

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CÂMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

KEYHOLE GARDEN: UMA HORTA AUTO-REGENERATIVA

AMBERLY ROSE LOEWEN BARBOSA

**Rio Verde, GO
2025**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CÂMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

KEYHOLE GARDEN: UMA HORTA AUTO-REGENERATIVA

Amberly Rose Loewen Barbosa

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Couto de Oliveira

Rio Verde – GO
Agosto, 2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

B238k Loewen Barbosa, Amberly Rose
Keyhole Garden: Uma Horta Auto-Regenerativa / Amberly Rose
Loewen Barbosa. Rio Verde 2025.
51f. il.
Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Couto.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220074 -
Bacharelado em Engenharia Ambiental - Integral - Rio Verde
(Campus Rio Verde).
1. compostagem doméstica. 2. segurança alimentar. 3. produção
sustentável. 4. economia hídrica. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☐ Monografia (especialização)
☒ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Amberly Rose Loewen Barbosa

Matrícula:

2018102200740420

Título do trabalho:

Keyhole Garden: Uma Horta Auto-Regenerativa

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 / 09 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 AMBERLY ROSE LOEWEN BARBOSA
Data: 29/08/2025 12:23:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Rio Verde - GO

Local

29 / 08 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente
 BRUNO DE OLIVEIRA COSTA COUTO
Data: 29/08/2025 15:15:12-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Regulamento de Trabalho de Curso (TC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 25 dias do mês de agosto de dois mil e vinte e cinco às 14 horas e 30 minutos, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: **Prof. Bruno de Oliveira Costa Couto, orientador, Lucas Peres Angelini, membro interno, Wilker Alves Moraes, membro interno**, para examinar o Trabalho de Curso (TCC) intitulado, **KEYHOLE GARDEN: UMA HORTA AUTO-REGENERATIVA**, de **Amberly Rose Loewen**, estudante do curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob **Matrícula nº 2018102200740420**. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do trabalho, em seguida houve arguição da candidata pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela aprovação da estudante, com orientação de correção. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que segue assinada pela professora orientadora e segue assinada por todos os membros da banca.

Rio Verde, 25 de junho de 2025.

Bruno de Oliveira Costa Couto

Presidente da banca/orientadora

assinatura digital

Lucas Peres Angelini

Membro da Banca Examinador

assinatura digital

Wilker Alves Moraes

Membro da Banca Examinadora

assinatura digital

Documento assinado eletronicamente por:

- **Bruno de Oliveira Costa Couto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/08/2025 05:17:50.
- **Wilker Alves Moraes**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/08/2025 06:27:54.
- **Lucas Peres Angelini**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/08/2025 07:55:09.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 736444

Código de Autenticação: 25aa6365b6



RESUMO

A segurança alimentar ainda é um desafio global, agravado pelas mudanças climáticas, que impactam a disponibilidade de água e a produção agrícola. Diante desse cenário, o Keyhole Garden surge como uma alternativa viável, especialmente em regiões com escassez hídrica, devido à sua capacidade de retenção de umidade e aproveitamento de resíduos orgânicos para compostagem. O Keyhole Garden é um sistema de cultivo auto-regenerativo originário da África, caracterizado por uma torre central de compostagem que utiliza resíduos orgânicos domiciliares para produção de adubo. Esse método promove o uso eficiente da água, reduzindo a necessidade de irrigação em comparação com hortas tradicionais. O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade técnica, operacional e econômica da implementação do Keyhole Garden em uma propriedade rural localizada no município de Rio Verde, Goiás. Para isso, foram construídos e monitorados sistemas Keyhole Garden e hortas tradicionais, mensurando a quantidade de água utilizada, a eficiência do processo de compostagem e a produtividade das culturas. A metodologia envolveu a construção de um modelo Independent and Accessible Keyhole Garden, com dimensões adequadas ao espaço disponível. O manejo incluiu irrigação mínima, acompanhamento do desenvolvimento das plantas e inserção diária de resíduos orgânicos na torre de compostagem. A eficiência hídrica foi analisada por meio da mensuração do volume de água utilizado e das taxas de retenção de umidade no solo. Os resultados indicaram que o Keyhole Garden demanda significativamente menos água do que uma horta tradicional, devido à sua estrutura de camadas que favorece a retenção da umidade e à liberação gradual de nutrientes provenientes da compostagem. Além disso, observou-se que a compostagem contribuiu para a nutrição das plantas, reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos e promovendo maior sustentabilidade ambiental. Conclui-se que o Keyhole Garden é uma alternativa viável para a produção sustentável de hortaliças, oferecendo benefícios ambientais e econômicos tanto para pequenos produtores quanto para comunidades urbanas e rurais. A adoção desse modelo pode representar um avanço na segurança alimentar e na redução do impacto ambiental associado ao uso excessivo de água e ao descarte inadequado de resíduos orgânicos. Através desse estudo foi possível afirmar que esse modelo de horta teve uma redução de 11% no uso de água em relação à horta tradicional.

PALAVRAS-CHAVE: compostagem doméstica; segurança alimentar; produção sustentável; economia hídrica.

ABSTRACT

Food security remains a global challenge, exacerbated by climate change, which impacts water availability and agricultural production. In this context, the Keyhole Garden emerges as a viable alternative, especially in regions with water scarcity, due to its moisture retention capacity and use of organic waste for composting. The Keyhole Garden is a self-regenerative cultivation system originating from Africa, characterized by a central composting tower that utilizes household organic waste for fertilizer production. This method promotes efficient water use, reducing irrigation needs compared to traditional gardens. The objective of this study was to assess the technical, operational, and economic feasibility of implementing the Keyhole Garden in a rural property located in the municipality of Rio Verde, Goiás. To this end, Keyhole Garden systems and traditional gardens were built and monitored, measuring the amount of water used, the efficiency of the composting process, and crop productivity. The methodology involved the construction of an Independent and Accessible Keyhole Garden model, with dimensions suited to the available space. Management included minimal irrigation, monitoring of plant development, and the daily addition of organic waste to the composting tower. Water efficiency was analyzed by measuring the volume of water used and soil moisture retention rates. The results indicated that the Keyhole Garden requires significantly less water than a traditional garden due to its layered structure, which enhances moisture retention, and the gradual release of nutrients from composting. Additionally, composting contributed to plant nutrition, reducing the need for synthetic fertilizers and promoting greater environmental sustainability. It is concluded that the Keyhole Garden is a viable alternative for sustainable vegetable production, offering environmental and economic benefits for both small producers and urban and rural communities. The adoption of this model may represent progress in food security and in reducing the environmental impact associated with excessive water use and improper disposal of organic waste. Through this study, it was possible to state that this garden model achieved an 11% reduction in water usage compared to the traditional garden.

KEYWORDS: organic waste; food security; sustainable production; water saving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1a - Tipos de Keyhole Gardens	15
Figura 1b - Tipos de Keyhole Gardens	16
Figura 1c - Tipos de Keyhole Gardens	16
Figura 2 - Processo de construção da horta	18
Figura 3 - Processo de construção da horta	18
Figura 4 - Processo de construção da horta	19
Figura 5 - Processo de construção da horta	19
Figura 6 - Processo de construção da horta	20
Figura 7 - Processo de construção da horta	20
Figura 8 - Processo de construção da horta	21
Figura 9 - Processo de construção da horta	21
Figura 10 - Local de estudo	22
Figura 11 - Perfil superior da horta	23
Figura 12a - Perfil lateral da composteira	24
Figura 12b - Perfil inferior da composteira	24
Figura 13 - Perfil lateral da horta	24
Figura 14 - Construção da horta: Camada 01	25
Figuras 15-17 - Construção da horta - Camada 02	25
Figura 18 - Construção da horta: Camada 03	26
Figura 19 - Construção da horta: Camada 04	26
Figura 20 - Construção da horta: Camada 05	26
Figuras 21a - 21c - Composto Maturado	31
Figuras 22-25 - Agentes decompositores	32
Figuras 26a e 26b - Agentes predadores	33
Figuras 27a e 27b - Pluviômetro	35
Figuras 28a – 28c - Vazão	36
Figuras 29 – 37 – Vegetais e frutas cultivados na horta	41
Figuras 38 – 40 – Folhagens cultivados na horta	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação Carência – Doenças	14
Tabela 2 - Componentes de uma horta keyhole	17
Tabela 3 - Custo Construção	39
Tabela 4 - Custo Plantio	39
Tabela 5 - Recuperação de Custos Através dos Alimentos	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evapotranspiração das culturas registrado em valores mensais	35
Gráfico 2 – Precipitação pluvial registrado em valores mensais	36
Gráfico 3 – Rega registrada em valores mensais	37
Gráfico 4 – Comparação entre evapotranspiração, rega e precipitação pluvial.....	38

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

C-SAFE	Consortium for Southern Africa Food Security Emergency
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
ETc	Evapotranspiração de cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
GO	Goiás
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kc	Coefficiente de cultura
kg	Quilograma
KHG	Keyhole Garden
L	Litro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
MSD	Manual da Saúde da Família
N ₂ O	Óxido nitroso
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
PAHO	Pan American Health Organization
S	Segundo
SUS	Sistema Único de Saúde
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. PROBLEMA	9
1.2. HIPÓTESE	9
1.3. OBJETIVOS	10
1.3.1. Objetivo Geral	10
1.3.2. Objetivos específicos	10
1.4. JUSTIFICATIVA	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1. Área de Estudo	20
3.2. Projeto e construção do Keyhole Garden	20
3.3. Manejo da horta	24
3.3.1 Manejo da composteira	25
3.4. Mensuração hídrica	26
3.5. Materiais de construção utilizados	27
3.6. Quantificação e precificação da produção	27
3.7. Retorno financeiro	27
4. RESULTADOS	27
4.1. Compostagem	28
4.2. Mensuração hídrica	32
4.3. Custo-benefício do projeto	36
4.4. Alimentos produzidos	38
5. CONCLUSÃO	40
6. SUGESTÕES PÓS-PROJETO	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
8. ANEXOS	45

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos esforços globais para alcançar a meta do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) “Fome Zero” até 2030, a segurança alimentar ainda está distante de ser uma realidade. De acordo com a FAO, “A segurança alimentar ocorre quando todas as pessoas, em qualquer momento, têm acesso físico e financeiro a alimentos em quantidade suficiente, seguros e nutritivos, que satisfaçam suas necessidades e preferências alimentares para manter uma vida ativa e saudável” (FAO, 1996).

Prevê-se que as mudanças climáticas intensificam essa problemática, abrangendo especificações climáticas extremas, qualidade e disponibilidade de água, além do abastecimento e segurança dos alimentos. Essa situação afeta, principalmente, agricultores de subsistência em regiões rurais, onde a produção agrícola de sequeiro é a principal fonte de renda e sustento. As transformações climáticas incluem maior variabilidade nas temperaturas e nos padrões de seleção, além do aumento dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera, o que contribui para o aquecimento global e para a intensificação de eventos climáticos extremos. Tais fatores afetam diretamente a produção de alimentos, a segurança alimentar e a saúde da população (HANSEN *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, torna-se urgente a implementação de estratégias de adaptação para mitigar os impactos negativos das mudanças climáticas. As hortas domésticas, como o modelo Keyhole Garden, são consideradas uma alternativa eficaz, pois podem garantir uma alimentação adequada, além de representar uma abordagem proativa para enfrentar os desafios climáticos (NYONG *et al.*, 2020).

A característica principal do Keyhole Garden é utilizar lixo orgânico para produzir compostagem, através de uma torre construída no centro da horta. A torre é composta por um material com perfurações que permite o escoamento de água e a entrada de microrganismos presentes no solo, para realizarem a decomposição dos detritos orgânicos. Posteriormente a compostagem pronta é utilizada como adubo orgânico para as plantas presentes na superfície do canteiro.

A compostagem é uma técnica de baixo custo e tem sido utilizado por civilizações antigas e atuais como um método natural de reciclagem de nutrientes (PEREIRA – NETO, 2007). Os resíduos orgânicos são degradados através da atividade de microrganismos presentes nos próprios resíduos orgânicos ou macrorganismos como minhocas. Para que os microrganismos realizem ações de decomposição e/ou estabilização biológica da matéria

orgânica é necessário que o ambiente seja úmido e aquecido. Os microrganismos produzem dióxido de carbono, água, e minerais que formam o composto que por sua vez pode ser usado como adubo orgânico, fonte de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, manganês e boro para as plantas (SARTORI *et al*, [s.d.]), além disso a matéria orgânica melhora a qualidade do solo.

Esse estudo foi direcionado a agricultura sustentável por meio de produção de vegetais e frutas através de um estilo de horta auto-regenerativo circular chamado Keyhole Garden. O objetivo desse estudo é mostrar que o Keyhole Garden é ambientalmente e economicamente viável, além disso, pode ser uma solução para produzir hortaliças em regiões com recursos hídricos limitados, pois a mesma possui alta retenção de umidade e demanda menos irrigação que as hortas tradicionais. Inclusive quem aderir essa forma de horticultura é interessante tanto para regiões urbanas quanto rurais.

Nesse estudo foi feito a construção da horta no modelo Independent and Accessible Keyhole Garden. A escolha desse modelo se deve ao fato de ser uma horta um pouco maior em relação aos outros modelos e o local de implantação ter o espaço necessário.

1.1 PROBLEMA

Diante das transformações climáticas e das limitações dos recursos hídricos, a garantia de alimentos para os agricultores em áreas rurais torna-se um desafio, exigindo abordagens sustentáveis para o cultivo de hortaliças. Nesse cenário, as previsões técnicas, econômicas e ambientais do modelo de horta Keyhole Garden ainda são pouco estudadas em regiões brasileiras e com restrições de privacidade. Essa metodologia representa uma alternativa eficaz e acessível para aprimorar a produção agrícola e o aproveitamento de água.

1.2 HIPÓTESE

O método Keyhole Garden é uma solução eficiente para o cultivo de hortaliças em áreas com escassez de água, pois possui excelente capacidade de retenção de umidade, minimiza perdas por escoamento, reduzindo a demanda por água e otimiza o uso de resíduos orgânicos para compostagem. Desta forma, contribui para uma agricultura sustentável, é viável financeiramente e é ambientalmente responsável.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica e operacional de um Sistema Key Hole Garden em uma propriedade rural localizada no município de Rio Verde – GO.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Construir um Sistema Keyhole Garden e avaliar sua produção;
- Avaliar a qualidade do processo de compostagem na decomposição da matéria orgânica;
- Mensurar e avaliar a quantidade de água utilizada no processo;
- Realizar análise de custos, vantagens e desvantagens da técnica.

1.4 JUSTIFICATIVA

A compostagem, que é um dos pilares do Keyhole Garden, favorece a reciclagem de nutrientes e reduz a dependência de fertilizantes químicos, um motivo pelo qual o modelo é uma opção economicamente atrativa. Além disso, a estrutura da horta é projetada para reter a umidade, evitando a necessidade de supervisão constante, o que se torna especialmente vantajosa para áreas com baixa disponibilidade de água.

Apesar de suas vantagens, ainda há uma carência de estudos sobre as soluções técnicas, econômicas e ambientais do Keyhole Garden no Brasil. Os resultados poderão contribuir para a disseminação de práticas agrícolas mais sustentáveis, auxiliando produtores rurais na adoção de tecnologias adaptadas às condições climáticas desafiadoras. Além disso, o estudo pode fornecer informações relevantes para embasar políticas públicas externas à segurança alimentar e à mitigação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Keyhole Garden teve origem na África, mais especificamente em Lesoto, Zimbabwe, na década de 1990 com intuito de estimular a população a produzir seu próprio alimento com facilidade e, principalmente, com poucos recursos financeiros. A horta foi desenvolvida pelo Consortium for Southern Africa Food Security Emergency (C-SAFE) para

pessoas diagnosticadas com HIV/AIDS e outras pessoas que não estavam em condições físicas de manter uma horta tradicional (BILLINGSLEY *et al.*, 2013).

Pelo fato desse estilo de horta demandar baixa quantidade de água, possuir uma alta produtividade e ser auto-regenerativa, logo havia mais de 20 mil Keyhole Gardens na África, dentre essas surgindo algumas variantes do modelo original. Alguns estados nos Estados Unidos já adotaram esse estilo de horta nas regiões onde há déficit hídrico. Porém essa forma de horticultura não é realizada universalmente, e através de pesquisa não foi possível encontrar registros de Keyhole Gardens no Brasil (ACKER, 2012). Porém algumas mulheres, residentes da Colônia Americana, localizada no município de Rio Verde – GO, utilizam esse tipo de horta para cultivar legumes, folhagens e flores.

O conceito do Keyhole Garden é reduzir a poluição por meio das emissões de gases do efeito estufa, aumentar a retenção de carbono no solo, diminuir a utilização de água potável e produzir altas quantidades de hortaliças usando apenas compostagem como adubação, ou seja, não utilizar adubos químicos. À medida que não é feito a adubação química, é possível o sistema devolver o nitrogênio, potássio e fósforo para o solo, completando a ciclagem de nutrientes (ARIAS *et al.*, 2013).

Todos os alimentos produzidos na Keyhole Garden trazem benefícios à saúde humana. São ricos em vitaminas e por serem orgânicos, não possuem nenhum elemento químico que coloque o bem-estar dos favorecidos em risco.

De acordo com a TACO – 4 Edição (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos) coentro, couve, quiabo e rabanetes possuem altos teores de cálcio e magnésio. Já cenouras possuem altos teores de vitamina A, potássio e ácido fólico. Os tomates são compostos por fibras, altos teores de vitamina C e potássio.

A Tabela 1 mostra as doenças mais comuns relacionadas com a deficiência de cada um dos nutrientes citados acima de acordo com o Ministério da Saúde e o MSD (Manual da Saúde da Família).

Tabela 1 - Relação Carência - Doenças

RELAÇÃO CARÊNCIA - DOENÇAS		
	PRINCIPAIS COMPONENTES	DOENÇAS RELACIONADAS À DEFICIÊNCIA
CENOURA	vitamina A	xeroftalmia e infecções em geral
	ácido fólico	anemia e má-formação fetal
COENTRO, COUVE, QUIABO E RABANETE	cálcio	raquitismo e osteomalácia
	magnésio	vômito, sonolência e convulsões
TOMATE	vitamina C	escorbuto e enfraquecimento do sistema imunológico
	potássio	fraqueza muscular, câibra e paralisia

Fonte - JOHNSON, L. [sd], e LEWIS, J. [sd]

Com base nesses dados podemos ver o quanto é importante ter uma alimentação nutritiva para evitar doenças. Em casos de algumas dessas doenças há efeitos irreversíveis, tendo como consequência um prejuízo incontável ao indivíduo afetado.

Algumas das principais doenças relacionadas a má alimentação é a obesidade, hipertensão e diabetes. De acordo com um estudo publicado pela PAHO (Pan American Health Organization) em 2018, essas doenças custaram aproximadamente 3,45 bilhões de reais para o SUS (Sistema Único de Saúde).

Como citado anteriormente, o Keyhole Garden tem como propósito produzir alimentos nutritivos em uma área limitada e com um custo baixo para o produtor. Sendo assim, a mesma se torna uma opção atraente para indivíduos que procuram uma forma mais saudável de viver, preservando sua saúde e o meio ambiente. Consequentemente uma alimentação saudável traria benefícios incontáveis à saúde dos envolvidos, além disso traria benefícios a nível nacional uma vez que reduziria custo com tratamentos contra obesidade e outras doenças causadas pela má-alimentação.

A adoção de uma economia circular traz vantagens sob os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Em um modelo circular alimentar, os resíduos de alimentos passam por um processo de tratamento para que seus nutrientes sejam reaproveitados. Depois desse processamento, os nutrientes são incorporados ao solo para torná-lo mais fértil, favorecendo o aumento da produção agrícola. Em vez de serem descartados em aterros sanitários ou incinerados, o reaproveitamento desses resíduos reduz o consumo de água e energia na cadeia produtiva dos alimentos. As principais tecnologias empregadas para esse fim são a compostagem e a digestão anaeróbica, ambas responsáveis por estabilizar os resíduos e gerar subprodutos que melhoram a qualidade do solo. Esse mecanismo fecha o ciclo de um sistema alimentar circular. Contudo, ele só pode ser considerado seguro quando os resíduos utilizados no processamento não contêm substâncias nocivas ou quando essas substâncias são eliminadas ao longo do tratamento. Para uma gestão eficiente de um sistema alimentar circular, é fundamental compreender os tipos de contaminantes presentes nas diferentes fases da cadeia de abastecimento, suas origens e seu comportamento durante os processos de compostagem e fermentação (THAKALI; MACRAE, 2021).

Existem três tipos de Keyhole Gardens, sendo a Cascading Keyhole Garden, a Independent and Accessible Keyhole Garden e a Sunseeker Keyhole Garden. Na Cascading Keyhole Garden, a torre de compostagem no centro da horta se estende desde a parte superior até a parte inferior do canteiro (Figura 1a). A Independent and Accessible Keyhole Garden foi desenvolvida para pessoas com limitações físicas com intuito de facilitar o manejo (Figura 1b). A outra variante, a Sunseeker Keyhole Garden é um canteiro menor e pode ser movido, acessado e mantido com facilidade (Figura 1c) (MOHAN *et al.*, 2020).

Figura 1a - Tipos de Keyhole Gardens



Fonte: WE ARE VITA, 2025

Figura 1b - Tipos de Keyhole Gardens



Fonte: WE ARE VITA, 2025

Figura 1c - Tipos de Keyhole Gardens



Fonte: WE ARE VITA, 2025

De acordo com Giz (2025) as principais características da horta Keyhole são:

- Fornecer à família vegetais frescos e saudáveis durante todo o ano.
- Uso altamente eficiente da água, pois consome pequenos detalhes.
- Pode ser cuidadoso e mantido por qualquer membro da família.

- Baixo custo de implementação, pois utiliza materiais locais disponíveis.

Ainda segundo Giz (2025) são apresetados os componentes da horta Keyhole na Tabela 2.

Tabela 2. Componentes de uma horta Keyhole

Componente	Quantidade
Área	~ 2 m ²
Solo agrícola	800 kg (~ 8 sacos)
Pedras	Conforme necessário, dependendo do tamanho
Esterco orgânico natural	200 kg (~ 5 sacos)
Cinzas	75 kg (~ 1,5 sacos)
Areia fina (a ser coletada em depósitos de vale, se disponível)	150 kg (~ 1,5 sacos)
4 graves grossos + 12 graves médios	16 gravetos
Resíduos domésticos (latas de metal, resíduos de cerâmica, ossos de animais, folhas de cacto, pequenos galhos de plantas e resíduos de colheita, como palha ou feno)	Conforme necessário

Fonte: Giz, 2025

Na sequência, conforme Giz (2025) serão apresentados todo o processo de construção do jardim que são evidenciados nas Figuras de 2 a 9.

Para construir uma horta, escolha um local acessível e adequado, projetando um círculo de pelo menos um metro de diâmetro. No centro, marque um pequeno retângulo e fixe quatro estacas robustas de 17 cm para sustentar a cesta, que deve ser forrada com capim para facilitar a distribuição da água. Dentro dessas estacas, posicione doze estacas médias de 50 cm, amarrando-as com corda ou arame. Utilize pedras para delimitar a área e crie uma passagem até o centro para manutenção. Por fim, finalize uma estrutura externa do jardim, garantindo uma altura de cerca de 27 cm para estabilidade (Figuras 2 e 3).

Figura 2 - Processo de construção da horta



Fonte: Giz, 2025

Figura 3 - Processo de construção da horta



Fonte: Giz, 2025

Configure a camada base do jardim com sucata metálica, como latas vazias de alimentos e bebidas, cacos de cerâmica e vasos quebrados, folhas de babosa ou cactos, ossos de animais secos e galhos de árvores. Cubra os resíduos com uma camada de solo, que deve ser nivelada (Figura 4).

Figura 4 - Processo de construção da horta



Fonte: Giz, 2025

Em seguida, faça uma camada leve de cinzas, seguida por outra camada de solo e, depois, uma camada grossa de esterco seco de animais. Adicione a camada de solo pré-final sobre a camada grossa de esterco de animais (Figura 5).

Figura 5 - Processo de construção da horta



Fonte: Giz, 2025

Preencha o cesto com camadas alternadas de esterco e cinzas (uma camada leve de cinzas seguida por uma camada grossa de esterco. Esse processo é repetido até alcançar a linha superior). Por fim, estabeleça a camada final adicionando uma mistura de solo, cinzas e areia

(se houver). Nivelar essa camada de forma que a orientação fique direcionada ao cesto para a parede do jardim (Figura 6).

Figura 6 - Processo de construção da horta



Fonte: Giz, 2025

O jardim deve ser planejado e preparado muito bem em linhas. A distância entre as linhas deve estar entre 10 – 20 cm, dependendo das culturas plantadas. As linhas de hortaliças folhosas, assim como as culturas com raízes foliares, devem ser lógicas de forma consecutiva (Figura 7).

Figura 7 - Processo de construção da horta



Fonte: Giz, 2025

A segurança do jardim pela primeira vez deve ser feita cobrindo a superfície com um pedaço de saco e, em seguida, despejando a água sobre esse saco ou utilizando um regador. Após essa etapa, a supervisão deve ser realizada através do cesto de composto (Figura 8).

Figura 8 - Processo de construção da horta



Fonte: Giz, 2025

As redes ao redor do parque são colocadas para protegê-los de animais e aves (Figura 9).

Figura 9 - Processo de construção da horta



Fonte: Giz, 2025

O planejamento é realizado conforme as necessidades da família, com cada cultura organizada em linhas distintas, respeitando um espaçamento adequado. A variação varia conforme a temperatura, sendo de 30 litros por semana em áreas quentes e 20 litros em locais

frios. Após a semeadura, é necessário relatar sementes que não germinaram e substituir plantas que não se desenvolveram. O desbaste é feito quando as mudanças atingem três folhas, removendo as mais falhas ou próximas para garantir um crescimento saudável.

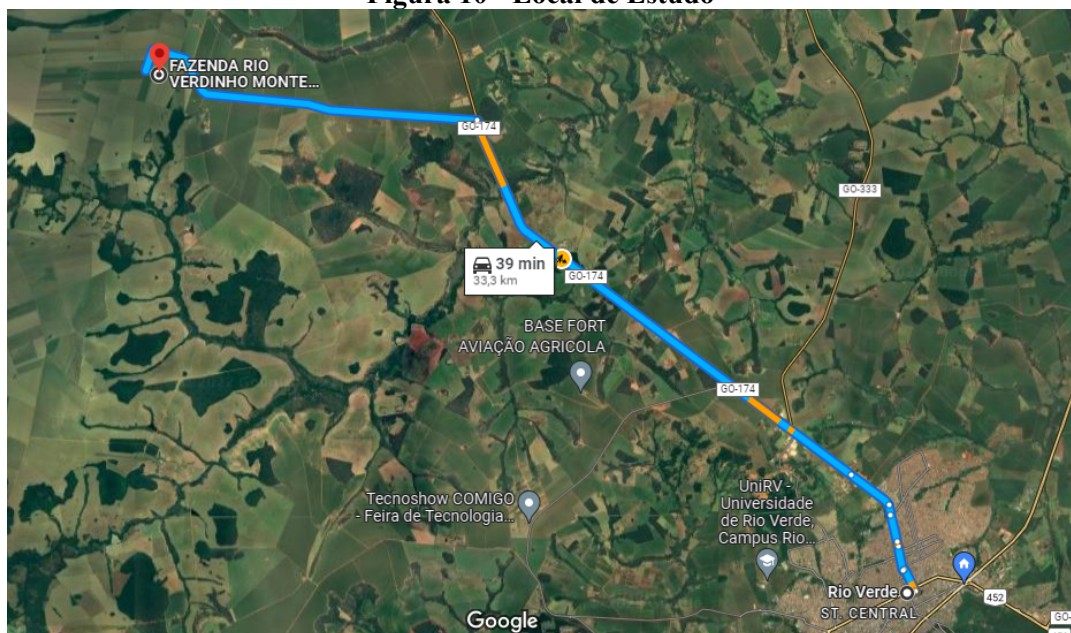
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo é situada na Fazenda Rio Verdinho Monte Alegre que se localiza no município de Rio Verde no estado de Goiás. De acordo com dados do Google, as coordenadas geográficas são -17.64266942117441, -51.143317709555774 e possui uma altitude de 830 metros (Figura 10).

De acordo com uma análise de solo feito em 2022 na propriedade rural em questão, no local que foi recolhido o solo utilizado para o plantio da horta, foram encontrados vários elementos como cálcio, magnésio, potássio, boro e zinco presentes no solo. Essa análise indicou que a tipologia desse solo como latossolo.

Figura 10 - Local de Estudo



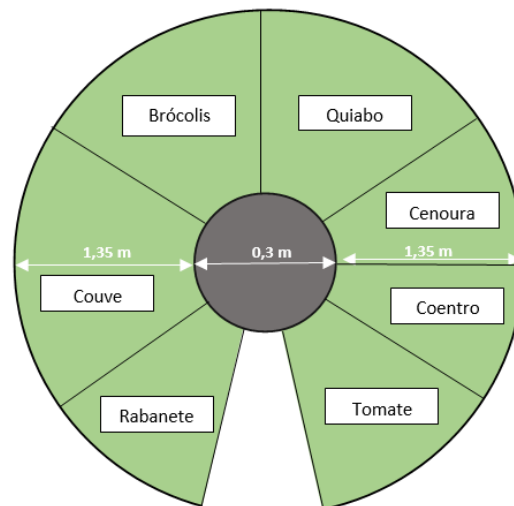
Fonte: Google Earth

3.2 Projeto e construção do Keyhole Garden

O projeto do KHG inclui uma torre de compostagem no centro da horta e camadas que retêm umidade. Essas camadas são compostas por materiais recicláveis como folhas, galhos finos, papelão, pedras e solo.

O Keyhole Garden é circular, com diâmetro de 3m e altura de 0,7m, totalizando um volume de plantio de aproximadamente 6,2m² (Figura 11). Essas dimensões foram baseadas em um estudo de caso e oferece espaço suficiente para produzir vários tipos de hortaliças em quantidade suficiente para alimentar 4-5 pessoas diariamente (VENKATA *et al.*, 2020). Em uma seção do círculo foi feita uma entrada feita para depositar o material orgânico na torre de compostagem. A horta foi construída em um local que permitiu o acesso da superfície a luz do sol e a chuva sem obstruções.

Figura 11 - Perfil superior da horta



Fonte: Autora

A torre cilíndrica (Figuras 12 e 13) de compostagem tem um diâmetro de 0,3m e uma altura de 0,41m, tendo assim um volume ($V = \pi r^2 h$) de aproximadamente 0,03m³. O cilindro possui perfurações nas laterais para o escoamento do chorume, além disso, as perfurações permitem a entrada de microrganismos essenciais para realizar a decomposição da matéria orgânica. Foi utilizado um balde comum de 20 litros para a torre cilíndrica, visto que a fazenda possui várias unidades. Além disso o balde pode ser retirado facilmente do solo para efetuar retirada da compostagem pronta.

Figura 12a – Perfil lateral da composteira



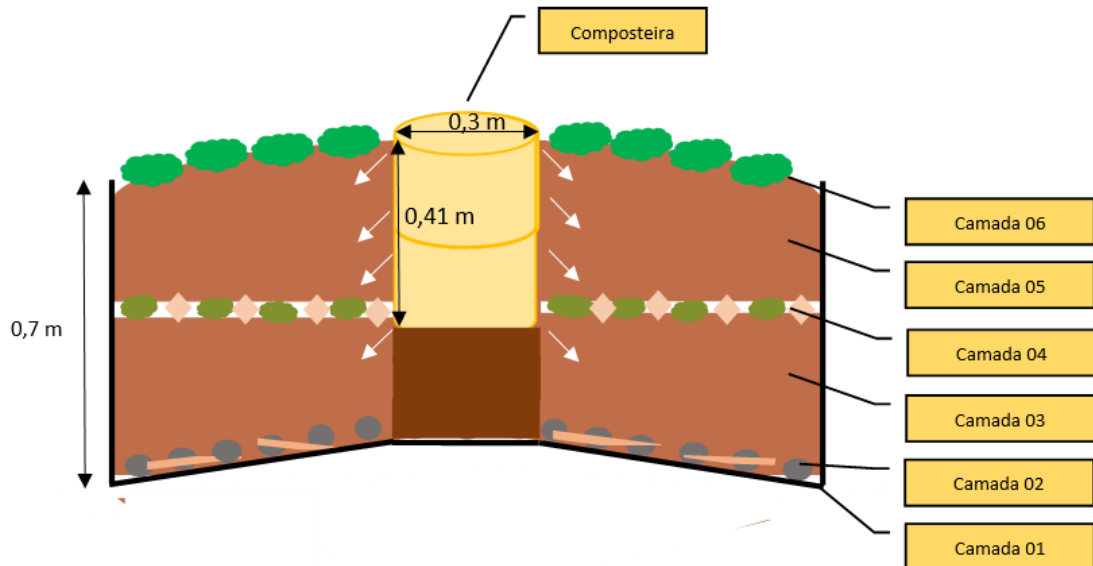
Fonte: Autora

Figura 12b - Perfil inferior da composteira



Fonte: Autora

Figura 13 - Perfil lateral da horta



Fonte: Autora

A camada 01 (Figuras 13 e 14) tem uma espessura de 0,03m e é impermeável, impedindo o chorume de infiltrar no solo de forma descendente. Foi utilizado uma lona de plástico por cima da camada de concreto para garantir a impermeabilidade. A camada 02 (Figuras 13, 15-17) tem uma espessura de 0,08m e é composta por galhos e pedras para facilitar o escoamento do chorume da torre de compostagem por toda a camada. A camada 03 (Figuras

13 e 18) tem 0,28m e é composta somente por solo. A camada 04 (Figura 13 e 19) tem 0,06m e é composta por folhas, galhos finos, pedras pequenas, e papelão para retenção de umidade proveniente da rega, chuvas e do chorume. A camada 05 (Figura 13 e 20) tem 0,28m e é composta por solo, misturado com esterco bovino para fornecer nutrientes às plantas na fase inicial do projeto. A camada 06 é a cobertura vegetal na superfície. Todas as espessuras das camadas são aproximadas, sem valores exatos.

Figura 14 - Construção da horta: Camada 01



Fonte: Autora

Figuras 15-17 - Construção da horta: Camada 02



Fonte: Autora

Figura 18 - Construção da horta: Camada 03



Fonte: Autora

Figura 19 - Construção da horta: Camada 04



Fonte: Autora

Figura 20 - Construção da horta: Camada 05



Fonte: Autora

Foram plantadas 7 variedades de alimentos, sendo essas, couve, brócolis, coentro, rabanete, quiabo, cenouras e tomates. A escolha dessas variedades se deve a dois fatores, sendo o primeiro o ciclo de produção, uma vez que esse estudo teve duração de poucas semanas e o segundo fator, devido à preferência dos indivíduos que ingeriram os alimentos.

3.3 Manejo da horta

Tendo em vista o objetivo do Keyhole Garden, que é reduzir a quantidade de água utilizada para regar as hortaliças, foi feito a menor quantidade de rega possível para manter as plantas vivas e saudáveis. A necessidade hídrica do sistema foi determinada por meio da observação do estado fisiológico das plantas. Quando apresentavam sinais de leve murcha, realizava-se irrigação, sempre empregando a menor quantidade de água possível. Um dos resultados analisados após o fim desse estudo foi justamente a quantidade de água utilizada. A água utilizada foi mensurada através das chuvas utilizando um pluviômetro localizado próximo a horta e também através da rega, onde foi usado um cronômetro do tempo de rega e foi determinado a vazão da mangueira utilizada, sendo possível determinar aproximadamente quantos litros de água foram usados por dia. Esses dados são apresentados no final desse estudo.

Em relação a adubação, inicialmente foi utilizado apenas esterco bovino, uma adubação orgânica, até ser possível utilizar a compostagem produzido na composteira a partir dos primeiros vegetais produzidos e os resíduos orgânicos domésticos provenientes das residências. O chorume foi absorvido pelo solo e percolou verticalmente até atingir as raízes das plantas e suprir algumas das suas necessidades fisiológicas.

Já em relação aos tratos culturais, não houve aplicações de inseticidas químicos ou adubos químicos no Keyhole Garden. Em relação ao controle dos insetos, é importante ressaltar que em volta da horta havia lavouras. Foi observado que as aplicações das inseticidas químicas nas lavouras reduziam de forma significativa a quantidade de insetos na horta, sem comprometer a produção de alimentos orgânicos pelo sistema.

3.1.1 Manejo da composteira

A torre de compostagem foi alimentada diariamente com os resíduos orgânicos domiciliares, como cascas de bananas, restos de verduras, legumes e até pó de café por 3 meses. Esse tempo específico foi determinado pois o balde se encontrava cheio de compostagem e além disso é necessário que a composteira não receba novos resíduos para conseguir finalizar o processo de maturação da compostagem. Foi evitado alimentos ricos em gorduras. Após a inserção da matéria orgânica no interior da torre, foi coberto com uma camada fina de grama seca (cortada no quintal ao lado da horta), restos de folhas e plantas daninhas retiradas da própria horta e previamente secas, para evitar qualquer mal cheiro e para agilizar o processo de decomposição. A princípio era esperado que a composteira teria que ser regada todos os dias

para evitar o ressecamento da compostagem, porém as chuvas e a rega da horta mantiveram o solo em torno da torre de compostagem bem úmida e não foi necessário inserir água na torre durante o experimento.

3.4 Mensuração hídrica

Para determinar a quantidade de água necessária para manter a horta foi calculado a evapotranspiração de referência na primeira etapa e a evapotranspiração das culturas na segunda etapa com valores diários, como recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), para verificar se a quantidade de água fornecida às plantas foi suficiente para suprir suas necessidades hídricas, sem desperdício ou déficit. Na terceira etapa, o estudo mediu e comparou a quantidade de água que as plantas receberam (precipitação + rega) com a quantidade de água que as mesmas precisaram (com base na evapotranspiração), para determinar se houve desperdício ou déficit de água.

Os dados usados para o determinar a evapotranspiração de referência (ET_o) foram obtidos pela tabela disponibilizada no site do INMETRO para a região de Rio Verde – GO, município referente à localização do estudo.

A evapotranspiração de referência (ET_o), conforme o Anexo 1, foi quantificada através do método de Penman-Monteith. A escolha desse método se deve a sua precisão, levando em consideração os aspectos aerodinâmicos e termodinâmicos, resistência do fluxo de calor sensível e a umidade no ar, e a resistência da planta em relação à liberação do vapor d'água.

A evapotranspiração de cultura (ET_c), como indicado pelo Anexo 2, foi calculada através da fórmula:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

A taxa média do coeficiente de cultura (K_c) foi baseada em dados publicados em artigos e revistas, obtidos através de pesquisa. O K_c inicial indica o período desde a semeadura até que 10% do terreno esteja coberto; o K_c de meia-estação abrange o intervalo entre a cobertura completa do terreno e o início da maturação; enquanto o K_c final se refere ao intervalo de maturação completo.

A precipitação pluvial diária foi quantificada através de um pluviômetro localizado próximo a Keyhole Garden. Os dados foram registrados no Anexo 3, juntamente com os dados referentes a quantidade de água usada na rega.

Já para quantificar a água usada na rega, foi utilizada a fórmula:

$$V = \frac{v}{t}$$

onde V = vazão (m³/h), v = volume (m³) e t = tempo (h). A vazão da mangueira foi mensurada através do tempo necessário para encher um recipiente de 1 L.

3.5 Materiais de construção

A construção da horta foi realizada com tijolos, cimento, areia, solo, esterco bovino, matéria orgânica seca, como folhas, galhos e grama, além disso foi utilizado o entulho que sobrou da construção. Foi necessário contratar dois diaristas para realizarem a construção da parte estrutural. Com o auxílio de um trator foi possível recolher e inserir o solo dentro da horta com mais facilidade.

3.6 Quantificação e precificação da produção

Para determinar a produção de alimentos provenientes da horta, foi feito a pesagem individual de cada alimento após colheita. O peso de cada alimento foi registrado para posteriormente ser multiplicado com o valor do quilo do mesmo.

A base de preço de cada alimento citado nos resultados foi determinada através de um levantamento de preços dos alimentos no supermercado Campeão no centro da cidade de Rio Verde – GO.

3.7 Retorno financeiro

O tempo de retorno financeiro desse projeto foi determinado através da equação: (valor da produção) - (custo investimento + custo de manejo) = retorno financeiro.

4. RESULTADOS

Os resultados foram planejados de forma segmentada, abordando cada aspecto essencial do projeto. Inicialmente, a seção 4.1 Compostagem analisa a eficiência do processo de preparação dos resíduos, suas previsões práticas e os impactos na qualidade do composto

obtido. Em seguida, a seção 4.2 Mensuração hídrica apresenta os dados referentes ao consumo e reaproveitamento de água, avaliando sua eficácia na redução do desperdício e na sustentabilidade hídrica do sistema. A seção 4.3 Custo-benefício do projeto traz uma análise financeira, comparando os investimentos iniciais com os retornos econômicos e ambientais ao longo do tempo. Por fim, a seção 4.4 Alimentos produzidos discute a qualidade, produtividade e previsão dos alimentos gerados, relacionando-os com os benefícios da compostagem e do reaproveitamento hídrico no sistema produtivo.

4.1 Compostagem

Durante o processo de formação de compostagem, ocorrem três fases: mesofílica, termofílica e maturação. A fase mesofílica, com duração curta de aproximadamente 15 dias, inicia na temperatura ambiente e atinge 40°C - 45°C no final do processo. Esse aumento de temperatura se deve ao fato de os microrganismos mesófilos utilizarem o oxigênio disponível para transformar o carbono proveniente do material orgânico em energia, liberando CO₂, água e calor (INÁCIO; MILLER, 2009). Na fase mesofílica, os microrganismos metabolizam moléculas mais simples.

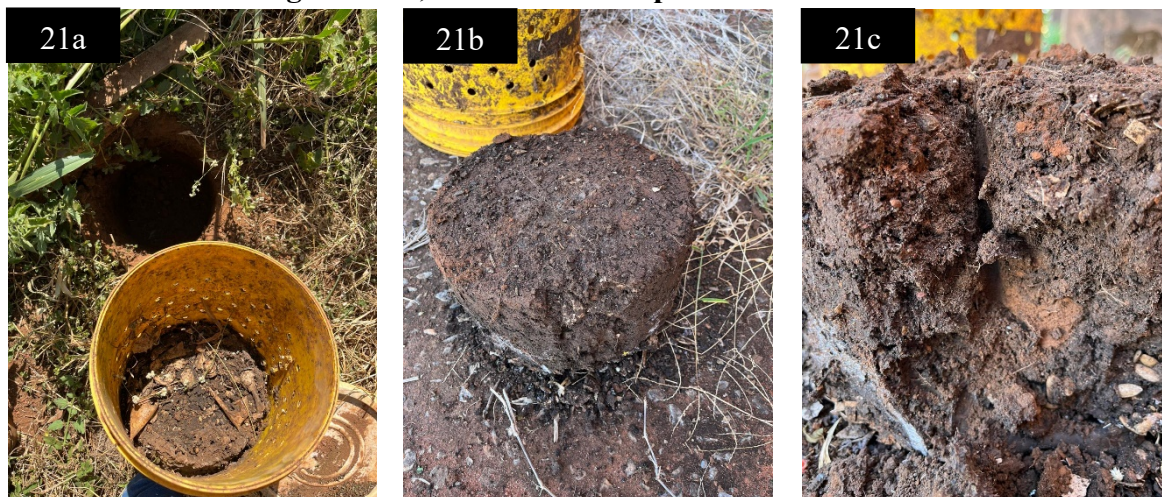
A temperatura aumenta até os microrganismos mesófilos são substituídos pelos microrganismos termófilos, marcando o início da segunda fase da formação de compostagem. A fase termófila é a fase mais longa das três citadas, que pode se estender por 2 ou mais meses. Nessa fase a temperatura atinge 65°C – 70°C, que ocorre por conta da atividade microbiana ser mais acentuada do que na fase anterior. Os agentes termófilas atuam até que não tem mais substrato de fácil decomposição disponível.

O início da fase da maturação é marcado pela diminuição da atividade dos microrganismos termófilas pela falta de substrato. Como consequência, a temperatura se reduz gradativamente até atingir a temperatura ambiente (INÁCIO; MILLER, 2009). Essa fase dura até 2 meses, sendo considerada finalizada quando a matéria orgânica é transformada em húmus, sem metais pesados e patógenos.

De acordo com o Programa Lixão Zero, publicado em 2019, 50% dos resíduos domiciliares são orgânicos. Dados do IBGE, 2008, em Goiás, apresentam a coleta de 5.406 toneladas de lixo por dia. Nesse ano haviam 5.647.035 habitantes. Com base nesses dados, cada habitante gera em torno de 0,48 kg de lixo orgânico diariamente.

A compostagem produzida pela horta nesse estudo foi composta por resíduos orgânicos domésticos adicionados a torre de compostagem por 3 meses. Os resíduos foram provenientes de duas residências, totalizando 5 moradores. Nesse estudo foram inseridos em torno de 50 kgs de matéria orgânica na torre em 90 dias, mostrando uma quantidade de lixo orgânico por pessoa a baixo da média nacional. Isso se deve ao fato dos residentes estarem frequentemente ausentes durante o tempo de estudo.

Figuras 21a, 21b e 21c - Composto Maturado

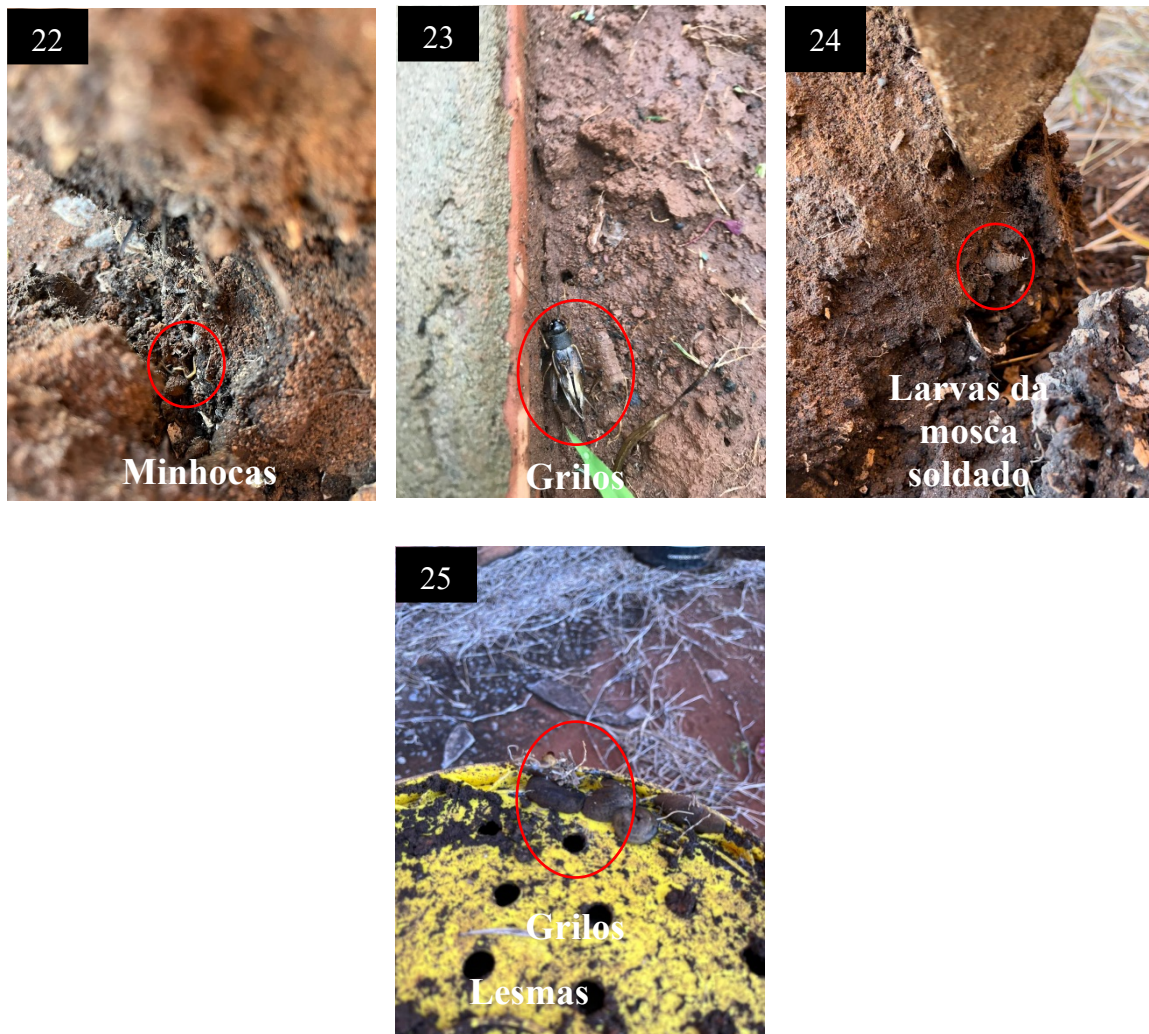


Fonte – Autora

É possível identificar, através da primeira imagem, alguns resíduos, como cascas de ovos e cascas de laranjas e limões, que não foram decompostos durante o período de estudo. Isso se deve ao fato de serem resíduos de tamanho significativo. Caso isso interfira no manejo do produtor, é recomendado triturar a matéria orgânica antes de aplicar na torre de compostagem. A matéria orgânica em formas menores acelera o processo de decomposição, sendo assim possível encurtar o processo de compostagem.

Durante o estudo e depois do composto maturado foram vistos alguns agentes decompositores e agentes predadores dentro e ao lado da torre de compostagem como apresentados nas imagens a seguir.

Figuras 22-25 - Agentes decompositores



Fonte: Autora

Conforme (MACHADO, 2023), a importância dos agentes decompositores na compostagem é vasta e abrange diversos aspectos:

a) Quebra da matéria orgânica: Os agentes decompositores são responsáveis por degradar a matéria orgânica em compostos menores, facilitando a sua decomposição. Isso é essencial para a formação do composto, que pode ser utilizado como fertilizante rico em nutrientes para o solo.

b) Aeração e circulação: Muitos dos agentes decompositores são aeróbicos, o que significa que necessitam de oxigênio para realizar suas atividades metabólicas. Eles contribuem para a aeração do composto, garantindo que o oxigênio chegue às partes mais profundas da pilha de compostagem. Isso evita a formação de condições anaeróbicas, que poderiam levar à produção de odores desagradáveis.

c) **Produção de calor:** Durante o processo de decomposição, os agentes decompositores liberam energia na forma de calor. Isso pode elevar a temperatura da pilha de compostagem, auxiliando na eliminação de patógenos, sementes de ervas daninhas e outros organismos indesejados.

d) **Transformação de nutrientes:** Os agentes decompositores transformam os componentes da matéria orgânica em nutrientes solúveis que as plantas podem absorver. Isso enriquece o solo e promove um ciclo saudável de nutrientes.

e) **Manutenção da umidade:** Os microrganismos na pilha de compostagem ajudam a manter um nível adequado de umidade ao liberar água como subproduto da decomposição. Isso é importante para garantir a atividade dos microrganismos e a decomposição eficiente.

f) **Produção de substâncias benéficas:** Além de nutrientes, a decomposição realizada pelos agentes decompositores também gera substâncias húmicas e outros compostos que melhoram a estrutura do solo, sua capacidade de retenção de água e aeração.

Em resumo, os agentes decompositores são essenciais para transformar resíduos orgânicos em um recurso valioso para a agricultura e jardinagem. Eles aceleram o processo de decomposição, melhoram a qualidade do composto e contribuem para a saúde do solo e das plantas.

Foram encontrados agentes predadores como aranhas (Figura 27a) e centopeias (Figura 27b). Segundo um estudo publicado no site Casológica, os predadores naturais como as centopeias podem auxiliar no controle da população de outras espécies.

Figuras 26a e 26b – Agentes predadores



Fonte: Autora



Fonte: Autora

Por conta da compostagem ser formada através de um processo aeróbio, a mesma gera baixas quantidades de metano por tonelada de resíduo orgânico quando comparado com formas de tratamento anaeróbio ou decomposição em aterros (AMLINGER *et al.*, 2008; BARTON *et al.*, 2008; VANOTTI *et al.*, 2009; PICKIN *et al.*, 2002).

Portanto, se ao menos metade da população utilizasse a matéria orgânica gerada em seus lares para formar compostagem teríamos inúmeros fatores benéficos ao meio ambiente. Primeiramente, teríamos uma redução significativa na produção do gás metano, um dos causadores do aquecimento global. Outro benefício seria menos custos municipais e globais com a coleta de lixo, visto que a quantidade de lixo a recolher seria apenas 50% da quantidade coletada hoje. Além disso, a compostagem pode virar um negócio lucrativo no ramo da jardinagem e da agricultura, visto que a mesma pode ser vendida para produtores.

4.2 Mensuração hídrica

Para o cálculo da perda de água por evapotranspiração, foi calculado a evapotranspiração de referência (ET_o), através do método Penman-Monteith, conforme o Anexo 1. Posteriormente foi calculado a evapotranspiração de cultura (ET_c), como indicado pelo Anexo 2, através da fórmula:

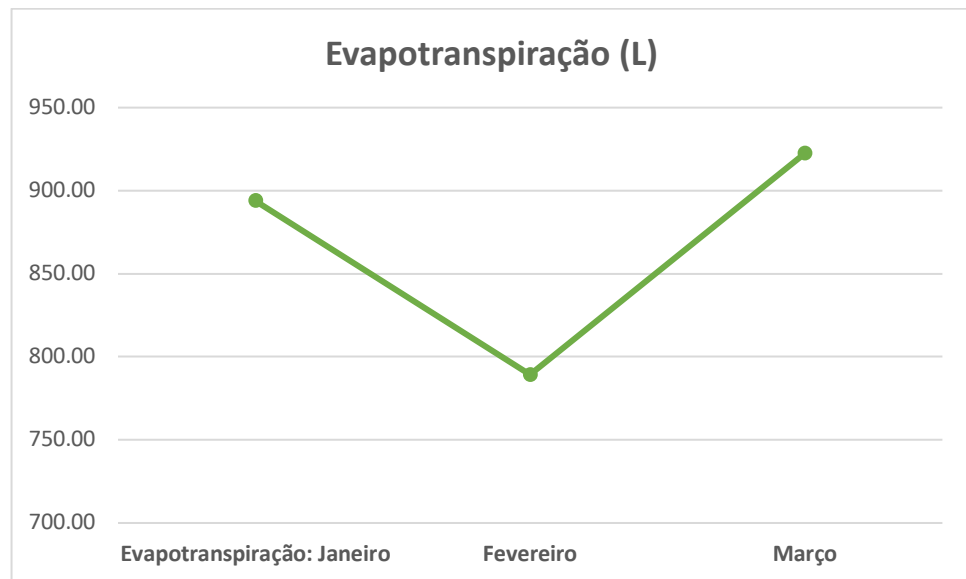
$$ET_c = ET_o \times K_c$$

como citado anteriormente.

De acordo com um estudo desenvolvido pelo Dr. Volpe, agrometeorologista, o K_c médio da cenoura foi de aproximadamente 0,9 mm d⁻¹ durante todo o ciclo, do rabanete foi de 0,82 mm d⁻¹, do tomate rasteiro de 0,82 mm d⁻¹, e da couve de 0,9 mm d⁻¹. Já um estudo de tese de doutorado, defendido pelo Reinaldo Costa determina que o K_c médio da quiabeira é de aproximadamente 0,69 mm d⁻¹. O coentro, por sua vez, tem um K_c médio de 2,33 mm d⁻¹.

Sendo assim, conforme a Gráfico 1, pode-se concluir que houve uma perda de água de aproximadamente 2.605 L, pelo processo de evapotranspiração das culturas durante seu ciclo de produção.

Gráfico 1 – Evapotranspiração das culturas registrado em valores mensais



Fonte: Autora

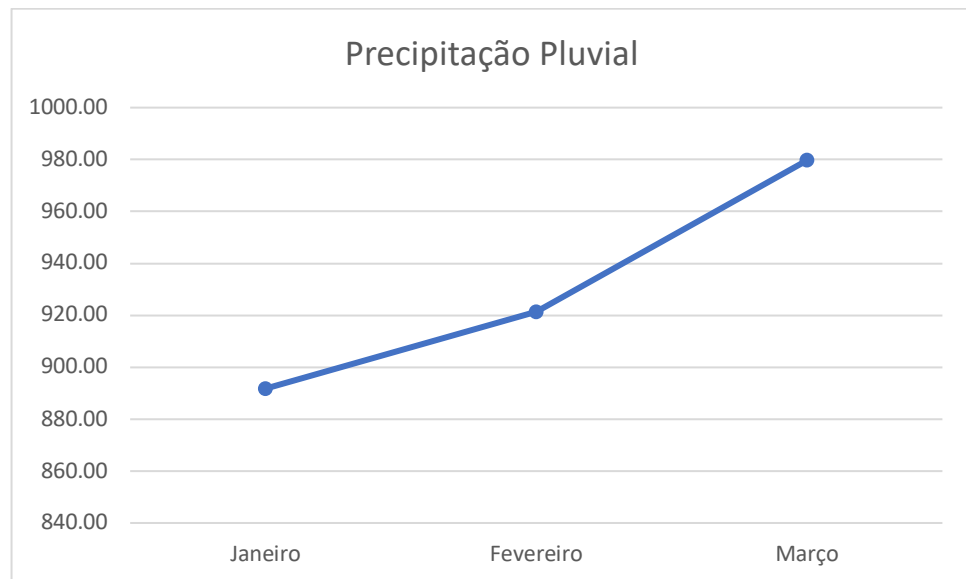
Já a mensuração hídrica pluvial, durante o período de estudo, foi realizada por meio de pluviômetro (Figuras 28a e 28b).

Figuras 27a e 27b - Pluviômetro



Fonte – Autora

Obtendo assim, a quantidade total mensal de água recebida pelo Keyhole Garden, apresentado pelo Gráfico 2. A quantidade total recebida durante o tempo de estudo foi de aproximadamente 2.790 L.

Gráfico 2 – Precipitação pluvial registrado em valores mensais

Fonte: Autora

Para quantificar a água usada na rega, foi utilizada a fórmula:

$$V = \frac{v}{t}$$

onde V = vazão (m³/h), v = volume (m³) e t = tempo (h). Foi determinado que a vazão da mangueira, mensurada através do tempo necessário para encher um recipiente de 1 L (Figuras 28a, 28b e 28c).

Figuras 28a, 28b e 28c - Vazão

Fonte: Autora

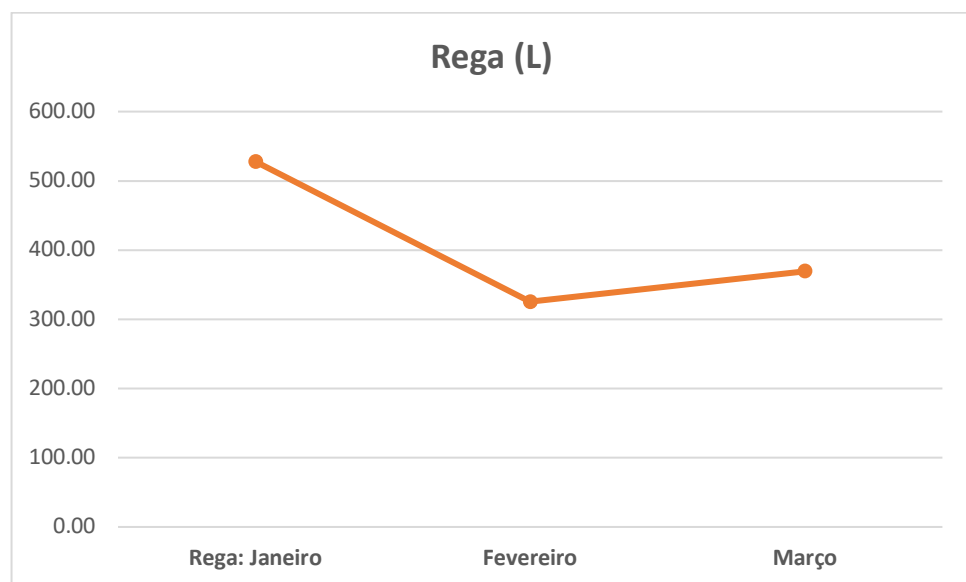
Através da mensuração do enchimento do recipiente de 1L, em relação ao tempo, foi obtido os seguintes dados: 11,60 s, 11,00 s, 11,15 s, 10,82 s, e 10,90 s. O primeiro tempo de 11,60 segundos foi eliminado da pesquisa pois está bem fora do restante dos registros. Os outros intervalos de tempo foram somados e feito a média para o cálculo da vazão, tendo resultado de 10.97 s. Essa média de tempo, convertidos para horas, resulta em 0,003047 horas. Quando aplicado à fórmula, temos:

$$V = \frac{1}{0,003047}$$

onde, V (vazão) $\cong$ 328,1 m³/h.

De acordo com os dados acima, foi mensurado quantos litros de água foram utilizados (Anexo 03 e Gráfico 3) para manter a umidade necessária da horta. Resultando em aproximadamente 1.222 L.

Gráfico 3 – Rega registrado em valores mensais



Fonte: Autora

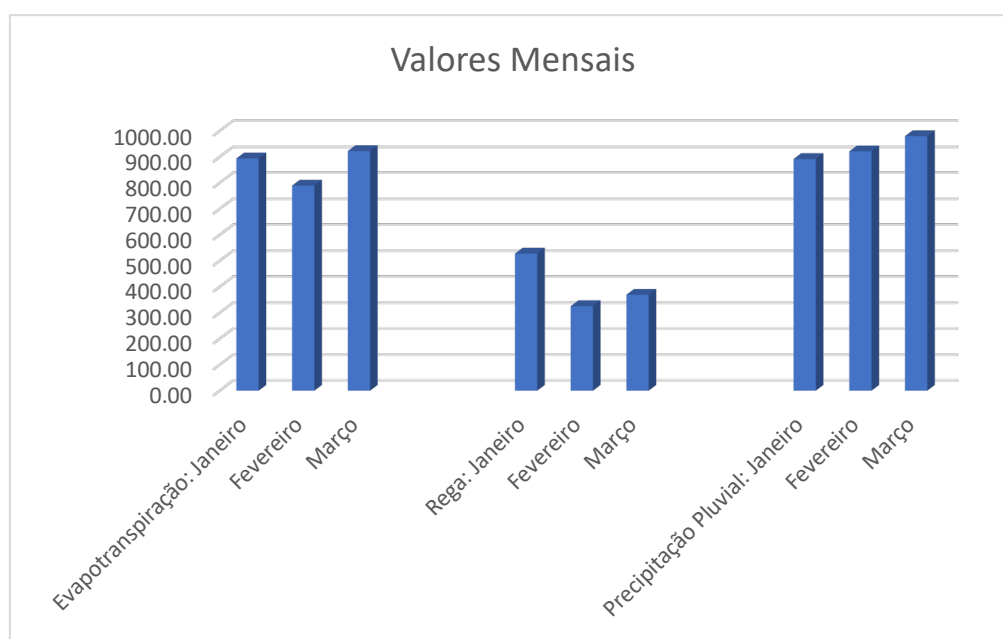
Ao total foram necessários aproximadamente 4.015 litros de água durante os 90 dias de projeto, incluindo precipitação e rega. Ou seja, aproximadamente 7,1 L por metro quadrado por dia.

De acordo com um estudo publicado pela Embrapa em 2006 (LIZ, R. 2006), são necessários em média 8 litros de água por dia por metro quadrado para manter a horta com a umidade correta. Dessa forma o Keyhole Garden utilizou menos água do que a horta tradicional, apresentando uma redução de 11% em relação a esse estudo. Seria possível produzir os

alimentos com menos água do que foi utilizado no projeto, visto que a maioria da água utilizada foi obtida através das chuvas, e em nenhum momento as plantas sofreram déficit hídrico severa.

Conforme analisado no Anexo 04 e o Gráfico 4, verificou-se que a evapotranspiração das culturas foi significativamente inferior à quantidade de água recebida pelo sistema. Pela soma da precipitação pluvial e a rega, o volume total de água recebido pelo sistema foi aproximadamente 64% maior que a quantidade de água perdida pelas plantas por meio da evapotranspiração.

Gráfico 4 – Comparação entre evapotranspiração, rega e precipitação pluvial.



Fonte: Autora

Essa diferença ocorre devido a diversos fatores, tais como: evaporação direta do solo, perdas superficiais por escoamento e esguinchos, além da percolação de água para a camada mais profunda da horta. Ainda que a horta possua uma camada projetada para reduzir a percolação profunda, parte da água tende a se acumula no fundo do sistema, o que contribui para a discrepância.

4.3 Custo-benefício do projeto

Como citado anteriormente, foi necessário a utilização de alguns materiais na construção da horta, como apresentado na tabela 3, abaixo. Além dos materiais, foi contratado

uma equipe de pedreiros para a realização da obra. Esses custos foram registrados como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Custo Construção

CUSTO CONSTRUÇÃO			
PRODUTO	PREÇO UNIDADE	QUANTIDADE	TOTAL
Tijolos	R\$ 1,00	100	R\$ 100,00
Areia Grossa	R\$ 112,64	1 m ³	R\$ 112,64
Diária Pedreiro	R\$ 150,00	1	R\$ 150,00
Diária Aux. Pedreiro	R\$ 50,00	1	R\$ 50,00
Trator	R\$ 85,00	1hr	R\$ 85,00
Esterco bovino	R\$ 0,15	10	R\$ 1,50
Balde	R\$ 10,00	1	R\$ 10,00
Matéria Orgânica	R\$ -	20 kg	R\$ -
Lona Big Bag	R\$ 0,50	1	R\$ 0,50
			R\$ 509,64

Fonte: Autora

O custo do plantio se resume na compra de sementes, pois não foi adquirido nenhum outro item para o manejo da horta. Visto que as plantas daninhas foram retiradas com as mãos e a fazenda já possuía uma mangueira que alcançasse a horta para regar. Os dados das sementes e seu preço estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Custo Plantio

CUSTO PLANTIO			
PRODUTO	PREÇO UNIDADE	QUANTIDADE	TOTAL
Sementes Brócolis	R\$ 8,60	1	R\$ 8,60
Sementes Cenoura	R\$ 8,60	1	R\$ 8,60
Sementes Coentro Verdão	R\$ 8,60	2	R\$ 17,20
Sementes Couve	R\$ 3,27	1	R\$ 3,27
Sementes Quiabo	R\$ 3,99	1	R\$ 3,99
Sementes Rabanete	R\$ 12,99	1	R\$ 12,99
Sementes Tomate Cereja	R\$ 6,99	1	R\$ 6,99
			R\$ 54,65

Fonte - Autora

Sendo assim o custo total para a construção e primeiro plantio da horta foi de aproximadamente R\$ 567,29. Esse gasto pôde ser recuperado através da colheita das hortaliças, resultando em um saldo positivo de aproximadamente R\$ 150 (tabela 4 e 5).

Na Tabela 5, a seguir são apresentados os custos dos vegetais plantados na horta e aproximadamente a quantidade que foi colhida da horta no primeiro plantio. É importante

ressaltar que esses valores são aproximados, pelo fato de que nem todas as sementes foram utilizadas no primeiro plantio.

Tabela 5 - Recuperação de Custos Através dos Alimentos

VALOR RECUPERADO ATRAVÉS DOS ALIMENTOS				
ALIMENTO	DESCRIÇÃO	VALOR UNIDADE	QUANTIDADE	TOTAL
Brócolis	-	-	-	-
Cenoura	mensurado por kg	R\$ 3,99	2,5	R\$ 9,98
Coentro Verdão	mensurado por unidade	R\$ 3,99	25	R\$ 99,75
Couve	mensurado por unidade	R\$ 3,99	40	R\$ 159,60
Quiabo	mensurado por kg	R\$ 19,99	6	R\$ 119,94
Rabanete	mensurado por kg	R\$ 7,56	8	R\$ 60,48
Tomate Cereja	mensurado por kg	R\$ 8,99	30	R\$ 269,70
				R\$ 719,45

Fonte: Autora

Baseando-se nos dados aproximados de valores e produção do primeiro plantio da horta, é possível concluir que o retorno de capital investido ocorre em poucos meses. Sendo assim uma opção financeiramente viável para o produtor.

4.4 Alimentos produzidos

Através dos 3 meses de estudo foram plantados e colhidos vários alimentos como cenouras, couve, quiabo, tomates, coentro e rabanetes. Foi plantado brócolis também, porém não desenvolveu devido às vaquinhas verdes, infestação de insetos, que se alimentaram das folhas da mesma. Neste contexto, existem alguns repelentes naturais e orgânicos que se pode usar para impedir esses insetos como deixar folhas de mamona submersas em um pouco de água por 3 dias e depois aplicar essa mistura nas folhas das verduras. Porém nesse estudo não foi utilizado nenhum tipo de repelente para insetos, pois a intenção era justamente criar os vegetais e hortaliças sem nenhum tipo de intervenção as pragas de insetos. Todos os outros alimentos se desenvolveram bem, sem serem afetados por insetos.

Figuras 29-37 - Vegetais e frutas cultivados na horta



Fonte: Autora

Figuras 38-40 - Folhagens cultivados na horta



Fonte: Autora

5. CONCLUSÃO

Através desse estudo foi possível determinar que em poucos meses é possível obter o retorno financeiro total investido para a construção da horta, através da produção de hortaliças e verduras. Com o manejo correto, a horta garante alta produção de alimentos, que pode diminuir o custo de compra de verduras e hortaliças nas residências.

O Keyhole Garden se alinha com o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), pois além de promover a segurança alimentar e nutricional, oferece uma oportunidade de conhecimento aprofundado em relação a práticas agroecológicas para os alunos e a comunidade escolar como um todo. Além do conhecimento, a produção de alimentos saudáveis estimularia a formação de hábitos saudáveis.

Também foi provado que esse modelo de horta requer menos água do que uma horta tradicional, dessa forma utilizando menos do recurso natural de água limitado que existe. Além disso, a horta oferece várias maneiras de diminuir a produção de gases efeito estufa como:

- a) **Redução de resíduos em aterros sanitários:** Onde ocorre a decomposição anaeróbia, liberando metano.
- b) **Produção de composto estável:** Pode ser usado como fertilizante orgânico, substituindo fertilizantes químicos que são produzidos com alto consumo de energia e gases efeito estufa liberados durante a fabricação, como CO₂ e N₂O.
- c) **Estímulo de biodiversidade no solo:** A compostagem promove a atividade microbiana no solo, aumentando a biodiversidade e capacidade do solo de armazenar carbono.

Em resumo, pode-se concluir que a horta no modelo Keyhole Garden é uma opção ambientalmente e financeiramente viável, diante das informações coletadas através dessa pesquisa.

O KHG demanda um espaço reduzido para sua instalação e poucos recursos para seu manejo, afim de ser uma opção interessante para produção sustentável de alimentos nutritivos, com baixo custo financeiro e baixa demanda de mão de obra para sua manutenção e manejo. Esse estilo de horta melhora a qualidade de vida da população ao suprir as necessidades nutritivas humanas, reduz a emissão dos gases efeito estufa, e diminui os custos municipais de coleta seletiva de resíduos sólidos.

A única desvantagem do Keyhole Garden constatada em relação à horta tradicional, é o maior investimento inicial para construir o sistema. Porém as vantagens são significativamente maiores que as desvantagens.

Através desse estudo, foi possível provar a eficácia do Keyhole Garden, mostrando a facilidade em construir e manter a horta. Também foi provado que o sistema é auto-regenerativo através da reutilização da água proveniente da torre de compostagem como fonte de água para as plantas através da percolação do fundo da horta até as raízes das hortaliças. Outra forma de assegurar que a horta é auto-regenerativa foi através da utilização da compostagem, formada com lixo orgânico gerado por fontes como a própria horta, como adubação após a compostagem estar maturada.

6. SUGESTÕES PÓS PROJETO

A partir deste estudo, foi possível identificar diversas melhorias que podem ser aplicadas em futuros projetos utilizando o mesmo método de produção.

Uma das primeiras sugestões é a utilização de inseticidas naturais para o controle de infestações, promovendo uma abordagem mais sustentável. Outra proposta é a captação da água da chuva para uso na irrigação. Com base nos resultados obtidos, se essa técnica tivesse sido adotada, não haveria necessidade de utilizar água adicional para rega durante o experimento.

Além disso, recomenda-se a aplicação de um método mais simples para o cálculo da evapotranspiração, como o método de Thornthwaite, em substituição ao de Penman-Monteith, que é mais complexo. Também seria relevante calcular a capacidade de retenção de água do

solo, o que contribuiria para resultados mais variados e precisos, aprofundando a análise sobre a eficácia do método Keyhole Garden na produção de alimentos saudáveis e orgânicos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKER, G. E. **Jardinagem em buraco de fechadura**. Texas Co-op Power, 2012. Disponível em: <https://texascooppower.com/keyhole-gardening/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

ARIAS, S. et. al. **Keyhole Garden a la Tica: Organic and Sustainable**. Community Health Collection (Monteverde Institute), ago. 2013.

BILLINGSLEY, R., MOTHUNYANE, M., THABANE, M., & MCLEAN, S. (2013). **MANTLOANE: Lesotho's joined-up approach to keyhole gardens**. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

PEREIRA-NETO, J. T. **Manual de Compostagem: Processo de baixo custo**. 3ªEd. Editora UFV, 2007.

SARTORI, V., et. al. **Cartilha Para Agricultor, Compostagem: Produção de fertilizantes a partir de resíduos orgânicos**. UCS, [s.d.]

FAO. (1996). **Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/w3548e/w3548e00.htm>. Acesso em 20 fev. 2025

GIZ. Iêmen. [sd]: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, [sd]. **Livreto do Keyhole Garden**. Disponível em: https://www.giz.de/en/downloads/Keyhole%20Garden%20BookletYemen_compressed.pdf. Acesso em: 1 mar. 2025.

HANSEN, LEA-SOPHIE & SORGHU, RAISSA & MANK, ISABEL & NAYNA SCHWERDTLE, PATRICIA & AGURE, ERICK & BÄRNIGHAUSEN, TILL & DANQUAH, INA. (2022). **Home gardening in sub-Saharan Africa: A scoping review on practices and nutrition outcomes in rural Burkina Faso and Kenya**. Food and Energy Security. 11. 10.1002/fes3.388.

JOHNSON, L. **Deficiência em ácido fólico**. MSD - Manual Saúde para a Família. Disponível em: <https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-nutricionais/vitaminas/defici%C3%Aancia-de-%C3%A1cido-f%C3%B3lico>

JOHNSON, L. **Deficiência de vitamina C**. MSD - Manual Saúde para a Família. Disponível em: <https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbiosnutricionais/vitaminas/defici%C3%Aancia-de-vitamina-c>

LEWIS, J. **Hipocalemia (níveis baixos de potássio no sangue)**. MSD - Manual Saúde para a Família. Disponível em: <https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-hormonais-e-metab%C3%B3licos/equil%C3%ADbrio-eletrol%C3%ADtico/hipocalemian%C3%ADv>

eis-baixos-de-pot%C3%A1ssio-no-sangue

LEWIS, J. **Hipocalcemia (níveis baixos de cálcio no sangue)**. MSD - Manual Saúde para a Família. Disponível em: <https://www.msdmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-hormonais-e-metab%C3%B3licos/equil%C3%ADbrio-eletrol%C3%ADtico/hipocalcemia-n%C3%ADveis-baixos-de-c%C3%A1lcio-no-sangue>

LEWIS, J. **Hipomagnesemia (níveis baixos de magnésio no sangue)**. MSD - Manual Saúde para a Família. Disponível em: <https://www.msdmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-hormonais-e-metab%C3%B3licos/equil%C3%ADbrio-eletrol%C3%ADtico/hipomagnesemia-n%C3%ADveis-baixos-de-magn%C3%A9sio-no-sangue#:~:text=A%20hipomagnesemia%20pode%20provocar%20n%C3%A1usea,a%20hipomagnesemia%20pode%20causar%20convuls%C3%B5es>

LIMA, D. et al. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO**. 2011

LIZ, R. **Etapas para o planejamento e implantação de horta urbana**. Embrapa. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/780884/1/cot39.pdf>

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Deficiência em vitamina A. Biblioteca Virtual em Saúde**. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/deficiencia-de-vitamina-a-2/>. Acesso em 11 jun. 2024.

MOHAN, V. et al. **Decentralized Urban Farming Through Keyhole Garden: A Case Study with Circular Economy and Regenerative Perspective**. Materials Circular Economy, nov. 2020.

NYONG, A. P., NGANKAM, T. M., & FELICITE, T. L. (2020). **Enhancement of resilience to climate variability and change through agroforestry practices in smallholder farming systems in Cameroon**. Agroforestry Systems, 94(3), 687–705. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00435-y>.

MACHADO, G. **Decomposição da Matéria Orgânica – Como Funciona**. Disponível em: <https://portaldobiogas.com/decomposicao-da-materia-organica/#:~:text=Decomposi%C3%A7%C3%A3o%20aer%C3%B3bia:%20A%20decomposi%C3%A7%C3%A3o%20aer%C3%B3bia,nutrientes%2C%20como%20nitrog%C3%AAnio%20e%20f%C3%B3sforo>. Acesso em: 20 ago. 2025.

CASOLÓGICA. **Animais que podem aparecer na sua composteira**. Disponível em: <https://casologica.com.br/animais-que-podem-aparecer-na-sua-composteira/?srsltid=AfmBOoomFOqWsWYVJxJF117UFpOcbMJwyt0lEYXUZk-884xtJiBv-3O3>. Acesso em 26 ago. 2025.

THAKALI, A.; MACRAE, J.D. **A review of chemical and microbial contamination in food: What are the threats to a circular food system?** Environ. Res. 2021, 194, 110635.

VENKATA MOHAN, S., KATAKOJWALA, R., CHATTERJEE, S., & SARKAR, O. (2020). **Agricultura urbana descentralizada por meio de jardim em buraco de fechadura: um estudo de caso**. Urban Forum, 31, 399–412.

WE ARE VITA. **Cascading Keyhole Garden**. Disponível em: <https://wearevita.ca/products/ca>

scading-keyhole-garden. Acesso em: 20 fev. 2025.

8. ANEXOS

Anexo 01 - Tabela Evapotranspiração de Referência

DADOS EVAPOTRANSPIRAÇÃO - Eto										
DATA	T md (°C)	UR md (g/m3)	RN (MJm-2d-1)	U md (ms-1)	Es (Kpa)	Ea (Kpa)	Δ (Kpa°C-1)	γ (Kpa°C-1)	G (J/s)	ETo - PMF
01/01/2023	21,400	90,500	18,892	1,679	2,557	4,293	0,156	0,061	-0,087	4,805
02/01/2023	23,650	84,500	12,562	1,829	2,932	5,362	0,176	0,061	0,768	3,082
03/01/2023	20,550	91,000	16,305	1,767	2,426	4,286	0,149	0,061	-0,410	4,127
04/01/2023	21,450	87,500	13,006	3,017	2,564	7,736	0,157	0,061	0,019	2,957
05/01/2023	22,300	83,000	17,704	2,525	2,701	6,820	0,164	0,061	-0,513	4,394
06/01/2023	21,450	92,500	16,806	2,445	2,564	6,270	0,157	0,061	0,342	3,922
07/01/2023	20,900	86,500	12,890	2,692	2,479	6,673	0,152	0,061	-0,209	3,020
08/01/2023	21,850	92,500	11,318	1,983	2,628	5,212	0,160	0,061	-0,171	2,863
09/01/2023	20,900	93,500	16,991	2,875	2,479	7,127	0,152	0,061	-0,209	3,911
10/01/2023	20,200	91,500	16,107	2,583	2,374	6,133	0,147	0,061	-0,266	3,748
11/01/2023	21,650	85,500	23,717	2,171	2,596	5,635	0,158	0,061	-0,076	5,820
12/01/2023	21,050	88,000	20,932	1,958	2,502	4,900	0,153	0,061	0,057	5,128
13/01/2023	22,450	79,500	18,980	2,767	2,726	7,542	0,165	0,061	0,855	4,307
14/01/2023	20,750	87,500	21,683	2,767	2,456	6,796	0,151	0,061	-0,342	5,036
15/01/2023	23,350	80,000	19,724	1,288	2,879	3,707	0,173	0,061	0,874	5,113
16/01/2023	20,950	92,500	21,981	2,142	2,487	5,326	0,153	0,061	-0,570	5,446
17/01/2023	21,450	86,500	22,357	1,821	2,564	4,669	0,157	0,061	0,266	5,535
18/01/2023	22,800	80,000	17,290	1,704	2,785	4,745	0,168	0,061	-0,209	4,546
19/01/2023	19,700	90,500	24,954	1,425	2,302	3,280	0,143	0,061	-0,475	6,355
20/01/2023	24,950	71,500	14,054	2,042	3,169	6,471	0,188	0,061	1,330	3,353
21/01/2023	21,050	90,000	24,916	2,708	2,502	6,777	0,153	0,061	-0,665	5,919
22/01/2023	21,060	85,500	19,977	2,313	2,504	5,790	0,153	0,061	0,517	4,645
23/01/2023	19,650	95,000	19,591	2,088	2,295	4,790	0,142	0,061	-2,014	5,090
24/01/2023	21,000	92,500	16,771	2,288	2,494	5,706	0,153	0,061	-0,019	4,010
25/01/2023	21,700	91,000	18,847	1,683	2,604	4,383	0,159	0,061	0,243	4,738
26/01/2023	21,000	93,500	20,614	1,804	2,494	4,500	0,153	0,061	0,513	4,996
27/01/2023	20,050	94,500	22,572	2,988	2,352	7,027	0,145	0,061	-0,361	5,068
28/01/2023	22,150	82,000	20,785	2,675	2,677	7,160	0,163	0,061	0,171	4,901
29/01/2023	23,700	80,000	14,866	1,683	2,940	4,950	0,177	0,061	1,026	3,662
30/01/2023	22,950	81,000	10,947	0,913	2,810	2,564	0,170	0,061	1,102	2,735
31/01/2023	22,400	84,500	20,377	1,879	2,718	5,107	0,165	0,061	0,095	5,156
01/02/2023	24,500	77,000	19,699	1,525	3,085	4,705	0,184	0,061	0,304	5,270
02/02/2023	21,050	92,500	17,811	1,367	2,502	3,420	0,153	0,061	-0,722	4,785
03/02/2023	22,650	82,500	13,040	2,546	2,759	7,025	0,167	0,061	0,095	3,139
04/02/2023	20,650	94,000	20,439	1,850	2,441	4,516	0,150	0,061	-1,463	5,383
05/02/2023	21,250	92,500	12,616	1,258	2,533	3,187	0,155	0,061	0,076	3,280
06/02/2023	20,850	91,500	13,422	1,067	2,471	2,636	0,152	0,061	-0,684	3,724
07/02/2023	19,750	94,000	19,694	1,546	2,309	3,569	0,143	0,061	-0,342	4,959
08/02/2023	19,550	94,000	18,548	1,442	2,280	3,287	0,141	0,061	-0,646	4,774
09/02/2023	22,450	84,000	12,579	1,413	2,726	3,850	0,165	0,061	0,608	3,162
10/02/2023	23,150	79,500	19,905	2,063	2,844	5,866	0,172	0,061	1,292	4,734
11/02/2023	19,550	94,500	18,008	2,283	2,280	5,207	0,141	0,061	0,000	4,162
12/02/2023	20,950	94,000	16,096	1,225	2,487	3,046	0,153	0,061	-0,570	4,347
13/02/2023	21,350	83,000	13,411	1,303	2,540	4,556	0,156	0,061	-0,684	4,525
15/02/2023	22,950	83,500	15,621	1,663	2,810	4,672	0,170	0,061	0,760	3,884
16/02/2023	20,950	90,500	21,516	1,900	2,487	4,725	0,153	0,061	-0,152	5,337
17/02/2023	23,350	81,000	11,216	1,850	2,879	5,326	0,173	0,061	1,216	2,594
18/02/2023	20,150	88,500	14,468	1,580	2,367	3,739	0,146	0,061	-1,064	3,865
19/02/2023	20,450	95,000	19,080	2,129	2,411	5,134	0,148	0,061	-0,190	4,606
20/02/2023	21,050	94,500	14,454	1,254	2,502	3,138	0,153	0,061	-0,874	3,996
21/02/2023	21,050	92,500	11,303	1,338	2,502	3,347	0,153	0,061	0,342	2,836
22/02/2023	19,300	93,500	17,792	1,554	2,245	3,489	0,140	0,061	-0,437	4,464
23/02/2023	22,200	89,200	13,966	1,558	2,685	4,184	0,163	0,061	0,437	3,515
24/02/2023	21,200	93,000	15,086	1,079	2,525	2,725	0,155	0,061	0,057	3,989
25/02/2023	19,300	94,500	18,730	1,683	2,245	3,779	0,140	0,061	0,000	4,534
26/02/2023	20,850	94,500	17,019	1,292	2,471	3,192	0,152	0,061	-0,513	4,538
27/02/2023	21,650	79,500	23,274	1,888	2,596	4,900	0,158	0,061	0,171	5,781
28/02/2023	24,250	74,000	26,010	1,888	3,039	5,737	0,182	0,061	1,881	6,353
01/03/2023	24,950	60,500	6,415	1,371	3,169	4,345	0,188	0,061	1,558	1,344
02/03/2023	22,000	92,000	24,699	1,638	2,652	4,343	0,161	0,061	0,133	6,318
03/03/2023	22,550	79,000	22,532	1,838	2,743	5,039	0,166	0,061	-0,646	5,930
04/03/2023	22,700	83,000	16,318	1,750	2,768	4,843	0,167	0,061	-0,855	4,436

05/03/2023	21,350	94,500	21,249	1,871	2,549	4,768	0,156	0,061	-0,247	5,352
06/03/2023	23,700	82,000	10,708	1,496	2,940	4,398	0,177	0,061	0,437	2,757
07/03/2023	22,200	87,500	12,221	2,125	2,685	5,705	0,163	0,061	-0,190	3,080
08/03/2023	19,950	93,500	23,243	2,292	2,338	5,357	0,145	0,061	-0,532	5,545
09/03/2023	22,300	76,000	24,890	2,883	2,701	7,788	0,164	0,061	-0,532	5,972
10/03/2023	21,650	83,500	17,892	1,825	2,596	4,738	0,158	0,061	-0,209	4,551
11/03/2023	24,650	70,500	7,164	1,850	3,113	5,759	0,186	0,061	1,786	1,427
12/03/2023	21,950	88,000	12,343	0,904	2,644	2,391	0,161	0,061	-0,133	3,409
13/03/2023	22,200	89,000	16,084	1,717	2,685	4,609	0,163	0,061	0,209	4,071
14/03/2023	20,250	92,000	17,008	2,167	2,382	5,160	0,147	0,061	-1,672	4,431
15/03/2023	22,100	88,000	17,462	1,029	2,668	2,746	0,162	0,061	0,057	4,717
16/03/2023	21,050	92,000	10,138	1,692	2,502	4,233	0,153	0,061	-0,437	2,655
17/03/2023	21,650	93,500	12,629	1,833	2,596	4,759	0,158	0,061	0,532	3,039
18/03/2023	20,600	92,000	6,971	1,279	2,434	3,113	0,150	0,061	-0,570	1,944
19/03/2023	20,750	93,500	18,273	2,083	2,456	5,117	0,151	0,061	-0,114	4,441
20/03/2023	19,200	90,500	19,249	2,671	2,231	5,959	0,139	0,061	-0,931	4,478
21/03/2023	20,300	84,500	20,063	2,548	2,389	6,088	0,147	0,061	-0,114	4,645
22/03/2023	21,300	88,500	21,393	2,213	2,541	5,622	0,155	0,061	0,209	5,125
23/03/2023	22,850	82,500	23,192	1,733	2,793	4,841	0,169	0,061	1,387	5,657
24/03/2023	23,650	76,500	25,185	1,713	2,932	5,020	0,176	0,061	1,273	6,309
25/03/2023	23,450	75,500	25,206	1,479	2,896	4,284	0,174	0,061	0,817	6,528
26/03/2023	22,550	65,500	25,401	1,379	2,743	3,782	0,166	0,061	-0,114	6,772
27/03/2023	23,750	61,000	22,466	1,350	2,949	3,981	0,177	0,061	0,038	6,097
28/03/2023	24,650	54,500	23,588	1,779	3,113	5,539	0,186	0,061	0,456	6,184
29/03/2023	24,250	75,000	17,754	1,588	3,039	4,825	0,182	0,061	0,646	4,606
30/03/2023	23,700	74,500	20,575	1,429	2,940	4,202	0,177	0,061	-0,019	5,559
31/03/2023	22,300	80,500	20,091	1,642	2,701	4,434	0,164	0,061	-0,893	5,426

Fonte: Autora

Anexo 02 - Tabela Evapotranspiração das Culturas

DADOS EVAPOTRANSPIRAÇÃO - Etc							
DATA	CULTURA						
	CENOURA	COENTRO	COUVE	QUIABO	RABANETE	TOMATE CEREJA	TOTAL (MM D-1)
01/01/2023	4,325	11,197	4,325	3,316	3,941	3,941	31,044
02/01/2023	2,774	7,181	2,774	2,127	2,527	2,527	19,911
03/01/2023	3,715	9,617	3,715	2,848	3,384	3,384	26,662
04/01/2023	2,661	6,889	2,661	2,040	2,424	2,424	19,100
05/01/2023	3,955	10,239	3,955	3,032	3,603	3,603	28,387
06/01/2023	3,529	9,137	3,529	2,706	3,216	3,216	25,334
07/01/2023	2,718	7,037	2,718	2,084	2,476	2,476	19,509
08/01/2023	2,576	6,670	2,576	1,975	2,347	2,347	18,492
09/01/2023	3,520	9,114	3,520	2,699	3,207	3,207	25,268
10/01/2023	3,373	8,733	3,373	2,586	3,073	3,073	24,211
11/01/2023	5,238	13,560	5,238	4,016	4,772	4,772	37,596
12/01/2023	4,615	11,948	4,615	3,538	4,205	4,205	33,125
13/01/2023	3,876	10,035	3,876	2,972	3,532	3,532	27,822
14/01/2023	4,533	11,735	4,533	3,475	4,130	4,130	32,535
15/01/2023	4,602	11,914	4,602	3,528	4,193	4,193	33,032
16/01/2023	4,901	12,688	4,901	3,757	4,465	4,465	35,179
17/01/2023	4,981	12,895	4,981	3,819	4,538	4,538	35,753
18/01/2023	4,091	10,591	4,091	3,136	3,727	3,727	29,364
19/01/2023	5,719	14,807	5,719	4,385	5,211	5,211	41,052
20/01/2023	3,018	7,813	3,018	2,314	2,750	2,750	21,661
21/01/2023	5,327	13,791	5,327	4,084	4,854	4,854	38,237
22/01/2023	4,181	10,824	4,181	3,205	3,809	3,809	30,009
23/01/2023	4,581	11,860	4,581	3,512	4,174	4,174	32,882
24/01/2023	3,609	9,343	3,609	2,767	3,288	3,288	25,904
25/01/2023	4,264	11,039	4,264	3,269	3,885	3,885	30,605
26/01/2023	4,496	11,640	4,496	3,447	4,096	4,096	32,272
27/01/2023	4,561	11,807	4,561	3,497	4,155	4,155	32,736
28/01/2023	4,411	11,419	4,411	3,382	4,019	4,019	31,660
29/01/2023	3,296	8,532	3,296	2,527	3,003	3,003	23,655

30/01/2023	2,461	6,372	2,461	1,887	2,242	2,242	17,665
31/01/2023	4,640	12,013	4,640	3,558	4,228	4,228	33,307
01/02/2023	4,743	12,279	4,743	3,636	4,321	4,321	34,044
02/02/2023	4,306	11,148	4,306	3,301	3,923	3,923	30,908
03/02/2023	2,825	7,313	2,825	2,166	2,574	2,574	20,277
04/02/2023	4,845	12,542	4,845	3,714	4,414	4,414	34,773
05/02/2023	2,952	7,643	2,952	2,263	2,690	2,690	21,190
06/02/2023	3,351	8,677	3,351	2,569	3,054	3,054	24,056
07/02/2023	4,463	11,554	4,463	3,421	4,066	4,066	32,033
08/02/2023	4,297	11,124	4,297	3,294	3,915	3,915	30,841
09/02/2023	2,846	7,368	2,846	2,182	2,593	2,593	20,427
10/02/2023	4,261	11,031	4,261	3,267	3,882	3,882	30,584
11/02/2023	3,746	9,698	3,746	2,872	3,413	3,413	26,889
12/02/2023	3,912	10,129	3,912	3,000	3,565	3,565	28,082
13/02/2023	4,081	10,565	4,081	3,129	3,718	3,718	29,293
14/02/2023	5,071	13,127	5,071	3,887	4,620	4,620	36,396
15/02/2023	3,496	9,049	3,496	2,680	3,185	3,185	25,090
16/02/2023	4,803	12,436	4,803	3,683	4,376	4,376	34,478
17/02/2023	2,335	6,044	2,335	1,790	2,127	2,127	16,757
18/02/2023	3,478	9,004	3,478	2,667	3,169	3,169	24,965
19/02/2023	4,146	10,732	4,146	3,178	3,777	3,777	29,756
20/02/2023	3,596	9,310	3,596	2,757	3,276	3,276	25,812
21/02/2023	2,553	6,609	2,553	1,957	2,326	2,326	18,323
22/02/2023	4,018	10,402	4,018	3,080	3,661	3,661	28,839
23/02/2023	3,163	8,189	3,163	2,425	2,882	2,882	22,705
24/02/2023	3,590	9,295	3,590	2,753	3,271	3,271	25,771
25/02/2023	4,081	10,565	4,081	3,129	3,718	3,718	29,293
26/02/2023	4,084	10,573	4,084	3,131	3,721	3,721	29,313
27/02/2023	5,203	13,469	5,203	3,989	4,740	4,740	37,344
28/02/2023	5,717	14,802	5,717	4,383	5,209	5,209	41,038
01/03/2023	1,210	3,133	1,210	0,928	1,102	1,102	8,685
02/03/2023	5,686	14,720	5,686	4,359	5,180	5,180	40,812
03/03/2023	5,337	13,816	5,337	4,091	4,862	4,862	38,305
04/03/2023	3,993	10,336	3,993	3,061	3,638	3,638	28,657
05/03/2023	4,817	12,471	4,817	3,693	4,389	4,389	34,576
06/03/2023	2,481	6,424	2,481	1,902	2,261	2,261	17,810
07/03/2023	2,772	7,176	2,772	2,125	2,526	2,526	19,896
08/03/2023	4,990	12,919	4,990	3,826	4,547	4,547	35,819
09/03/2023	5,375	13,916	5,375	4,121	4,897	4,897	38,582
10/03/2023	4,096	10,605	4,096	3,140	3,732	3,732	29,402
11/03/2023	1,285	3,326	1,285	0,985	1,170	1,170	9,221
12/03/2023	3,068	7,942	3,068	2,352	2,795	2,795	22,019
13/03/2023	3,664	9,486	3,664	2,809	3,339	3,339	26,301
14/03/2023	3,988	10,325	3,988	3,058	3,634	3,634	28,627
15/03/2023	4,245	10,991	4,245	3,255	3,868	3,868	30,472
16/03/2023	2,389	6,185	2,389	1,832	2,177	2,177	17,149
17/03/2023	2,735	7,080	2,735	2,097	2,492	2,492	19,630
18/03/2023	1,750	4,529	1,750	1,341	1,594	1,594	12,558
19/03/2023	3,997	10,348	3,997	3,064	3,642	3,642	28,689
20/03/2023	4,031	10,435	4,031	3,090	3,672	3,672	28,931
21/03/2023	4,180	10,822	4,180	3,205	3,809	3,809	30,004
22/03/2023	4,613	11,941	4,613	3,536	4,203	4,203	33,108
23/03/2023	5,091	13,181	5,091	3,903	4,639	4,639	36,544
24/03/2023	5,678	14,700	5,678	4,353	5,173	5,173	40,755
25/03/2023	5,875	15,211	5,875	4,504	5,353	5,353	42,172
26/03/2023	6,095	15,778	6,095	4,673	5,553	5,553	43,746
27/03/2023	5,487	14,206	5,487	4,207	4,999	4,999	39,386
28/03/2023	5,566	14,409	5,566	4,267	5,071	5,071	39,950
29/03/2023	4,146	10,732	4,146	3,178	3,777	3,777	29,756
30/03/2023	5,003	12,952	5,003	3,836	4,558	4,558	35,910
31/03/2023	4,883	12,643	4,883	3,744	4,449	4,449	35,052

Fonte: Autora

Anexo 03 - Tabela Quantidade Total de Água Utilizada

QUANTIDADE TOTAL DE ÁGUA UTILIZADA				
Data	Precipitação (mm d-1)	Rega (min)	Rega (L)	Precipitação (L)
01/01/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
02/01/2023	0,000	4,500	24,613	0,000
03/01/2023	12,000	0,000	0,000	75,360
04/01/2023	10,000	0,000	0,000	62,800
05/01/2023	12,000	0,000	0,000	75,360
06/01/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
07/01/2023	5,000	6,000	32,817	31,400
08/01/2023	22,000	0,000	0,000	138,160
09/01/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
10/01/2023	0,000	4,500	24,613	0,000
11/01/2023	0,000	3,000	16,408	0,000
12/01/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
13/01/2023	0,000	4,000	21,878	0,000
14/01/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
15/01/2023	0,000	5,500	30,082	0,000
16/01/2023	2,000	5,000	27,347	12,560
17/01/2023	0,000	4,000	21,878	0,000
18/01/2023	3,000	4,500	24,613	18,840
19/01/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
20/01/2023	0,000	4,500	24,613	0,000
21/01/2023	12,000	0,000	0,000	75,360
22/01/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
23/01/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
24/01/2023	5,000	6,000	32,817	31,400
25/01/2023	0,000	5,500	30,082	0,000
26/01/2023	30,000	0,000	0,000	188,400
27/01/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
28/01/2023	2,000	4,500	24,613	12,560
29/01/2023	25,000	0,000	0,000	157,000
30/01/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
31/01/2023	2,000	5,000	27,347	12,560
01/02/2023	0,000	7,000	38,286	0,000
02/02/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
03/02/2023	0,000	3,500	19,143	0,000
04/02/2023	12,000	0,000	0,000	75,360
05/02/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
06/02/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
07/02/2023	2,000	2,500	13,674	12,560
08/02/2023	15,000	0,000	0,000	94,200
09/02/2023	3,000	0,000	0,000	18,840
10/02/2023	10,000	0,000	0,000	62,800
11/02/2023	20,000	0,000	0,000	125,600
12/02/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
13/02/2023	0,000	3,500	19,143	0,000
14/02/2023	2,000	4,000	21,878	12,560
15/02/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
16/02/2023	10,000	0,000	0,000	62,800
17/02/2023	0,000	6,000	32,817	0,000
18/02/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
19/02/2023	60,000	0,000	0,000	376,800
20/02/2023	5,000	0,000	0,000	31,400
21/02/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
22/02/2023	0,000	6,000	32,817	0,000
23/02/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
24/02/2023	0,000	12,000	65,634	0,000
25/02/2023	27,000	0,000	0,000	169,560
26/02/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
27/02/2023	50,000	0,000	0,000	314,000
28/02/2023	0,000	0,000	0,000	0,000

01/03/2023	0,000	6,000	32,817	0,000
02/03/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
03/03/2023	8,000	0,000	0,000	50,240
04/03/2023	24,000	0,000	0,000	150,720
05/03/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
06/03/2023	18,000	0,000	0,000	113,040
07/03/2023	3,000	3,000	16,408	18,840
08/03/2023	20,000	0,000	0,000	125,600
09/03/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
10/03/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
11/03/2023	3,000	5,000	27,347	18,840
12/03/2023	0,000	10,000	54,695	0,000
13/03/2023	10,000	0,000	0,000	62,800
14/03/2023	5,000	0,000	0,000	31,400
15/03/2023	0,000	6,000	32,817	0,000
16/03/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
17/03/2023	30,000	0,000	0,000	188,400
18/03/2023	15,000	0,000	0,000	94,200
19/03/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
20/03/2023	10,000	0,000	0,000	62,800
21/03/2023	5,000	0,000	0,000	31,400
22/03/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
23/03/2023	5,000	3,000	16,408	31,400
24/03/2023	0,000	0,000	0,000	0,000
25/03/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
26/03/2023	0,000	6,000	32,817	0,000
27/03/2023	0,000	4,000	21,878	0,000
28/03/2023	0,000	5,000	27,347	0,000
29/03/2023	0,000	7,000	38,286	0,000
30/03/2023	0,000	2,500	13,674	0,000
31/03/2023	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autora

Anexo 04 - Tabela Comparação Evapotranspiração de Culturas e Água Aplicada

Data	Quantidade Água Necessária Evapotranspiração (L)	Quantidade Aplicada Rega (L)	Quantidade Aplicada Precipitação (L)
01/01/23	31.044	27.35	0.000
02/01/23	19.911	24.61	0.000
03/01/23	26.662	0.00	75.360
04/01/23	19.100	0.00	62.800
05/01/23	28.387	0.00	75.360
06/01/23	25.334	0.00	-
07/01/23	19.509	32.82	31.400
08/01/23	18.492	0.00	138.160
09/01/23	25.268	27.35	0.000
10/01/23	24.211	24.61	0.000
11/01/23	37.596	16.41	0.000
12/01/23	33.125	0.00	0.000
13/01/23	27.822	21.88	0.000
14/01/23	32.535	27.35	0.000
15/01/23	33.032	30.08	0.000
16/01/23	35.179	27.35	12.560
17/01/23	35.753	21.88	0.000
18/01/23	29.364	24.61	18.840
19/01/23	41.052	27.35	0.000
20/01/23	21.661	24.61	0.000
21/01/23	38.237	0.00	75.360
22/01/23	30.009	27.35	0.000
23/01/23	32.882	27.35	0.000
24/01/23	25.904	32.82	31.400
25/01/23	30.605	30.08	0.000
26/01/23	32.272	0.00	188.400
27/01/23	32.736	0.00	0.000
28/01/23	31.660	24.61	12.560
29/01/23	23.655	0.00	157.000
30/01/23	17.665	0.00	0.000
31/01/23	33.307	27.35	12.560
01/02/23	34.044	38.29	0.000
02/02/23	30.908	27.35	0.000
03/02/23	20.277	19.14	0.000

04/02/23	34.773	0.00	75.360
05/02/23	21.190	0.00	0.000
06/02/23	24.056	27.35	0.000
07/02/23	32.033	13.67	12.560
08/02/23	30.841	0.00	94.200
09/02/23	20.427	0.00	18.840
10/02/23	30.584	0.00	62.800
11/02/23	26.889	0.00	125.600
12/02/23	28.082	0.00	0.000
13/02/23	29.293	19.14	0.000
14/02/23	36.396	21.88	12.560
15/02/23	25.090	27.35	0.000
16/02/23	34.478	0.00	62.800
17/02/23	16.757	32.82	0.000
18/02/23	24.965	0.00	0.000
19/02/23	29.765	0.00	376.800
20/02/23	25.812	0.00	31.400
21/02/23	18.323	0.00	0.000
22/02/23	28.839	32.82	0.000
23/02/23	22.705	0.00	0.000
24/02/23	25.771	65.63	0.000
25/02/23	29.293	0.00	16.956
26/02/23	29.313	0.00	0.000
27/02/23	37.344	0.00	31.400
28/02/23	41.038	0.00	0.000
01/03/23	8.685	32.82	0.000
02/03/23	40.812	27.35	0.000
03/03/23	38.305	0.00	50.240
04/03/23	28.657	0.00	150.720
05/03/23	34.576	0.00	0.000
06/03/23	17.810	0.00	113.040
07/03/23	19.896	16.41	18.840
08/03/23	35.819	0.00	125.600
09/03/23	38.582	0.00	0.000
10/03/23	29.402	0.00	0.000
11/03/23	9.221	27.35	18.840
12/03/23	22.019	54.70	0.000
13/03/23	26.301	0.00	62.800
14/03/23	28.627	0.00	31.400
15/03/23	30.472	32.82	0.000
16/03/23	17.149	0.00	0.000
17/03/23	19.630	0.00	188.400
18/03/23	12.558	0.00	94.200
19/03/23	28.689	0.00	0.000
20/03/23	28.931	0.00	62.800
21/03/23	30.004	0.00	31.400
22/03/23	33.108	0.00	0.000
23/03/23	36.544	16.50	31.400
24/03/23	40.755	0.00	0.000
25/03/23	42.172	27.35	0.000
26/03/23	43.746	32.82	0.000
27/03/23	39.386	21.88	0.000
28/03/23	39.950	27.35	0.000
29/03/23	29.756	38.29	0.000
30/03/23	35.910	13.67	0.000
31/03/23	35.052	0.00	0.000
TOTAL	2605.779	1222.51	2792.716
		TOTAL APLICADO	4015.230

Fonte: Autora