MW de capacidade do sistema (Tabela 11), sendo a diferença explicada por questões de manutenção e eficiência operacional.

Tabela 11: Centrais de Eletricidade em São Tomé e Príncipe (Fonte: EMAE)

Central Termoelétrica	Localização	Capacidade Instalada (MW)
São Tomé	São Tomé	1,4
Santo Amaro I	São Tomé	5,1
Santo Amaro II	São Tomé	3,3
Santo Amaro III	São Tomé	6,4
Bobo Forro II	São Tomé	0,728
Príncipe	Ilha do Príncipe	1,1
Centrais descentralizadas	Várias localidades	0,217
Central solar piloto PV-Norte	São Tomé	0,170

Apesar dos avanços, o país enfrenta grandes desafios, como a dependência de combustíveis fósseis e a deficiente manutenção dos equipamentos, que provocam interrupções frequentes no fornecimento de energia.

De acordo com o portal SAPO (2025), a Tesla São Tomé e Príncipe, subsidiária do grupo turco FB-Group, inaugurou uma central de 10 MW e planeia expandir a produção em mais 45 MW. Contudo, em 2025 surgiram tensões com o governo, após a empresa exigir o pagamento de 5 milhões de euros, quando a EMAE já reconheceria 2 milhões de euros de dívida.

Capítulo 5 Conclusão

Este estudo analisou o potencial de valorização energética e ambiental dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em São Tomé e Príncipe que constitui uma oportunidade estratégica para promover a sustentabilidade ambiental, a eficiência energética e a melhoria da gestão de resíduos. A fração orgânica predomina, representando cerca de 65 % do total produzido, seguida por papel/cartão, plástico e outros resíduos combustíveis. Apesar do baixo poder calorífico dos resíduos orgânicos, a sua elevada proporção garante um contributo energético significativo, comparável ao do plástico, que possui maior poder calorífico.

Os cálculos indicam que a instalação de uma incineradora com recuperação de energia poderia gerar cerca de 26,9 GWh/ano, com uma eficiência estimada de 20 %, reduzindo a quantidade de resíduos enviados para a lixeira e promovendo a produção de energia renovável. Esta energia permitiria abastecer aproximadamente 32.995 agregados domésticos, percorrer cerca de 168 milhões de quilómetros em veículos elétricos, alimentar 67.310 postes de iluminação pública LED e corresponder ao consumo anual de cerca de 74.789 frigoríficos. A conjugação desta valorização energética com a separação e reciclagem das frações recicláveis reforça a economia circular e contribui para a redução do impacto ambiental, evidenciando o potencial desta solução para o cumprimento das metas de sustentabilidade.

Em recomendação, a implementação de uma Unidade de Valorização Energética (UVE), apoiada por logística eficiente e programas de compostagem doméstica, permitiria a transição de São Tomé e Príncipe de um sistema de gestão de resíduos baseado na eliminação para um sistema moderno de valorização energético, com benefícios claros a nível ambiental, energético e social.

Referências Bibliográficas

Acosta Castellanos, P. M. (2022). From environmental education to education for sustainable development in higher education: A systematic review. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(3), 622-?. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJSHE>.

Acquaye, R. (2018a). From Tradition to Innovation: Indigenous West African Textiles in Creative Interior Application. *American Journal of Art and Design*, 3, 18. <https://doi.org/10.11648/j.ajad.20180302.11>.

Acquaye, R. (2018b). Sustainable fashion in Africa: Opportunities and challenges. In *Sustainable Fashion: Global Issues, Local Answers* (pp. 259-276). Routledge.

Afonso, J. (2022, 20 de novembro). Lixo preocupa a população e ameaça a saúde pública em São Tomé e Príncipe (C/Video). RSÃO TOMÉ E PRÍNCIPE. <https://rSão Tomé e Príncipe.st/2022/11/20/lixo-preocupa-a-populacao-e-ameaca-a-saude-publica-em-sao-tome-e-principe/>.

Agência Ambiental Sustentável. (2023). Relatório sobre iniciativas comunitárias de educação ambiental em São Tomé e Príncipe. Agência Ambiental Sustentável.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2021). Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2030 (PNGR 2030). APA. <https://apambiente.pt/>.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2022). Gestão de resíduos urbanos em Portugal: Relatório anual 2022. Lisboa: APA. <https://apambiente.pt/gestao-de-residuos>.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2023). Regras gerais para compostagem de resíduos agrícolas, florestais e urbanos. Recuperado de <https://apambiente.pt/sites/default/files/Residuos/Legisla%C3%A7%C3%A3o/V0-comentada-RG%20Compostagem-20230223.pdf>.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2024). Manual de Boas Práticas na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2024, 4 Out.). Aterros. <https://apambiente.pt/index.php/en/node/853>.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2025, 11 fevereiro). Responsabilidade pela gestão. <https://apambiente.pt/residuos/responsabilidade-pela-gestao>.

Agudo, M. de M., & Teixeira, L. A. (2021). A pesquisa em educação ambiental na disputa pela escola pública: o materialismo histórico-dialético como fundamento teórico-metodológico. REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, 38(3). <https://doi.org/10.14295/remea.v38i3.13170>.

Almeida, K. D'. (2024, 24 fevereiro). Associação Baobá desenvolve projetos de promoção da educação e ambiente em SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE. Rádio Somos Todos Primos. https://rSão_Tomé_e_Príncipe.st/2024/02/24/associacao-baoba-desenvolve-projetos-de-promocao-da-educacao-e-ambiente-em-st/.

Ashwin, M., & outros. (2021). IoT based intelligent route selection of wastage segregation for smart cities using solar energy. Resources, Conservation & Recycling, 170. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105531>.

Asmag. (2019, 4 de outubro). NEC's intelligent management platform makes Lisbon smarter. <https://www.asmag.com/showpost/30622.aspx>.

Associação das Entidades de Valorização Energética de Resíduos Sólidos Urbanos [AVALER]. (2023). Valorização energética de resíduos urbanos: Economia circular e descarbonização. https://www.lipor.pt/fotos/bibliotecas/brochura_avaler_final_16942884095e68f979d1661.pdf.

Banco Mundial. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>.

Basu, P. (2010). Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory. Academic Press.

Biofactor. (2024). A coleta de resíduos sólidos urbanos. Biofactor. <https://biofactor.pt/a-coleta-de-residuos-solidos-urbanos/>.

Carvalho, A. P. (2021). Educação Ambiental e os Resíduos Sólidos Urbanos em São Tomé e Príncipe.

Cfeelings. (2024, março 5). As incineradoras estão a crescer tanto na Europa que estão a tornar-se um problema. A má notícia é que não sabemos como resolver isso. Cfeelings. <https://cfeelings.pt/as-incineradoras-estao-a-crescer-tanto-na-europa-que-estao-a-tornar-se-um-problema-a-ma-noticia-e-que-nao-sabemos-como-resolver-isso/>.

Colorado, A., & McDonell, V. (2018). Surface-stabilized combustion technology: An experimental evaluation of the extent of its fuel-flexibility and pollutant emissions using low and high calorific value fuels. *Applied Thermal Engineering*, 136, 206-218. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.02.081>.

Comissão Europeia. (2020). Plano de Ação para a Economia Circular: Por uma Europa mais limpa e mais competitiva. Bruxelas: Comissão Europeia. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>.

COTEC Portugal. (2020). Valorização de resíduos: Agregados artificiais e sustentabilidade. Lisboa: COTEC Portugal.

CountryEconomy. (2023). São Tomé e Príncipe - Electricity consumption. <https://countryeconomy.com/energy-and-environment/electricity-consumption/sao-tome-principe countryeconomy.com+1>.

Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro. Regime geral da gestão de resíduos, regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e alteração ao regime da gestão de fluxos específicos de resíduos. *Diário da República*, n.º 239/2020 (1.º Suplemento, Série I).

Direção Geral da Saúde. (2020). Orientação para a gestão de resíduos de serviços de saúde. DGS. <https://www.dgs.pt/>.

DGRNE. (2019). Relatório sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos em São Tomé e Príncipe [PDF]. https://dgrne.org/sites/default/files/2022-11/ALER%20Relatorio%20S.Tom%C3%A9_v2-10092019_0.pdf.

Direção Geral da Saúde. (2020). Orientação para a gestão de resíduos de serviços de saúde. DGS. <https://www.dgs.pt/>.

EMAE - Empresa de Água e Eletricidade de São Tomé e Príncipe. Energia. <https://www.emae.st/PT/produtos/energia>.

Empresa de Soluções Ecológicas - ESE. (2024). Inovação em Frotas de Recolha de Resíduos Urbanos: Especificações e Eficiência.

European Parliament. (2017). Reducing food waste in the EU. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/106/reducing-food-waste-in-the-eu>.

Fahmy, T. Y. A., Fahmy, Y., Mobarak, F., El-Sakhawy, M., & Abou-Zeid, R. E. (2020). Biomass pyrolysis: Past, present, and future. *Environment, Development and Sustainability*, 22(1), 17-32. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0200-5>.

FAO. (2024, 12 de março). Economia azul e desenvolvimento sustentável em São Tomé e Príncipe. <https://www.fao.org/sao-tome-e-principe/noticias/detail-events/pt/c/1738201>

Freitas, J. F. M. de. (2000-2022.). Independência de São Tomé e Príncipe. Magazine O Leme. <https://www.leme.pt/magazine/efemerides/0712/sao-tome-e-principe.html>.

Fonseca, J. (2020). Valorização energética de resíduos para uma economia circular: Estudo de caso da LIPOR. Instituto Politécnico do Porto. https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/16920/1/DM_JoseFonseca_2020_MEESE.pdf.

Fundo Ambiental. (2022). Cooperação internacional – Apoios 2023. Ministério do Ambiente e da Ação Climática. <https://www.fundoambiental.pt/avisos-anteriores/apoios-2023/cooperacao-internacional.aspx>.

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.

Greensavers. (2023, 19 de junho). UE financia em 2,2 M€ projeto de transformação de lixo em energia em São Tomé e Príncipe. <https://greensavers.sapo.pt/ue-financia-em-22-me-projeto-de-transformacao-de-lixo-em-energia-em-sao-tome-e-principe>.

Huang, C., Fang, S., Wu, H., Wang, Y., & Yang, Y. (2024). Low-altitude intelligent transportation: System architecture, infrastructure, and key technologies. *Journal of Industrial Information Integration*, 42, Article 100694. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100694>.

Instituto Nacional de Estatística de São Tomé e Príncipe. (2022). Anuário estatístico 2021. INE-São Tomé e Príncipe. <https://www.ine.st/>.

International Solid Waste Association (ISWA). (2015). Global Waste Management Outlook. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.

Lasso Eco Innovation. (2016). Contentores enterrados. Lasso no PAYT em Guimarães <https://lasso.pt/contentores-enterrados-lasso-no-payt-em-guimaraes/>.

Levy, J. de Q., & Cabeças, A. J. (2006). Resíduos sólidos urbanos. Lisboa: Edições Técnicas Ambientais e Associação das Empresas Portuguesas para o Sector do Ambiente.

- Lewandowski, I. M., Heinz, A., & Anger, T. (2017). Miscanthus and other lignocellulosic biomass as sustainable resources for textile fibres. *Biomass and Bioenergy*, 98, 1-9.
- Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R., & Searchinger, T. (2013). Reducing food loss and waste. World Resources Institute.
- Mandinga, L. D. G. V. C. (2010). A Problemática Ambiental. Políticas e Medidas Para a Conservação dos Ecossistemas em São Tomé (Master's thesis, Universidade NOVA de Lisboa (Portugal)).
- Marques, R. (2024). Desafios ambientais em São Tomé e Príncipe: passado e presente. *Revista Internacional em Língua Portuguesa*, 46, 2728–2744.
- Ministério do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (STP). (2018). Plano Nacional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (PNGIRSU) 2018-2023. <http://www.ou.edu/tulsa/it/access.html>.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2000). Surface modifications of natural fibers and performance of resulting biocomposites: An overview. *Composite Interfaces*, 7(5), 353-393.
- MOPIRNMA. (2011). Plano de Ação para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (PAGIRSU 2011–2016). Ministério do Obras Públicas, Infraestruturas, Recursos Naturais e Meio Ambiente de São Tomé e Príncipe.
- Morais, R. S. (2019, 30 de maio). Apresentação do PowerPoint - Cascais Ambiente. Cascais Ambiente. https://ambiente.cascais.pt/sites/default/files/anexos/7_painel_2_boaspraticasnac_braga_ruimorais.pdf.
- Nações Unidas em Guiné-Bissau. (2024). UN-Habitat por cidades mais limpas. <https://guineabissau.un.org/pt/272154-un-habitat-por-cidades-mais-limpas>.
- Nascimento, R. R. (2021). Recolha seletiva trifluxe e biorresíduos: Benchmarking europeu, balanço, impactos, estratégia e prospeção 2030 (Dissertação de Mestrado, Universidade NOVA de Lisboa). https://run.unl.pt/bitstream/10362/163758/1/Nascimento_2022.pdf.
- National Institute for Public Health and the Environment. (2021). Report 2021-0143: Waste incineration and co-incineration of waste; Emissions, efficiency and technologies (p. 141). <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2021-0143.pdf>.

Neri, A., Bernardi, B., Zimbalatti, G., & Benalia, S. (2023). An overview of anaerobic digestion of agricultural by-products and food waste for biomethane production. *Energies*, 16(19), 6851. <https://doi.org/10.3390/en16196851>.

Niinimäki, J., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 189-200.

Pacific Regional Environment Programme. (2022, December). Organics factsheet: Small-scale composting. <https://pacwasteplus.org/wp-content/uploads/2022/12/Small-Scale-Composting-Factsheet-3.pdf>.

Parlamento Europeu. (2023, 24 de maio). Economia circular: definição, importância e benefícios. <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20151201STO05603/economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios>.

Pereira, A. (2025, 8 de outubro). As incineradoras estão a crescer tanto na Europa que estão a tornar-se um problema. A má notícia é que não sabemos como resolver isso. *cfeelings*. <https://cfeelings.pt/as-incineradoras-estao-a-crescer-tanto-na-europa-que-estao-a-tornar-se-um-problema-a-ma-noticia-e-que-nao-sabemos-como-resolver-isso/>.

Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUMA). (2018). Africa Waste Management Outlook. Nairobi: United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/25514>.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). (2021). Gestão sustentável de resíduos em pequenos Estados insulares em desenvolvimento: Desafios e soluções. Nova Iorque: PNUD.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). (2022). Relatório sobre o Estado do Ambiente e Gestão de Resíduos em São Tomé e Príncipe. São Tomé: PNUD.

Rehman, M. L. U. (2019). Anaerobic digestion. *Water Environment Research*, 91(7), 1163–1176. <https://doi.org/10.1002/wer.1219>.

Reisch, L. A., Eberle, U., & Lorek, S. (2013a). Sustainable consumption: What it is and what it is not. *Journal of Consumer Policy*, 36(1), 5-24.

Reisch, L., Eberle, U., & Lorek, S. (2013b). Sustainable food consumption: Where do we stand today? An overview of issues and policies. *Sustainability: Science, Practice, and Policy*, 9.

Reno, J. (2015). Waste and waste management. *Annual Review of Anthropology*, 44(1), 557-572. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-102214-014146>.

Resíduos do Nordeste, EIM. (2024, 10 de março). Reforço da recolha seletiva porta-a-porta. <https://residuosdonordeste.pt/reforco-da-recolha-seletiva-porta-a-porta/>.

Resíduos do Nordeste, EIM. (2025). Planos de sensibilização ambiental. Resíduos do Nordeste. <https://residuosdonordeste.pt/planos-de-sensibilizacao-ambiental/>.

Santos, D. (2013). Valorização energética de resíduos sólidos urbanos. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.5894/rgci396>.

São Tomé e Príncipe. (2020). Lei n.º 8/2020: Proíbe a produção, importação, comercialização e distribuição de sacos de plástico não biodegradáveis. *Diário da República*.

SAPO. (2025, junho). Tesla SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE inaugura central de 10 MW e planeia expansão da capacidade em São Tomé e Príncipe. <https://www.sapo.st/>.

Sikarwar, V. S., Zhao, M., Clough, P., Yao, J., Zhong, X., Memon, M. Z., Shah, N., Anthony, E. J., & Fennell, P. S. (2016). An overview of advances in biomass gasification. *Energy & Environmental Science*, 9, 2939-2977. <https://doi.org/10.1039/C6EE00935B>.

Silva, R. T., & Pereira, M. A. (2021). Processos termoquímicos de conversão de resíduos sólidos: pirólise e gaseificação. *Revista Brasileira de Energia e Sustentabilidade*, 10(2), 45–59.

Silva, P. G. (2022). O triplo impacto da logística de resíduos urbanos: Ambiente, economia e sociedade. *Revista Portuguesa de Gestão Ambiental*, 10(2), 45-60.

Simopecas. (2025). Produtos. <https://www.simopecas.com/pt/produtos>.

Sultana, R., & Muhammad, N. (2018a). Role of Indigenous Knowledge in Sustainable Development. *International Journal of Development Research*, 8, 18902–18906.

Sultana, S., & Muhammad, N. (2018b). Environmental sustainability through textile waste recycling. *Journal of Environmental Management*, 223, 831-849.

Tonikidou, A., & Webb, T. L. (2024). Does Providing Information about the Environmental Benefits of Reusable Packaging Systems for Consumer Products Increase Consumers' Willingness to Use Them? *Sustainability*, 16(15), 6599. <https://doi.org/10.3390/su16156599>

Too Good To Go. (2019, 29 de outubro). Too Good To Go: a maior app de combate ao desperdício alimentar chega a Portugal. Comunicados de Imprensa. <https://www.toogoodtogo.com/pt/press/too-good-to-go-pt>.

Transtel S.A. (2023, 11 de abril). Varredoras autopropulsadas. <https://transtelsa.com/pt-pt/veiculo/varredoras-autopropulsadas/>.

UNEP – United Nations Environment Programme. (2016). Global Waste Management Outlook. <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>.

UNEP. (2021). Global waste management outlook. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>.

United States Environmental Protection Agency. (2025, January 7). Environmental benefits of anaerobic digestion (AD). <https://www.epa.gov/anaerobic-digestion/environmental-benefits-anaerobic-digestion-ad>.

Vertown. (2025, 2 de junho). Veja quais são os tipos de tratamento mais indicados para diferentes resíduos. <https://www.vertown.com/blog/veja-quais-sao-os-tipos-de-tratamento-mais-indicados-para-diferentes-residuos/>.

Williams, I., Doynow, M., Haslam, R., & Oguntimein, K. (2013). The impact of alternate weekly collections on waste arisings. *Science of the Total Environment*, 463–464, 732–741. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.118>.

WorldAtlas. (2023, 17 dezembro). Maps of São Tomé and Príncipe. <https://www.worldatlas.com/maps/sao-tome-and-principe> worldatlas.com

World Bank. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.

World Bank. (2023). *Waste Management in Africa: Challenges and Opportunities*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33377>.

Wu, H., Tao, F., & Yang, B. (2020). Optimization of vehicle routing for waste collection and transportation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 4963.

WWF. (2023). The impact of cotton. World Wildlife Fund. <https://www.worldwildlife.org/industries/cotton>.

Yousaf, T., & outros. (2023). Municipal solid waste gasification: Technologies, process parameters and sustainable valorization of by-products in a circular economy. *Sustainability*, 17(15), 6704. <https://doi.org/10.3390/su17156704>.

Zambrano-Monserrate, M. A., Ruano, M. A., & Sanchez-Alcalde, L. (2020). Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of the Total Environment*, 728, 138813.

Zero Waste Europe. (2023). Enough is enough: The case for a moratorium on incineration. <https://zerowasteurope.eu/library/enough-is-enough-the-case-for-a-moratorium-on-incineration/>.

Zhang, L., & Biao, P. (2021). Review on anaerobic digestion and disposal technology of solid waste. *Scientific Journal of Technology*, 4(8). <https://doi.org/10.54691/sjt.v4i8.1640>.