



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM REGA DE LEIRAS DE COMPOSTO
ORGÂNICO NA CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE BELO
HORIZONTE – MG

JÉSSICA ASSIS DE PAULA

BELO HORIZONTE

2018

JÉSSICA ASSIS DE PAULA

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM REGA DE LEIRAS DE COMPOSTO
ORGÂNICO NA CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE BELO
HORIZONTE – MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental
e Sanitarista.

Orientador: Prof. M.Sc. André Luiz Marques Rocha

Coorientador: D.Sc. Cícero Antonio Antunes Catapreta

BELO HORIZONTE

2018

Paula, Jéssica Assis.

S---

Aproveitamento de águas pluviais em rega de leiras de composto orgânico na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte – MG / Jéssica Assis de Paula – Registro: 2018.

52f.; il.

Orientador: Prof. M.Sc. André Luiz Marques Rocha.
Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018.

1. Aproveitamento. 2. Água pluvial. 3. Compostagem. I. De Paula, Jéssica Assis. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Aproveitamento de águas pluviais em rega de leiras de composto orgânico na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte – MG.

CDD -----

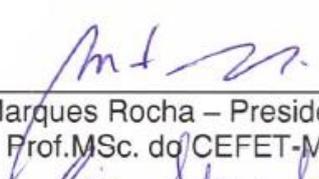
JÉSSICA ASSIS DE PAULA

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM REGA DE LEIRAS DE COMPOSTO
ORGÂNICA CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE BELO
HORIZONTE – MG

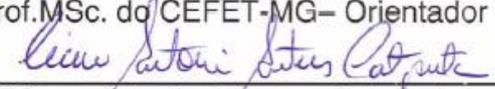
Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental
e Sanitarista.

Data de aprovação: 05 / 12 / 2018

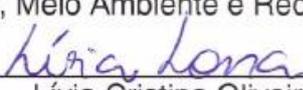
Banca Examinadora:



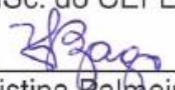
André Luiz Marques Rocha – Presidente da Banca Examinadora
Prof. MSc. do CEFET-MG – Orientador



Cícero Antonio Antunes Catapreta
Dr. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Coorientador



Lívia Cristina Oliveira Lana
Prof.^a MSc. do CEFET-MG



Valéria Cristina Palmeira Zago
Prof.^a Dr.^a do CEFET-MG

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Carlos e Andréa, e à minha irmã, Bruna, pelo amor incondicional, pela paciência e compreensão durante essa jornada e por todo apoio em cada escolha feita por mim. Ao Marcelo, por ter sido meu refúgio, principalmente nessa reta final, e pelo companheirismo de sempre.

Aos meus amigos do CEFET, em especial Sabrina, Fê, Camila, Bruna e Yara, pelos momentos compartilhados, sejam eles de tristeza ou de alegria.

Ao meu orientador, André, por ter aceitado esse desafio e por ter colaborado para o meu crescimento pessoal e profissional através de seus conhecimentos e experiências. Ao meu coorientador e supervisor de estágio, Cícero, por guiar meus passos e por viabilizar os meios para a realização deste trabalho.

Aos colegas da Superintendência de Limpeza Urbana, que contribuíram para que eu alcançasse o meu objetivo. Um agradecimento especial à minha amiga Sofia, por todo zelo, dedicação e por me ensinar tanto com suas experiências de campo.

Ao Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental do CEFET-MG e a todos os mestres, por serem fonte de inspiração e por transmitirem ensinamentos fundamentais para a minha evolução durante esta caminhada.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram e torceram para o meu sucesso, e que, mesmo distantes, se fazem presentes das mais diversas formas.

RESUMO

PAULA, J. A., *Aproveitamento de águas pluviais em rega de leiras de composto orgânico na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte – MG*. 2018. 52f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Os problemas referentes à escassez e má distribuição de água na Terra vêm sofrendo intensificação ao longo dos anos. Esses problemas se agravam ainda mais devido ao crescimento populacional e os padrões de consumo atuais da sociedade, sendo estes últimos também responsáveis pelo aumento da geração de resíduos sólidos urbanos e suas consequências sobre o meio ambiente. A compostagem é uma técnica biológica eficiente no que tange a redução do volume de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) nos aterros sanitários. Por ser uma técnica que depende diretamente da ação de microrganismos, a compostagem envolve muitas variáveis controladas, sendo uma delas o teor de umidade, que é um parâmetro determinante no processo de formação do composto orgânico. Tendo em vista a problemática da escassez hídrica e a importância da compostagem no quadro atual de RSU, o objetivo principal deste trabalho é propor o dimensionamento de um reservatório de armazenamento de água da chuva para a rega de leiras de composto orgânico na Unidade de Compostagem da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte – MG. A rega das leiras de compostagem do local vem sendo prejudicada devido à dependência diária de caminhão-pipa, que utiliza água da COPASA e encarece o processo. Para tanto, realizou-se um diagnóstico da atual situação da Unidade de Compostagem, tendo em vista a instalação e dimensionamento do reservatório de armazenamento da água da chuva. A partir do dimensionamento verificou-se a viabilidade satisfatória do volume armazenado em relação ao suprimento da demanda de água calculada e concluiu-se que a implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial seria uma possível alternativa frente ao mecanismo utilizado atualmente para irrigação das leiras.

Palavras-Chave: Aproveitamento de água pluvial. Compostagem. Viabilidade.

ABSTRACT

PAULA, J. A., *Rainwater harvesting in the irrigation of organic composting lines at the Solid Waste Treatment Center of Belo Horizonte – MG*. 2018. 52f. Monograph (Undergraduate in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Problems related to the scarcity and poor distribution of water on Earth have been intensifying over the years. These problems are further aggravated by the current population growth and consumption patterns of society, which are also responsible for increasing the generation of solid urban waste and its consequences on the environment. Composting is an efficient biological technique that is not reduced to the volume of Urban Solid Waste (USW) in landfills. Because it is a technique that depends directly on the action of microorganisms, composting involves many controlled variables, one of which is the moisture content, which is a determinant parameter in the organic compound formation process. Considering the problem of water scarcity and the importance of composting in the current USW framework, the main objective of this work is to propose the design of a rainwater storage reservoir for the irrigation of compost beds in the Composting Unit of Central of Solid Waste Treatment of Belo Horizonte - MG. The irrigation of composting lines has been hampered by the daily dependence of a water truck, which uses COPASA water and makes the process more expensive. For this, a diagnosis was made of the current situation of the Composting Unit, in view of the installation and dimensioning of the rainwater storage tank. From the dimensioning, it was verified the satisfactory viability of the stored volume in relation to the supply of the calculated water demand and it was concluded that the implantation of a system of utilization of rainwater would be a possible alternative to the mechanism currently used for irrigation.

Keywords: Rainwater harvesting. Composting. Viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema simplificado de um sistema de captação de água de chuva	18
Figura 2 - Procedimento de amostragem de leira no pátio da Unidade de Compostagem	26
Figura 3 - Quarteamento vis-à-vis para coleta de amostra de composto orgânico ...	27
Figura 4 - Teste da mão ou teste da bolota para verificação de umidade	28
Figura 5 - Área delimitada da CTRS e localização da Unidade de Compostagem ...	30
Figura 6 - Visão geral do pátio de compostagem	31
Figura 7 - Fluxograma das etapas do processo de Compostagem	33
Figura 8 - Vista lateral do galpão de armazenamento das leiras maturadas	34
Figura 9 - Vista superior do galpão de armazenamento das leiras maturadas	34
Figura 10 - Determinação do volume do tambor cilíndrico	35
Figura 11 - Molhamento de leira no pátio por meio do caminhão pipa	41
Figura 12 - Precipitação média mensal entre 1981 e 2010	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Visão histórica das preocupações relacionadas à água nos países desenvolvidos e no Brasil.....	16
Tabela 2 - Estimativa da demanda por água não potável para usos internos.....	22
Tabela 3 - Estimativa da demanda por água não potável para usos externos.....	22
Tabela 4 - Coeficientes de runoff médios.....	38
Tabela 5 - Demanda necessária para a rega de leiras.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CTRS – Central de Tratamento de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

NBR – Norma Brasileira

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SLU – Superintendência de Limpeza Urbana

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Contextualização da situação da água no mundo	15
3.1.1 O aproveitamento de águas pluviais como uma alternativa para a problemática da água	17
3.1.1.1 Captação	18
3.1.1.2 Condução	19
3.1.1.3 Tratamento	20
3.1.1.4 Armazenamento	21
3.1.1.5 Distribuição	21
3.1.2 Usos indicados para água de chuva	22
3.2 A importância da Compostagem no atual cenário brasileiro	23
3.2.1 O teor de umidade e sua influência no processo de Compostagem	25
3.2.2 Determinação da umidade das leiras	26
4 METODOLOGIA	29
4.1 Método de abordagem	29
4.2 Procedimentos	29
4.3 Área de estudo	29
4.4 Quantidade de água gasta por leira durante a rega	35
4.5 Reservatório de Armazenamento	36
4.6 Verificação do suprimento da demanda	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 Diagnóstico da atual situação da rega de leiras na Unidade de Compostagem	40
5.2 Quantidade de água consumida	41
5.3 Caracterização da precipitação em Belo Horizonte	42
5.4 Dimensionamento do reservatório de água da chuva	43
5.5 Determinação da Eficiência	45
6 CONCLUSÕES E PROPOSTA DE CONTINUIDADE	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a manutenção da vida na Terra e, no contexto atual, deve ser vista como um bem que gera impactos ambientais, sociais e econômicos. A evolução e sobrevivência dos seres vivos e ecossistemas sempre foi dependente da água e, apesar de 75% da superfície terrestre ser composta por água, cerca de 97,5% desse total é constituído de água salgada, imprópria para o consumo humano, e 2,5% de água doce. Desses 2,5%, restam apenas 0,4% para o consumo direto, visto que a maior parte (2,1%) está concentrada nas calotas polares ou em rios e lagos subterrâneos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016).

Segundo Augusto *et al.* (2012), este cenário se agrava quando se leva em consideração a má distribuição temporal e espacial da água doce no planeta, de modo que muitos países precisam criar meios para otimizar o uso desse recurso e minimizar os impactos na qualidade de vida das pessoas.

Ainda que o Brasil seja um país privilegiado em relação à disponibilidade de recursos hídricos, detendo cerca de 12% do volume total de água doce do planeta, existem grandes disparidades entre a produção hídrica e o adensamento demográfico no território, de forma que a distribuição do recurso é desigual e algumas regiões chegam a enfrentar, até mesmo, crises hídricas, causadas por períodos de secas e estiagens (BRASIL, 2017).

Nesse sentido, tem-se que o crescimento populacional ao longo dos anos e os padrões de consumo impostos pela sociedade são alguns dos fatores que intensificam ainda mais os problemas relacionados à insuficiência de água doce, além de serem responsáveis por outra questão muito discutida atualmente: o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos e suas consequências sobre o meio ambiente (BONA, 2014).

De acordo com a Lei federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos no Brasil, os resíduos originários de atividades domésticas em residências urbanas (resíduos domiciliares) e os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (resíduos de limpeza urbana). são definidos como Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

A composição dos RSU depende do porte do município e dos hábitos da população local. Entretanto, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2012) estimou a composição gravimétrica dos RSU coletados no Brasil e verificou que os resíduos orgânicos constituem mais da metade do resíduo domiciliar no país, fato que contribui significativamente com o aumento do volume de resíduos nos locais de disposição final.

Tendo em vista as duas problemáticas apresentadas, é de grande relevância a realização de estudos que busquem solucionar ou minimizar as questões relacionadas ao uso da água e à geração de resíduos sólidos urbanos.

Em relação ao grande volume de resíduos orgânicos produzidos, a compostagem surge como uma forma de destinação final ambientalmente adequada, através da transformação da matéria orgânica, que tem como consequências a diminuição da quantidade de resíduos a serem dispostos em aterros sanitários e a produção de composto orgânico rico em nutrientes.

No que tange aos problemas atuais de escassez hídrica, este trabalho pretende apresentar proposta de implantação de um sistema de aproveitamento de água oriunda de precipitações pluviométricas como uma solução sustentável, tendo em vista que esses conflitos podem comprometer as gerações futuras. A proposta visa minimizar os problemas relacionados à Unidade de Compostagem da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) de Belo Horizonte – MG.

A Unidade de Compostagem da CTRS, administrada pela Superintendência de Limpeza Urbana (SLU), vem enfrentando dificuldades quanto à rega das leiras de composto orgânico nos períodos mais secos do ano, uma vez que os mecanismos disponíveis para a realização desse procedimento não estão em condições de uso e a unidade torna-se dependente da disponibilidade de caminhão-pipa diariamente. Além disso, a água que abastece o tanque do caminhão-pipa é proveniente da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), o que encarece os custos do processo.

Pelo fato de o teor de umidade ser um parâmetro importante no processo de degradação da matéria orgânica e pela impossibilidade de atendimento diário do caminhão-pipa, o trabalho em questão visa converter esse problema, de forma que o composto orgânico produzido pela unidade apresente condições mais favoráveis para os devidos usos e que os custos relativos sejam reduzidos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é propor o dimensionamento de um reservatório de armazenamento de água da chuva para a rega de leiras de composto orgânico produzido pela Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) de Belo Horizonte – MG.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar um diagnóstico sobre a atual situação da rega de leiras na Unidade de Compostagem;
- Medir a quantidade de água gasta por leira durante o processo de rega;
- Dimensionar o reservatório de armazenamento da água de chuva captada;
- Verificar se a implantação do sistema é eficiente, em termos de suprimento de água nos meses mais secos do ano.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Contextualização da situação da água no mundo

Sabe-se que a água doce é um recurso natural limitado no mundo. Além disso, a parcela disponível para consumo humano é distribuída de forma desigual, de modo que 60% está concentrada em apenas 10 países, sendo eles: Brasil, Rússia, China, Canadá, Indonésia, EUA, Índia, Colômbia e Congo (SAVEH, 2016).

Entretanto, a noção de que a água potável é um recurso em escassez é muito recente. Antigamente, acreditava-se que era um recurso em abundância e o uso irracional da mesma sempre foi justificado pelos hábitos culturais dos seres humanos. Devido a isso, grande parte do Oriente Médio, África, partes da América Central e oeste dos EUA já se encontram carentes de água (VIANNA; JUNIOR; VIANNA, 2005).

Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (UNESCO, 2016), cerca de 10% das pessoas no mundo não têm acesso a uma quantidade mínima de água potável para consumo diário e grande parte do mundo já enfrenta problemas de escassez hídrica.

Em função do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico, das mudanças nos padrões de consumo e da variabilidade hidrológica-ambiental, o uso da água tem aumentado em âmbito mundial e, conseqüentemente, sua escassez tem se destacado (COHIM *et al.*, 2008).

O Brasil detém uma das maiores bacias hídricas do planeta, correspondente a um quinto de toda a reserva legal. Além disso, cerca de 12% da água doce do mundo está presente em seu território, mas ainda assim é má distribuída. Estados como Alagoas, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Rio Grande do Norte e São Paulo apresentam disponibilidade hídrica *per capita* insuficiente para a demanda necessária (MAY, 2004).

Segundo Tucci *et al.* (2000), após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), o progresso econômico foi impulsionado nos países mais desenvolvidos, o que implicou em aumento do uso da água nos processos industriais e agrícolas, por exemplo. Na tabela 1, é possível observar a evolução comparativa em relação às preocupações com a água em países desenvolvidos e no Brasil.

Tabela 1 - Visão histórica das preocupações relacionadas à água nos países desenvolvidos e no Brasil

Período	Países desenvolvidos	Brasil
1945-60 Engenharia com pouca preocupação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Uso dos recursos hídricos: abastecimento, navegação, hidroeletricidade, etc.; • Qualidade da água dos rios; • Medidas estruturais de controle das enchentes; 	<ul style="list-style-type: none"> • Inventário dos recursos hídricos; • Início dos empreendimentos hidrelétricos e projetos de grandes sistemas;
1960-70 Início da pressão ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Controle de efluentes; • Medidas não estruturais para enchentes; • Legislação para qualidade da água nos rios; 	<ul style="list-style-type: none"> • Início da construção de grandes empreendimentos hidrelétricos; • Deterioração da qualidade da água de rios e lagos próximos a centros urbanos;
1970-80 Controle ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Usos múltiplos; • Contaminação dos aquíferos; • Deterioração ambiental de grandes áreas metropolitanas; • Controle na fonte da drenagem urbana; • Controle da poluição doméstica e industrial; • Legislação ambiental; 	<ul style="list-style-type: none"> • Ênfase em hidrelétricas e abastecimento de água; • Início da pressão ambiental; • Deterioração da qualidade da água dos rios devido ao aumento da produção industrial e concentração urbana;
1980-90 Interações do Ambiente Global	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos climáticos globais; • Preocupação com a conservação das florestas; • Prevenção de desastres; • Fontes pontuais e não pontuais; • Poluição rural; • Controle dos impactos da urbanização sobre o ambiente; • Contaminação de aquíferos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do investimento em hidrelétricas devido à crise fiscal e econômica; • Piora das condições urbanas: enchentes, qualidade da água; • Fortes impactos das secas do Nordeste; • Aumento de investimentos em irrigação; • Legislação ambiental
1990-2000 Desenvolvimento Sustentável	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento Sustentável; • Aumento do conhecimento sobre o comportamento ambiental causado pelas atividades humanas; • Controle ambiental das grandes metrópoles; • Controle da contaminação dos aquíferos das fontes não-pontuais 	<ul style="list-style-type: none"> • Legislação de recursos hídricos; • Investimento no controle sanitário das grandes cidades; • Aumento do impacto das enchentes urbanas; • Programas de conservação dos biomas nacionais; • Início da privatização dos serviços de energia e saneamento;
2000- Ênfase na água	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento da Visão Mundial da Água; • Uso integrado dos recursos hídricos; • Melhora da qualidade da água das fontes não-pontuais: rural e urbana; • Busca de soluções para os conflitos transfronteiriços; • Desenvolvimento do gerenciamento dos recursos hídricos dentro de bases sustentáveis; 	<ul style="list-style-type: none"> • Avanço do desenvolvimento dos aspectos institucionais da água; • Privatização do setor energético; • Aumento de usinas térmicas para produção de energia; • Privatização do setor de saneamento.

Fonte: Tucci, 2000 (Adaptado).

É perceptível que o Brasil passou por estágios semelhantes aos países em desenvolvimento, porém em épocas diferentes. Por ser um país com grande extensão territorial, apresenta diversidade de climas, condições topográficas, vegetação, condições socioeconômicas e culturais, as quais tornam a gestão da água uma tarefa de difícil administração (FAVRETTO, 2016).

Segundo a Agência Nacional de Águas (2010), a escassez hídrica de algumas regiões e a adversidade das condições de suprimento de água à população urbana brasileira vem sendo objeto de estudo há anos. Entretanto, ainda não foram implantadas alternativas globais para solucionar de forma definitiva os frequentes problemas relacionados ao déficit de abastecimento.

Tendo em vista a importância da água para a existência e desenvolvimento das formas de vida na Terra e o atual contexto em que está inserida, tem-se a necessidade de buscar alternativas que visem a preservação e conservação deste bem natural. O uso de fontes alternativas de suprimento para o abastecimento de água é uma importante prática na busca da sustentabilidade hídrica. Dentre essas fontes pode-se citar o aproveitamento da água da chuva, o reuso de águas servidas e a dessalinização da água do mar. O aproveitamento de águas pluviais é uma das técnicas que tem ganhado maior destaque nos dias de hoje, principalmente porque os mais diversos setores passaram a perceber que esta é uma tecnologia rentável.

3.1.1 O aproveitamento de águas pluviais como uma alternativa para a problemática da água

Segundo o Departamento de Água do Governo da Austrália Ocidental (2011), os sistemas de aproveitamento de águas pluviais consistem em métodos de captação da água da chuva como fonte alternativa de abastecimento de água e redução do consumo da mesma. Quando instalado e mantido em conformidade com diretrizes recomendadas, eles podem fornecer uma fonte de água de alta qualidade, de acordo com a finalidade e uso da mesma.

No Brasil, a Norma Técnica NBR 15.527 (ABNT, 2007) da Associação Brasileira de Normas Técnicas, fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

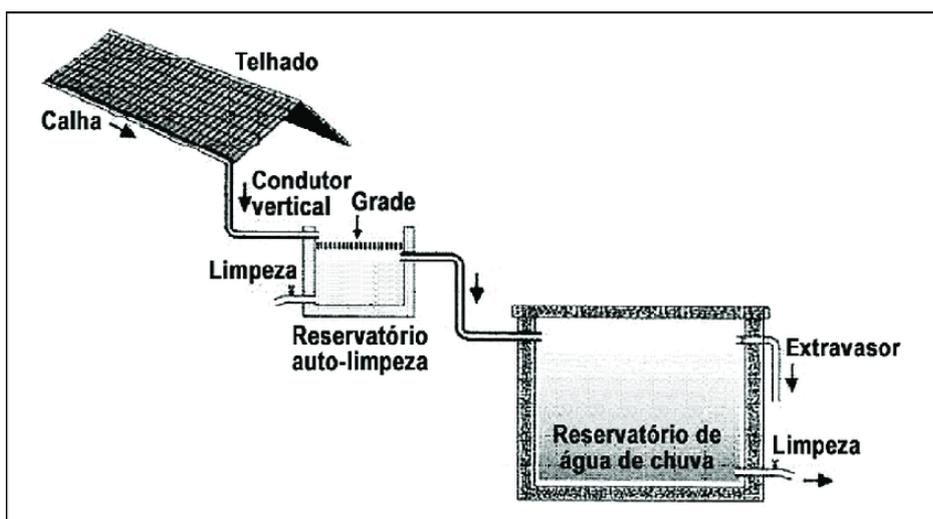
Esses sistemas podem ser simples ou constituídos de complexas instalações, podendo conter diversos tipos de dispositivos. Os sistemas mais complexos

requerem assistência profissional, investimentos e reservatórios maiores ou interligados para armazenar grandes volumes de água (WATERFALL, 2002).

De maneira geral e simplificada, um sistema de aproveitamento de águas de chuvas pode ser composto pelos elementos descritos a seguir e apresentados na Figura 1:

1. Área de captação (telhado);
2. Tubulações para condução da água (calha e condutor vertical);
3. Telas ou filtros para a remoção de materiais grosseiros (grade);
4. Tratamento;
5. Reservatório de armazenamento de água de chuva;
6. Distribuição.

Figura 1 - Esquema simplificado de um sistema de captação de água de chuva



Fonte: May, 2004

3.1.1.1 Captação

A captação se refere à etapa inicial, na qual realiza-se a coleta da água da chuva a partir de uma determinada superfície. A maioria dos sistemas utilizam a laje da edificação ou a captação é realizada por meio de telhados, que devem ter declive e superfície preferencialmente lisa (sem rugosidades), o que facilita o escoamento da água da chuva para o sistema de coleta. O sistema de captação da chuva através dos telhados é mais simples e quase sempre produz uma água de melhor qualidade. (CASTAÑEDA, 2012).

Segundo Hagemann (2009), o material do qual é constituído o telhado é de suma importância para definir o coeficiente de escoamento superficial. Esse coeficiente determina a relação entre o volume total escoado e o volume total precipitado variando conforme a superfície, tendo em vista a existência de perdas durante o processo. Além disso, a composição do material do telhado pode conter componentes tóxicos que serão carregados juntamente com a precipitação. Por isso, deve-se ter cuidado na escolha do material.

É recomendado ainda que sejam realizadas limpezas frequentes para remover materiais que estejam depositados na superfície do telhado com a finalidade de se manter a qualidade da água coletada, minimizando potenciais fontes de contaminação.

3.1.1.2 Condução

A água que é captada pela superfície de captação é conduzida, a partir de um conjunto de instrumentos anexados às bordas inferiores do telhado, até o dispositivo de descarte da primeira chuva, quando existir, ou direto ao reservatório de armazenamento. Esses instrumentos podem ser calhas coletoras, caixas de amortecimento, tubos, entre outros.

O sistema de condução mais usualmente implantado para aproveitamento de água da chuva é o de calhas coletoras horizontais e condutores verticais e horizontais. Esses dispositivos possuem a finalidade de interligar a etapa de captação da água à etapa de armazenamento. O material das calhas deve ser leve, resistente à água e de fácil junção, a fim de minimizar possíveis vazamentos de água. A forma da seção das calhas vai depender exclusivamente do projeto e dos materiais empregados em sua confecção. As calhas e condutores horizontais e verticais devem atender à ABNT NBR 10844, de 1989 (GONÇALVES, 2009).

De acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2007), devem ser observados o período de retorno escolhido para a precipitação, a vazão de projeto e a intensidade pluviométrica. Além disso, tanto as calhas quanto os condutores devem ser inspecionados periodicamente para a devida limpeza, evitando a contaminação da água a ser coletada, e verificação da existência possíveis furos, causadores de goteiras. É recomendado que a limpeza desses dispositivos seja realizada a cada seis meses.

3.1.1.3 Tratamento

Tendo em vista a água que escoar sobre a superfície de captação carrega resíduos diversos, como por exemplo, materiais particulados folhas, galhos, materiais que se soltam da cobertura e diversos microrganismos provenientes de excretas eliminados por animais que ficam acumulados na cobertura no intervalo entre duas chuvas, faz-se necessária a realização da etapa de tratamento. Essa etapa é definida a partir da finalidade que se quer dar à água pluvial coletada (MAY, 2004).

Para fins potáveis, é necessário tratamento completo, de forma que a água atenda aos parâmetros estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 - antiga portaria 2914 - do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). O tratamento pode ser simples, a partir de sedimentação natural, filtração simples e cloração. Para tratamentos mais complexos são comuns técnicas como desinfecção por ultravioleta ou osmose reversa. O que vai definir o nível de tratamento a ser utilizado são os fatores que podem influenciar na qualidade da água da chuva. Dentre estes fatores se destacam a localização geográfica (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), a presença de vegetação, as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos), a estação do ano e a presença de carga poluidora.

Para fins não potáveis, não há necessidade de adicionar produtos químicos, de modo que o processo é apenas físico. A NBR 15527 (ABNT, 2007) estabelece a instalação de dispositivos para remoção de detritos junto às calhas coletoras. Estes dispositivos podem ser, por exemplo, grades e telas que atendam à NBR 12213 (ABNT, 1992). Entre os materiais utilizados nesse dispositivo estão a tela de arame, o nylon, o PVC e o aço galvanizado.

A mesma norma recomenda ainda que seja instalado no sistema de aproveitamento de água de chuva um dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial, proveniente da primeira chuva. Alguns estudos realizados, mostraram que a primeira parcela de chuva é, geralmente, a mais poluída. Os principais fatores que influenciam a qualidade da primeira chuva são os tipos de poluente presentes na área e no entorno e o período antecedente sem precipitação. Esta água da chuva inicial pode ser desviada do reservatório de forma manual

através do uso de tubulações ou ainda de forma automática através de dispositivos de autolimpeza.

A NBR 15527 (ABNT, 2007) recomenda o descarte dos primeiros 2 mm de chuva, caso não seja possível determinar o volume de descarte. A limpeza do dispositivo de eliminação da primeira chuva deve ser realizada mensalmente.

3.1.1.4 Armazenamento

Após a etapa de tratamento, a água é direcionada à um dispositivo de armazenamento. Segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007), os reservatórios devem atender à NBR 12217 (ABNT, 1994) e o volume destes deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais adotados pelo projetista.

Os materiais mais comumente utilizados para o reservatório são concreto, alvenaria, ferro-cimento, metal galvanizado, fibra de vidro e materiais plásticos. Esses reservatórios podem ser construídos no local ou adquiridos já previamente fabricados (TOMAZ, 2003).

Os reservatórios devem ser limpos e desinfetados, no mínimo uma vez por ano. Além disso, o esgotamento pode ser feito por gravidade ou por bombeamento. A água de chuva reservada deve ser protegida contra a incidência direta da luz solar e do calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório.

3.1.1.5 Distribuição

Quando se trata de instalações prediais e de edificações, deve-se levar em conta a rede de distribuição de água, que é constituída pelo conjunto de canalizações que interligam os pontos de consumo ao reservatório (JÚNIOR, 2013). Segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007), a rede de distribuição da água de chuva captada deve ser diferente e independente do sistema de água potável, não permitindo a conexão cruzada. Pode ser realizada através de bombeamento ou por gravidade, dependendo da localização do reservatório e dos pontos nos quais a água pluvial será utilizada.

3.1.2 Usos indicados para água de chuva

Para Tomaz (2003), a água de chuva pode ser destinada a vários usos, dependendo de suas características. A maioria destes usos são não potáveis. Entre os usos residenciais, destaca-se a lavagem de roupas, de carros e de pisos (superfícies impermeáveis), descargas sanitárias e rega de jardins. Os usos residenciais podem ser classificados em usos internos e usos externos. Tendo em vista a inexistência de estudos mais aprofundados sobre o consumo residencial de água no Brasil, na maioria dos casos utiliza-se dados estimados em relação às demandas para usos internos e externos, dados estes apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Estimativa da demanda por água não potável para usos internos

Uso interno	Unidades	Valores		
		Inferior	Superior	Mais provável
Descarga bacia sanitária	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	Litro/descarga	6,8	18	9
Vazamento bacias sanitárias	Porcentagem	0	30	9
Máquina de lavar roupa	Carga/pessoa/dia	0,2	0,37	0,37
Volume de água	Litro/ciclo	108	189	108

Fonte: Adaptado de Tomaz (2003)

Tabela 3 - Estimativa da demanda por água não potável para usos externos

Uso externo	Unidades	Valores
Gramado ou jardim	Litro/dia/m ²	2
Lavagem de carros	Litro/lavagem/carro	150
Lavagem de carros: frequência	Lavagem/mês	4

Fonte: Adaptado de Tomaz (2003)

Além dos usos residenciais, as águas pluviais podem ainda ser utilizadas em diversas atividades do setor industrial, agrícola e comercial. No setor industrial, por exemplo, podem ser destinadas para o resfriamento, climatização, lavanderia, lavagem de máquinas, abastecimento de caldeiras, lavagem de veículos, sistemas

de controle de incêndios e limpeza em geral. Em residências e no setor comercial são utilizadas, usualmente, em bacias sanitárias, lavagem de veículos, limpeza e irrigação de jardins. E, por fim, no setor agrícola é destinada principalmente à irrigação de plantações (MAY, 2004).

Tendo em vista os diferentes tipos de uso da água de chuva apresentados, uma outra finalidade para essa água seria a rega de leiras de compostagem, com o objetivo de aumentar a umidade das mesmas durante o processo de decomposição da matéria orgânica.

3.2A importância da Compostagem no atual cenário brasileiro

No Brasil, a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) tem se mostrado cada vez mais relevante frente aos problemas ambientais enfrentados atualmente. Este setor representa uma das grandes preocupações contemporâneas no país pelo fato de estar associado a possíveis riscos e danos ao meio ambiente e à saúde pública, além de aspectos sociais, estéticos, econômicos e administrativos envolvidos (IBAM, 2001).

Segundo Godecke *et al.* (2012), a degradação dos recursos naturais, como a contaminação do solo, da água e do ar, a proliferação de vetores e outros problemas de saneamento ambiental são consequências de uma má gestão dos RSU de um município, envolvendo as etapas de coleta, tratamento e disposição final, além de etapas não operacionais do processo.

Antigamente, a gestão dos RSU consistia, basicamente, na coleta domiciliar e disposição final em locais mais afastados da população, conhecidos popularmente como lixões, e sem a preocupação com as questões ambientais. Entretanto, com o passar dos anos, a gestão desses resíduos foi ganhando maior importância em função do rápido aumento da urbanização e da interferência dos componentes na qualidade de vida das populações (ANDRADE, 2011). Percebeu-se que a ocorrência de uma conscientização gradual dos efeitos nocivos provocados pelo despejo contínuo de resíduos sólidos urbanos no meio ambiente teve início a partir da implementação de leis ambientais mais severas (SANTOS, 2006).

A partir disso, em 2010, foi promulgada a Lei Federal nº 12.305 que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), dispondo sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Essa lei

representa um marco legal no Brasil, principalmente porque objetiva influir nas tendências econômicas e sociais de modo a viabilizar o desenvolvimento sustentável. Tem como ordem de prioridade a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e finalmente a disposição final dos rejeitos em aterros sanitários, além de obrigar os municípios a elaborarem um Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (GOUVEIA, 2012).

Com relação ao tratamento e disposição final de resíduos, tem-se observado cada vez mais a busca por alternativas que minimizem os impactos negativos decorrentes da geração dos RSU. O tratamento constitui uma fase importante do gerenciamento desses resíduos e é um fator que influencia diretamente na etapa de disposição final (SANEAS, 2012).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2015), os resíduos orgânicos constituem aproximadamente 51,4% dos resíduos domiciliares gerados no Brasil, fato que contribui significativamente com o aumento do volume de resíduos nos locais de disposição final.

Uma das alternativas abordadas na PNRS para a diminuição da quantidade de resíduos que devem ser dispostos em aterros sanitários é a Compostagem, que consiste em uma técnica biológica e aeróbia de destinação final ambientalmente adequada, de forma controlada, com a finalidade de se obter composto orgânico ou adubo a partir da decomposição e estabilização da matéria orgânica. Esse composto é rico em nutrientes, podendo ser utilizado como adubo na agricultura, além de possuir potencial para melhorar a estrutura dos solos, de forma a aumentar a capacidade de retenção de água e controlando alguns processos erosivos.

Segundo Ceglie e Abdelrahman (2014), o processo de compostagem envolve duas fases distintas, sendo a primeira de degradação ativa e a segunda de maturação. Ao iniciar a degradação da matéria orgânica, a temperatura se altera da fase inicial ($T < 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) para a fase de degradação ativa ($T < 65\text{ }^{\circ}\text{C}$). As temperaturas devem ser verificadas periodicamente, de acordo com cronograma pré-estabelecido, e quando a temperatura estiver acima de 65°C , é necessário o reviramento. Após os primeiros 90 dias, a temperatura começa a se reduzir ($30\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 45\text{ }^{\circ}\text{C}$), dando início à fase de maturação, quando a massa da compostagem permanecerá em repouso, resultando em composto maturado (VALENTE *et al.*, 2009).

Por se tratar de um processo microbiológico, depende diretamente de condições favoráveis que podem influenciar na ação e interação desses

microrganismos. Os parâmetros que podem interferir na eficiência do processo são: temperatura, umidade, aeração, pH, tipo de compostos orgânicos existentes, relação carbono/nitrogênio (C/N), granulometria do material e dimensões das leiras (DAY, 2013).

O teor de umidade é um parâmetro que influencia diretamente a velocidade de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem. Em épocas do ano em que há escassez de chuva, o material fica muito seco e é necessário que as leiras sejam molhadas regularmente (IBAM, 2001).

3.2.1 O teor de umidade e sua influência no processo de Compostagem

A umidade é um fator determinante no processo de compostagem, tendo em vista que este é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica e o metabolismo dos organismos é diretamente afetado pela falta ou excesso deste parâmetro. É necessária à constituição da célula desses organismos, dissolvendo elementos e nutritivos e tornando-os assimiláveis pelas bactérias (COSTA, 2015).

De acordo com Kiehl (2004), configura-se anaerobiose a condição de excesso de água nas leiras, ocupando os espaços vazios (porosidade) do material. Nesse caso, a decomposição será em parte anaeróbia e pode gerar mau odor. Isso acontece quando o teor de umidade está acima de 60%. Por outro lado, se a umidade estiver abaixo de 40%, a atividade microbológica de degradação estará restrita, prevalecendo a ação de fungos, já que as bactérias estarão pouco ativas. Portanto, a umidade ideal deve estar entre 40 e 60%, sendo 55% o valor ótimo.

Em casos de excesso de umidade, é possível reduzi-la por meio de técnicas como aeração forçada, reviramentos procedidos mecanicamente, formação de leiras de menor altura ou por mistura com material seco.

No período chuvoso, quando as leiras já estão completamente úmidas, é requisitado que as mesmas sejam cobertas por lonas para impedir a ocorrência de problemas durante o processo de degradação da matéria orgânica. Quando a umidade é excessiva há aglutinação de partículas, o que pode comprometer a resistência estrutural da leira, além de reduzir a temperatura média da leira (de 20 a 40°C) e a concentração de oxigênio para valores menores que 5%. Além disso, a velocidade de degradação da matéria orgânica diminuirá, e condições anaeróbicas se instalarão na massa de compostagem resultando em consequências

indesejáveis, tais como: odores fortes, atração de vetores, chorume, etc. (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

A correção da falta de umidade se dá por meio da irrigação, que deve ser realizada juntamente com a operação de revolvimento. A água deve ser distribuída de maneira uniforme por toda a leira e deve ser aplicada na forma de chuveiro fino. Caso contrário, a água irá percorrer caminhos preferenciais, escorrendo na base da leira na forma de chorume e o composto permanecerá seco (KIEHL, 2004).

3.2.2 Determinação da umidade das leiras

A umidade das leiras de compostagem pode ser determinada em laboratório, através do método proposto por Kiehl (1985).

Inicialmente, deve-se realizar coleta de amostra da leira na qual será verificada a umidade. Para composição da amostra, solicita-se que a leira seja aberta e que sejam coletadas 40 pás do material (Figura 2).

Figura 2 - Procedimento de amostragem de leira no pátio da Unidade de Compostagem



Fonte: Autoria própria

Esse material é submetido à técnica de quarteamento vis-à-vis (Figura 3) repetidas vezes, até que reste 5 kg de amostra. Desse restante, uma parte é coletada em saco plástico (ou semelhante) para que seja realizada a análise de umidade do composto no laboratório.

Figura 3 - Quarteamento vis-à-vis para coleta de amostra de composto orgânico



Fonte: Autoria própria

A partir disso, coloca-se parte da amostra em cadinho de peso conhecido e realiza a pesagem até que chegue a aproximadamente 5 g. Esse procedimento é realizado em triplicatas, ou seja, são 3 cadinhos para cada amostra de leira. Em seguida, transfere-se os cadinhos para estufa a 105 - 110 °C, deixando nessa condição durante intervalo de 2 horas. Logo, retira-se os cadinhos da estufa para resfriamento, pesagem e registro dos pesos. O procedimento de secagem na estufa é repetido por mais duas vezes em um intervalo de tempo menor, de 1 hora. Todos os pesos devem ser devidamente registrados. Para a realização dos cálculos, utiliza-se o menor peso registrado após as 3 secagens.

Por fim, calcula-se a umidade através da Equação 1:

$$\%U = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

m_1 = Peso bruto inicial da amostra úmida

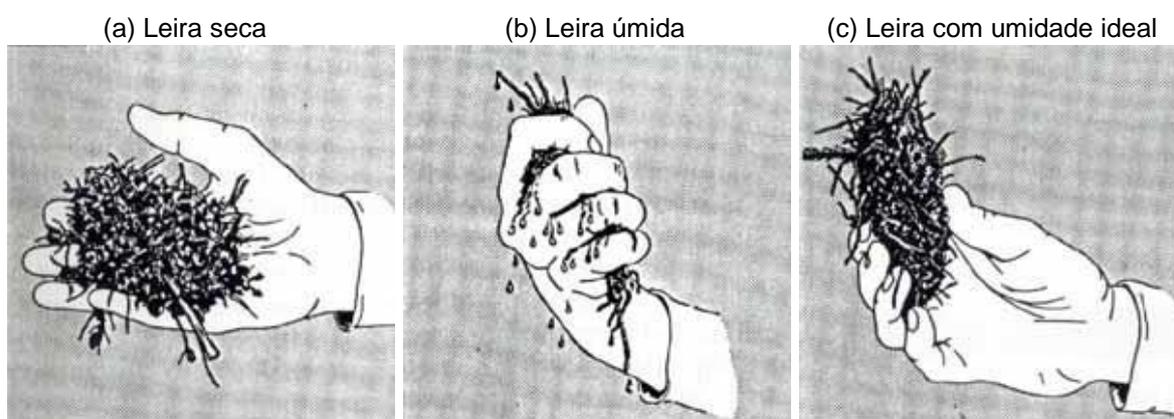
m_2 = Peso bruto final (cadinho + amostra seca) menos a tara do cadinho

Como são utilizados 3 cadinhos por amostragem de leira, deve-se realizar a média entre os valores encontrados a partir da Equação 1, obtendo assim o valor final médio para a umidade da leira analisada.

A umidade do composto também pode ser monitorada por um mecanismo manual denominado de teste da mão ou teste da bolota, proposto por Kiehl (2004), representado na Figura 4. Nesse caso, não há determinação da umidade por meio

de nenhum tipo de análise laboratorial. É possível verificar se a leira está úmida ou não pegando uma certa quantidade de composto, de preferência que caiba na palma da mão, e o apertando. Ao abrir a mão e perceber que a amostra esfarelou, conclui-se que a leira está seca demais (Figura 4a). Se, ao apertar a mão, escorrer um líquido entre os dedos, a leira apresenta excesso de umidade (Figura 4b). A umidade ideal é encontrada quando, ao abrir a mão, a amostra formar uma bolota (Figura 4c).

Figura 4 - Teste da mão ou teste da bolota para verificação de umidade



Fonte: Kiehl (2002)

4 METODOLOGIA

4.1 Método de abordagem

Segundo Marconi e Lakatos (2007), o trabalho proposto pode ser classificado como uma pesquisa descritiva. As pesquisas descritivas têm como finalidade principal a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. O tipo de abordagem apresentada neste trabalho é quali-quantitativa, apoiando-se em técnicas de estudo de campo, pesquisa documental e bibliográfica.

4.2 Procedimentos

Inicialmente, para a elaboração deste trabalho, realizou-se levantamento de dados e de alternativas para o desenvolvimento do mesmo, através de consulta a livros, normas, manuais, trabalhos técnicos, teses e dissertações disponíveis na internet, relacionados ao tema central do trabalho, a fim de utilizar a água pluvial no processo de irrigação das leiras de composto orgânico da Unidade de Compostagem.

As informações e os dados necessários referentes à área de estudo e aos procedimentos realizados no local foram obtidos mediante pesquisas, visitas técnicas, documentos internos disponibilizados e também através de conversas com os responsáveis pelo setor.

De posse das informações, realizou-se os cálculos referentes à demanda de água necessária para a rega das leiras e ao dimensionamento do reservatório, a fim de verificar a viabilidade do sistema de captação de água pluvial, no que tange ao suprimento de água das leiras da compostagem nos períodos mais secos do ano.

4.3 Área de estudo

A Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) de Belo Horizonte – MG, fica localizada às margens da rodovia BR-040, km 531, na região Noroeste da capital, no bairro Jardim Filadélfia. As coordenadas geográficas do local são 19°55'20.9" S 44°01'08.0" W.

De acordo com a Prefeitura de Belo Horizonte (2018), o antigo aterro sanitário da cidade deu início às suas atividades em 1975, em busca da correta disposição final de resíduos sólidos. Foram aterrados aproximadamente 23 milhões m³ de resíduos no local, em uma área que corresponde a 650 mil m². A área total do local é equivalente a 1,2 milhão m².

Sua capacidade máxima foi atingida em 2007, ano em que foi desativado e os resíduos sólidos gerados pela população passaram a ser destinados ao aterro de Macaúbas, localizado na cidade de Sabará - MG.

Toda a área do aterro desativado faz parte da CTRS, que é composta por uma Central de Aproveitamento Energético do Biogás, uma Estação de Reciclagem de Entulho, a Unidade de Compostagem, a Unidade de Recebimento de Pneus, uma Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes, a Unidade de Educação Ambiental e a Divisão de Manutenção de Máquinas e Equipamentos.

Para melhor visualização, a CTRS foi delimitada na Figura 5. A Unidade de Compostagem foi definida como área de estudo deste trabalho e pode ser identificada na mesma Figura.

Figura 5 - Área delimitada da CTRS e localização da Unidade de Compostagem



Fonte: Google Earth, 2018

A Unidade de Compostagem está vinculada à um Programa de Compostagem, no qual são recolhidos resíduos orgânicos de supermercados, sacolões e restaurantes populares. A esses resíduos são agregados resíduos de podas de árvores, provenientes de cortes e podas realizadas na cidade pela prefeitura. Essa poda é triturada na própria Unidade de Compostagem, sendo posteriormente, misturada aos resíduos orgânicos em um pátio aberto e ali permanecem durante, aproximadamente, 4 meses (120 dias), tempo necessário para a decomposição completa e produção do composto orgânico.

Todo o processo se dá no pátio de compostagem, que é totalmente pavimentado e cuja área é de, aproximadamente, 10.000 m². As leiras são identificadas com placas enumeradas, de forma que a cada semana é formada uma nova pilha. Ao longo do ano, tem-se a formação de aproximadamente 52 leiras, dispostas no pátio de compostagem (Figura 6).

Figura 6 - Visão geral do pátio de compostagem



Fonte: Autoria própria

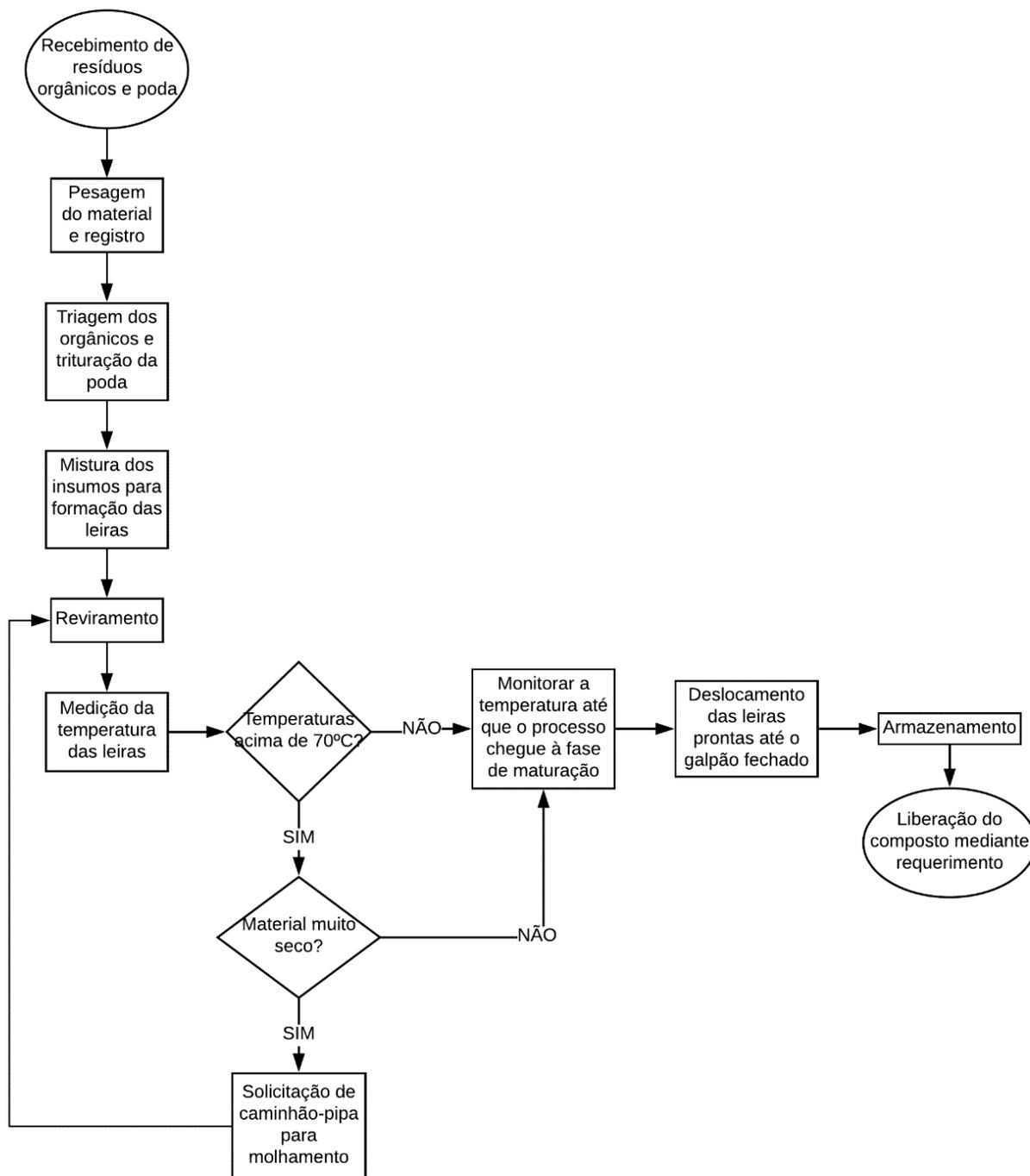
A primeira etapa do processo de Compostagem é o recebimento de resíduos orgânicos, provenientes de sacolões, supermercados e restaurantes associados ao Programa de Compostagem, e de poda de árvores, necessários para a formação do composto orgânico. Esses insumos são pesados e é realizado o registro dos dados referentes. Em seguida, os resíduos orgânicos são levados ao pátio de compostagem e dispostos no chão para que sejam triados pelos funcionários. A

poda passa por um processo de trituração através de uma máquina trituradora presente no local. Após essas etapas, esses materiais são misturados e forma-se, assim, uma leira de compostagem. As leiras formadas passam por procedimentos de reviramento de acordo com cronograma confeccionado pelos funcionários do setor. Além disso, diariamente, mede-se a temperatura dessas leiras para verificar a necessidade de revirar aquelas que apresentarem temperaturas acima de 70 °C e que não estavam no cronograma de reviramento.

Se a temperatura estiver acima de 70 °C, é necessário verificar se a leira está muito seca, através do teste da mão. Se sim, solicita-se o caminhão-pipa para realizar o molhamento dessa determinada leira, que passa por processos de reviramento e verificação de temperatura novamente. Se não estiver seca e se a temperatura estiver abaixo de 70 °C, a temperatura permanece sendo monitorada até que o processo chegue à fase de maturação, que acontece com, aproximadamente, 120 dias. Após esse período, as leiras são deslocadas para o galpão coberto e permanecem ali até haja solicitação de retirada do composto orgânico formado.

Para melhor visualização do processo, as etapas da produção do composto orgânico realizadas na CTRS foram sintetizadas e apresentadas em um fluxograma (Figura 7).

Figura 7 - Fluxograma das etapas do processo de Compostagem



Fonte: Autoria própria

O composto orgânico (ou adubo orgânico) já estabilizado é remanejado para um galpão (Figuras 8 e 9) coberto na parte superior e aberto nas laterais, de modo que não seja atingido pela chuva, visto que a mesma pode eliminar os nutrientes

presentes no composto a partir da produção de um percolado, o que não é interessante para o projeto.

Figura 8 - Vista lateral do galpão de armazenamento das leiras maturadas



Fonte: A autoria própria

Figura 9 - Vista superior do galpão de armazenamento das leiras maturadas



Fonte: A autoria própria

No período chuvoso, quando as leiras já absorveram a umidade necessária, é solicitado que se estenda uma lona por cima das mesmas, evitando assim a situação de anaerobiose, proveniente do excesso de umidade.

A Unidade de Compostagem é modelo de referência em todo o país, mas vem sofrendo dificuldades relacionadas à rega das leiras de composto orgânico nos períodos mais secos do ano.

O processo de rega é totalmente dependente da disponibilidade de caminhão-pipa no local, o que nem sempre é possível. O caminhão disponível na CTRS atende diversas demandas relacionadas à prefeitura de Belo Horizonte. Além disso, a água utilizada pelo caminhão para a irrigação dessas leiras é proveniente da Companhia de Saneamento de Minas Gerais, a COPASA, o que acarreta custos muito elevados nas contas de água da empresa. Tendo em vista essas questões, há necessidade de rever o processo e propor medidas que solucionem ou minimizem os problemas.

4.4 Quantidade de água gasta por leira durante a rega

A quantidade de água gasta por leira durante o molhamento não era conhecida. Sendo assim, foi possível medi-la a partir de um mecanismo simples, denominado Método da Descarga Livre, e conforme as possibilidades cabíveis. Utilizou-se um tambor cilíndrico disponível no local e mediu-se o tempo gasto para que esse tambor enchesse utilizando a mangueira do caminhão pipa, conforme Figura 10. Esse procedimento foi realizado três vezes para aumentar a confiabilidade dos valores e tirou-se a média.

Figura 10 - Determinação do volume do tambor cilíndrico



Fonte: Autoria Própria

Mediu-se, com auxílio de uma fita métrica, o diâmetro e a altura do tambor, com o objetivo de calcular o volume do cilindro, a partir da Equação 2.

$$V = \pi r^2 h \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

V = Volume de água suportado pelo cilindro (m³)

r = raio do cilindro (m)

h = altura do cilindro (m)

Conhecendo o volume do tambor cilíndrico, foi possível obter a vazão de água referente à mangueira utilizada com base na Equação 3.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

Q = Vazão de água que sai da mangueira (m³/s)

V = Volume de água suportado pelo cilindro (m³)

t = Média dos tempos medidos necessários para encher o tambor (s)

A partir disso, calculou-se o volume aproximado de água gasto por leira, tendo em vista o tempo de molhamento adotado pela técnica do local e vazão da mangueira que já é conhecida. Utilizou-se também a equação 2 para determinar esse volume em m³, que depois foi transformado para litros.

4.5 Reservatório de Armazenamento

Mesmo que um sistema de aproveitamento de água pluvial apresente diversos componentes que devem ser dimensionados para sua implantação, como calhas, condutores, grade, reservatório de descarte das primeiras águas, caixa de inspeção e bombeamento, os mesmos não foram considerados neste trabalho uma vez que o objetivo é voltado para a verificação da viabilidade de se instalar o projeto considerando apenas o suprimento da demanda.

Além disso, pelo fato de o propósito deste trabalho estar relacionado com a rega das leiras, o que é caracterizado como fim não potável de uso externo, não é necessário que o sistema apresente meios para tratamento químico desta água.

Tendo em vista que o problema de rega das leiras ocorre apenas no período não chuvoso, a água captada pelo sistema ficará armazenada em reservatório, de modo que o volume acumulado seja utilizado somente nas épocas de seca ou quando houver necessidade.

A partir das visitas e da pesquisa bibliográfica realizada, propôs-se o dimensionamento do reservatório do sistema de aproveitamento da água da chuva.

Segundo Tomaz (2005), o dimensionamento do reservatório para um sistema de aproveitamento de água pluvial representa a maior parte do investimento, tendo em vista que é considerado o principal componente do sistema. Normalmente, o reservatório é que determina a viabilidade técnico-econômica da implantação do projeto.

A captação da água pluvial se dará através do telhado do galpão presente no pátio de Compostagem. A medição da área do telhado foi realizada em uma das visitas de campo com auxílio dos funcionários do local. Além disso, é necessário conhecer ainda o volume de água a ser captado através do telhado para que se dimensione o reservatório.

Para o cálculo do volume de água de chuva utilizou-se a Equação 4:

$$V_{AC} = C \times P \times A \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

V_{AC} = volume de água de chuva a ser captado (m^3);

C = coeficiente de escoamento superficial;

P = precipitação anual na região (m/ano);

A = área do telhado (m^2).

Para efeito de cálculo, o volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado. Tendo em vista esse fator, utiliza-se um coeficiente de escoamento superficial, que é chamado de coeficiente de *runoff*. Esse coeficiente representa o quociente entre a água que escoar superficialmente pelo total da água precipitada. Considera-se, portanto, a perda de água de chuva devido

à limpeza do telhado, perda por evaporação, perdas na autolimpeza, entre outras (TOMAZ, 2003).

Neste contexto, segundo Tomaz (2003), o coeficiente de *runoff* varia conforme a composição do material do telhado. Quanto maior o valor do coeficiente, maior é o escoamento de água. A Tabela 4 apresenta a variação do coeficiente de acordo com o material do telhado.

Tabela 4 - Coeficientes de runoff médios

Material	Coeficiente de <i>runoff</i>
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico, PVC	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz, (2003)

Atualmente, encontram-se na literatura, em trabalhos técnicos e na norma NBR 15527 (ABNT, 2007) diversos métodos de dimensionamento de reservatório de armazenamento de água da chuva. O dimensionamento do reservatório do sistema proposto é baseado no Método Azevedo Neto, que também é conhecido como Método Brasileiro. Sua metodologia é prática e consiste na manipulação da média anual de precipitação e também pelo somatório de meses com incidência de “pouca chuva”.

Segundo Favretto (2016), os meses que apresentarem precipitação inferior a 100 mm ou que não houveram precipitação podem ser considerados no cálculo do dimensionamento do reservatório como meses de pouca chuva ou seca.

O volume do reservatório pode ser calculado a partir da precipitação anual média da região, a área horizontal de captação em projeção. O cálculo do reservatório de armazenamento das águas de chuva foi realizado com base na Equação 5:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

V = volume do reservatório de armazenamento das águas de chuva (m³);

P = valor numérico da precipitação média anual (m);

A = valor numérico da área de coleta em projeção (m²);

T = valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca.

4.6 Verificação do suprimento da demanda

Com o objetivo de verificar a viabilidade de implantação do reservatório proposto, é necessário determinar a eficiência, ou seja, o quanto a demanda será suprida a partir da utilização da água chuva captada nos meses de precipitação mais intensa.

Sendo assim, calculou-se a eficiência a partir da Equação 6:

$$E = \frac{V_{AC}}{V} \times 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

E = eficiência (%);

V_{AC} = volume de chuva captado nos meses de intensa precipitação (m³);

V = volume do reservatório de armazenamento (m³).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Diagnóstico da atual situação da rega de leiras na Unidade de Compostagem

Durante a realização de visitas periódicas entre os meses de maio a outubro de 2018 identificou-se aspectos relevantes no processo de rega das leiras na Unidade de Compostagem e verificou-se que o procedimento de irrigação das leiras utilizado atualmente pela Unidade de Compostagem não é completamente eficaz.

A cada mês, realiza-se amostragem de 5 leiras para realização de análises no laboratório interno da CTRS. As leiras amostradas são aquelas que completam 7, 30, 60, 90 e 120 dias em determinado mês. Os parâmetros analisados são, umidade, pH, densidade e sólidos voláteis. Mesmo que análises de umidade sejam feitas no local, o processo de rega das leiras não é baseado nos resultados dessas análises e, por isso, esse processo se torna aleatório. A verificação da umidade é realizada somente com base em constatações visuais e manuais (teste da mão ou teste da bolota) em campo, a partir do quão seca a leira está.

Durante todos os dias da semana, monitora-se a temperatura das leiras para verificar a necessidade de revolver aquelas que não estão no cronograma de reviramento, realizado mensalmente pelos colaboradores da unidade, mas que, por algum motivo, tiveram suas temperaturas alteradas. Para medir a temperatura é necessário inserir uma sonda nas leiras e então realizar a leitura e registro dos dados. Esse procedimento pode ser dificultado de acordo com as condições físicas das leiras. Como o processo de medição da temperatura é diário, o que exige maior frequência de comparecimento ao pátio de compostagem, é possível perceber também, ao longo dos dias, a situação das leiras em relação ao parâmetro umidade.

Quando há necessidade, o caminhão-pipa é solicitado com antecedência por uma técnica que trabalha no local e que acompanha o processo de molhamento. O molhamento ocorre durante um certo tempo determinado pela técnica.

Identificou-se ainda a presença de 8 aspersores espalhados pelo pátio de compostagem. Esses dispositivos eram utilizados antigamente para a irrigação das leiras a partir da inserção de mangueiras e utilização da água da COPASA. Entretanto, não foi possível dar continuidade à esse mecanismo devido a problemas

internos relacionados às mangueiras e à dificuldade em requerer a compra de novas.

O caminhão-pipa, que nem sempre está disponível para a realização do processo, é acionado, normalmente, duas vezes por semana, mais especificamente as terças e sextas-feiras. Quando acionado, o mesmo se dirige até o local e se posiciona próximo à leira a ser molhada. Um funcionário da Unidade de Compostagem engata a mangueira no caminhão e inicia o processo de molhamento da leira, já aberta pela máquina. O jato de água não é aplicado na forma de chuveiro fino, o que não contribui para a distribuição uniforme de água na leira, como pode ser constatado na Figura 11.

Figura 11 - Molhamento de leira no pátio por meio do caminhão pipa



Fonte: Autoria própria

Entretanto, nos meses mais chuvosos do ano geralmente não é necessário acionar o caminhão pipa para a irrigação das leiras. A própria chuva contribui com o processo de umidificação das leiras e, dependendo da época, solicita-se até mesmo que elas sejam cobertas com lona, para evitar o excesso de umidade e a condição de anaerobiose.

5.2 Quantidade de água consumida

A partir do mecanismo utilizado para medição da quantidade de água gasta no processo de molhamento, chegou-se a um valor de, aproximadamente, 2.040 litros de água por leira durante um período aproximado de 20 minutos de rega. Este

período de irrigação por leira foi adotado pela técnica responsável pelo local, com base em experiências cotidianas no pátio de compostagem.

Como esse processo é variável de acordo com a necessidade de rega das leiras, considerou-se que, em cada dia, são molhadas 3 leiras. Sabe-se que o caminhão é acionado duas vezes por semana, logo, tem-se que, no decorrer de uma semana, são molhadas 6 leiras. Entretanto, como o objetivo desse procedimento é manter a umidade da leira constante até o fim do processo, as 6 leiras que foram molhadas em uma determinada semana serão molhadas até o fim do mês. Isso ocorre porque alterna-se as leiras a serem molhadas, ou seja, as 3 leiras que foram molhadas na terça-feira não serão as mesmas que serão molhadas na sexta-feira. Elas serão regadas novamente somente na terça-feira da próxima semana e assim por diante, até o fim do mês.

A partir disso, a Tabela 6 apresenta a demanda de água semanal, mensal, semestral e anual necessária para a rega das leiras. Considerou-se que um mês é composto por $4,333$ semanas e que um ano possui 52 semanas.

Tabela 5 - Demanda necessária para a rega de leiras

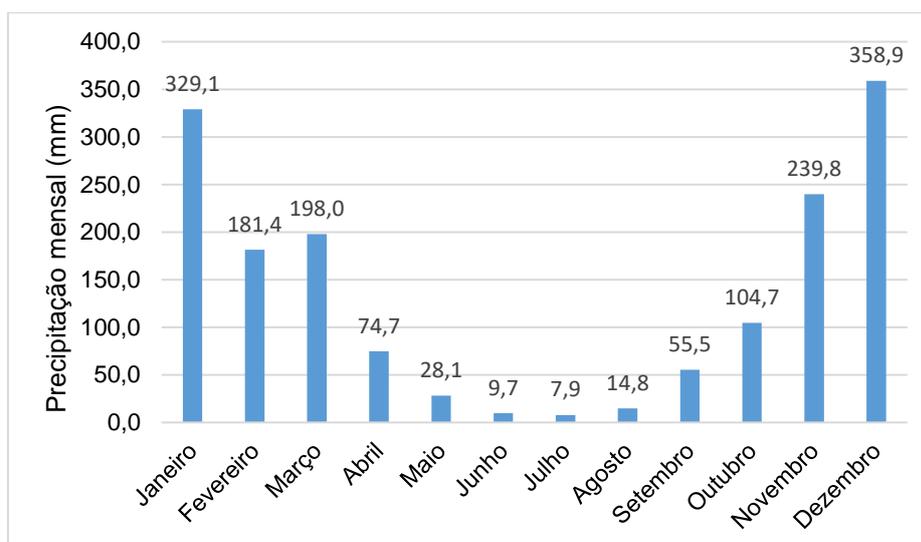
Demanda	Unidade	Volume de água
Semanal	m ³ /semana	12,24
Mensal	m ³ /mês	53,04
Semestral	m ³ /semestre	318,24
Anual	m ³ /ano	636,48

Sendo assim, são necessários, em média, 636.480 litros de água em um ano, valor esse que encarece os custos do processo e compromete o meio ambiente, através da contribuição com o esgotamento dos recursos hídricos.

5.3 Caracterização da precipitação em Belo Horizonte

Os dados de precipitação referentes à cidade de Belo Horizonte foram obtidos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir da planilha de Normal Climatológica do Brasil, identificou-se a precipitação média mensal de Belo Horizonte entre os anos de 1981 de 2010, de forma que os dados foram expostos no Figura 12.

Figura 12 - Precipitação média mensal entre 1981 e 2010



Fonte: INMET (2018)

A partir do somatório desses dados, obteve-se o valor da precipitação média anual da cidade, que corresponde a 1602,6 mm/ano.

Analisando a Figura 12, percebe-se ainda que o período chuvoso em Belo Horizonte ocorre entre os meses de outubro a março e corresponde a 1411,9 mm. Esta análise de precipitação é imprescindível para o dimensionamento do reservatório de armazenamento da água da chuva captada.

Além disso, é importante ressaltar que a água captada durante os meses mais chuvosos será armazenada até que o período de seca chegue, já que esse período é mais crítico em relação à umidade das leiras. Isso significa que a água armazenada no período de outubro a março somente será utilizada no período de abril a setembro.

5.4 Dimensionamento do reservatório de água da chuva

Para a implantação de um sistema de aproveitamento da água da chuva é necessário identificar o volume de água de chuva que pode ser captado, de acordo com as condições locais disponíveis, tendo em vista o dimensionamento dos dispositivos que compõem esse sistema. Como o objetivo deste trabalho é dimensionar somente o reservatório, calculou-se o volume potencial de captação de água com o intuito de se obter um parâmetro comparativo.

Sendo assim, a partir das medições realizadas em uma das visitas técnicas ao local, determinou-se a área projetada horizontal do telhado do galpão, que é de cerca de 1000 m², considerando que este é um telhado de duas águas. Como o material do telhado do galpão é metálico, adotou-se o coeficiente de *runoff* como sendo 0,8, segundo Tomaz (2003).

No que concerne ao volume de água da chuva a ser captado pelo sistema, a partir da multiplicação entre o coeficiente de *runoff* (0,8), a precipitação anual de Belo Horizonte apresentada na Figura 12 (1,6 m/ano) e a área do telhado (1000 m²), obteve-se a um valor de 1280 m³/ano.

$$V_{AC} = 0,8 \times 1,6 \times 1000$$

$$V_{AC} = 1280 \text{ m}^3$$

Esse valor corresponde a capacidade máxima de água pluvial que pode ser captada através do telhado do galpão. Isso não significa que todo o potencial de captação deve ser levado em conta no dimensionamento do reservatório.

Atentando-se ao fato de que a precipitação dos meses mais chuvosos corresponde a 1411,9 mm e que é neste período que a captação será realizada, chega-se a um resultado de 1129,52 m³ de potencial de água captada, a partir do mesmo raciocínio utilizado para calcular o volume máximo de água da chuva que pode ser captado, que é de 1280 m³.

$$V_{AC} = 0,8 \times 1,4119 \times 1000$$

$$V_{AC} = 1129,52 \text{ m}^3$$

Tendo em vista o dimensionamento de um reservatório que seja capaz de suprir a demanda de água utilizada nas leiras nos meses mais secos, deve-se levar em consideração a quantidade de água necessária para a rega durante esse período. De abril a setembro chove, em média, 190,7 mm em Belo Horizonte, valor este que pode ser considerado desprezível em relação à precipitação dos meses mais chuvosos.

Sendo assim, o dimensionamento do reservatório deve se basear na precipitação anual relativa apenas ao período chuvoso (1411,9 mm), realizando uma pequena adaptação na Equação . Além disso, considerou-se que, durante o ano, os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, apresentam precipitação inferior a 100 mm, de modo que esses 6 meses foram considerados no dimensionamento do reservatório.

A partir disso, sabendo que a área do telhado é de, aproximadamente, 1000 m², determinou-se o volume do reservatório de água da chuva, que deve ser capaz de armazenar, aproximadamente, 355,8 m³.

$$V = 0,042 \times 1,4119 \times 1000 \times 6$$

$$V = 355,8 \text{ m}^3$$

Propôs-se assim a instalação de dois reservatórios com capacidade para armazenar 180 m³ de água cada, levando-se em conta uma pequena folga por questões de segurança no projeto.

5.5 Determinação da Eficiência

Como os reservatórios dimensionados devem apresentar capacidade para armazenar 360 m³ no total e a demanda de água das leiras durante os seis meses não chuvosos é de 318,24 m³, pode-se obter a eficiência do sistema quanto a capacidade de suprimento de água das leiras.

$$E = \frac{360}{318,24} \times 100$$

$$E \cong 113,12\%$$

Esse resultado pode ser interpretado de forma que toda a demanda de água necessária para a rega das leiras no período mais seco do ano será suprida pelo sistema de aproveitamento de água pluvial dimensionado e ainda haverá 13,12% de água a mais do que o necessário.

Mesmo que o volume de captação do telhado no período de outubro a março seja de 1129,52 m³, somente 318,24 m³ seriam necessários para a irrigação das leiras e consequente manutenção da umidade. Caso fosse dimensionado um reservatório com capacidade de armazenar todo o volume potencial para outros fins além da rega, o custo de implantação e manutenção seria elevado e, além disso, não haveria área disponível para a implantação do mesmo, visto que seria aproximadamente quatro vezes maior do que o volume total dos reservatórios propostos.

Com base nisso, seria possível encher esses reservatórios a partir do início do período chuvoso em agosto e a água armazenada pode ser utilizada para outras finalidades que não exijam tratamento, como por exemplo, a lavagem do pátio de compostagem, tendo em vista que necessita-se apenas de 318,24 m³ de água para a irrigação das leiras e que essa demanda só é necessária a partir de abril. Sugere-se que apenas a primeira leva de água armazenada, ou seja, os primeiros 360 m³, seja utilizada para esses outros fins, já que a realização constante desse procedimento pode prejudicar o real objetivo do trabalho.

6 CONCLUSÕES E PROPOSTA DE CONTINUIDADE

Conclui-se a partir da execução do trabalho e das informações expostas que é de suma importância a realização de estudos que visem soluções sustentáveis para os problemas relacionados à escassez de água e aumento da geração de resíduos sólidos urbanos.

Essas questões devem ser priorizadas pelos governos, tendo em vista as projeções referentes ao crescimento populacional, que interfere diretamente na quantidade de água per capita disponível e na produção cada vez maior de RSU. O estabelecimento de leis, políticas e planos mais específicos, assim como subsídios para incentivar ações que visem a proteção do meio ambiente são algumas das medidas que podem ser tomadas pelas entidades de modo a evitar impactos ambientais irreversíveis.

A partir das constatações realizadas, percebeu-se a real necessidade de alteração do mecanismo atual de rega das leiras da Unidade de Compostagem da CTRS. O método proposto para o dimensionamento do reservatório de armazenamento apresentou valor satisfatório em relação ao suprimento da demanda de água das leiras, de forma que ainda seria possível armazenar mais água do que o necessário. Essa água excedente poderia ser utilizada para outros fins, como por exemplo a lavagem do pátio de compostagem.

A eficiência encontrada demonstrou que o reservatório de armazenamento foi dimensionado de forma ideal, mesmo que ele não tenha capacidade para armazenar toda a água que pode ser captada pelo telhado do galpão, até mesmo porque isso encareceria a implantação e manutenção do sistema de aproveitamento de água pluvial.

Além disso, para que a água armazenada no início do período chuvoso não fique em desuso, tendo em vista que a demanda de rega das leiras só é necessária cerca de 6 meses depois, propôs-se a utilização dos primeiros 360 m³ captados para outros fins que não exijam tratamento dessa água, como por exemplo, a lavagem do pátio de compostagem. Por questões de segurança em relação à obtenção de água, sugere-se a partir de então, a água captada seja armazenada e permaneça ali até o período mais seco ano.

Como proposta de continuidade, sugere-se que seja realizado um cronograma mensal de rega das leiras com base na verificação da umidade das

mesmas e que as constatações visuais e manuais não sejam descartadas, já que parâmetros externos podem influenciar o comportamento dos organismos envolvidos no processo. Deve-se monitorar frequentemente os resultados obtidos com as análises de teor de umidade.

Além disso, seria interessante acrescentar ao trabalho um estudo de viabilidade econômica da implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial a partir do levantamento dos custos relativos ao projeto como um todo. A partir disso, seria necessário dimensionar os outros dispositivos que compõem um sistema de aproveitamento da água da chuva. Assim, seria possível realizar uma comparação em relação aos gastos com água da COPASA e utilização do caminhão pipa e verificar qual a alternativa mais viável economicamente para a irrigação das leiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 15527 de 29 de julho de 2007. **Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: Requisitos.** Rio de Janeiro, 24 OUT 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional.** Brasília. 2010.

_____. **Situação da Água No Mundo.** 2016

ANDRADE, Rafael Medeiros; FERREIRA, João Alberto. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **Revista Eletrônica do PRODEMA;** Fortaleza, v. 6, n. 1, mar. 2011. ISSN 1982-5528.

AUGUSTO, Lia Giraldo da Silva et al; O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência e Saúde Coletiva,** Rio de Janeiro. 2012.

BONA, Berenice de Oliveira. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em edificação multifamiliar na cidade de Carazinho - RS. 2014.** Dissertação (Especialização). Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional dos Resíduos Sólidos.** Brasília, 2 AGO 2010.

_____. Portal Oficial do Governo do Brasil. **Recursos hídricos.** 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2010/11/recursos-hidricos>>. Acesso em: 18 out. 2018.

_____. Portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 28 de setembro de 2017. **Portaria de consolidação nº 5.** Brasil. 28 SET 2017.

CASTAÑEDA, Natalia Palacio. **Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable.** 2012. 60 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Sanitária, Universidad de Antioquia, Medellín, 2012.

CEGLIE, Francesco; ABDELRAHMAN, Hamada. Ecological intensification through nutrients recycling and composting in organic farming. In: Composting for Sustainable Agriculture. **Springer International Publishing.** 2014.

COHIM, Eduardo; GARCIA, Ana; KIPERSTOK, Asher. Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. In: IX SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE (9), 2008, Salvador: p. 1 – 16.

COSTA, Amanda Rodrigues Santos et al. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos. **Revista Geama.** Recife. 2015.

DAY, M. et al. **An Investigation of the Chemical and Physical Changes Occurring During Commercial Composting**. 2013. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1065657X.1998.10701920>> [online]. Acesso em: 18 out. 2018.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA DO GOVERNO DA AUSTRÁLIA OCIDENTAL. **Water sensitive urban design: Rainwater storage and reuse systems**, 2011.

FAVRETTO, Carliana Rouse. **Captação da água da chuva para utilização na lavagem de veículos**: Estudo de caso para o município de Pelotas - RS. 2016. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Orientações básicas para operação de usina de triagem e compostagem de lixo**. 1. Belo Horizonte, 2005.

GODECKE Marcos Vinicius; NAIME, Roberto Harb; FIGUEIREDO, João Alcione Sganderla. O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. 2012, vol 8, n. 8, p. 1700-1712, 2012.

GONÇALVES, Ricardo Franci. **Uso racional de água e energia**: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.1. Rio de Janeiro: ABES, 2009. ISBN 978-85-7022-161-2.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e saúde coletiva**, vol.17, n.6, p.1503-1510, 2012. ISSN 1413-8123.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009.141 f Dissertação (Mestrado no curso de Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**.1. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos. Relatório de pesquisa**. Brasília, p.82, 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA (IPT). **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva**.1. São Paulo: IPT, 2015.

JÚNIOR, Roberto de Carvalho. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. 7.ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2013.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes orgânicos**.1. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

_____. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. 4ed. Piracicaba: Embrapa, 2004.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado no curso de Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional De Resíduos Sólidos**: Versão pós Audiências e Consulta Pública para Conselhos Nacionais. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012.

_____. **Lixo: Um grave problema no mundo moderno**, 2015.

OLIVEIRA, Emídio Cantídio Almeida de; SARTORI, Raul Henrique; GARCEZ, Tiago B. **Compostagem**. São Paulo, 2008.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Central de Tratamento de Resíduos Sólidos, 2018. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/coleta-seletiva/central-de-tratamento>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

REVISTA SANEAS. Resíduos Sólidos: novas oportunidades de negócios na prestação de serviços. N 43. São Paulo: AESABESP, 2012.

SANTOS, Rodrigo Couto et al. Usinas de Compostagem de Lixo como alternativa viável à problemática dos lixões no meio urbano. **Enciclopédia Biosfera**, Belo Horizonte, vol. 2, 2006. ISSN 1809-0583.

SAVEH - Sistema de Auto avaliação da Eficiência Hídrica. Disponibilidade de água no mundo e no Brasil. 2016 Disponível em :< <https://saveh.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil/>>. Acesso em 17 dez 2018.

SELBORNE, Lord. A ética do uso da água doce: Um levantamento. Tradução: Sérgio Guarish Bath - Brasília: UNESCO. Brasília, 2001. Título original: The Ethics of Freshwater Use: A Survey.)

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva**. 2ed. São Paulo: Navegar, 2003.

TUCCI, Carlos E.M., HESPANHOL, Ivanildo, NETTO, Oscar de M. Cordeiro. Cenários da Gestão da Água no Brasil: Uma Contribuição para a “Visão Mundial da Água”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 5, n. 6, 2000.

UNESCO - UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2016. Disponível em:<<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244041por.pdf>> [online]. Acesso em: 27 abr. 2018.

VALENTE, B.S.; E.G. XAVIER; T.B.G.A. MORSELLI; D.S. JAHNKE; B. de S. BRUM Jr.; B.R. CABRERA; P. de O. MORAES; D.C.N. LOPES. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos.** Disponível em: <http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/07_18_48_1395REVISIONFatoresValente1.pdf> [online]. Acesso em: 05 abr. 2018.

VIANNA, Regina Cecere; JUNIOR, Claudio Cecere Vianna; VIANNA, Rafael Marques. **Os recursos de água doce no mundo – Situação, Normatização e Perspectiva.1.** Rio Grande: Furg, 2005.

WATERFALL, Patricia. Harvesting Rainwater for Landscape Use. University of Arizona. 2ed. Arizona, 2002. Disponível em: <<https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1344.pdf>> [online]. Acesso em: 15 jun. 2018