

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS PRINCESA ISABEL**

FABIO FONSECA VIEIRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE USINA DE TRIAGEM E
COMPOSTAGEM NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE – PB**

Princesa Isabel

2022

FABIO FONSECA VIEIRA

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE USINA DE TRIAGEM E
COMPOSTAGEM NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE – PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Especialização em Gestão Ambiental de Municípios do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Princesa Isabel, como requisito necessário para obtenção do título de Especialista em Gestão Ambiental de Municípios.

Orientador(a): Dr. Ivan Jeferson Sampaio Diogo

Vieira, Fábio Fonseca.
V658a Análise da viabilidade de implantação de usina de triagem e compostagem no município de Campina Grande – PB / Fábio Fonseca Vieira. – 2022.
42 f : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental de Municípios) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Princesa Isabel, 2022.

Orientador(a): Dr. Ivan Jeferson Sampaio Diogo.

1. Resíduos sólidos. 2. Compostagem. 3. Usinas de Triagem. 4. Campina Grande-PB. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

IFPB/PI CDU 628.4

Catálogo na Publicação elaborada pela Seção de Processamento Técnico da Biblioteca Professor José Eduardo Nunes do Nascimento, do IFPB Campus Princesa Isabel.

FABIO FONSECA VIEIRA

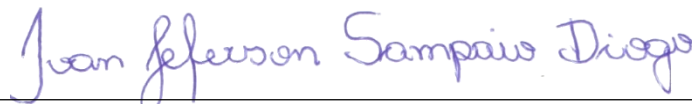
ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE USINA DE TRIAGEM E
COMPOSTAGEM NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE – PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Princesa Isabel, como requisito necessário para obtenção do Grau de Especialista em Gestão Ambiental de Municípios.

Orientador(a): Dr. Ivan Jeferson Sampaio Diogo

Aprovado em, 02 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA:



Dr. Ivan Jeferson Sampaio Diogo / IFPB
Orientador (a)



Dra. Daniela Passos Simões de Almeida Tavares / IFPB
1º examinador



Dr. Manoel Mariano Neto da Silva / UFAL
2º Examinador

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 - Localização da área de estudo e da área do ASCG	21
Figura 3.2 - Mapa de Tipos de Solo de Campina Grande - PB	22
Figura 3.3 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo em Campina Grande - PB	23
Figura 4.1 - Resíduos sólidos coletados em Campina Grande - PB de 2009 a 2019	28
Figura 4.2 - Funcionamento dos silos de entrada	30
Figura 4.3 - Vista aérea do pátio de compostagem e das leiras	33
Figura 4.4 - Corte transversal do pátio de compostagem	33
Figura 4.5 - Exemplo das etapas de trabalho num galpão de triagem	35
Figura 4.6 - Dimensões do galpão de triagem	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Composição gravimétrica e volumétrica em RSU de Campina Grande	29
Tabela 4.2 - Volumetria dos resíduos coletados	32
Tabela 4.3 - Vantagens e desvantagens dos métodos de triagem	34
Tabela 4.4 - Equipamentos e materiais necessários para o funcionamento da UTC	36
Tabela 4.5 - Custos de obras, materiais e equipamentos para o projeto	37
Tabela 4.6 - Despesas mensais na operação da UTC	37
Tabela 4.7 - Arrecadação potencial com a venda dos produtos triados	38

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

Abrelpe	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANCAT	Associação Nacional de Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis
ASCG	Aterro Sanitário de Campina Grande
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPPR	Ministério Público do Paraná
NBR	Norma Técnica Brasileira
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SINDUSCON/PB	Sindicato da Indústria de Construção Civil da Paraíba
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UTC	Unidade de Triagem e Compostagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS	15
2.2	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	16
2.3	PROCESSO DE COMPOSTAGEM E FUNCIONAMENTO DE UMA UNIDADE DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM	17
3	METODOLOGIA	21
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
3.2	COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E VOLUMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	23
3.3	DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM	24
3.3.1	Projeção Populacional	24
3.3.2	Dimensionamento do Pátio de Compostagem	25
3.3.3	Dimensionamento do Galpão de Triagem	26
3.3.4	Estimativa Orçamentária do Projeto	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1	GERAÇÃO E COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICAS DOS RESÍDUOS	28
4.2	OPERAÇÃO DA UTC	30
4.3	DIMENSIONAMENTO OPERACIONAL	31
4.3.1	Dimensionamento do Pátio de Compostagem	32
4.3.2	Dimensionamento do Galpão de Triagem	34
4.3.3	Estimativa Orçamentária do Projeto	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS	41

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE – PB

Resumo: As formas de produção e consumo de produtos e serviços adotadas pela sociedade atual resultam em um aumento desproporcional na geração de resíduos sólidos. Dentre os dejetos, os resíduos orgânicos se destacam por causar problemas ambientais ligados à sua degradação biológica, como a geração de gases do efeito estufa e lixiviados com elevado potencial poluidor/degradador. A compostagem é uma técnica de degradação controlada dos resíduos orgânicos de forma que sejam decompostos aerobicamente, mitigando a geração de lixiviados e da geração de gás metano (CH₄). Uma das formas mais acessíveis e eficientes de operar a compostagem é através de uma Unidade de Triagem e Compostagem (UTC), com pátios de compostagem e leiras revolvidas. Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da implantação de uma UTC no município de Campina Grande - PB. O levantamento de dados sobre os resíduos gerados no município foi realizado através de pesquisa bibliográfica encontrando uma composição gravimétrica de 46,5% de resíduos orgânicos, 16,7% de plásticos, 11,1% de papéis e papelões, 2,5% de vidros, 0,6% de metais e 22,7% de outros resíduos que não podem ser aproveitados. O dimensionamento da UTC demonstrou necessário uma área de 1,9 hectares para o pátio de compostagem e 800 m² para o galpão de triagem. Os investimentos necessários são de R\$ 1.331.987,43, para a instalação, e R\$ 95.688,00 mensais, para a operação e manutenção. Apesar do custo elevado, o projeto tem a capacidade de gerar R\$ 839.266,46 de lucro líquido, podendo cobrir os custos de instalação no segundo mês. Além dos impactos positivos para o meio ambiente e para a geração de renda, o projeto demonstra grande potencialidade de gerar capital, principalmente pela venda de metais e plásticos triados e processados, servindo ainda de exemplo para outros projetos similares.

Palavras-chave: Compostagem. Resíduos Sólidos. Usina de Triagem e Compostagem. Reciclagem.

ANALYSIS OF THE VIABILITY FOR THE IMPLANTATION OF A SCREENING AND COMPOSTING PLANT IN CAMPINA GRANDE - PB

Abstract: *The means of production and consumption of products and services adopted by current society result in a disproportionate rise in solid waste generation. Among the waste, organic residues stands out for causing environmental problems connected to its biological degradation, such as generation of greenhouse gases and landfill leachate with high potential for polluting/degrading. Composting is a technique for the controlled degradation of organic residues so they are aerobically decomposed, mitigating leachate and methane generation. One of the most accessible and efficient way to operate the composting process is through a Screening and Composting Unit (SCU), with composting yard and revolved windrows. This paperwork objective is to analyse the viability for the implantation of a SCU in the municipality of Campina Grande - PB. The data collection about waste generated in the city was done through bibliographic research, finding the gravimetric composition of 46,5% of organic waste, 16,7% of plastics, 11,1% of paper and cardboard, 2,5% of glasses, 0,6% of metals and 22,6% of other residues that couldn't be availed. The SCU's sizing showed that 1,9 hectares were necessary for the composting yard and 800 square meters for the sorting shed. The needed investments are R\$ 1.331.987,43 for the installation and R\$ 95.688,00 monthly for operation and maintenance. Despite of the high cost, the project has a potential of generating R\$ 839.266,46 of net profit, covering the installation costs in the second month. Beside the positive impacts for the environment and income generation, the project shows great potential for generating capital, especially through the selling of metal and plastics sorted and processed, showing still the example for similar projects.*

Keywords: *Composting. Solid waste. Screening and Composting Unit. Recycling.*

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos nas atividades produtivas da sociedade nos últimos séculos, provocaram um grande aumento da população urbana e assim, uma concentração populacional que acarretou múltiplos problemas sociais e ambientais, a exemplo do desperdício de alimentos e aumento expressivo na geração de resíduos e de seus rejeitos derivados.

Segundo a Abrelpe (2020), no Brasil, 45,3% dos resíduos sólidos são orgânicos, seguindo um padrão da maioria dos países do subdesenvolvidos, onde estes resíduos compreendem por volta de 50% do total, podendo ser maior em municípios de menor porte e em países menos industrializados. Esses resíduos podem ser compostos por matéria orgânica geradas em atividades urbanas, resíduos de poda, resíduos provenientes de atividades agropecuárias, além delodo de estações de tratamento de água e esgoto, desde que devidamente tratados.

Dentro os impactos ambientais gerados pela disposição final de resíduos sólidos orgânicos pode-se citar a emissão de gases do efeito estufa e outros gases poluentes, a emissão de lixiviado de aterro e a proliferação de vetores e organismos patogênicos. Segundo a PNSB os resíduos dispostos inadequadamente diminuíram de 58% para 39% de 2000 a 2008. Contudo, se observados dados do Diagnóstico de Resíduos Sólidos do SNIS (2020), cerca de 16 milhões de toneladas foram dispostas inadequadamente, correspondendo a 24,9% do total em 2019.

Esses impactos acontecem em maior magnitude nas disposições finais inadequadas. Aterros sanitários, por outro lado, devem possuir formas de mitigar esses impactos de acordo com a NBR 8419 - Apresentação de Projetos de Aterros Sanitarios de Residuos Sólidos Urbanos (ABNT, 1992), como por exemplo equipamentos de drenagem e tratamento dos lixiviados, de captação e tratamento dos gases, de drenagem superficial de águas pluviais, impermeabilização da fundação, camada de cobertura diária e barreiras físicas contra vetores.

O biogás do aterro sanitário, composto principalmente de metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), dois gases do efeito estufa (GEE), geralmente é queimado, transformando o metano em gás carbônico e água. Apesar do controle das emissões gasosas, pode-se considerar que, além de muitos aterros não apresentarem um tratamento adequado do gás coletado, uma parte dos gases fogem aos drenos e à queima, devido à baixa eficiência do sistema de drenagem e de combustão do biogás. Os gases emitidos pelo aterro ainda podem conter compostos voláteis perigosos, além de outros gases que impactam a saúde e o meio ambiente, como o gás sulfídrico (H_2S).

Já o lixiviado de aterro é um líquido com alta carga orgânica e substâncias inorgânicas perigosas dissolvidas, gerado na decomposição da matéria orgânica, somado a água da chuva e

outros líquidos que possam ter sido introduzidos. O tratamento de lixiviado pode ser custoso, devido a necessidade de uma significativa área e uma mão de obra qualificada para acompanhar a biodegradação da sua carga orgânica (CHEIBUB; CAMPOS; FONSECA, 2014).

A disposição final dos resíduos orgânicos pode ser reduzida consideravelmente com o advento da compostagem. Essa técnica sempre esteve presente ao longo da história em menor escala (MAZOYER; ROUDART, 2010), porém mostrou-se possível uma revolução nos processos de compostagem, devido a evolução nos transportes dos resíduos, já estabelecidos nos serviços de gerenciamento de resíduos, e a possibilidade de mecanização da compostagem e gerenciamento do processo de forma mais técnica.

Devido a separação prévia dos resíduos orgânicos, a compostagem tem a vantagem de reduzir consideravelmente o lixiviado de aterro e a nocividade deste. Essa segregação diminui substancialmente a umidade da massa de resíduos, o que significa a redução da lixiviação, assim como o carreamento de materiais de baixa biodegradabilidade. Enquanto o biogás do aterro pode ser diminuindo quase que inteiramente, pois o processo aeróbio de compostagem gera apenas CO₂ e água.

Além dessas vantagens ambientais e sanitárias, uma das maiores motivações da compostagem, é a renovação da fertilidade do solo. O composto gerado não apenas traz de volta nutrientes retirados desse, mas o faz de forma que melhora a estrutura e a textura, assim como a disponibilidade desses nutrientes e a redução de sua lixiviação. Como observado na Resolução CONAMA nº 481/ 2017, que estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, o composto, se produzido adequadamente, não cumpre só a função de fertilizante, mas também de condicionador e corretivo de solo, muito favorável à produtividade agrícola, silvícola e hortícola.

Segundo MPPR (2012), além da fertilização, o composto apresenta elevada área de superfície e capacidade de troca catiônica, evitando alterações muito grandes de pH, reduz as oscilações diárias de temperatura do solo, aperfeiçoa sua capacidade de aeração, permeabilidade e retenção de água, controla patógenos e parasitas, favorece a estabilidade estrutural e de agregados do solo e melhora a sua trabalhabilidade.

As Usinas de Triagem e Compostagem (UTC) são obras de infraestrutura voltadas a separação, através da triagem e acondicionamento de diferentes resíduos, tendo no final do processo a compostagem dos resíduos orgânicos. Segundo dados do documento do SNIS (2020) cerca de 300 mil ton/ano de resíduos orgânicos são destinados à compostagem, proporcionando a diminuição do aterramento de resíduos e a valorização de resíduos orgânicos como matéria prima na produção de composto.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da implantação de uma UTC de resíduos sólidos no município de Campina Grande - PB, utilizando um sistema de leiras revolvidas. Para isso, será feita a caracterização dos resíduos sólidos coletados no município, a partir da composição e quantificação gravimétrica e volumétrica, o dimensionamento do espaço necessário para a instalação do galpão de triagem e do pátio de compostagem e a proposição da implantação, com estimativa orçamentária e exposição de vantagens sociais, ambientais e econômicas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Serão apresentados neste capítulo as temáticas sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do município de Campina Grande; a caracterização e classificação de resíduos sólidos; o processo de compostagem e o funcionamento de uma Unidade de Triagem e Compostagem.

Existe uma grande quantidade de material teórico envolvendo a área de gerenciamento de resíduos sólidos, desde artigos e outros trabalhos acadêmicos, até manuais e legislação do poder público. Apesar do material envolvendo especificamente compostagem e Unidades de Triagem e Compostagem ser mais reduzido, é suficiente para embasar o objetivo deste trabalho.

2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei nº 12.305/2010, importante marco legal para o gerenciamento de resíduos sólidos, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e traz conceitos importantes para serem levados em conta neste trabalho. Segundo o Artigo 3º desta Lei, pode-se diferenciar os conceitos de destinação e disposição final ambientalmente adequadas: enquanto a primeira se refere aos diversos métodos e técnicas de tratamento de resíduos sólidos “que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas, entre elas a disposição final”, a segunda é apenas uma dessas destinações, observando normas específicas, mais especificamente a NBR 8419 (ABNT, 1992), sendo assim, a única forma de disposição final ambientalmente adequada é o aterro sanitário (BRASIL, 2010).

Ainda segundo a PNRS, em seu artigo 3º, a reciclagem é definida como um “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos”, abrangendo então o conceito de compostagem. Assim, a Lei considera o resíduo orgânico compostável como um bem econômico e de valor social, que gera trabalho e renda e promove cidadania. O uso de composto é objeto de fomento e prioridade em aquisições e contratações governamentais, segundo o artigo 7º desta lei. A PNRS, segundo seu artigo 8º, também define como seu instrumento a “cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias” relacionadas (BRASIL, 2010).

A Lei também traz em seu Artigo 36, inciso V, que, sobre responsabilidade compartilhada

pelo ciclo de vida dos produtos, a implantação de sistemas de compostagem de resíduos orgânicos e a articulação com agentes para formas de utilização do produto, cabem ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, observando, se houver, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) (BRASIL, 2010).

Segundo o Artigo 18 da PNRs, o PMGIRS é condição necessária para municípios obterem recursos, incentivos ou financiamentos provenientes da União, destinados ao gerenciamento de resíduos sólidos, sendo priorizados os municípios que adotarem soluções consorciadas e a participação de formas de associação de catadores. O Artigo 19 desta lei traz ainda o conteúdo mínimo de um PMGIRS, que consistem em 19 incisos voltados às ações, medidas, metas e avaliações para estabelecimento do melhor plano adaptado às condições materiais do município, assim como a apresentação de diretrizes, objetivos, instrumentos, programas, princípios e projetos para o gerenciamento dos resíduos sólidos no âmbito do município (BRASIL, 2010).

Lourenço (2018) explica que foram realizadas três audiências públicas para o amadurecimento da proposta do PMGIRS da Prefeitura Municipal de Campina Grande, com participação ativa de professores e outros atores sociais, que deu origem a dois documentos, o “Diagnóstico da Situação Atual dos Resíduos Sólidos Urbanos” e o “Prognóstico, Diretrizes, Estratégias e Metas Programas, Projetos e Ações”. O prognóstico do PMGIRS apresenta 11 diretrizes, entre as quais dá-se destaque: “IV - Reduzir a quantidade de resíduos úmidos dispostos em aterros sanitários” e “IX - Planejar e implantar programa de coleta seletiva de resíduos úmidos para tratá-los através do processo da compostagem e, assim, transformá-los em composto orgânico e fertilizantes orgânicos”, aos quais o documento apresenta e detalha diversas estratégias para a satisfação das diretrizes (ECOSAM, 2014).

2.2 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Em seu estudo sobre previsão de deformações em aterros sanitários, Araújo Neto (2016) caracteriza os resíduos sólidos dispostos no Aterro Sanitário de Campina Grande, informando a composição gravimétrica dos resíduos, além da composição volumétrica, tamanhos das partículas dos resíduos sólidos urbanos, massa específica e peso específico, compactação, compressibilidade, adensamento e os recalques, ou seja, diferença de altura em relação ao tempo ocasionadas pela mudança no volume dos resíduos dispostos.

Entre as normas técnicas que envolvem a classificação de resíduos sólidos, em relação a sua periculosidade, pode-se citar a NBR 10004 (ABNT, 2004) que classifica os resíduos em três

classes distintas de riscos potenciais ao meio ambiente, conforme a Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Classificação dos resíduos conforme a NBR 10004

Classe I - Perigosos	Classe II - Não perigosos	
Podem apresentar: a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças; b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. c) Características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	Classe II A - Não inertes	Classe II B - Inertes
	Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Autor (2022)

Os resíduos orgânicos se classificam como resíduos classe II A - Resíduos não perigosos não inertes, pois, apesar de apresentarem biodegradabilidade e solubilidade em água, o que pode ser origem de poluição, não apresentam características de periculosidade descritas na norma.

O composto orgânico pode ser considerado um corretivo, já que de acordo com as definições trazidas no artigo 3º da Lei Federal nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, esse é um “material apto a corrigir uma ou mais características desfavoráveis do solo”. Segundo o artigo 4º da mesma Lei, os produtores de produtos como fertilizantes e corretivos, sejam orgânicos ou sintéticos, devem ter registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1980). O Ministério Público do Paraná (2013) também aponta entre as vantagens do composto orgânico atuar como fertilizante, melhorar diversas condições físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo a sua saúde e fertilidade.

Se faz importante considerar o texto da Resolução CONAMA nº 275/2001, que estabelece um código de cores para diferentes tipos de resíduos para a “identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva”, em qual os resíduos orgânicos são codificados com a cor marrom (BRASIL, 2001). Já a Resolução

CONAMA nº 481/2017, no artigo 1º, “estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos”, definindo período específico para a fase termofílica no processo de compostagem e relação carbono/nitrogênio máxima, além de outras definições técnica (BRASIL, 2017).

2.3 PROCESSO DE COMPOSTAGEM E FUNCIONAMENTO DE UMA UNIDADE DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

A norma NBR 13591 (ABNT, 1996) tem como objetivo definir os “termos empregados exclusivamente em relação à compostagem de resíduos sólidos domiciliares”. A norma afirma que compostagem é um:

“Processo de decomposição biológica da fração orgânico-biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.” (ABNT, 1996)

Além disso, a norma classifica a compostagem em dois tipos: a compostagem acelerada, na qual se faz uso de equipamento mecânico para a aceleração do processo aeróbio para início do processo; e a compostagem natural, em qual a aeração ocorre de forma natural, apenas sendo necessário revolvimento ou disposição de forma que o ar flua por todo o volume.

Segundo o artigo 2º, inciso III da Resolução CONAMA nº 481/2017 (BRASIL, 2017), que estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, a compostagem é um processo de decomposição dos resíduos orgânicos de forma controlada, feita por uma população biodiversa de organismos, obrigatoriamente em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material com propriedades e características diferentes daqueles que o originaram.

O processo de compostagem acontece em três diferentes fases, de acordo com Lohri (2017). A primeira fase é a mesofílica, que dura alguns dias, enquanto a comunidade microbiana se adapta às condições ambientais da massa de resíduo orgânico. Então o composto segue para a fase termofílica, que pode durar de algumas semanas até vários meses. A temperatura nesta etapa, graças ao metabolismo dos microorganismos, pode chegar a 70 °C por vários dias, o que contribui significativamente para a higienização do produto. Por fim, tem-se a fase de maturação, na qual ocorre o resfriamento do composto, esta etapa vai durar até que a temperatura esteja igual à ambiente exterior e o ar dos poros tenham de 10 a 15% de oxigênio por vários dias, sinalizando uma estabilização da atividade microbiana, que pode demorar alguns meses.

Para um processo adequado de tratamento dos resíduos orgânicos e obtenção de um composto saudável, algumas características devem ser observadas, como adequada relação C/N inicial, além do pH, umidade e disponibilidade de oxigênio durante o processo. Estes parâmetros irão definir tanto a qualidade do composto final como o tempo em que as fases do processo de compostagem irão durar.

O Ministério Público do Paraná (MPPR, 2012) apresenta uma apostila para gestão municipal de resíduos sólidos voltada para UTCs, na qual explica o funcionamento de uma UTC que apresenta a etapa de triagem, “equipada com mesas de separação, prensa de materiais, balança, estrutura adequada de banheiros e copa para alimentação, entre outros”, seguida de uma etapa de compostagem, operada em um pátio apropriado, segundo instruções oficiais de estrutura e dimensionamento, assim como métodos de adaptação climática.

Reis (2005) afirma que a compostagem é um processo de biooxidação exotérmico, podendo ocorrer tanto de forma termofílica (45°C a 60°C) como mesofílica (30°C a 45°C), tendo como produtos matéria orgânica estável, gás carbônico, calor, água e nutrientes, os quais além de disponibilizar mais eficientemente elementos essenciais às plantas, melhoram fatores condicionantes do solo. Reis (2005) ainda traz a caracterização morfológica e a função no processo de diversos microrganismos presentes, definindo que a diversidade biológica promovida, conjugada com as características de temperatura do processo, provocam sanitização através da grande redução de organismos patogênicos nos resíduos.

O manual desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010) apresenta etapas e metodologia para a aplicação da compostagem em consórcios públicos, além de apresentar atividades para desenvolver um diagnóstico da gestão de resíduos orgânicos, assim como o estabelecimento de objetivos e metas para isso.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010) separa a implantação do processo de compostagem em duas grandes etapas, o planejamento e a implantação propriamente ditos. Na primeira tem-se o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos urbanos (RSU); a definição de objetivos e metas; a definição de programas, projetos e ações; a definição da estrutura necessária; os orçamentos de instalação e operação; monitoramento e avaliação do sistema e operações, através de indicadores de desempenho; e ações de emergência e contingência.

Já na etapa de implantação propriamente dita tem-se a elaboração de projetos, a realização das obras, a aquisição de equipamentos e materiais, a sensibilização e mobilização dos geradores, capacitação de equipes, negociação da venda de composto e a operação da coleta seletiva e da unidade de compostagem. Para o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010) unidades que utilizam a compostagem natural como técnica de processamento dos resíduos

orgânicos devem se limitar a atender 100 toneladas por dia desses resíduos.

O documento então apresenta cálculos simples para o dimensionamento do pátio de compostagem, onde serão dispostas as leiras de material putrescível, através de dados de geração diária, composição gravimétrica e composição volumétrica dos resíduos coletados, que deve processar a quantidade proposta num período mínimo de 120 dias, tempo necessário para a maturação completa do composto. A altura e tamanho da base da leira, deve ser arbitrada de forma a contemplar o espaço disponível, a forma de trabalho, seja manual ou mecanizada, e de forma a evitar a compactação exagerada, além disso, o documento aponta um limite de altura de 2,0 metros.

Para o dimensionamento do galpão de triagem de resíduos e seus equipamentos de infraestrutura auxiliares, adota-se o documento do Ministério das Cidades (2008), que apresenta detalhadamente as dimensões e aparelhos necessários para operação de triagem em um galpão, conforme a caracterização de porte do projeto de galpão e a quantidade de resíduos que serão triados. Esse documento foi adaptado para a operação conjunta da separação de resíduos compostáveis a sua trituração antes da destinação para o pátio de compostagem.

Araújo Neto (2016) traz os dados mais atualizados sobre as características de resíduos gerados em Campina Grande, apresentando dados detalhados de composição gravimétrica e volumétrica e peso específico, comparando os primeiros com dados históricos. Esses dados do autor facilitam e aumentam a acurácia das operações de dimensionamento, fornecendo dados que teriam que ser calculados por equações específicas.

O diagnóstico apresentado por Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020) afirma que apesar de ser menos eficiente no aproveitamento de resíduos do que a coleta seletiva, a alternativa da implantação de UTC conjugada com uma coleta convencional é possível como alternativa. O documento apresenta dados representando a predominância de unidades de compostagem no Brasil, que em número de estabelecimentos prepondera nas regiões Sul e Sudeste, porém em quantidade de resíduos destinados, existe grande predominância da região Centro-Oeste, provavelmente evidenciando a prática em atividades agrícolas.

Ainda segundo dados do documento do SNIS (2020) cerca de 300 mil toneladas de resíduos orgânicos são destinadas à compostagem todo o ano de 2019 no Brasil, representando um aumento de 141,9% em relação a 2018, “que proporciona não só a diminuição do aterramento de resíduos mas, também, a valorização de resíduos orgânicos como matéria prima na produção de compostos orgânicos enriquecedores de solo”.

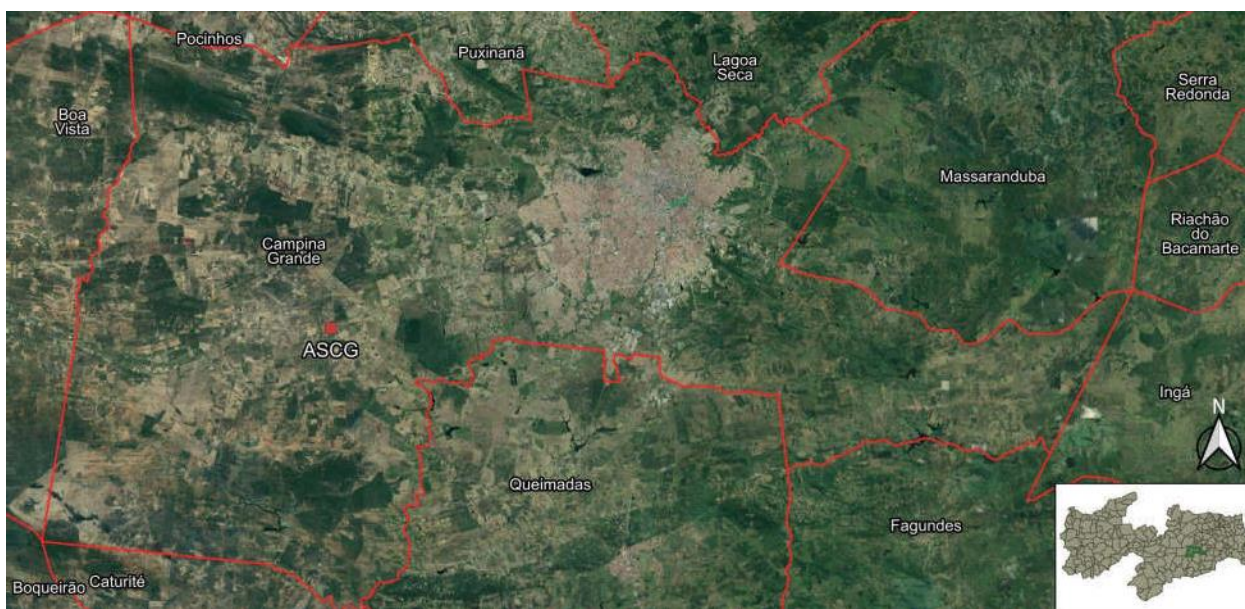
3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Município de Campina Grande está localizado na Mesorregião Agreste do Estado da Paraíba, a 127 km da capital do estado, João Pessoa. O município possui uma área de 592 km², compreendendo 43 km² de área urbana, e uma população de 411.807 habitantes (IBGE, 2021).

O local proposto para a implantação da Unidade de Triagem e Compostagem (UTC) é o Aterro Sanitário de Campina Grande (ASCG), situado na Rodovia PB-138, nº 1661, Zona Rural, próximo ao bairro do Catolé de Boa Vista, conforme a Figura 3.1. A área do Aterro Sanitário é de aproximadamente 63 hectares, dos quais a disposição dos resíduos e o tratamento de chorume ativos ocupam apenas 10%, aproximadamente.

Figura 3.1 - Localização da área de estudo e da área do ASCG

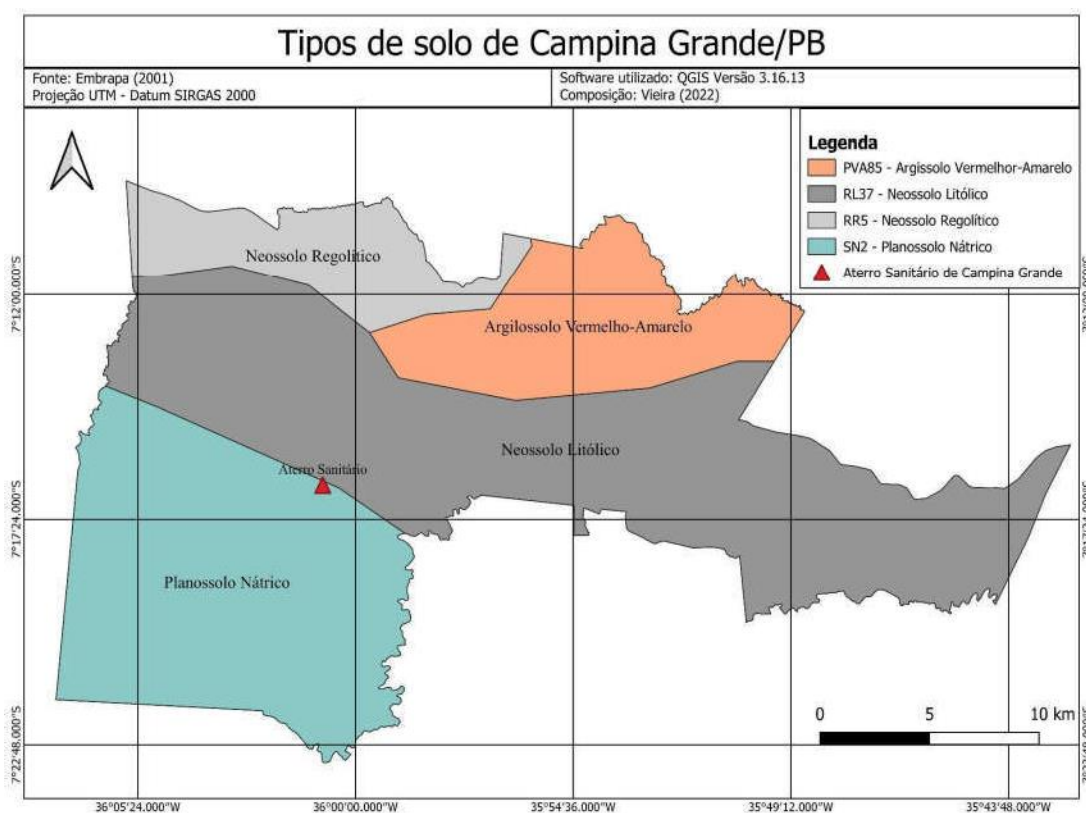


Fonte: Autor (2022)

Segundo Francisco (2010), Campina Grande se encontra na macrorregião climática da Planície Atlântica, que engloba o lado leste do Planalto da Borborema, apresentando o clima do tipo As' - Tropical Quente e Úmido, segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN e GEIGER, 1928). O município tem precipitação média anual de 804,9 mm, geralmente concentrados nos meses de março a julho, e menor pluviometria nos meses de outubro a dezembro (MACEDO, 2011).

Os solos presentes no município de Campina Grande são predominantemente Neossolos Litólicos e Planossolos Nátricos, representando respectivamente 45% e 31% da área total do município, além de Neossolos Regolíticos e Argissolos Vermelho-Amarelos (EMBRAPA, 2001). O ASCG está situado em uma área que compreende esses dois primeiros, sendo a maior parte da área dentro em Planossolo Nátrico (Figura 3.2). O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) traz as características detalhadas de cada tipo de solo (EMBRAPA, 2018), segundo o documento Planossolos Nátricos compreendem solos minerais que apresentam baixa permeabilidade, com acentuada concentração de argila. Também se caracterizam por ter caráter sódico, ou seja, contém uma grande quantidade de sódio em um ou mais horizontes de seu perfil.

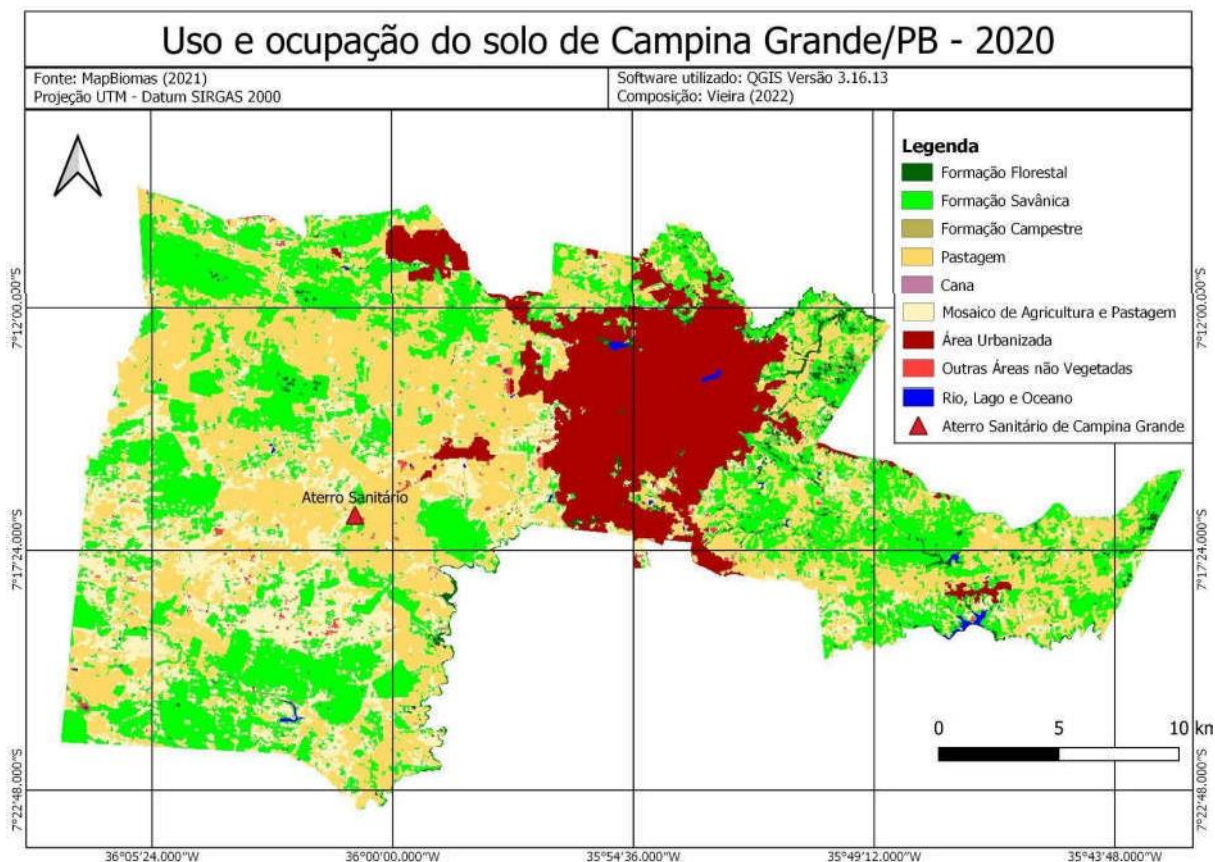
Figura 3.2 - Mapa de Tipos de Solo de Campina Grande - PB



Fonte: Autor (2022)

O Projeto MapBiomias (2021) divide o uso e ocupação do solo em Campina Grande em 9 classes, sendo as predominantes a pastagem, a formação savânica, o mosaico de agricultura e pastagem e a área urbanizada, que juntas correspondem a mais de 95% do total de área. O ASCG está localizado numa área de predominância de pastagem e formação savânica (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo em Campina Grande - PB



Fonte: Autor (2022)

3.2 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E VOLUMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os dados de geração e coleta de resíduos sólidos foram obtidos através de levantamento bibliográfico, usando os documentos oficiais produzidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020) e pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe, 2020).

As características dos resíduos gerados no município foram obtidas através de levantamento bibliográfico de Araújo Neto (2016).

3.3 DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

3.3.1 Projeção Populacional

Para se determinar o montante populacional futuro, com o objetivo de propor um projeto de viabilidade de pelo menos 20 anos, utiliza-se projeção geométrica, proposta por Von Sperling (2014).

Devido a indisponibilidade de dados de censo populacional mais recentes, foi considerada uma projeção de 30 anos em relação ao ano de 2010, ou seja, até 2040.

Com a população total, isto é, a população estimada durante período proposto, podemos encontrar a geração per capita diária projetada (ton/hab·dia) nesse período, através da equação (3):

$$q = \frac{Q_{MO}}{P_t} \quad (3)$$

Onde: q : Geração de resíduos *per capita* (ton/hab·dia); Q_{MO} : Geração de resíduos orgânicos diária (ton/dia); e P_t : População total (hab).

3.3.2 Dimensionamento do Pátio de Compostagem

Para encontrar o volume dos resíduos, transforma-se o peso total em volume, utilizando os dados de massa específica (μ) de Araújo Neto (2016).

Para o procedimento de dimensionamento do pátio de compostagem e seus equipamentos de infraestrutura auxiliares, adota-se o Manual para Implantação de Compostagem e Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos (MMA, 2010) e a apostila sobre UTC do MPPR (2012). Para a representação gráfica do pátio de compostagem foi utilizado o software AutoCAD 2017.

Para dar prosseguimento ao dimensionamento do pátio de compostagem da UTC, faz-se necessário o cálculo do volume dos resíduos gerados diariamente. Ressalta-se que, segundo Moreira (2018), 20% dos resíduos orgânicos devem ser desprezados por sua granulometria, o que impede que passem pela peneira na triagem. Considerando que as informações do SNIS (2019) não disponibilizam a quantidade total de volume dos RSU, faz-se necessário adaptar os dados disponibilizados por Araújo Neto (2016) de massa específica aparente e de volumetria ao Manual do Ministério do Meio Ambiente (2010), para o desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento, conforme a Equação (4):

$$V = \frac{Q_{MO}}{\mu} \quad (4)$$

Onde: V : Volume (m³); e μ : Massa específica aparente (ton/m³).

Segundo especificações do MMA (2010), o limite máximo da altura da leira de revolvimento é de 2,0 metros, considerando, porém, o resguardo da aeração dos resíduos dispostos nas camadas inferiores.

Os valores de altura e base devem ser arbitrados de forma que se faça o uso mais eficiente do espaço e facilite a técnica escolhida. Leiras revolvidas manualmente, por exemplo, não devem ser altas demais de forma que dificultem o trabalho dos operadores, assim como algumas máquinas reviradeiras podem ter altura e largura limitadas para seu uso adequado.

Estabelecido os valores de altura, base e volume diário da leira pode-se calcular a sua área da seção e o seu comprimento através das Equações (5) e (6), respectivamente:

$$A_s = \frac{b \times h}{2} \quad (5)$$

Onde: A_s : Área da seção reta (m^2); b : Base da leira (m); e h : Altura da leira (m).

$$L = \frac{V}{A_s} \quad (6)$$

Onde: L : Comprimento da leira (m); V : Volume diário (m^3); A_s : Área da seção reta (m^2).

Observa-se que, de acordo com MMA (2010), considerando o período médio que leva o processo de compostagem, cerca de 120 dias, o pátio de compostagem deve ser dimensionado de forma que 1 leira seja disposta por dia, resultando num total de 120 leiras. Além disso, deve-se considerar um espaço de área equivalente a leira para o seu reviramento, ou seja, duas vezes a área da base da leira. Levando isso em consideração pode-se encontrar a área total do pátio através da Equação (7):

$$A_t = 2 \times A_B \times n \quad (6)$$

Onde: A_t : Área total (m^2); A_B : Área da base da leira (m^2); e n : Número de dias para a digestão e maturação do composto.

MMA (2010) ainda afirma que deve ser somado mais 10% do total encontrado para segurança e circulação no pátio.

3.3.3 Dimensionamento do Galpão de Triagem

Segundo o Ministério das Cidades (2008) os galpões de triagem devem ser classificados de acordo com seus portes em pequeno, médio e grande porte, o que vai definir os equipamentos necessários para a operação do galpão. As dimensões de projeto necessárias para a operação nas mesas de triagem são de 1 m e 2,8 m entre as mesas para dar espaço para os criadores e os tonéis e para o transporte dos tonéis com resíduos triados são necessários 1 m entre o fim da mesa e as baias de triagem secundária. Para a representação gráfica do galpão de triagem foi utilizado o software AutoCAD 2017.

O Ministério das Cidades (2008) explica que o espaço nos galpões deve ser dividido em 5 seções conforme as etapas da triagem. A primeira etapa é a disposição nos silos de resíduos, por onde entrarão todos os resíduos, seguida pela etapa de triagem primária, realizada nas mesas de triagem. A terceira etapa é a disposição em baias, chamada de triagem secundária, dos quais seguem para a etapa de prensagem dos resíduos secos e trituração dos resíduos orgânicos. A última etapa é a disposição dos fardos prensados e resíduos triturados perto do ponto de saída, onde todos os resíduos sairão do galpão.

3.3.4 Estimativa Orçamentária do Projeto

O orçamento dos equipamentos necessários para a operação da UTC foi feito com base nos valores disponibilizados pelas empresas fornecedoras de materiais e equipamentos. Enquanto a construção do galpão de triagem foi baseado em dados de Custo Unitários Básicos do SINDUSCON/PB (2012), o pátio de compostagem foi orçado com base nos dados de custo de pavimentação fornecidos por Santos (2016).

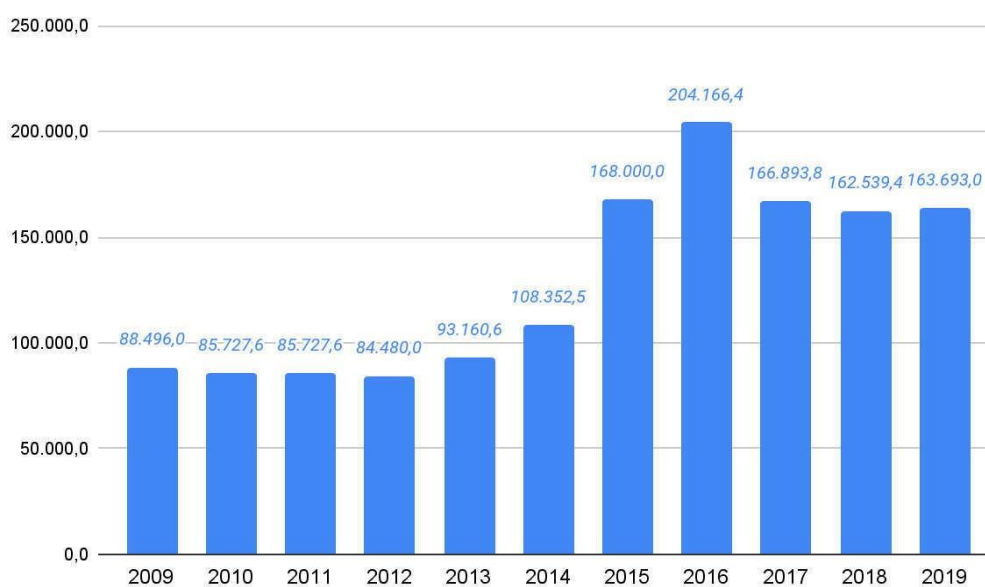
Os preços de venda dos produtos beneficiados na UTC são fornecidos pelo relatório anual da ANCAT (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 GERAÇÃO E COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICAS DOS RESÍDUOS

Segundo o Diagnóstico de Resíduos Sólidos do SNIS - 2019 (2020) o Município de Campina Grande coleta 163.693 ton/ano de resíduos sólidos, correspondendo a 397,5 kg/hab/ano. Se comparado com dados de 2018, de 162.539,4 ton/ano, houve um crescimento de 0,7% no total de resíduos coletados, mas observados dados de 2009, quando houve uma coleta de 88.496,0 ton/ano, esse aumento é de aproximadamente 85% (Figura 4.1). Considerando que o SNIS disponibiliza apenas os dados anuais de coleta optou-se por fazer uma transformação mensal e, sequencialmente, uma transformação diária desse resíduo, obtendo-se assim a geração diária de RSU, encontrando os valores de 13.641,08 ton/mês e 454,7 ton/dia, correspondendo a uma geração *per capita* de 1,042 kg/hab/dia em 2019.

Figura 4.1 - Resíduos sólidos coletados em Campina Grande de 2009 a 2019 (ton/ano)



Fonte: Adaptado de SNIS (2010-2020)

Araújo Neto (2016) apresenta um levantamento da composição gravimétrica no município de Campina Grande, utilizando 7.804,80 kg de peso total de amostra coletada em 12 bairros da cidade em uma célula experimental (Tabela 4.1). O autor informa também o volume de cada fração, assim como uma massa específica aparente solta e compactada dos resíduos foide 167 kg/m³ e 372 kg/m³, respectivamente.

Tabela 4.1 - Composição gravimétrica e volumétrica de RSU de Campina Grande

Parâmetro	Gravimetria (%)	Volumetria RSU Solto (%)	Volumetria RSU Compactado (%)
Material putrescível	46,5	14,6	24,5
Plásticos	16,7	53,5	39,2
Papel/Papelão	11,1	10,3	10,2
Têxtil sanitário	7,9	5,2	6,3
Vidro	2,5	2,0	1,6
Compósitos	2,4	5,4	5,3
Metais	0,6	0,8	1,6
Outros	12,4	8,3	11,4

Fonte: Adaptado de Araújo Neto (2016)

A fração de 46,5% do que o Araújo Neto (2016) chama de material putrescível podemos considerar ser a matéria orgânica para efeitos deste estudo, representando um total de 211,44 ton/dia de resíduos orgânicos. Porém, conforme explica Moreira (2018), deve-se desconsiderar 20% desse total, correspondente a um material de maior granulometria, que dificultaria a compostagem. Assim tem-se 169,15 ton/dia de resíduos que poderiam ser compostados, devendo 42,287 ton/dia destes serem dispostos no aterro.

Além disso, poderiam ser beneficiados 75,96 ton/dia de plástico, 50,47 ton/dia de papel e papelão, 11,37 ton/dia de vidro e 2,73 ton/dia de metais, correspondendo a 30,9% de materiais recicláveis (plásticos, papel e papelão, vidro e metais).

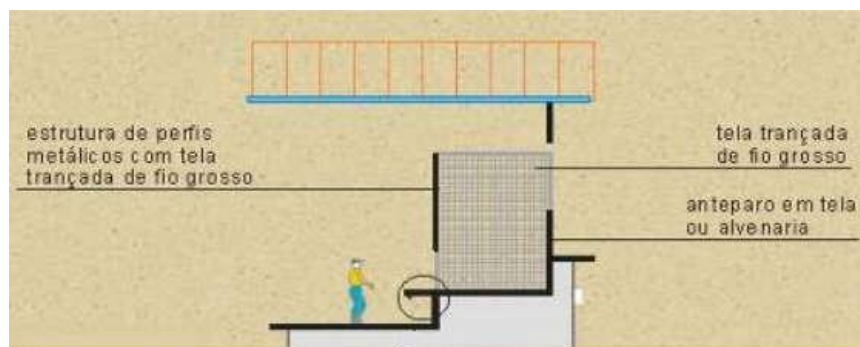
No total, a redução de disposição final de resíduos no ASCG, poderia chegar a 68%, se atingidos objetivos de operação e comercialização, distribuição ou utilização plena dos produtos de todos os resíduos produzidos pelo município. Têxteis, compósitos, materiais classificados como outros e a fração orgânica não compostável, que terão como forma de destinação final a disposição em aterro sanitário, somam 32% dos resíduos, ou 145,51 ton/dia.

4.2 OPERAÇÃO DA UTC

De acordo com o procedimento descrito pelo Ministério das Cidades (2008) os resíduos coletados chegarão à UTC por meio de caminhões coletores de resíduos, em seguida serão depositados em silos de estrutura de perfis metálicos com tela trançada de fio grosso. Nos silos os resíduos serão depositados na parte superior, de preferência facilitados por uma elevação no terreno por onde os caminhões chegam, e serão retirados pelos triadores na parte inferior do lado

oposto do silo, conforme ilustrado na Figura 4.3.

Figura 4.2 - Funcionamento dos silos de entrada



Fonte: Ministério das Cidades (2008)

Os resíduos seguirão para a mesa de triagem, na qual os triadores separarão os diferentes tipos e os depositarão em bombonas plásticas de 240 L. As bombonas cheias serão então deslocadas, com o auxílio de carrinhos de transporte para 200kg, para baias construídas de forma a facilitar a disposição e a retirada dos resíduos, que serão despejados das bombonas. Os resíduos putrescíveis deverão ser levados diretamente para a trituração, e ao espaço de armazenamento temporário e saída dos resíduos, devido a sua operação diária (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Das baias, os resíduos recicláveis serão retriados e seguirão para a prensagem, diminuindo o seu volume e facilitando o armazenamento. Os fardos mais pesados serão movimentados com o uso de empilhadeiras semielétricas. Os resíduos recicláveis prensados serão destinados, após pesados em balanças para até 1000 kg, aos caminhões de transportes que contarão com uma declividade para facilitar a disposição dos resíduos nas caçambas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Os resíduos orgânicos serão destinados diariamente para o pátio de compostagem, onde serão dispostos com o uso de uma retroescavadeira. É importante observar que o Aterro Sanitário de Campina Grande já conta com caminhões-caçamba e retroescavadeiras utilizadas na sua operação.

A temperatura e umidade das leiras deverão ser monitoradas diariamente, para evitar ocorrência de anaerobiose e/ou aumento do tempo do processo de compostagem. A cada dia uma leira será disposta e outra será revolvida para o espaço adjacente, os revolvimentos acontecerão a cada três dias nos primeiros 30 dias e semanalmente nos dias seguintes até a temperatura ficar abaixo de 40 °C (fase de maturação), atingida em cerca de 59 dias. A fase de maturação não

necessita de revolvimento e deverá acabar 120 dias após o início do processo de compostagem.

O composto deve então ser peneirado e o material que passou pela peneira pode seguir para a comercialização e utilização, enquanto a fração que ficou retida deverá voltar às leiras de compostagem ou ser disposta no aterro sanitário.

4.3 DIMENSIONAMENTO OPERACIONAL

Como descrito, a geração diária de resíduos em Campina Grande coletadas pelo serviço de limpeza urbana do município e da empresa contratada é de 454,7 ton/dia.

Através de projeções populacionais baseadas em metodologias descritas por Von Sperling (2014), encontra-se a estimativa de 598.448 habitantes atendidos em 2040, em 20 anos de tempo de vigência do projeto da UTC. Essa população vai corresponder a uma geração diária de 664,2 ton/dia de resíduos. Do total de resíduos coletados, 212,5 ton/dia deverão ser dispostas no aterro sanitário, enquanto 246,4 ton/dia poderão ser destinados à compostagem e 205,23 ton/dia poderão ser beneficiadas para reciclagem.

Araújo Neto (2016) também levantou a composição volumétrica dos resíduos coletados no município. Esses valores são essenciais para o dimensionamento do projeto, pois é o que vai definir o espaço que deverá estar disponível para armazenamento e manuseio dos resíduos. Segundo o autor, o município de Campina Grande tem a composição volumétrica conforme a Tabela 4.1. Para o dimensionamento do pátio de compostagem e das operações com os materiais recicláveis antes da compressão, deve-se considerar o volume solto.

Encontrou-se um volume total de 3.977,14 m³ de resíduos soltos e 1.785,44 m³ de resíduos compactados. Sendo assim, temos os volumes e pesos, conforme a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Volumetria dos resíduos coletados

Parâmetro	Volume Solto (mt)	Volume Compactado (mt)
Material putrescível	580,66	437,43
Plásticos	2.127,77	699,89
Papel/Papelão	409,65	182,12
Têxtil sanitário	206,81	112,48
Vidro	79,54	28,57
Compósitos	214,77	94,61
Metais	31,82	28,57
Outros	330,10	203,54

Fonte: Autor (2022)

4.3.1 Dimensionamento do Pátio de Compostagem

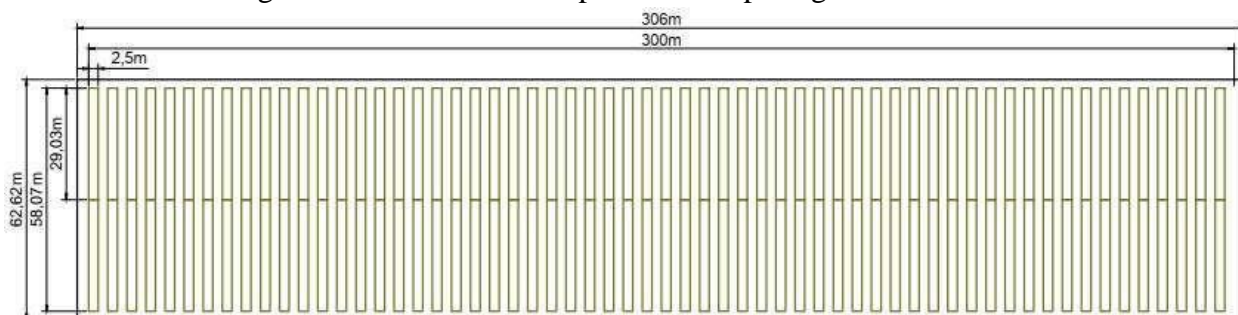
Com o intuito de evitar um projeto superdimensionado do pátio de compostagem será considerado apenas 10% dos resíduos gerados no município, equivalentes a 58,07 m³, respeitando a recomendação de MMA (2010), que estabelece um limite de 100 ton/dia de processamento por UTC com leiras revolvidas.

Para facilitar o trabalho do revolvedor, será adotado um valor de altura da leira de 1,6 metros e base de 2,5 metros, obtendo-se assim uma área de seção (A_S) de 2 m². Sendo assim, o comprimento da leira (L) deverá ser de 29,03 metros e a área da base (A_B) será de 72,58 m². Para obter-se a área útil, multiplica-se a A_B por dois, segundo MMA (2010), considerando a área necessária para o revolvimento, e pelo número de dias para a degradação e maturação da matéria orgânica, sendo considerada 120 dias, obtendo-se então uma área de 17.419,89 m², ou 1,74 ha. Incluindo-se 10% da área para circulação e segurança, obtém-se uma área de 1,92 ha.

É importante observar que se faz necessário a disposição de duas fileiras de leiras para o acesso dos revolvedores ou de tratores pela extremidade das leiras, revirando-se a leira para o espaço adjacente, tendo sempre 5m disponíveis para o trabalho. Além disso, observa-se um espaço extra no início do pátio necessário para o reviramento das primeiras leiras (Figura 4.4).

A fração reduzida que poderá ser tratada na UTC se deve principalmente ao porte do município, gerador de uma grande quantidade de resíduos. Por isso propõe-se a técnica de compostagem por leiras revolvidas neste trabalho para facilitar o investimento inicial. Porém o espaço pode facilmente ser convertido para tecnologias mais eficientes no futuro, aumentando consideravelmente a capacidade de processamento da UTC. A aeração das leiras, por exemplo, pode aumentar significativamente a quantidade de resíduos processados numa mesma área, aumentando o volume da leira, diminuindo o espaço entre elas e diminuindo o tempo necessário para a compostagem completa.

Figura 4.3 - Vista aérea do pátio de compostagem e das leiras

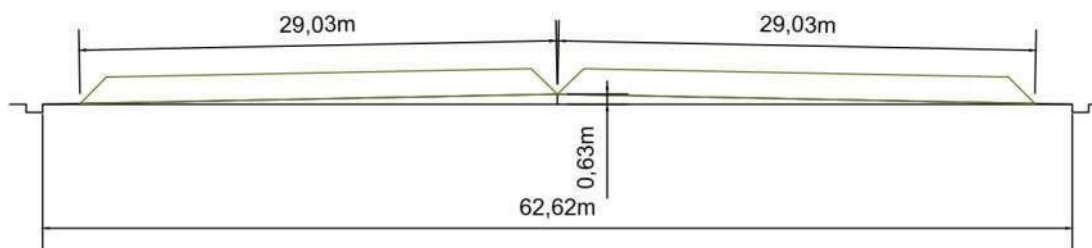


Fonte: Autor (2022)

Como forma de minimizar o espaço utilizado em pátios de compostagem, o MMA (2010) recomenda o uso de reviramento mecânico para processamento de mais de 100 ton/dia desses resíduos, com o intuito de acelerar a fase inicial da compostagem.

Segundo MMA (2010) a área do pátio pode ser impermeabilizada com uma camada de argila compactada, que impede a infiltração da água e a escorre para canaletas de drenagem posicionadas no perímetro do pátio, sendo necessária a declividade de 2% (Figura 4.5).

Figura 4.4 - Corte transversal do pátio de compostagem com declividade



Fonte: Autor (2022)

Observa-se, porém, que o órgão ambiental responsável pelo licenciamento da atividade pode exigir impermeabilização do pátio de compostagem com concreto ou asfalto, o que encareceria o projeto. Por isso, para fins de estimativa orçamentária será considerada essa forma de impermeabilização.

4.3.2 Dimensionamento do Galpão de Triagem

O Ministério das Cidades (2008) separa os galpões de triagem, conforme o seu método de operação, em duas categorias: unidades com silos e mesa de triagem; e unidades com esteiras de triagem. A primeira se utiliza de operadores de triagem que recolhem e separam os resíduos em mesas de triagem, enquanto os métodos triagem esteiras de triagem substituem as mesas de triagem por esteiras mecânicas.

Apesar da automatização representar mais celeridade e fluidez no processo de triagem, também apresenta algumas desvantagens em relação ao método manual, como especificado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Vantagens e desvantagens dos métodos de triagem

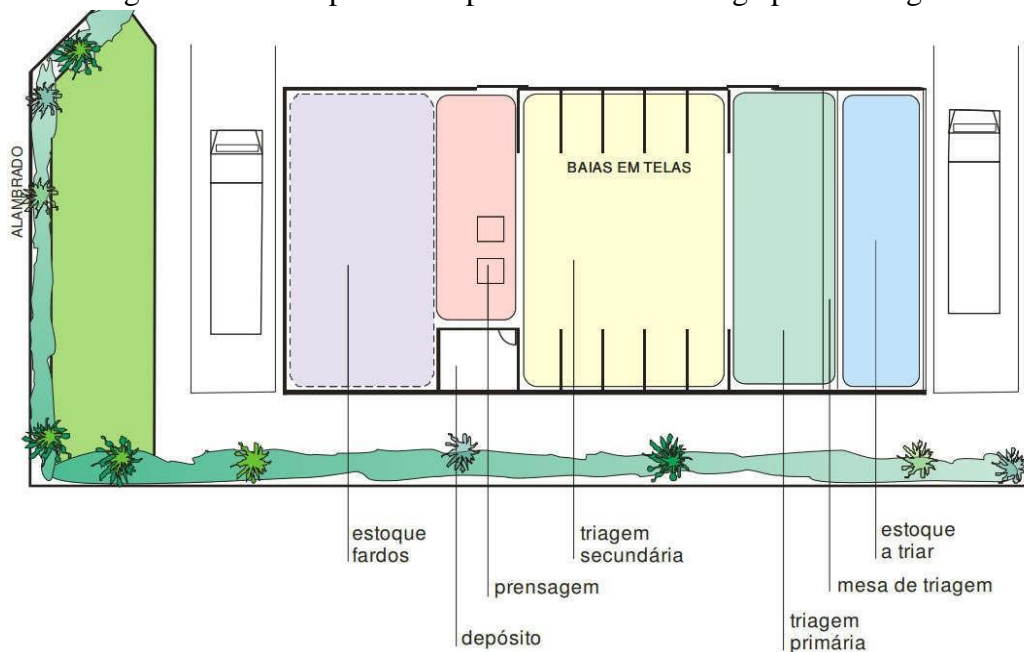
Itens	Silo e Mesas de Triagem	Esteiras de triagem
Custo da Construção	Equivalentes	
Custo do Equipamento e Instalação	Não há	± R\$ 30.000 (12m comprimento)
Custo de Manutenção	Não há	± R\$ 1.100 / mês (a quebra interrompe a triagem)
Número de pessoas na triagem	Maior	Menor
Rejeitos	5%	25 a 30%
Ritmo	Cada pessoa trabalha no seu ritmo	Impõe ritmo aos funcionários
Capacidade de Armazenamento na Pré Triagem	Maior	Menor

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2008)

Este trabalho propõe o método de triagem manual para a UTC em questão, com o uso de silos e mesas de triagem e triadores manuais.

Segundo o Ministério das Cidades (2008), o galpão de triagem pode ser separado conforme as etapas de trabalho. Os resíduos brutos entram no galpão através do silo e os resíduos triados saem através do estoque, conforme ilustrado na Figura 4.6.

Figura 4.5 - Exemplo das etapas de trabalho num galpão de triagem



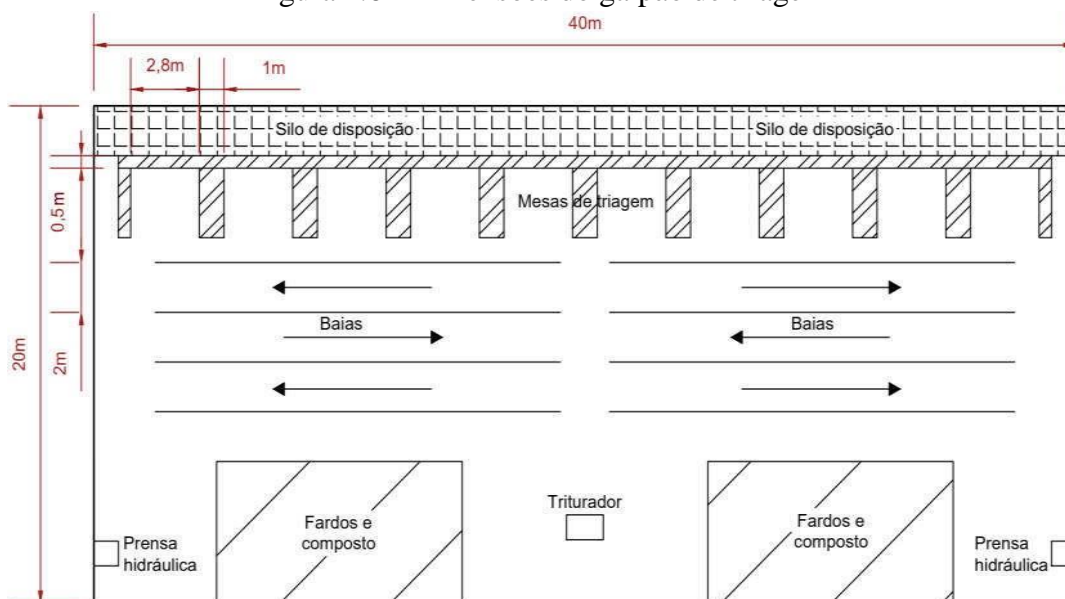
Fonte: Ministério das Cidades (2008)

Como o galpão de triagem irá necessitar de uma área próxima de 800 m², o projeto pode ser caracterizado como de grande porte segundo o Ministério das Cidades (2008). Sendo assim, irá necessitar de 2 prensas, 1 balança, 2 carrinhos e 1 empilhadeira. É importante observar, porém, que o Aterro Sanitário de Campina Grande já conta com estruturas de segurança, cercamento, assim como cozinhas e banheiros para os funcionários.

Os equipamentos e dispositivos do galpão podem caber em uma área de 800 m², sendo assim o galpão pode ser de dimensões 40m de comprimento por 20m de largura, sendo as mesas de triagem dispostas ao longo do comprimento, conforme demonstra a Figura 4.7.

Esse trabalho propõe as baias compridas que terão um lado de entrada e outro de saída, de forma que as bombonas estarão enfileiradas e serão retiradas na ordem em que foram colocadas, para facilitar o movimento e a logística dos transportadores. Essa adaptação também tem a capacidade de diminuir o espaço de largura do galpão utilizado pelas baias, aumentando o espaço disponível nas fases de armazenamento e pré-processamento.

Figura 4.6 - Dimensões do galpão de triagem



Fonte: Autor (2022)

4.3.3 Estimativa Orçamentária do Projeto

O levantamento de preços dos equipamentos descritos na Tabela 4.4 representaram um montante de R\$ 130.419,00. Os equipamentos de maior custo são a empilhadeira semielétrica e as prensas hidráulicas, necessárias para a compactação e transporte dos resíduos mais pesados, principalmente os metais.

Tabela 4.4 - Equipamentos e materiais necessários para o funcionamento da UTC

Fase	Equipamentos e Materiais	Função
Recepção e Triagem	Equipamentos manuais	Pás e ancinhos para o recolhimento e disposição nos silos
	50 Bombonas plásticas de 240 L	Armazenamento temporário e transporte dos resíduos
	2 Carrinhos de transporte para 200 kg	Transporte das bombonas
Pré-processamento	2 Prensas hidráulicas para fardos de 80 kg	Reduzir o volume de plásticos, papéis e metais
	1 Triturador com 20 cv de potência máxima	Trituração os resíduos orgânicos
	1 Balança mecânica para 1000 kg	Pesagem dos resíduos pré-processados
	1 Empilhadeira semielétrica para 1000 kg	Transporte dos fardos mais pesados
Equipamentos Individuais	71 Kits de EPI	Proteção individual dos funcionários

Fonte: Autor (2022)

Segundo o SINDUSCON/PB (2022) o custo unitário básico para construção de galpões industriais em março de 2022 é de R\$ 841,17 por metro quadrado da obra, correspondendo assim a cerca de R\$ 675.000,00, considerando a construção das mesas e das baias. Enquanto o orçamento para a construção do pátio de compostagem foi de R\$ 526.568,43, segundo valores mostrados por Santos (2016). Resulta-se então num total de R\$ 1.331.987,43 para as obras e equipamentos da UTC (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Custos de obras, materiais e equipamentos para o projeto

Descrição		Custo
Equipamentos e materiais		R\$ 130.419,00
Obras e construções	Galpão de triagem	R\$ 675.000,00
	Pátio de compostagem	R\$ 526.568,43
Total		R\$ 1.331.987,43

Fonte: Autor (2022)

O galpão de triagem irá necessitar de 40 triadores, sendo assim, necessitando de 8 deslocadores, 8 retriadores de plástico e 2 retriadores de metal, assim como 13 enfardadores e 2 administradores, de acordo com as definições do documento do Ministério das Cidades (2008, p. 22). Somado às despesas com funcionários do estabelecimento, serão gastos mais R\$ 6.000,00,

com serviços públicos e manutenção dos equipamentos, trazendo as despesas mensais a R\$ 95.688,00, conforme descrito na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Despesas mensais na operação da UTC

Despesas de manutenção		
Descrição		Custo
Serviços públicos (energia, água, esgoto etc)		R\$ 5.000,00
Manutenção de equipamentos		R\$ 1.000,00
Salário dos funcionários		
Quantidade	Função	Custo
50	Triadores e retriadores	R\$ 1.212,00
8	Deslocadores de bombonas	R\$ 1.212,00
13	Enfardadores	R\$ 1.212,00
2	Administração	R\$ 1.818,00
Total		R\$ 95.688,00

Fonte: Autor (2022)

Os investimentos podem ser considerados elevados, mas quando se observa a arrecadação esse investimento tem um grande retorno, conforme o levantamento de preços de produtos reciclados no Nordeste, de ANCAT (2021). O lucro líquido de R\$ 839.266,46 pagaria o investimento inicial no segundo mês, se todos os resíduos puderem ser destinados conforme preço estipulado.

Tabela 4.7 - Arrecadação potencial com a venda dos produtos triados

Resíduo	Quantidade (ton/mês)	Preço por tonelada	Arrecadação por mês
Plásticos	332,76	R\$ 980	R\$ 326.100,88
Papéis	221,17	R\$ 340	R\$ 75.198,82
Vidros	49,81	R\$ 240	R\$ 11.955,36
Metais	119,55	R\$ 3900	R\$ 466.256,70
Composto*	369,62**	R\$ 150	R\$ 55.442,70
Total			R\$ 934.954,46
- Despesas: R\$ 95.668,00			R\$ 839.266,46

* Após o primeiro ciclo de compostagem (120 dias).

** Correspondente ao fim do processo de compostagem, devido a redução no peso.

Fonte: Autor (2022)

Observa-se que cerca de 85% da arrecadação com a venda dos produtos triados vêm dos metais e plásticos processados. Esses materiais têm uma função econômica muito importante para manter a viabilidade do projeto, possibilitando assim a larga escala de ciclagem de nutrientes e alívio da carga em aterro sanitário, com o advento da compostagem na usina.

Nota-se também que a pequena quantidade e baixo retorno financeiro na triagem de resíduos de vidro gerados pelo município pode significar sua inviabilidade no sistema, sendo possível evitar a operação com esses resíduos.

O projeto apresentou uma maior receita líquida relativa a quantidade de composto produzido em relação a Santos (2016) e Delgado (2009). Isso se deve principalmente ao valor mais elevado da venda dos plásticos e metais beneficiados, mas também à maior eficiência da UTC de maior porte, contando com menos custos de operação em relação à quantidade de resíduos beneficiados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo objetivou analisar a viabilidade de uma proposta de implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem no município de Campina Grande, Paraíba. Observou-se que para fins de evitar um superdimensionamento do projeto, foi necessário considerar o tratamento de apenas 10% do total de resíduos coletados no município. Observou-se que o Aterro Sanitário de Campina Grande possui espaço suficiente para a implantação de uma UTC nas dimensões pretendidas e as condições de tipo e uso do solo não impedem a sua operação.

Mesmo considerando-se apenas uma fração da coleta municipal de resíduos, o projeto apresentou um alto custo, porém com um retorno considerável desse investimento. Os materiais que demonstraram maior retorno financeiro foram os resíduos de metal e plásticos, que também são os materiais melhor estabelecidos no mercado de reciclagem. O projeto tem potencial para retornar o valor investido na instalação já no primeiro semestre de operação, se todos os resíduos forem destinados para compradores.

Além de apresentar viabilidade econômica, a proposta demonstra que é possível retirar uma grande quantidade de resíduos dos aterros sanitários, dando-lhes uma utilidade, reduzindo a extração desses da natureza e dando a oportunidade de um emprego mais estável e digno aos coletores de materiais recicláveis e estendendo a vida útil do aterro.

O composto gerado pela UTC além de representar uma considerável parte da arrecadação, poderiam até mesmo ser destinados à distribuição gratuita para agricultores familiares, produtores de mudas e projetos de recuperação de áreas degradadas, devido à alta rentabilidade que os resíduos plásticos e metálicos representam e a sustentabilidade econômica que isso possibilita.

O retorno desse material para o solo promove uma redução significativa da degradação dos nutrientes e da estrutura do solo, assim como a redução na poluição através da emissão de gases do efeito estufa e geração de efluentes lixiviados, que ocorreriam se fossem dispostos em no aterro sanitário.

Finalmente, espera-se que esse estudo forneça uma contribuição e incentivo para o desenvolvimento de um projeto de UTC para o Município de Campina Grande, dando espaço para um avanço representativo nas políticas de Gestão de Resíduos Sólidos do município e região e um exemplo para os municípios interessados nessa melhoria.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS. **Anuário da Reciclagem 2021**. São Paulo, 2021. 61p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020. 52 p.

ARAÚJO NETO, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol. 1. Editora UFMG, 2016. 4aed., 472 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 13591**: Compostagem. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

BRASIL. **Lei nº 6.984, de 16 de dezembro de 1980**. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [1980]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1980-1988/L6894.htm. Acesso em: 8 ago. 2021.

_____. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera nº 9.605, de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 8 ago. 2021.

_____. **Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001**. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, [2001]. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>. Acesso em: 8 ago. 2021.

_____. **Resolução CONAMA nº 481, de 03 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, [2017]. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=728>. Acesso em: 8 ago. 2021.

CHEIBUB, A.F.; CAMPOS, J.C.; FONSECA, F.V. Removal of COD from a stabilized landfill leachate by physicochemical and advanced oxidative process. **Journal of Environmental Science and Health**. Part A, Toxic Hazardous Substances and Environmental Engineering, v. 49,n. 14, p. 1718-1726. <https://doi.org/10.1080/10934529.2014.951259> . 2014.

DELGADO, A. P. B. **Análise da Viabilidade de Implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem na Ilha de São. Vicente – Cabo Verde**. Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Administração) – Departamento de Ciências Administrativas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ECOSAM - CONSULTORIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Campina Grande - PB: **Diagnóstico da Situação Atual dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Campina Grande, 2014. 290p.

_____. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Campina Grande - PB: **Prognóstico, Diretrizes, Estratégias e Metas, Programas, Projetos e Ações**. Campina Grande, 2014. 300p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Rio de Janeiro, 2018. 412 p.

EMBRAPA; IBGE. **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/amb_data/Shapefiles/soloEmbrapa.zip. Acesso em: 8 nov. 2021.

ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA SERGIO AROUCA. **PB – População sofre com as consequências da má gestão de resíduos sólidos no município de Puxinanã**.

Disponível em: <http://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/pb-populacao-sofre-com-as-consequencias-da-ma-gestao-de-residuos-solidos-no-municipio-de-puxinana/>. Acesso em: 7 ago. 2021.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e Mapeamento das Terras para Mecanização Agrícola do Estado da Paraíba Utilizando Sistema de Informações Geográficas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010. f. 26-27.

GLOBO. **Lixo de Campina Grande começa a ser levado para novo aterro sanitário**.

Disponível em: <http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2015/07/lixo-de-campina-grande-comeca-ser-levado-para-novo-aterro-sanitario.html>. Acesso em: 7 ago. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 1995: **IPCC Second Assessment**; a report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [S.l.: s.n.], 1995. 63 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar2/wg1/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. 2018. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Urban Development;. Washington, DC: World Bank. © World Bank. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em: 23 mar. 2022. License: CC BY 3.0 IGO.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LOHRI C. R.; DIENER, S.; ZABALETA, I.; MERTENAT, A.; ZURBRÜGG, C. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**.

P. 16, 81–130, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9422-5>

LOURENÇO, J. C. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de Campina Grande-PB**. 2018. 201 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2018.

MACEDO, M. J. H; GUEDES, R. V. S; SOUSA, F. A. S. Monitoramento e Intensidade das Secas e Chuvas na Cidade de Campina Grande/PB. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 7, v. 8, p. 105-117, Jan. - Jun. 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25797>. Acesso em: 6 nov. 2021

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 6.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 6 nov. 2021. Projeto MapBiomas - é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, 2010. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80058/Produtos_Consultores/Maria%20Stella%20-%20Manual_implantacao_compostagem_coleta_seletiva.pdf. Acesso em: 24 mar. 2022.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Elementos para a Organização da Coleta Seletiva e Projetos dos Galpões de Triagem**. Brasília, 2008.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ. **Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**: Apostila para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos. Curitiba, 2012. Disponível em: https://meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Apostila_compostagem_Final_Pos_Print.pdf. Acesso em: 24 mar. 2022.

_____. **Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**: Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico. Curitiba, 2a ed, 2013. Disponível em: https://meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Caderno_de_Especificacoes_Final_Pos_Print.pdf. Acesso em: 24 mar. 2022.

MOREIRA, F. S. A.; CARVALHO, B. G. P.; SILVA, F. P.; ALVES, A. C. F.; FRAGOSO, G. A. Compostagem como Alternativa de Tratamento de Resíduos Sólidos: Uma Proposta para a Cidade Universitária Professor José da Silveira Netto da Universidade Federal do Pará. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 11., 2018, Porto Alegre. **Anais[...]**. Porto Alegre: 2018.

REIS, M. F. P. **Avaliação Do Processo de Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisa Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

SANTOS, D. L. **Análise da Viabilidade de Implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Santa Luzia/PB**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

SINDUSCON/PB, Sindicato da Indústria da Construção Civil da Paraíba. **Custos Unitários Básicos de Construção**. João Pessoa. Disponível em: <https://sindusconjp.com.br/wp-content/uploads/2022/04/2022-3-Tabela-CUB-m2-desonerado.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2019**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020. 246 p.

_____. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos: Tabela de Informações**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2010-2020. 246 p.

SOUTO, Gabriel D'Arrigo de Brito. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping")**. 2009. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2009. doi:10.11606/T.18.2009.tde-19022009-121756. Acesso em: 2021-10-14.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol. 1. Editora UFMG. 4a ed., 472 p, 2014.