



Carolina Teixeira Moscatelli

**Aproveitamento de aguapés (*Pontederia
crassipes* Mart.) acumuladas nos corpos
hídricos do complexo lagunar de
Jacarepaguá, Rio de Janeiro para a
produção de substrato**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da
PUC-Rio.

Orientador: Prof. Richieri Antonio Sartori

Coorientador: Prof. Antonio Carlos de Souza Abboud

Rio de Janeiro

Abril 2025



Carolina Teixeira Moscatelli

**Aproveitamento de aguapés (*Pontederia crassipes* Mart.)
acumuladas nos corpos hídricos do complexo lagunar de
Jacarepaguá, Rio de Janeiro para a produção de substrato**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Richieri Antonio Sartori

Orientador

Departamento de Ciências Biológicas – PUC-Rio

Prof. Antonio Carlos de Souza Abboud

Coorientador

UFRRJ

Dr. Lusimar Lamarte Gonzaga Galindo da Silva

JBRJ

Prof. Gabriel Paes da Silva Sales

Departamento de Ciências Biológicas – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 16 de abril de 2025

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Carolina Teixeira Moscatelli

Arquiteta e Urbanista pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro desde 2021.

Ficha Catalográfica

Moscatelli, Carolina Teixeira

Aproveitamento de aguapés (*Pontederia crassipes* Mart.) acumuladas nos corpos hídricos do complexo lagunar de Jacarepaguá, Rio de Janeiro para a produção de substrato / Carolina Teixeira Moscatelli ; orientador: Richieri Antonio Sartori ; coorientador: Antonio Carlos de Souza Abboud. – 2025.

71 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2025.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Engenharia Urbana e Ambiental - Teses. 3. *Eichhornia crassipes*. 4. Fitorremediação. 5. Eutrofização. 6. Aproveitamento de biomassa. 7. Sustentabilidade urbana. I. Sartori, Richieri Antonio. II. Abboud, Antonio Carlos de Souza. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. IV. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, pela dedicação, paciência e apoio incondicional em todas as etapas da minha trajetória acadêmica. Vocês foram e sempre serão minha maior inspiração e motivação. À Giovanna Moscatelli, Igor Marinho e Ana Lucia Lima e aos amigos e amigas de curso que fiz, pelo apoio ao longo da trajetória desse trabalho.

À equipe do Parque Natural Municipal Chico Mendes, em especial à gestora Valéria e a todos que me apoiaram durante as coletas, meu profundo agradecimento por todo o suporte e acolhimento.

Também agradeço à equipe da Fundação Rio-Águas, que atua no parque, pelo trabalho conjunto e pela disposição em colaborar com meu estudo. Ao laboratório de fitossanidade do Jardim Botânico do Rio de Janeiro por colaborar com os equipamentos e espaço para o experimento.

À EMBRAPA solos, pela contribuição na secagem da macrófita. Expresso minha gratidão ao senhor Carlos, do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), por compartilhar informações valiosas sobre as ecobarreiras e por fornecer os dados quantitativos que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. À Manglares Consultoria Ambiental, pelo apoio constante ao longo deste percurso.

Agradeço aos meus orientadores, Richieri Sartori e Antonio Abboud, pela orientação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Moscatelli, Carolina Teixeira; Sartori, Richieri Antonio (Orientador); Abboud, Antonio Carlos de Souza (Coorientador). **Aproveitamento de aguapés (*Pontederia crassipes* Mart.) acumuladas nos corpos hídricos do complexo lagunar de Jacarepaguá, Rio de Janeiro para a produção de substrato.** Rio de Janeiro, 2025. 71p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Ambiental e Urbana, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A macrófita aquática *Pontederia crassipes*, também conhecida por *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, e popularmente chamada de aguapé ou gigoga, foi amplamente disseminada ao redor do mundo por sua beleza ornamental e por ser uma espécie fitorremediadora. Devido à sua alta capacidade de disseminação em corpos de água doce e quando eutrofizados, seu manejo se faz necessário. O estudo analisou a viabilidade econômica e ambiental do uso da biomassa de gigogas, *E. crassipes* coletadas e aproveitadas como substrato orgânico no Complexo Lagunar de Jacarepaguá, Rio de Janeiro. Para isso foi comparado o custo-benefício do uso de gigogas como substrato para produção de mudas e hortaliças como alternativa ao método atual de manejo, que consiste no transporte e descarte em aterro sanitário, gera emissão de gases de efeito estufa e produção de chorume. O projeto foi dividido em três etapas: a primeira foi a coleta da biomassa, processamento de amostras e análise de macronutrientes e metais pesados. A segunda, teste de eficácia baseado no cultivo de sementes de alface *Grand Rapids* em diferentes proporções de substrato comercial e substrato de gigogas e o tratamento controle (areia). A terceira etapa considerou a análise de custos: comparando os custos do manejo convencional (transporte e descarte) com os da produção do substrato. O percentual de redução no volume da *E. crassipes* em temperatura ambiente foi de 86,25% enquanto na estufa foi de 97%. Os parâmetros de nutrientes e metais pesados ficaram dentro dos limites aceitáveis para sua utilização como substrato orgânico com base nas Instruções Normativas SDA nº 23/2005 e SDA nº 27/2006. A proporção de 25% de gigoga/ 75% substrato apresentou desempenho agrônômico sem diferença significativa ao do substrato comercial puro, enquanto 50% de gigoga/ 50% substrato demonstrou rendimento menor. A redução de peso por secagem *in loco* possibilitou economia logística, com diminuição das viagens de

transporte anual, do descarte da biomassa fresca e custos operacionais. A utilização da macrófita como substrato em hortas urbanas contribui para a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), ao priorizar a redução, reutilização e reciclagem de resíduos. Essa prática transforma um problema ambiental em recurso útil, promovendo ecoeficiência e reduzindo impactos ambientais.

Palavras-chave

Eichhornia crassipes; fitorremediação; eutrofização; aproveitamento de biomassa; sustentabilidade urbana.

Extended abstract

Moscatelli, Carolina Teixeira; Sartori, Richieri Antonio (Advisor); Abboud, Antonio Carlos de Souza (Coadvisor). **Utilization of water hyacinths (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) accumulated in the water bodies of the Jacarepaguá lagoon complex, Rio de Janeiro for substrate production.** Rio de Janeiro, 2025. 71p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Ambiental e Urbana, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

1. Introduction

The use of the aquatic macrophyte *Pontederia crassipes*, also known as *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, and commonly referred to as "aguapé," "gigoga," or "water hyacinth" (Souza & Lorenzi, 2005), stands out in the literature as an effective alternative for phytoremediation of aquatic pollution (Câmara *et al.*, 2015; Palma-Silva *et al.*, 2012). Widely distributed throughout Brazil, this macrophyte belongs to the Pontederiaceae family and reproduces sexually through seeds, which remain viable for at least 15 years in the sediment of water bodies (Holm & Yeo, 1980), and asexually via stolons. It is native to the Amazon region. The specie spread globally due to the ornamental beauty of its flowers (Szymanski, 2011). With its high growth and multiplication capacity and ease of acquisition, water hyacinth shows promise for various applications, such as organic compound production, seedling substrates, soil organic matter enhancement, and nutrient supply for crops (AGEI, 2017). However, its high proliferation capacity also generates significant negative impacts. Its excessive presence forms a green mat that reduces sunlight penetration, decreases oxygen levels, leads to fish mortality, obstructs navigable routes, and creates mosquito breeding grounds (Sirtolli, 2001). Moreover, a lake covered by water hyacinth loses two to eight times more water through evapotranspiration compared to a water body without the abundant presence of this macrophyte (Sirtolli, 2001).

The Jacarepaguá watershed, located in the western zone of the city of Rio de Janeiro, covers approximately 300 km². The estimated population of the basin is about 500,000 inhabitants, which corresponds to 10% of the city's population (INEA, 2019). The Jacarepaguá lagoon system, located in the lowland of Jacarepaguá, has five lagoons undergoing accelerated sedimentation and consolidated eutrophication. This occurs mainly due to the discharge of untreated sewage, which accelerates the natural eutrophication process of the lagoon, leading to hypertrophication (SEMADS, 2001). Raw sewage is discharged into the water, accumulating at the bottom of the lagoon, causing sedimentation and releasing large amounts of phosphorus and nitrogen, which serve as nutrients for the growth of aquatic plants such as water hyacinths (Hough, 2000). The development of high biomass in this aquatic macrophyte is frequently associated with high concentrations of dissolved nutrients in the environment (Petruccio, 2000).

One of the provisional solutions found by the State and Municipality of Rio de Janeiro to contain the spread of urban and plant solid waste was the use of eco-

barriers at the river mouths and at some strategic points in the lagoons. Eco-barriers are floating containment structures anchored along riverbanks to catch most of the debris that accompanies the river flow (INEA, 2019). The current management of water hyacinth in the Jacarepaguá lagoon complex is carried out by agencies such as COMLURB (Municipal Urban Cleaning Company), INEA (State Institute of the Environment), and the Rio-Águas Foundation. The management consists of removing *E. crassipes* and accumulated debris from the eco-barriers. After being removed from the lagoons and rivers, the plant waste is transported by trucks to the Seropédica metropolitan landfill, located about 70 kilometers from the collection points. This process generates significant costs and environmental impacts, such as the emission of greenhouse gases (carbon dioxide, methane, and nitrous oxide) and the production of leachate, a liquid that needs to be treated before being discharged into water bodies (Lee *et al.*, 2017; Lins *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2016). Despite mitigation measures, such as drains for gas collection and burning, some of these emissions escape into the atmosphere, contributing to global warming.

To reduce costs and environmental impact, alternative uses for this biomass could be implemented, such as paper and biogas production, animal feed, and soil fertilization (El-Sayed, 1999; Pieterse & Murphy, 1990). These practices offer economic and environmental benefits by reducing greenhouse gas emissions, decreasing the volume of waste sent to landfills, and promoting the preservation of natural resources. In this context, an experiment was conducted to calculate the reduction of weight and volume of the macrophyte at ambient temperature, aiming to optimize the current management operation used by public agencies. Chemical analyses of the dry matter of water hyacinth were carried out to determine whether the concentrations of macronutrients, micronutrients, and heavy metals were within safe levels for use as a substrate. Subsequently, *Lactuca sativa* seeds were used to assess the efficiency of the substrate derived from *E. crassipes* and its potential for application in urban gardens. Lettuce is widely cultivated in Brazil and is considered the most consumed leafy vegetable in the country, making it an important crop both economically and nutritionally (Resende *et al.*, 2003). The choice of lettuce was made due to its broad acceptance as a fast-growing vegetable and its suitability for cultivation in restricted urban spaces, making it a species often used in studies to test substrates and fertilization. Finally, a comparative analysis (economic and environmental) was conducted between the management method currently employed by public agencies and the method suggested by this study.

2. Objectives

Analysis of the economic and environmental feasibility in utilizing the biomass of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) found in the Jacarepaguá Lagoon Complex, located in the metropolitan region of Rio de Janeiro, by comparing the cost-benefit ratio of producing dry biomass of *E. crassipes* for use as a substrate versus the current macrophyte management approach adopted by COMLURB/INEA/Fundação Rio-Águas, which consists of transporting and disposing of the green biomass at the Seropédica metropolitan landfill in Rio de Janeiro.

3. Methodology

3.1. General experiment characterization

Eichhornia crassipes was collected at Chico Mendes Municipal Park, located at coordinates 23° 00' 48.5" S, 43° 26' 41.3" W, on the banks of Lagoinha das Taxas in the neighborhood of Recreio dos Bandeirantes, in the western zone of Rio de Janeiro, Brazil. The park has an eco-barrier operated by Fundação Rio-Águas, with a team that collects excess macrophyte biomass daily. The site was chosen due to the availability of the material and logistical support from the park staff and the Fundação Rio-Águas team.

In June 2024, three biomass collections were carried out at ten-day intervals (4.20 kg, 3.92 kg, 3.52 kg). Each time, the material was washed under running water to remove debris and invertebrates, then dried in a forced-air circulation oven at 50°C for six days until it reached a constant dry weight. The dried material was then sent to a laboratory for analysis of macronutrient and heavy metal concentrations.

3.2 Weight and volume reduction test

To analyze the percentage weight reduction of *E. crassipes* at room temperature, drying tests were conducted using fresh biomass. A total of 20 kg of fresh biomass was collected, washed under running water to remove residues such as arthropods and detritus, ensuring the material was clean. The biomass was then left to air-dry until it reached a stable weight, indicated by negligible variation over time.

Based on the estimated specific weight of the fresh biomass, 1 g/cm³ (Delaqua, 2016), the initial volume was calculated to be approximately 20,000 cm³. This estimate allowed for planning the amount of green biomass needed for future experiments, optimizing material use. After drying, the percentage of weight reduction was determined, providing essential data for subsequent evaluations and practical applications.

3.3. Germination experiment with lettuce seeds (*Lactuca sativa*)

The experiment was carried out in a greenhouse with partial control of temperature, humidity, and light, simulating typical conditions for protected cultivation. Materials used included *Lactuca sativa* (lettuce) seeds of the Grand Rapids variety from the Topseed brand, dried and ground *E. crassipes* biomass previously collected, and Carolina Soil commercial horticultural substrate. Additionally, washed medium-grain sand was used as a control treatment. Two 128-cell polystyrene germination trays were used, and irrigation was managed daily. Measurements were taken with a millimeter ruler and a “Bioprecisa” FA-2104N digital precision scale. The experimental data were organized into spreadsheets for later analysis.

The experiment was based on evaluating the development of *Lactuca sativa* seeds across three distinct time points, considering germination percentage and morphological and biometric characteristics of the seedlings. Germination

percentage was monitored daily from sowing until stabilization and was calculated as the ratio of germinated seeds to the total number of seeds sown per treatment. Six treatments were established with different proportions of water hyacinth biomass and commercial substrate, along with a 100% sand control treatment:

- **T1.** 100% Sand (control)
- **T2.** 100% Dry biomass of *E. crassipes*
- **T3.** 100% Commercial substrate
- **T4.** 25% Commercial substrate / 75% Dry biomass of *E. crassipes*
- **T5.** 50% Commercial substrate / 50% Dry biomass of *E. crassipes*
- **T6.** 75% Commercial substrate / 25% Dry biomass of *E. crassipes*

Each treatment included 10 replicates, and three samplings were carried out at different stages, totaling 180 experimental units. Samplings 1, 2, and 3 were conducted at 13 days after emergence (DAE), 21 DAE, and 27 DAE, respectively. At each sampling, the following were measured: total weight, number of leaves, shoot weight and length, and root weight and length.

The Grand Rapids lettuce seeds were sown in 128-cell polystyrene trays, with each cell having a volume of 23.60 ml and dimensions of 3.5 cm by 3.5 cm. The dry *E. crassipes* biomass used was collected from Lagoinha das Taxas, RJ, washed with running water, and air-dried for two weeks until weight stabilization. It was then ground using a CID-TRIT75L forage shredder with a 5 mm galvanized mesh screen. Carolina Soil commercial horticultural substrate was used alongside the biomass.

Data analysis was performed using the R Core Team bio-statistical software (2024). Collected data on total weight, shoot weight, root weight, shoot length, root length, and leaf count were tested for normality using the Shapiro-Wilk test to determine whether to use parametric or non-parametric statistical tests. Additionally, the relationship between sampling stage and treatment was also analyzed.

3.4. Cost analysis of management

To evaluate the *Eichhornia crassipes* management operations in the Jacarepaguá Lagoon Complex, data on the total annual biomass weight collected at eco-barriers from 2021 to 2023 were analyzed. These figures were consolidated into annual averages to allow comparison across different years and collection sites.

Another parameter assessed was transportation cost, taking into account vehicle efficiency, the average distance traveled between collection points and the Seropédica landfill, and fuel prices during the analyzed period. This information, provided by INEA's logistics records, was used to calculate the average annual transportation cost.

Additionally, disposal costs of biomass at the landfill were included, based on the per-ton fee in effect during the period. Potential environmental impacts of the process were also considered, including greenhouse gas emissions and leachate generation. The methodology aimed to identify the key economic and

environmental performance indicators to support the analysis of more sustainable management alternatives.

4. Results and discussion

4.1. Weight and volume reduction test

The volume of dry *E. crassipes* biomass was estimated based on reductions in both weight and volume. Initially, 20 kg of biomass (20,000 cm³ at a density of 1 g/cm³) underwent air-drying over two weeks and lost 86.25% of its weight, resulting in 2.75 kg of dry matter. Volume reduction was proportional to weight loss, yielding a final volume of approximately 2,750 cm³—a reduction of 17,250 cm³. During drying, the biomass was spread over tarps and collected during rainy days. In controlled oven-drying tests, samples of 4.20 kg, 3.92 kg, and 3.52 kg yielded 1.09 kg, 1.45 kg, and 1.10 kg of dry biomass, respectively—an average weight reduction of 97%.

4.2. Chemical analysis

The chemical composition of the dry *E. crassipes* biomass (Table 1) demonstrated its potential as an agricultural input. Total organic carbon (C) content ranged from 34.45% to 36.04%, within the recommended range for organic materials (30% to 40%), which contributes to soil structure improvement (Brady & Weil, 2008). Nitrogen (N), essential for plant growth, varied from 31.76 to 33.84 g/kg—comparable to chicken manure (30.4 g/kg) and cassava leaves (43.5 g/kg) (Kiehl, 1981)—with a C/N ratio between 10.18 and 11.35, indicating rapid decomposition.

Calcium (Ca) levels ranged from 15.25 to 18 g/kg, aligning with the recommended range of 10–20 g/kg for organic fertilizers (Brady & Weil, 2008). Sulfur (S) was found at 5.7 g/kg, adequate for protein synthesis (Malavolta, 2006). Phosphorus (P) levels ranged from 10.62 to 12.42 g/kg, within the typical 5–15 g/kg range found in organic fertilizers (Hochmuth *et al.*, 2012). Potassium (K), important for osmotic regulation, ranged from 47.5 to 52.5 g/kg, while magnesium (Mg), essential for photosynthesis, was between 6.5 and 7.5 g/kg—both in line with plant requirements (Marschner, 2012).

Heavy metal analysis (Table 1) showed zinc (Zn) concentrations between 74.73 and 96.01 mg/kg, within the recommended range of 50–100 mg/kg (Marschner, 2012). Copper (Cu) levels ranged from 7.59 to 9.58 mg/kg, well below the 50 mg/kg safety limit for organic fertilizers (Brady & Weil, 2008). Notably, lead (Pb) and mercury (Hg) were undetected, meeting environmental safety standards (thresholds of >10 mg/kg for Pb and >0.2 mg/kg for Hg) (Brady & Weil, 2008; Marschner, 2012).

These results highlight *E. crassipes* as a nutrient-rich and environmentally safe biomass, with strong potential for use in agriculture, thus promoting sustainable management of plant waste.

Table 1 - Chemical Analysis of Dry Matter of *Eichhornia crassipes* conducted by IBRA Laboratory – Brazilian Institute of Analysis in September 2024.

Parameters	Sample 01	Sample 02	Sample 03
Fresh weight	4,20 kg	3,92kg	3,52kg
Dry matter	109g	145g	110g
Total organic carbon	34,45%	35,93%	36,04%
Nitrogen	31,76 g/kg	33,27 g/kg	33,84 g/kg
Phosphorus	12,42 g/kg	11,37 g/kg	10,62 g/kg
Potassium	52,5 g/kg	52,5 g/kg	47,5 g/kg
Calcium	15,25 g/kg	18 g/kg	16 g/kg
Magnesium	7 g/kg	7,5 g/kg	6,5 g/kg
Sulfur	5,75 g/kg	5,75 g/kg	5,69 g/kg
Lead	-	-	-
Mercury	-	-	-
Zinc	94,33 mg/kg	74,73 mg/kg	96,01 mg/kg
Copper	9,58 mg/kg	7,59 mg/kg	9,38 mg/kg

4.3. Germination experiment with lettuce seeds (*Lactuca sativa*)

Seed germination varied significantly among treatments, with four seeds per sample unit, totaling 120 seeds per treatment. The treatment with 100% sand showed the best performance, with a germination rate of 71.6% (86 germinated seeds), followed by 100% commercial substrate with 65.83% (79 germinated seeds). On the other hand, the treatments with 100% *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and 75% *E. crassipes*/ 25% commercial substrate showed no germination. Treatments containing *E. crassipes* in lower proportions showed intermediate results: 50% *E. crassipes*/50% commercial substrate had a germination rate of 30% (36 germinated seeds), while 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate reached 52.5% (63 germinated seeds). These results indicate that the proportion of *E. crassipes* in the substrate directly influenced germination viability.

The performance of the 100% sand treatment can be attributed to its drainage and aeration capacity, preventing waterlogging and ensuring oxygen availability around the seeds—critical factors for germination (Taiz *et al.*, 2015). The uniform texture of sand creates a homogeneous physical environment, facilitating seed-to-substrate contact and promoting balanced water absorption, unlike organic substrates which may have structural variations that hinder this process (Koller, 2014). Although water retention is important, excessive moisture can lead to waterlogging, impairing the aerobic metabolism necessary for germination, as observed in treatments with higher *E. crassipes* content. Sand offered a favorable balance for germination, maintaining moisture at the necessary level without causing saturation. Commercial substrates, in turn, have a micropore percentage suitable for seedling production, providing satisfactory water retention capacity and positively influencing root development (Guerrini & Trigueiro, 2004).

It was observed that the sample units of the 100% *E. crassipes* and 75% *E. crassipes*/ 25% commercial substrate treatments remained moist for longer, possibly due to the lower drainage and higher water retention of *E. crassipes*-based substrates. This excess moisture may have contributed to the lack of germination

by promoting seed asphyxiation and the proliferation of microorganisms harmful to early development (Hartmann *et al.*, 2018). Therefore, the poor performance of these treatments highlights the importance of water balance and the physical properties of the substrate for successful germination.

In the analyses carried out (Table 2), the 100% commercial substrate and 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate treatments stood out in all collections, showing superior results in the main parameters evaluated. In sampling 1 (Table 2), these treatments were superior in total weight, shoot weight, shoot length, and number of leaves, with no statistical differences between them, except in root weight and length, where the 100% substrate treatment performed better than the 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate. The 50% *E. crassipes*/50% commercial substrate and 100% sand treatments did not differ significantly in any parameter.

In sampling 2 (Table 2), the 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate and 100% commercial substrate treatments maintained superiority in total weight, shoot weight, shoot length, and root length, with no differences between them. In root weight, 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate was superior to 50% *E. crassipes*/50% commercial substrate, but not significantly different from the 100% commercial substrate and 100% sand. Regarding the number of leaves, all treatments outperformed the 100% sand treatment. In sampling 3 (Table 2), the 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate and 100% commercial substrate treatments continued to show the best results in total weight, shoot weight, root weight, shoot length, and number of leaves, again with no significant differences between them. For root length, the 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate treatment outperformed all others. In total weight, there was no significant difference among the treatments that used *E. crassipes*, but 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate was superior to the 100% sand treatment. Statistical analysis indicated no significant relationship between treatment and collection time.

The macrophyte, especially when used at 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate, showed viability as a sustainable component in organic substrates. This treatment performed comparably to pure commercial substrate in most parameters analyzed across the three collections, standing out in rapid weight gain and root development, particularly from the second collection onward. ‘

Germination and growth of maize (*Zea mays*) using the same proportions of commercial substrate and dry matter of *E. crassipes* were conducted by Anjos *et al.* (2018). It was concluded that there were no significant differences in growth rates among the treatments with dry matter. However, the performance of these treatments was inferior to the 100% substrate treatment, possibly due to the low nutrient concentrations in the collected macrophyte dry matter. The authors highlighted that the collection site of macrophytes may influence their nutrient content. In another experiment on maize production, it was also found that incorporating *E. crassipes* into different types of soil resulted in similar or even superior production compared to soils fertilized with commercial fertilizers (Parra & Hortenstein, 1974).

The 50% *E. crassipes*/ 50% commercial substrate treatment showed intermediate performance, with results lower than the 25% *E. crassipes*/75% commercial substrate and 100% commercial substrate treatments, but higher than the 100% sand treatment. While the 100% sand treatment showed limitations such as low values for total weight, root weight, root length, and number of leaves, the 50% *E. crassipes*/50% commercial substrate treatment was able to surpass these results.

According to Malavolta *et al.* (1989), nutrients absorbed by macrophytes are incorporated into the soil, allowing plants nutritional demands to be met. Farias *et al.* (2015) reported that *Moringa oleifera* seedlings cultivated with 100% macrophytes (*Typha domingensis*, *Pistia stratiotes*, and *E. crassipes*) exhibited reduced plant height and stem diameter, while mixtures of 60% macrophyte + 30% manure + 10% topsoil and 70% macrophyte + 30% manure provided better nutrition and seedling growth. Based on these results, it can be said that higher concentrations of *E. crassipes* incorporated into substrates are not necessarily a limiting factor for growth. Thus, it is believed that irrigation and substrate saturation may have hindered nutrient absorption by seeds and seedlings in the 50% *E. crassipes*/50% substrate treatment. The use of 50% *E. crassipes*/50% commercial substrate demonstrates partial viability, but highlights the need for further investigation.

Table 2: Effect of different proportions of sand, commercial substrate (Carolina Soil), and *Eichhornia crassipes* on the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*), harvested at 13, 21, and 27 days after emergence.

Samplings 1,2 e 3	Total weight (g)	Shoot weight (g)	Root weight (g)	Shoot lenght (cm)	Root lenght (cm)	Leaves (n^o)
100% sand	0.0564 b	0.0443 b	0.0136 b	3.4543 c	2.3138 b	3.25 b
50% <i>E. crassipes</i> / 50% commercial substrate	0.0638 b	0.0494 b	0.0118 b	3.5543 c	2.5887 b	3.5333 b
100% commercial substrate	0.2274 a	0.1628 a	0.0465 a	6.239 a	4.427 a	4.0667 a
25% <i>E. crassipes</i> / 75% commercial substrate	0.1581 a	0.1158 a	0.0349 a	5.379 b	4.67 a	3.9667 a
Standard deviation	0,0817	0,0568	0,0169	1,192	1,056	0,329
CV (%)	64,62%	60,98%	63,15%	25,60%	30,19%	8,90%
Sampling 1						
100% sand	0,0474 b	0,0375 b	0,0150 b	3,2 c	2,17 c	3 b
50% <i>E. crassipes</i> / 50% commercial substrate	0,0576 b	0,0412 b	0,0146 b	3,65 bc	2,74 bc	3 b
100% commercial substrate	0,1703 a	0,1338 a	0,0376 a	5,80 a	3,66 a	3,9 a
25% <i>E. crassipes</i> / 75% commercial substrate	0,0966 a	0,079 a	0,0183 b	4,58 ab	2,9 b	3,6 a
Standard deviation	0,0484	0,0387	0,0094	0,9947	0,5317	0,3897
CV (%)	52,15%	53,15%	44,30%	23,09%	18,54%	11,55%
Sampling 2						
100% sand	0,0716 b	0,0528 b	0,0221 bc	4,1 b	3,47 b	3,56 b
50% <i>E. crassipes</i> / 50% commercial substrate	0,0604 b	0,0471 b	0,0102 c	4,25 b	2,91 b	4 a
100% commercial substrate	0,2042 a	0,1503 a	0,0458 a	6,92 a	5,25 a	4,4 a
25% <i>E. crassipes</i> / 75% commercial substrate	0,1659 a	0,1166 a	0,0330 ab	5,91 a	5,24 a	4,1 a
Standard deviation	0,06103	0,0433	0,0131	1,1767	1,0463	0,301
CV (%)	48,62%	47,21%	47,34%	22,23%	24,81%	7,50%
Sampling 3						
100% sand	0,0513 c	0,0434 b	0,0034 b	3,1 b	1,31 c	3,22 a
50% <i>E. crassipes</i> / 50% commercial substrate	0,0733 bc	0,0600 b	0,0104 b	2,77 b	2,11 c	3,6 a
100% commercial substrate	0,2935 a	0,1943 a	0,0504 a	5,74 a	4,61 b	3,89 a
25% <i>E. crassipes</i> / 75% commercial substrate	0,2118 ab	0,1520 a	0,0533 a	5,64 a	5,87 a	4,2 a
Standard deviation	0,0997	0,0628	0,0226	1,382	1,842	0,361
CV (%)	63,34%	55,90%	77,07%	32,07%	53,01%	9,70%

*Means followed by different letters in the same column (within each sampling or combined samplings) differ significantly according to Tukey's test (leaf and root length) and Dunn's test (other parameters).

**CV = Coefficient of variation

4.4. Comparative cost analysis of management practices

The current logistics of *Eichhornia crassipes* management operations employed by public agencies involve the removal of biomass using backhoe loaders, which deposit the material directly into 35 m³ roll-on roll-off trucks or 12 m³ dumpsters. The material is then transported to the Seropédica landfill, located approximately 70 kilometers from the lagoon complex.

Based on data from 2021 to 2023 (Table 3), an average of 7,788.79 tons of biomass were collected annually, distributed across 615.6 truck trips. Transport consumed approximately R\$188,225.85 per year in fuel, considering the average price of Diesel S-10 and a fuel efficiency of 2.5 km/l for round trips totaling 140 km per trip.

The collected material is transferred directly for transport without prior treatment and, upon arrival at the landfill, is disposed of at an average cost of R\$74.30 per ton, resulting in an annual expense of R\$578,707.10 solely for the disposal of fresh biomass. Thus, the total operational costs—including only transportation fuel and disposal—amount to R\$766,932.95 per year (truck rental and labor costs not included due to lack of information).

The current operation presents significant sustainability issues due to greenhouse gas emissions, leachate production, and high operational costs.

Table 3: Quantities of biomass and number of trips for the collection and transport of *Eichhornia crassipes* accumulated at the eco-barriers of Itanhangá, Arroio Fundo, Canal do Anil, Pavuninha, and Arroio Pavuna in the years 2021, 2022, and 2023. (Source: INEA)

Month	Total weight (t)	Total trips	Month	Total weight (t)	Total trips	Month	Total weight (t)	Total trips
1	168,51	19	1	660,71	61	1	831,30	60
2	114,51	13	2	1.896,64	66	2	774,45	57
3	257,52	23	3	680,90	43	3	719,70	52
4	394,74	30	4	1.082,47	88	4	617,13	49
5	322,14	22	5	687,92	66	5	673,68	52
6	630,00	48	6	903,78	78	6	747,02	57
7	619,86	51	7	646,92	65	7	526,98	44
8	819,73	62	8	539,13	55	8	506,31	48
9	886,42	66	9	650,95	65	9	287,30	27
10	953,05	67	10	570,11	56	10	515,41	43
11	755,74	57	11	550,96	51	11	519,75	49
12	876,72	67	12	480,62	45	12	497,29	45
2021:	6.798,94	525	2022:	9.351,11	739	2023 :	7.216,32	583

Based on the tests for reduction of fresh matter at ambient temperature, it was possible to estimate significant savings in the management of macrophytes in the Jacarepaguá lagoon complex. The percentage of weight reduction in open-air conditions for *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) obtained in this experiment

was 86.25%. Implementing the drying method at ambient temperature and *in loco*, over an average period of two weeks, can reduce the material's weight to approximately 1,070.96 tons of dry biomass. Considering a density of 1 g/cm³, the volume of the dry biomass will be 1,070.96 m³. By using only the *in loco* drying method for fresh biomass, the number of trips required to transport the material to the landfill will be significantly reduced. If using only a 35 m³ roll-on roll-off truck, 30.6 annual trips will be required to transport the water hyacinth; if a 12 m³ dump truck is used, 89.25 trips per year will be needed.

In the scenario where the biomass is used as an organic substrate, the costs would be even lower (Table 4). This is due to the fact that transforming the biomass into substrate requires relatively inexpensive machinery and a minimal workforce. The management process consists of open-air drying *in loco*, while monitoring weather conditions, shredding using a forage machine, and optional bagging. After this process, the material, now in substrate condition, can be collected for use. This reduction in transportation will result in significant savings not only in truck rental costs, but also in driver per diems and diesel consumption, considering a round-trip distance of approximately 140 km. Furthermore, the reduction—or even elimination (if the substrate is collected by third parties)—of transport trips will lead to a decrease in greenhouse gas emissions, contributing to the sustainability of the operation and a reduction in the carbon footprint associated with biomass transportation.

Table 4: Comparison of biomass management models for water hyacinth, considering transported weight, distance traveled, number of trips, fuel costs, landfill disposal costs, and total cost.

Management model	Weight to be transported (t)	Distance to be covered (km)	Trips (round-trip)	Fuel expenses (R\$)	Landfill disposal cost (R\$)	Total cost (R\$)
Current	7.788,89	86184*	615,6 *	188.225,85	578.714,52	766.940,37
<i>In loco</i> drying (35 m ³ truck)	1.070,96	4284*	30,6*	9.356,25	79.572,32	88.928,57
<i>In loco</i> drying (12 m ³ dump truck)	1.070,96	12495*	89,25*	27.289,08	79.572,32	106.861,40
Drying and substrate production	1.070,96	2677,4**	89,25 **	5.847,44	-	5.847,44

*140 km (round trip) to the Seropédica Metropolitan Landfill;

**30 km (round trip) to urban gardens located in the Jacarepaguá lowlands.

5. Conclusions and recommendations

The results obtained in this study demonstrated the promising potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a sustainable and efficient alternative to commercial substrates. The 25% *E. crassipes* / 75% commercial substrate mixture yielded results close to those of pure commercial substrate, highlighting its agronomic viability without compromising vegetative growth. The use of 50% *E. crassipes* / 50% commercial substrate also showed consistent performance; however, further studies are necessary to evaluate the water retention capacity of the hyacinth-based substrate and the feasibility of incorporating higher proportions of this material for lettuce germination and other plant species.

The study pointed to significant practical advantages in the management of macrophytes in the Jacarepaguá Lagoon Complex. The weight reduction achieved through in loco drying resulted in considerable logistical savings by reducing the number of trips required for biomass transport. With the annual average number of truck trips reduced from 615.6 to as few as 30.6, there is a projected significant decrease in diesel consumption and the associated carbon footprint.

From a broader perspective, the use of water hyacinth as a substrate represents a strategic opportunity for urban initiatives such as community gardens, promoting the reuse of plant waste. Water hyacinth biomass, often regarded as waste, can be transformed into a valuable resource through relatively simple physical processes such as drying and shredding. Its use as a substrate in urban gardens not only reduces agricultural production costs but also promotes a circular economy by repurposing organic waste instead of discarding it. Therefore, water hyacinth proves to be a sustainable, economically viable, and environmentally responsible alternative, contributing to more efficient natural resource management.

However, to fully confirm its viability, additional tests are recommended—particularly to assess the substrate's moisture and water retention capacity, in order to determine whether irrigation was a limiting factor in germination. It would also be beneficial to test its application in other crops, such as corn or native species seedlings, thereby expanding its potential for use in urban nurseries and environmental restoration projects. For implementing this model at eco-barrier sites, site-specific studies will be required, as space constraints and logistical demands can vary significantly. These developments may further consolidate the use of water hyacinth as a strategic resource in sustainable urban and agricultural systems.

Keywords

Eichhornia crassipes; phytoremediation; eutrophication; biomass utilization; urban sustainability.

Sumário

1. Introdução.....	24
2. Objetivos.....	26
2.1. Objetivo geral	26
2.2. Objetivos específicos	26
3. Revisão da literatura	26
3.1 A macrófita aquática <i>Eichhornia crassipes</i>	26
3.1.2 Uso da biomassa seca de <i>E. crassipes</i>	27
3.2 Complexo Lagunar de Jacarepaguá	28
3.2.2 Gestão da <i>E. crassipes</i> (Fundação Rio-Águas/INEA).....	30
4. Materiais e métodos.....	33
4.1. Caracterização do experimento	33
4.1.1. Teste de redução de peso e volume.....	34
4.1.2. Experimento de germinação de sementes de alface.....	35
4.1.3. Delineamento experimental da germinação.....	35
4.1.4. Coleta de resultados.....	36
4.1.5. Condições de crescimento	37
5. Resultados e discussão.....	39
5.1. Teste de redução de peso e volume	39
5.2. Análise laboratorial da matéria seca para determinação dos teores de nutrientes.....	39
5.2.1. Carbono Orgânico Total (C) e Nitrogênio (N).....	40
5.2.2. Cálcio (Ca), Enxofre (S), Fósforo (P), Potássio (K) e Magnésio (Mg)	41
5.2.3. Metais pesados	42
5.3. Experimento de germinação	43
5.3.1. Análise dos resultados	45
5.3.2. Análise de gráficos	52
5.4. Uso de <i>E. crassipes</i> como substrato	55
5.5. Logística do uso da gigoga	57
6. Conclusão.....	61
7. Referência bibliográfica.....	62
8. Apêndice.....	69

Lista de tabelas

Tabela 1 - Informações técnicas do substrato comercial <i>Carolina Soil</i>	37
Tabela 2 - Análise química de matéria seca de <i>Eichhornia crassipes</i> realizada pelo laboratório IBRA – Instituto Brasileiro de Análises em setembro de 2024	40
Tabela 3- Sementes de alface (<i>Lactuca sativa</i>) germinadas e percentual de germinação em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i>	44
Tabela 4- Resultados do teste de Shapiro-Wilk para os parâmetros pesos total, aéreo e de raiz, número de folhas e comprimento de raiz e aéreo de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i>	46
Tabela 5 - Resultados dos testes de Kruskal Wallis e Dunn para o peso total de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.....	47
Tabela 6- Resultados dos testes de Kruskal Wallis e Dunn para o peso de raiz de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.....	47
Tabela 7- Resultados dos testes de Kruskal Wallis e Dunn para o peso aéreo de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.....	47
Tabela 8 - Resultados dos testes de Kruskal Wallis e Dunn para o número de folhas de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente	48
Tabela 9 - Resultados dos testes de Anova e Tuckey para o comprimento raiz de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.....	48
Tabela 10- Resultados dos testes de Anova e Tuckey para o comprimento aéreo de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.....	49

Tabela 11- Efeito de diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> no cultivo de alface (<i>Lactuca sativa</i>), colhido aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.....	51
Tabela 12 - Quantitativo de peso e viagens realizadas para o recolhimento e transporte de <i>E. crassipes</i> acumuladas nas ecobarreiras do Itanhangá, Arroio Fundo, Canal do Anil, Pavuninha e Arroio Pavuna nos anos de 2021,2022 e 2023.	57
Tabela 13 - Custos de combustível para o percurso de transporte de resíduos coletados nas ecobarreiras do sistema lagunar de Jacarepaguá para o aterro sanitário de Seropédica, RJ.....	58
Tabela 14 - Comparativo de custos e logística entre diferentes métodos de manejo e transporte de biomassa de gigoga	60
Tabela 15 - Médias, desvio padrão e coeficiente de variação referentes aos parâmetros peso total, aéreo e de raiz, comprimento aéreo e de raiz e número de folhas de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em 100% de areia, das coletas realizadas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência e analisadas conjuntamente.	69
Tabela 16 - Médias, desvio padrão e coeficiente de variação referentes aos parâmetros peso total, aéreo e de raiz, comprimento aéreo e de raiz e número de folhas de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em 50% gigoga/ 50% substrato, das coletas realizadas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência e analisadas conjuntamente.....	70
Tabela 17 - Médias, desvio padrão e coeficiente de variação referentes aos parâmetros peso total, aéreo e de raiz, comprimento aéreo e de raiz e número de folhas de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em 100% substrato, das coletas realizadas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência e analisadas conjuntamente.	70
Tabela 18 - Médias, desvio padrão e coeficiente de variação referentes aos parâmetros peso total, aéreo e de raiz, comprimento aéreo e de raiz e número de folhas de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em 25% gigoga/ 75% substrato, das coletas realizadas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência e analisadas conjuntamente.....	71

Lista de figuras

Figura 1- Mapeamento de lagoas localizadas na Baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro. Em vermelho, área considerada Baixada de Jacarepaguá e suas 5 lagoas. Fonte: Google Earth.....	29
Figura 2- Imagem de acúmulo de gigogas em área assoreada na Lagoa da Tijuca, Complexo Lagunar de Jacarepaguá. Fonte: autoria própria, 2024.....	30
Figura 3- Mapeamento de ecobarreiras operadas pelo INEA no Complexo Lagunar de Jacarepaguá	31
Figura 4- Acúmulo de gigogas na ecobarreira do Itanhangá.....	32
Figura 5- Operação de coleta da macrófita na ecobarreira do Itanhangá.....	32
Figura 6- Espécie vegetal coletada na Lagoinha das Taxas, RJ.....	33
Figura 7- <i>Eichhornia crassipes</i> nas margem da Lagoinha das Taxas, RJ, secando sobre lona para evitar contaminação.....	34
Figura 8- Desenvolvimento dos brotos em coleta 13 DAE	37
Figura 9- <i>Eichhornia crassipes</i> após duas semanas secando em temperatura ambiente.....	38
Figura 10- Substrato de <i>Eichhornia crassipes</i> após secagem em temperatura ambiente e trituração em máquina forrageira.....	38
Figura 11- Evolução do peso total (gramas) de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência	52
Figura 12- Evolução do peso aéreo (gramas) de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência	53
Figura 13- Evolução do peso raiz (gramas) de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência	53
Figura 14- Evolução do comprimento raiz (centímetros) de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.	54
Figura 15- Evolução do comprimento aéreo (centímetros) de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.....	55

Figura 16- Evolução do número de folhas de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial <i>Carolina Soil</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência	55
Figura 17- Diagrama da operação de manejo da <i>Eichhornia crassipes</i> empregado pelo poder público nas ecobarreiras localizadas no complexo lagunar de Jacarepaguá.	58
Figura 18- Diagrama de entradas e saídas do sistema de gestão proposta com aproveitamento da biomassa de <i>Eichhornia crassipes</i>	60

1. Introdução

A utilização da macrófita aquática *Pontederia crassipes*, também conhecida por *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms e popularmente conhecida como "aguapé", "gigoga" ou "jacinto-d'água" (Souza & Lorenzi, 2005), se destaca na literatura como uma alternativa eficaz para a fitorremediação da poluição aquática (Palma- Silva *et al.*, 2012; Câmara *et al.*, 2015). Amplamente distribuída em todo o território brasileiro, essa macrófita pertence à família Pontederiaceae que se reproduz por sementes, viáveis por pelo menos 15 anos no sedimento dos corpos d'água (Holm & Yeo, 1980), e de forma assexuada por estolões. Nativa da região Amazônica, a espécie foi disseminada globalmente por conta da beleza ornamental de suas flores (Szymanski, 2011). Com alta capacidade de crescimento, multiplicação e fácil obtenção, a gigoga se mostra promissora para diversas aplicações, como produção de compostos orgânicos, substratos para plantas, aumento da matéria orgânica no solo e fornecimento de nutrientes para cultivos (AGEI, 2017).

O complexo lagunar de Jacarepaguá, localizado na baixada de Jacarepaguá, RJ, possui forte presença da gigoga. O desenvolvimento de alta biomassa da macrófita aquática é frequentemente associado à elevada concentração de nutrientes dissolvidos no meio (Petruccio, 2000). O elevado aporte de nutrientes nas lagoas e rios da baixada de Jacarepaguá se dá devido à falta de infraestrutura de saneamento básico na região. As lagoas encontram-se em acelerado processo de assoreamento, se até a década de 1980 a profundidade alcançava dois metros, atualmente chega a atingir apenas 10 centímetros, em algumas áreas em determinadas épocas do ano (Portella, 2001). A troca hídrica com o mar é prejudicada e favorece a expansão da macrófita de água doce nos rios e lagoas.

O manejo atual da gigoga no complexo lagunar de Jacarepaguá é realizado por órgãos como COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana), INEA (Instituto Estadual do Ambiente) e Fundação Rio-Águas, e consiste na remoção dos corpos d'água e descarte da biomassa ainda fresca no aterro metropolitano de Seropédica, localizado a cerca de 70 quilômetros dos pontos de coleta. Esse processo gera custos expressivos além de impactos ambientais significativos, como a emissão de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso) e

a produção de chorume, um lixiviado que precisa ser tratado antes do descarte em corpos hídricos (Wang et al., 2016; Lee et al., 2017; Lins et al., 2020). Apesar das medidas de mitigação, como drenos para coleta e queima de gases, parte dessas emissões escapa para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global.

Para redução de custos e impacto ambiental, alternativas de aproveitamento dessa biomassa podem ser implementadas, como na produção de papel e biogás, na alimentação de animais e na fertilização de solos (Pieterse & Murphy, 1990; El-Sayed, 1999). Essas práticas oferecem benefícios econômicos, ambientais ao reduzir emissões de gases de efeito estufa, diminuir o volume de resíduos enviados aos aterros sanitários e promover a preservação dos recursos naturais.

Neste contexto, foi realizado um experimento para calcular a redução de peso e volume da macrófita sob temperatura ambiente para otimizar a operação de manejo atualmente utilizada pelos órgãos públicos. Foram realizadas análises químicas da matéria seca de aguapé com o intuito de averiguar se as concentrações de macro, micronutrientes e metais pesados se encaixam dentro dos padrões seguros para sua utilização como substrato. Posteriormente foram utilizadas sementes de alface (*Lactuca sativa*), para avaliar a eficiência do substrato derivado da *E. crassipes* e o potencial para aplicação em hortas urbanas. A cultura é largamente difundida no Brasil, sendo considerada a hortaliça folhosa mais consumida no país, destacando-se como cultura de grande importância econômica e alimentar (Resende et al., 2003). A escolha da planta de alface se deu devido à ampla aceitação como hortaliça de consumo rápido e pela viabilidade de cultivo em espaços urbanos restritos, é uma espécie frequentemente empregada em estudos para testar substratos e adubações devido ao rápido crescimento e ciclo curto. Foi realizada a análise comparativa do ponto de vista econômico e ambiental entre o método de manejo atualmente empregado pelos órgãos públicos e o método sugerido por este estudo.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Analisar a viabilidade econômica e ambiental do aproveitamento da biomassa de gigogas (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) no Complexo de Lagoas de Jacarepaguá na região metropolitana do Rio de Janeiro, a relação custo/benefício da produção de biomassa para uso como substrato e atual manejo da macrófita adotada pela COMLURB/ INEA / Fundação Rio-Águas.

2.2. Objetivos específicos

1. Avaliar a produção de biomassa e eficácia como substrato.
 - 1.1. Relacionar o peso e volume de biomassa fresca / biomassa seca na temperatura ambiente.
 - 1.2. Determinar os macronutrientes e metais pesados da matéria seca.
 - 1.3. Incorporar diferentes proporções de substrato de biomassa de *E. crassipes* / substrato comercial na germinação de semente de hortaliça e verificar os efeitos no crescimento das plantas de alface.
2. Avaliar os custos e infraestrutura do processo proposto à expectativa de aplicação.
 - 2.1. Verificar os custos e infraestrutura do atual manejo da macrófita aquática realizada pela COMLURB/ INEA / Fundação Rio-Águas.
 - 2.2. Determinar a viabilidade do processo proposto e realizar a comparação com o manejo atual.

3. Revisão da literatura

3.1 A macrófita aquática *Eichhornia crassipes*

A macrófita é constituída de 95% de água e possui aerênquimas em toda a estrutura (Souza & Lorenzi, 2005). O peso específico da *E. crassipes* é inferior a 1,0 g/cm³ e por isto, permanece suspensa na superfície do lago ou fixa no solo

onde a água é mais rasa (Souza & Lorenzi, 2005). Os aguapés possuem folhas redondas, grandes e brilhantes. O sistema radicular funciona como um filtro mecânico e adsorve material particulado orgânico e mineral, cria um ambiente rico em atividades de fungos e bactérias, e passa a ser um agente de despoluição e reduz a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a taxa de coliformes fecais e a turbidez das águas poluídas (Sirtoli, 2001). Entretanto, a alta capacidade de proliferação dos aguapés em razão do elevado aporte de nutrientes em lagos e rios eutrofizados, torna a espécie um problema quando ocupa grandes áreas da lâmina d'água. Desse modo, provou ser um custo econômico e ecológico significativo para muitas regiões subtropicais e tropicais do mundo.

A gigoga é uma planta de água doce flutuante (mas às vezes enraizada) que sobre estresse salino, a produção de massa fresca da macrófita reduz significativamente (Sacramento *et al.*, 2013). Em ambientes altamente eutrofizados, é criado um tapete verde que impede a luz solar de alcançar a água, que ocasiona a mortandade de peixes devido à baixa oxigenação, e também traz problemas para as usinas hidrelétricas, pescadores, prejudica a navegação e favorece a formação de criadouros de mosquitos.

Além disso, um lago coberto por aguapés perde de duas a oito vezes mais água por evapotranspiração quando comparado com a lâmina d'água sem a presença numerosa da macrófita (Sirtoli, 2001).

3.1.2 Uso da biomassa seca de *E. crassipes*

O aguapé está listado como uma das plantas mais produtivas do planeta e apresenta crescimento logístico, assim como outras ervas daninhas aquáticas flutuantes (Holm *et al.*, 1991). A macrófita apresenta potencial de reprodução significativa, podem aumentar a área de cobertura em 15% ao dia, dobrando-a a cada seis ou sete dias (Hoyer *et al.*, 1996).

O estudo de Prasetyo *et al.* (2021) realizado em ambientes eutrofizados, como o Lago Rawapening, em Java, Indonésia, destacou uma taxa relativa de crescimento da macrófita de 6,40 a 7,26% por dia. A *E. crassipes* possui alta capacidade de absorção de nutrientes e poluentes, o que a torna eficaz na remoção de metais pesados e outros contaminantes da água (Jafari, 2010).

Após a coleta e secagem, a matéria seca dessa planta pode ser utilizada

como um fertilizante orgânico rico em nutrientes, contribuindo para a fertilidade do solo. Estudos demonstram que o aguapé é facilmente transformado em composto, apresenta uma boa capacidade fertilizante quando aplicado em cultivos agrícolas como apontado por Gomes e Souza (2016), Pereira e Nascimento (2010) e Oliveira e Silva (2018).

De acordo com Mees (2006), o aguapé demonstrou ser uma alternativa viável para a compostagem, com resultados positivos em termos de produtividade quando utilizado como adubo em plantios de trigo. A pesquisa revelou que o composto fermentado com esterco de galinha apresentou os melhores resultados em termos de produtividade, destacando a eficácia do aguapé como um componente no enriquecimento do solo (Mees, 2006).

Além disso, a análise do ciclo de vida da compostagem do aguapé indicou que essa prática não apenas reduziu o impacto ambiental causado pela macrófita, mas também ofereceu uma solução sustentável para a gestão de resíduos orgânicos. A compostagem do aguapé gera menos emissões de gases de efeito estufa em comparação com seu descarte em aterros sanitários (Paula, 2022).

Embora o uso do aguapé como adubo apresente benefícios agrônômicos significativos, estudos indicam que os custos associados à sua produção e compostagem podem ser um desafio para sua comercialização em larga escala. A viabilidade econômica do uso do aguapé como fertilizante depende da implementação de sistemas eficientes de coleta e processamento (Gomes *et al.*, 2010).

3.2 Complexo Lagunar de Jacarepaguá

O sistema lagunar de Jacarepaguá, localizado na zona oeste do município do Rio de Janeiro, é composto por cinco lagoas em processo de assoreamento acelerado e eutrofização consolidada. A bacia hidrográfica de Jacarepaguá abrange cerca de 300 km² com uma população estimada da bacia é de aproximadamente 500.000 habitantes que corresponde a 10% do município do Rio de Janeiro (INEA, 2019).



Figura 1- Mapeamento de lagoas localizadas na Baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro. Em vermelho, área considerada Baixada de Jacarepaguá e suas 5 lagoas. Fonte: elaborado pela autora com base na imagem de satélite do Google Earth.

A Lagoa da Tijuca (Figura 2) é a mais comprometida das lagoas da região, em relação à qualidade das águas. Na década de 1980 a profundidade alcançava dois metros, atualmente chega a atingir apenas 10 centímetros, em algumas áreas em dadas épocas do ano (Portella, 2001). Ocorre, principalmente, devido ao lançamento de esgoto sem tratamento preliminar que contribui para acelerar o processo de eutrofização natural da lagoa, o que leva ao estado de hipertrofização (SEMADS, 2001). O esgoto é despejado *in natura* na água e é acumulado no fundo da lagoa, causa assoreamento e libera grande quantidade de fósforo e nitrogênio, nutrientes importantes para o crescimento de plantas aquáticas, como as aguapés (Hough, 2000).

A rápida ocupação urbana da Barra da Tijuca, balizada pela especulação imobiliária voltada para as altas classes de renda, e também pelas menos favorecidas, provocou o surgimento de aterros indiscriminados e a ocupação regular e irregular das margens de rios e lagoas. Esse fato, ocorre sem que a região disponha de infraestruturas de saneamento para a coleta e o tratamento do esgoto de forma universalizada, o que compromete a qualidade ambiental e econômica da região.



Figura 2- Imagem de acúmulo de gigogas em área assoreada na Lagoa da Tijuca, Complexo Lagunar de Jacarepaguá. Fonte: acervo pessoal, 2024.

3.2.2 Gestão da *E. crassipes* (Fundação Rio-Águas/INEA)

Uma das soluções provisórias encontradas pelo Estado e Município do Rio de Janeiro para conter os resíduos sólidos urbanos e vegetais foi o uso ecobarreiras na foz dos rios e em alguns pontos estratégicos nas lagoas (Figura 3) para se evitar a invasão destes resíduos na praia da Barra da Tijuca e facilitar a coleta dos mesmos. Atualmente a Fundação Rio-Águas na esfera municipal em parceria com o INEA da esfera estadual, gerenciam a remoção da macrófita acumulada nos pontos de ecobarreira que são estruturas de contenção flutuantes ancoradas nas margens dos rios cuja função é conter a maior parte dos detritos que acompanham a vazão do rio (INEA, 2019).



Figura 3- Mapeamento de ecobarreiras operadas pelo INEA no Complexo Lagunar de Jacarepaguá. Fonte: elaborado pela autora com base na imagem de satélite do Google Earth.

Com os resíduos acumulados em pontos estratégicos dos rios (Figura 04), é realizada uma operação de remoção da biomassa e resíduos sólidos do espelho d'água e transferência para um local apropriado empregada pela COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana), INEA (Instituto Estadual do Ambiente) e Fundação Rio-Águas. Foram utilizados os dados fornecidos pelo INEA, referentes à logística das ecobarreiras operadas pelo Instituto.

A logística da operação inicia-se com a remoção do material por uma retroescavadeira (Figura 5), que o deposita diretamente em caminhões basculante com capacidade de 12m³ ou em caçambas *rollon rollof* de 35m³. Esses veículos transportam o resíduo até o aterro sanitário mais próximo, localizado em Seropédica, a aproximadamente 70 quilômetros dos pontos de coleta no complexo lagunar



Figura 4- Acúmulo de gigogas na ecobarreira do Itanhangá. Fonte: acervo pessoal, 2021.



Figura 5- Operação de coleta da macrófita na ecobarreira do Itanhangá. Fonte: acervo pessoal, 2021.

A operação atual demonstra-se insustentável a longo prazo, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, apresentando elevados custos operacionais e impactos negativos como a emissão de gases de efeito estufa. Este projeto propõe um modelo alternativo que alia sustentabilidade e economia, propõe métodos práticos, acessíveis e que dispensam o uso de grandes maquinários, contribui para uma gestão mais responsável dos recursos disponíveis.

4. Materiais e métodos

4.1. Caracterização do experimento

A *Eichhornia crassipes* foi coletada no Parque Municipal Chico Mendes, localizado nas coordenadas 23° 00' 48.5" S, 43° 26' 41.3" O, às margens da Lagoinha das Taxas, no bairro do Recreio dos Bandeirantes, zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil (Figura 6). O Parque possui uma ecobarreira operada pela Fundação Rio-Águas, onde há uma equipe que coleta diariamente o excesso da macrófita. A escolha do local foi baseada na disponibilidade do material e na logística de coleta que contou com o apoio do Parque e da equipe da Fundação Rio-Águas.



Figura 6- Espécie vegetal coletada na Lagoinha das Taxas, RJ. Fonte: acervo pessoal, 2024.

Em junho de 2024, com intervalo de dez dias, foram realizadas três coletas da biomassa (4,20 kg, 3,92kg, 3,52kg). A cada coleta, o material foi lavado em água corrente para remoção de resíduos e invertebrados, e seco em estufa de circulação de ar forçado a 50 graus Celsius durante seis dias até atingir peso seco constante. Em seguida, o envio do material seco para análise laboratorial para determinar os teores de macronutrientes (metodologia ESALQ/USP- Avaliação do

Estado Nutricional das Plantas Princípios e Aplicações, 1997) e metais pesados (metodologia EPA- preparo: EPA METHOD 3051 A Rev.01/2007).

4.1.1. Teste de redução de peso e volume

Para analisar o percentual de redução de peso do aguapé (*E.crassipes*) na temperatura ambiente, foram realizados testes de secagem da biomassa. Foram coletados 20 kg de biomassa fresca, que foram lavados em água corrente para remover resíduos, como artrópodes e detritos, garantindo a limpeza do material. A biomassa foi deixada para secar ao ar livre até atingir uma estabilização de peso, indicada por uma variação desprezível ao longo do tempo (Figura 7). Durante o tempo de secagem, houveram dias de instabilidade metereológica nos quais foi necessário o recolhimento da biomassa para local coberto.



Figura 7- *Eichhornia crassipes* nas margem da Lagoinha das Taxas, RJ, secando sobre lona para evitar contaminação. Fonte: acervo pessoal, 2024.

Com base no peso específico estimado da biomassa fresca, de 1 g/cm^3 (Delaqua, 2016), o volume inicial da biomassa foi calculado como cerca de 20.000 cm^3 . Essa estimativa do volume inicial permitiu planejar a quantidade de biomassa verde necessária para experimentos futuros, otimizando o uso do material e ajuste

de uma metodologia. Após a secagem, foi possível determinar a redução percentual de peso, fornecendo informações fundamentais para avaliações posteriores e aplicações práticas.

4.1.2. Experimento de germinação de sementes de alface

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com controle parcial de temperatura, umidade e luminosidade, visou simular condições típicas de cultivo protegido. Os materiais utilizados no experimento incluíram sementes de *Lactuca sativa* (alface) do tipo *Grand rapids* da marca *Topseed*, biomassa seca de *E. crassipes*, previamente coletada, desidratada e triturada, e substrato comercial *Carolina Soil* para horticultura. Além disso, foi empregada areia lavada de granulometria média como tratamento de controle. Foram utilizadas duas bandejas de germinação de isopor de 128 células e o controle de irrigação foi realizado diariamente. Para as medições, utilizou-se uma régua milimetrada e balança de precisão digital Bioprecisa FA-2104N. Os resultados foram organizados em planilhas específicas para análise posterior.

4.1.3. Delineamento experimental da germinação

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados. Seis tratamentos foram estabelecidos com diferentes proporções de gigoga e substrato comercial, além de um tratamento controle com 100% areia:

- T1. 100% Areia (controle)
- T2. 100% Biomassa seca de *E. crassipes*.
- T3. 100% Substrato comercial.
- T4. 25% Substrato comercial / 75% Biomassa seca de *E. crassipes*.
- T5. 50% Substrato comercial / 50% Biomassa seca de *E. crassipes*.
- T6. 75% Substrato comercial / 25% Biomassa seca de *E. crassipes*.

Durante o experimento cada tratamento foi composto por 10 repetições e foram realizadas três coletas em diferentes estágios, totalizando 180 unidades experimentais. Foram plantadas quatro sementes por unidade amostral totalizando

120 sementes plantadas por tratamento.

A análise de resultados foi realizada no *software* de bioestatística *R Core Team*, 2024. Os resultados coletados de peso total, peso da parte aérea, peso radicular, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz e de folhas passaram pelo teste de normalidade de dados Shapiro-Wilk para avaliar se seriam tratados por meio de testes paramétricos ou não paramétricos. Foi analisada a existência de relação entre os fatores coleta e tratamento. Foram realizados os mesmos testes considerando todas as dez repetições e excluindo uma repetição com maior desvio padrão.

4.1.4. Coleta de resultados

A determinação do experimento foi baseada na avaliação do desenvolvimento das sementes de *Lactuca sativa* ao longo de três momentos distintos, considerando o percentual de emergência e as características morfológicas e biométricas das plântulas. O percentual de emergência foi monitorado diariamente desde a semeadura até a estabilização da germinação, sendo calculado pela relação entre o número de sementes germinadas e o total de sementes semeadas em cada tratamento.

A Coleta 1 foi realizada no momento em que as plântulas apresentaram o primeiro par de folhas verdadeiras, ocorrido 13 dias após a emergência (DAE). Nessa fase (Figura 8), foram mensurados o número de folhas, o comprimento da raiz e da parte aérea, além do peso de massa fresca, peso da parte aérea e peso da raiz com o objetivo de avaliar o crescimento inicial das plântulas e a influência dos diferentes substratos nesse estágio.

A Coleta 2 ocorreu 21 DAE, uma semana após a coleta anterior. Nesta etapa, os mesmos parâmetros foram analisados permitindo o acompanhamento da evolução do crescimento ao longo do tempo e a resposta das plântulas aos tratamentos.

A Coleta 3 foi realizada no ponto de transplante em 27 DAE. Nessa coleta, além das medições de comprimento da raiz e parte aérea e do peso de massa fresca, peso aéreo, peso raiz e número de folhas, foi avaliada a uniformidade das plântulas, considerando sua aptidão para o transplante, de acordo com as características desejáveis.



Figura 8- Desenvolvimento dos brotos em coleta 13 DAE. Fonte: acervo pessoal, 2024.

4.1.5. Condições de crescimento

As sementes de alface *Grand Rapids* foram cultivadas em sementeira de isopor com 128 células, cada uma com 23,6 ml de volume, 3,5 cm por 3,5 cm de dimensões. A biomassa seca de *E. crassipes* foi coletada na Lagoinha das Taxas, RJ, lavadas com água corrente e secas em temperatura ambiente durante duas semanas, até estabilizar o peso (Figura 9). Posteriormente, foram trituradas por meio de máquina forrageira CID-TRIT75L com peneira galvanizada de 5 mm (Figura 10). Em conjunto, também foi utilizado o substrato comercial para hortaliças *Carolina Soil* (Tabela 1).

Tabela 1 - Informações técnicas do substrato comercial *Carolina Soil*.

Condutividade Elétrica (ms/cm)	0,7 +/- 0,3
Capacidade de Retenção de Água (%)	55
Umidade máxima (%)	50
Densidade (kg/m ³)	145
ph	5.5 +/- 0,5



Figura 9- *Eichhornia crassipes* após duas semanas secando em temperatura ambiente. Fonte: acervo pessoal, 2024.



Figura 10- Substrato de *Eichhornia crassipes* após secagem em temperatura ambiente e trituração em máquina forrageira. Fonte: acervo pessoal, 2024.

5. Resultados e discussão

5.1. Teste de redução de peso e volume

Para estimar o volume da biomassa seca de *E. crassipes* após a secagem, utilizou-se o método de redução de peso e volume inicial. A biomassa apresentava peso de 20 kg e volume de 20.000 cm³, resultando em uma densidade de 1 g/cm³. Após o período de secagem ao ar livre de duas semanas, observou-se redução de 86,25% no peso, atingiu o peso final constante de 2,75 kg. A redução de peso está diretamente relacionada à perda de água, e considerando que a densidade da água é 1 g/cm³, pode inferir que a redução de volume da biomassa é proporcional à perda de peso. Portanto, a redução de volume foi calculada como 86,25% de 20.000 cm³, resultando em uma diminuição de 17.250 cm³. Conseqüentemente, o volume final da biomassa seca foi de 2.750 cm³.

Importante resaltar que para a secagem foi necessário espalhar os indivíduos sobre uma lona e removê-los da área exposta em dias de chuva. Para o teste de redução de volume em estufa, o peso recolhido das três amostras foi de 4,20 kg, 3,92kg, 3,52kg que após secagem resultaram em 1,09kg, 1,45kg, 1,10kg, respectivamente. A média de redução do peso original para a matéria seca foi de 97%. No estudo de Tolentino e Lantican (2020), foi demonstrado que as temperaturas do ar de secagem influenciam significativamente as taxas médias de secagem, resultando em redução expressiva do peso e volume da *E. crassipes*, enquanto as taxas de fluxo de ar afetaram principalmente as taxas médias de secagem das amostras.

5.2. Análise laboratorial da matéria seca para determinação dos teores de nutrientes

A análise da macrófita em relação à composição química (Tabela 2), incluiu os nutrientes carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), revelou um potencial como insumo agrícola. Os parâmetros de referência utilizados para avaliação foram baseados nas características típicas de biomassa vegetal e adubos orgânicos.

Tabela 2 - Análise química de matéria seca de *Eichhornia crassipes* realizada pelo laboratório IBRA – Instituto Brasileiro de Análises em setembro de 2024.

	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03
Peso fresco	4,20 kg	3,92kg	3,52kg
Matéria seca	109g	145g	110g
Carbono orgânico total	34,45%	35,93%	36,04%
Nitrogênio	31,76 g/kg	33,27 g/kg	33,84 g/kg
Fósforo	12,42 g/kg	11,37 g/kg	10,62 g/kg
Potássio	52,5 g/kg	52,5 g/kg	47,5 g/kg
Cálcio	15,25 g/kg	18 g/kg	16 g/kg
Magnésio	7 g/kg	7,5 g/kg	6,5 g/kg
Enxofre	5,75 g/kg	5,75 g/kg	5,69 g/kg
Chumbo	ND	ND	ND
Mercúrio	ND	ND	ND
Zinco	94,33 mg/kg	74,73 mg/kg	96,01 mg/kg
Cobre	9,58 mg/kg	7,59 mg/kg	9,38 mg/kg

* Não detectado = ND

5.2.1. Carbono Orgânico Total (C) e Nitrogênio (N)

O teor de carbono orgânico total (C) indica a quantidade de matéria orgânica disponível para o solo. Foi encontrado em níveis de 34,45% a 36,04%. Para materiais orgânicos adequados, é recomendada uma concentração de carbono entre 30% e 40%, o que coloca a gigoga dentro da faixa ideal para promover a melhoria da estrutura do solo (Brady & Weil, 2008). No trabalho de Nascimento (2021), a biomassa *in natura* da *E. crassipes* apresentou aproximadamente 38% de carbono, enquanto a biomassa tratada com ácido nítrico manteve valores próximos, entre 37% e 39%, indicando uma composição rica em carbono típica de material vegetal.

Em relação ao nitrogênio (N), que é crucial para o crescimento vegetal e a formação de proteínas, os teores encontrados variaram de 31,76 a 33,84 g/kg. Estudos realizados no Pantanal e em outras regiões indicam que a planta apresenta teores de nitrogênio variando entre 1% e 2,4% do peso seco, conforme observado por Abdo (2004) e Henry-Silva & Camargo (2002). Essas variações refletem as condições ambientais e o local de coleta da biomassa, conforme demonstrado em análises químicas detalhadas da composição da planta em sistemas naturais e de tratamento de efluentes (Abdo, 2004; Henry-Silva & Camargo, 2002). Para materiais vegetais utilizados no preparo de compostos orgânicos, os valores da macrófita se aproximam do esterco de galinha com 30,4 g/kg e folhas de mandioca com 43,5 g/kg (Kiehl, 1981), o que indica que a gigoga pode ser uma fonte rica e

eficiente de nitrogênio.

A relação C/N varia entre 10,18 e 11,35, valores baixos que indicaram que a macrófita é relativamente rica em nitrogênio em relação ao carbono, o que favorece uma decomposição rápida. A decomposição rápida da *E. crassipes* ocorre devido à sua composição química rica em nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, além de uma baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), o que favorece a atividade microbiana e acelera a mineralização da matéria orgânica (Quintão, 2012; Pereira, 2022). Biologicamente, a planta apresenta alta taxa de crescimento e renovação constante da biomassa, gerando grande quantidade de material orgânico disponível para decomposição, enquanto as condições ambientais aquáticas, especialmente em reservatórios eutrofizados, proporcionam temperatura, oxigenação e nutrientes ideais para a proliferação de decompositores, como bactérias e fungos, que promovem a rápida degradação da biomassa (Pereira, 2022).

5.2.2. Cálcio (Ca), Enxofre (S), Fósforo (P), Potássio (K) e Magnésio (Mg)

O cálcio (Ca) na planta é responsável pela alongação celular e pela absorção de outros nutrientes (Bissani; Anghinoni, 2004), foi detectado entre 15,25 e 18 g/kg. A literatura recomenda que fertilizantes orgânicos tenham entre 10 e 20 g/kg de cálcio (Brady & Weil, 2008).

O enxofre (S), necessário para a síntese de proteínas e aminoácidos, foi encontrado na concentração de 5,7 g/kg. Adubos orgânicos com teores de enxofre entre 3 e 6 g/kg são considerados ideais, colocando a gigoga dentro da faixa recomendada (Malavolta, 2006).

Os níveis de fósforo (P), importante para o desenvolvimento radicular e a produção de sementes, ficaram entre 10,62 e 12,42 g/kg. Adubos orgânicos geralmente apresentam teores de fósforo entre 5 e 15 g/kg, e os valores encontrados estão dentro da faixa recomendada, sugerindo que a gigoga é uma boa fonte desse nutriente (Hochmuth et al., 2012).

O potássio (K), essencial para a regulação osmótica e o fortalecimento das plantas, é requerido em grandes quantidades, similares ao nitrogênio pelas plantas (Meurer; Inda Jr., 2004), foi encontrado entre 47,5 e 52,5 g/kg. Em relação ao magnésio (Mg), essencial para a fotossíntese, a gigoga apresentou valores de 6,5 a

7,5 g/kg. Fertilizantes orgânicos geralmente têm entre 5 e 10 g/kg de magnésio, o que está dentro da faixa adequada para atender às demandas das plantas (Marschner, 2012).

Os valores encontrados para cálcio (Ca) 1,525% a 1,8%, fósforo (P) entre 1,062% a 1,242%, potássio (K) entre 4,75% a 5,25% e magnésio (Mg) entre 0,65% a 0,75% nas amostras analisadas estão acima dos valores mínimos garantidos para fertilizantes orgânicos segundo a Instrução Normativa SDA nº 23/2005, aprovada pelo CONAMA, que estabelece garantias mínimas para macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) em fertilizantes sólidos em torno de 1% para Ca e Mg. Portanto, os teores de Ca e Mg estão dentro ou acima da faixa mínima exigida, indicando que a biomassa da gigoga pode ser considerada adequada para uso como fertilizante orgânico nesses aspectos (BRASIL, 2005).

5.2.3. Metais pesados

A análise da *E. crassipes* também incluiu a detecção de metais pesados e outros elementos como zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg), importantes para avaliar o risco ambiental e a segurança para o uso agrícola. O zinco é um micronutriente essencial para o crescimento das plantas, desempenhando um papel crucial em processos enzimáticos e na síntese de proteínas. Para fertilizantes orgânicos, os teores de zinco ideais devem ser inferiores a 100 mg/kg, com a faixa recomendada entre 50 e 100 mg/kg (Marschner, 2012). Os níveis encontrados variaram entre 74,73 mg/kg e 96,01 mg/kg, o que indica que esses valores estão dentro da faixa ideal para uso agrícola, sem risco de toxicidade para as plantas.

O cobre, outro micronutriente essencial necessário para a fotossíntese e o metabolismo celular, deve ser encontrado em materiais orgânicos para fertilização em concentrações abaixo de 50 mg/kg, conforme os padrões de segurança agrícola (Brady & Weil, 2008). A concentração de cobre variou entre 7,59 mg/kg e 9,58 mg/kg, valores que estão bem abaixo do limite recomendado, eliminando o risco de toxicidade para as plantas.

O chumbo é um metal pesado altamente tóxico, sem função benéfica para as plantas, e sua presença em materiais agrícolas deve ser mínima ou ausente. Qualquer concentração acima de 10 mg/kg pode indicar contaminação e risco para o ambiente (Marschner, 2012). A ausência de chumbo é positiva, uma vez que

confirma que a biomassa não apresenta risco de contaminação por esse metal pesado.

O mercúrio, outro metal pesado altamente tóxico, deve ser ausente em materiais orgânicos para garantir a segurança ambiental. De acordo com os parâmetros estabelecidos, qualquer concentração acima de 0,2 mg/kg de mercúrio pode representar um risco à saúde pública e ao meio ambiente (Brady & Weil, 2008). A ausência de mercúrio na macrófita também é um indicativo de que a biomassa está livre de contaminação por esse metal pesado. Comparando esses resultados com os limites máximos estabelecidos pela Instrução Normativa SDA nº 27/2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), observa-se que os teores de zinco e cobre estão dentro dos parâmetros aceitáveis, uma vez que não há limites máximos específicos para esses micronutrientes essenciais, embora seu excesso seja monitorado para evitar fitotoxicidade. Além disso, a ausência de chumbo e mercúrio, cujos limites máximos são 150 mg/kg e 1 mg/kg respectivamente, reforça a segurança do uso dessa biomassa como fertilizante orgânico, sem risco de contaminação por esses metais pesados tóxicos. Portanto, a composição química da gíoga está adequada aos padrões legais vigentes, indicando seu potencial para aplicação agrícola sem implicações ambientais negativas (BRASIL, 2006).

5.3. Experimento de germinação

A germinação de sementes é um processo sensível e fundamental para o estabelecimento das plantas, sendo influenciada diretamente pela qualidade do substrato utilizado, que deve fornecer condições adequadas de umidade, aeração e nutrientes (Silva *et al.*, 2017). Estudos têm investigado substratos alternativos, como aqueles produzidos a partir da biomassa de macrófitas aquáticas, incluindo a *E. crassipes* devido ao seu potencial de melhorar as propriedades físicas e químicas do substrato, além de promover a sustentabilidade na agricultura (Nascimento *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2019).

A germinação das sementes variou entre os tratamentos. O tratamento com 100% areia (Tabela 3) apresentou o melhor desempenho, com uma taxa de germinação de 71,6%, correspondendo a 86 sementes germinadas. Em seguida, o 100% substrato alcançou uma taxa de 65,83% (79 sementes germinadas). Por

outro lado, os tratamentos com 100% gigoga e 75% gigoga/ 25% substrato não apresentaram nenhuma germinação. Os tratamentos contendo gigoga em proporções menores apresentaram resultados intermediários. O tratamento com 50% gigoga/ 50% substrato apresentou uma taxa de germinação de 30% (36 sementes germinadas), enquanto o tratamento com 25% gigoga/ 75% substrato obteve 52,5% (63 sementes germinadas).

Tabela 3 - Sementes de alface (*Lactuca sativa*) germinadas e percentual de germinação em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes*.

Tratamentos	Sementes	% Germinação
100% Areia	86	71,6
100% Gigoga	0	0
100% Substrato comercial	79	65,83
75% Gigoga / 25% Substrato comercial	0	0
50% Gigoga / 50% Substrato comercial	36	30
25% Gigoga / 75% Substrato comercial	63	52,5

O melhor desempenho do tratamento composto por 100% areia pode ser explicado pois a mesma possui excelente capacidade de drenagem e aeração, prevenindo o encharcamento e garantindo a disponibilidade de oxigênio no entorno das sementes, fatores cruciais para o processo de germinação (Taiz et al., 2015). Sua textura uniforme cria um ambiente físico homogêneo, facilitando o contato da semente com o substrato e a absorção de água de forma equilibrada, ao contrário de substratos orgânicos, que podem apresentar variações estruturais que dificultam esse processo (Koller, 2014).

Embora a retenção de água seja importante, substratos que acumulam umidade em excesso podem levar ao encharcamento, prejudicando o metabolismo aeróbico necessário para a germinação, como pode ter sido o caso dos tratamentos que utilizaram a mescla do substrato comercial e gigoga.

A areia proporciona um equilíbrio ideal, mantendo a umidade no nível necessário sem causar saturação, diferentemente de substratos mais compactados ou com maior retenção de água, onde pode ocorrer asfixia das sementes ou proliferação de microrganismos que inibem o desenvolvimento inicial (Hartmann et al., 2018).

Substratos comerciais têm como característica uma porcentagem de microporos considerada adequada para a produção de mudas de hortaliças, o que

confere ao substrato uma capacidade de retenção de água satisfatória, influenciando positivamente o desenvolvimento do sistema radicular das mudas (Guerrini & Trigueiro, 2004).

No presente experimento, a ausência de germinação das sementes nos tratamentos com maior percentual de substrato de gigoga pode estar associada à elevada retenção de água proporcionada por esse material, que pode ter criado um ambiente excessivamente úmido para as sementes. Embora a biomassa de *E. crassipes* seja reconhecida por sua alta capacidade de retenção hídrica devido ao seu conteúdo orgânico e estrutura porosa, o que geralmente favorece o desenvolvimento das plantas (Ribeiro, 2022; Fonseca, 1988), o excesso de umidade pode comprometer a aeração do substrato, reduzindo a disponibilidade de oxigênio essencial para a germinação e, conseqüentemente, inibindo ou retardando esse processo (CONFEA, 2021). Ademais, estudos indicam que o uso de altos teores de biomassa aérea da planta como substrato pode alterar o equilíbrio físico-químico do meio, tornando-o menos favorável para a germinação (CONFEA, 2021). Dessa forma, é provável que o elevado percentual de gigoga tenha provocado saturação hídrica, prejudicando a germinação em comparação com os tratamentos que utilizaram areia ou menores proporções de gigoga, os quais apresentaram melhor equilíbrio entre retenção de água e aeração. Foi observado visualmente que as unidades amostrais dos tratamentos 100% gigoga e 75% gigoga/ 25% substrato permaneceram úmidas por mais tempo que outros tratamentos.

5.3.1. Análise dos resultados

Na tabela 4, os tratamentos 100% gigoga e 75% gigoga/ 25% substrato comercial não apresentaram germinação das sementes e não foram considerados na bioestatística por falta de resultados.

A análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (Tabela 4) para as variáveis do experimento revelou diferentes comportamentos para cada tratamento. O peso total, peso raiz, peso aéreo (altura da planta) e número de folhas, parte dos tratamentos mostraram que os resultados não seguem uma distribuição normal, desse modo, optou-se por utilizar o teste de Kruskal Wallis. Por outro lado, os resultados do comprimento aéreo e comprimento raiz acusaram

a distribuição normal dos mesmos ($P > 0.05$), sendo necessário seguir com o teste estatístico de Anova.

Tabela 4- Resultados do teste de Shapiro-Wilk para os parâmetros pesos total, aéreo e de raiz, número de folhas e comprimento de raiz e aéreo de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes*.

Tratamento	Peso total <i>P-value</i>	Peso aéreo <i>P-value</i>	Peso raiz <i>P-value</i>	Folhas <i>P-value</i>	Comp. Raiz <i>P-value</i>	Comp. Aéreo <i>P-value</i>
100% AREIA	0,0008	0,2712	0,0458	0,00003	0,1402	0,2444
100% SUBSTRATO	0,0442	0,0204	0,7235	0,016	0,588	0,9443
25% GIGOGA / 75% SUBSTRATO	0,1351	0,0045	0,0559	0,0604	0,0919	0,253
50% GIGOGA / 50% SUBSTRATO	0,0909	0,2081	0,0127	0,0471	0,4142	0,235

*Resultados não significativos ($p \geq 0,05$); não há evidências para rejeitar a hipótese nula.

O teste de Kruskal Wallis revelou que entre tratamentos há diferença significativa a 5% de probabilidade para as variáveis de peso total, peso aéreo, peso raiz e número de folhas e foi utilizado como teste *post-hoc*, o teste de Dunn. Em relação ao peso total (Tabela 5), o teste de Dunn revelou que há diferenças significativas entre a maioria dos grupos de tratamentos, menos entre os tratamentos 50% gigoga/ 50% substrato e 100% areia ($p = 0,1289$) além dos tratamentos 25% gigoga/ 75% substrato e 100% substrato ($p = 0,0727$). O teste realizado para o peso raiz (Tabela 6) indicou que tanto os tratamentos 50% gigoga/ 50% substrato e 100% areia ($p = 0,1289$) como 25% gigoga/ 75% substrato e 100% substrato ($p = 0,0707$) não apresentaram diferença significativas. O peso aéreo (Tabela 7) indicou também que os tratamentos 50% gigoga/ 50% substrato e 100% areia ($p = 0,1289$) como 25% gigoga/ 75% substrato e 100% substrato ($p = 0,0727$) não apresentaram diferença significativas. Por fim, os mesmos resultados ocorreram no número de folhas (Tabela 8), no qual os tratamentos 50% gigoga/ 50% substrato e 100% areia ($p = 0,0629$) como 25% gigoga/ 75% substrato e 100% substrato ($p = 0,2595$) não apresentaram diferença significativas.

Tabela 5- Resultados dos testes de Kruskal Wallis e Dunn para o Peso total de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.

Teste	Tratamento	Coletas 01,02,03	Coleta 01	Coleta 02	Coleta 03
Kruskal wallis	Peso total	2,20E-16	2,458e-07	1,72e-06	2,681e-07
Dunn	100% SUBSTRATO-100% AREIA	0,0000*	0,0000*	0,0005*	0,0000*
	25% GIGOGA-100% AREIA	0,0000*	0,0026*	0,0080*	0,0004*
	50% GIGOGA-100% AREIA	0,1289	1,0000	1,0000	0,2701
	25% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,0727	0,1826	1,0000	0,2945
	50% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0005*
	50% GIGOGA-25% GIGOGA	0,0000*	0,0431	0,0006*	0,0849

*Resultados não significativos ($p \geq 0,05$); não há evidências para rejeitar a hipótese nula.

Tabela 6 - Resultados dos testes de Kruskal Wallis e Dunn para o Peso raiz de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.

Teste	Tratamentos	P-value	Coleta 01	Coleta 02	Coleta 03
Kruskal wallis	Peso raiz	2,20E-16	2,458e-07	1,72e-06	2,681e-07
Dunn	100% SUBSTRATO-100% AREIA	0,0000*	0,0001*	0,0043*	0,0000*
	25% GIGOGA-100% AREIA	0,0000*	0,3502*	0,1913*	0,0000*
	50% GIGOGA-100% AREIA	0,1739	1,0000	0,1420	0,1883
	25% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,0707	0,0204*	0,5093	1,000
	50% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0177*
	50% GIGOGA-25% GIGOGA	0,0000*	0,3058	0,0002*	0,0081*

*Resultados não significativos ($p \geq 0,05$); não há evidências para rejeitar a hipótese nula.

Tabela 7 - Resultados dos testes de Kruskal Wallis e Dunn para o Peso aéreo de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.

Teste	Tratamentos	P-value	Coleta 01	Coleta 02	Coleta 03
Kruskal wallis	Peso Aéreo	2,20E-16	3,639e-07	1,476e-06	5,038e-07
Dunn	100% SUBSTRATO-100% AREIA	0,0000*	0,0000*	0,0003*	0,0000*
	25% GIGOGA-100% AREIA	0,0000*	0,0045*	0,0102*	0,0005*
	50% GIGOGA-100% AREIA	0,1289	1,0000	1,0000	0,4436
	25% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,0727	0,2165	0,9234	0,4099
	50% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0004*
	50% GIGOGA-25% GIGOGA	0,0000*	0,0222*	0,0010*	0,0499

*Resultados não significativos ($p \geq 0,05$); não há evidências para rejeitar a hipótese nula.

Tabela 8- Resultados dos testes de Kruskal Wallis e Dunn para o número de folhas de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.

Teste	Tratamento	P-value	Coleta 01	Coleta 02	Coleta 03
Kruskal wallis	Folhas	2,20E-16	7.851e-05	0,01882	0,04067
Dunn	100% SUBSTRATO-100% AREIA	0,0000*	0,0003*	0,0075*	0,1230
	25% GIGOGA-100% AREIA	0,0001*	0,0288	0,0632	0,0178*
	50% GIGOGA-100% AREIA	0,0629	1,0000	0,3513	0,5440
	25% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,2595	0,5857	1,0000	1,0000
	50% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,0057*	0,0006*	0,4029	1,0000
	50% GIGOGA-25% GIGOGA	0,0276	0,0460	1,0000	0,4378

*Resultados não significativos ($p \geq 0,05$); não há evidências para rejeitar a hipótese nula.

O teste estatístico de Anova dos fatores comprimento e raiz comprimento aéreo acusaram diferenças significativas entre tratamentos. O fator comprimento raiz (Tabela 9) no teste de Tukey indicou diferença não significativa entre os tratamentos 100% substrato e 25% gigoga/ 75% substrato ($p = 0,9368$) ; 50% gigoga/ 50% substrato e 100% areia ($p = 0,7817$) enquanto o comprimento aéreo (Tabela 10) indicou apenas 50% gigoga/50% substrato e 100% areia ($p = 0,9817$) como diferença não significativa.

Tabela 9- Resultados dos testes de Anova e Tukey para o comprimento raiz de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.

Teste	Tratamento	P-value	Coleta 01	Coleta 02	Coleta 03
ANOVA	Comprimento raiz	<2e-16 ***	1.06e-05 ***	8.37e-09 ***	1.15e-14 ***
Tukey	100% SUBSTRATO-100% AREIA	0	0.0000037	0.0000582	0.0000000
	25% GIGOGA-100% AREIA	0	0.0265867	0.0000988	0.0000000
	50% GIGOGA-100% AREIA	0,781738	0.1135640	0.3782418	0.1439658
	25% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,936832	0.0203759	0.9978262	0.0051134
	50% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0	0.0036991	0.0000003	0.0000004
	50% GIGOGA-25% GIGOGA	0	0.9165785	0.0000004	0.0000000

*Resultados não significativos ($p \geq 0,05$); não há evidências para rejeitar a hipótese nula.

Tabela 10 - Resultados dos testes de Anova e Tukey para o comprimento aéreo de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* em relação aos dados das três coletas analisados conjuntamente.

Teste	Tratamento	P-value			
		Coletas 1, 2 e 3	Coleta 01	Coleta 02	Coleta 03
ANOVA	Comprimento aéreo	<2e-16 ***	2.71×10 ⁻⁷ ***	1.13e-07 ***	4.93e-11 ***
Tukey	100% SUBSTRATO-100% AREIA	0	0.0000004	0.0000014	0.0000002
	25% GIGOGA-100% AREIA	0	0.0050945	0.0008527	0.0000004
	50% GIGOGA-100% AREIA	0,9817	0.6519638	0.9861687	0.8035951
	25% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0,0172	0.0152325	0.1398030	0.9742141
	50% GIGOGA-100% SUBSTRATO	0	0.0000133	0.0000023	0.0000000
	50% GIGOGA-25% GIGOGA	0	0.0893478	0.0016632	0.0000000

*Resultados não significativos ($p \geq 0,05$); não há evidências para rejeitar a hipótese nula.

Os fatores apresentaram no teste de comparação múltipla das três coletas (Tabela 11) que os tratamentos com 25% gigoga/ 75% substrato e 100% substrato não possuem diferença significativa em quase todos os parâmetros analisados, houve apenas diferença significativa no comprimento aéreo onde o tratamento 100% substrato foi superior aos outros tratamentos. O teste de comparação múltipla das três coletas revelou que tanto o tratamento controle como o 50% gigoga/ 50% substrato não possuem diferenças significativas entre os parâmetros analisados.

Na coleta 1, os tratamentos 100% substrato e 25% gigoga/ 75% substrato foram superiores aos outros mas não diferiram entre si nos parâmetros peso total, peso aéreo, comprimento aéreo e número de folhas. Entretanto, 100% substrato foi superior a 25% gigoga/ 75% substrato no peso de raiz e comprimento de raiz. Os tratamentos 50% gigoga / 50% substrato e 100% areia não diferiram em nenhum parâmetro analisado (Tabela 11).

Na coleta 2, os tratamentos 25% gigoga/ 75% substrato e 100% substrato não apresentaram diferença estatística em nenhum parâmetro e foram superiores a 50% gigoga/ 50% substrato e 100% areia nos parâmetros peso total, peso aéreo, comprimento aéreo, comprimento de raiz. No parâmetro peso de raiz, o tratamento 25% gigoga/ 75% substrato não diferiu de 100% de substrato e tampouco de 100% areia, foi superior a apenas 50% gigoga/ 50% substrato. No número de folhas todos os tratamentos superaram o tratamento 100% de areia.

Na coleta 3, os tratamentos 25% gigoga/ 75% substrato e 100% substrato não apresentaram diferença estatística nos parâmetros peso total, peso aéreo, peso raiz, comprimento aéreo e número de folhas e foram superiores aos demais tratamentos. No parâmetro comprimento de raiz, o tratamento 25% gigoga/ 75% substrato foi superior a todos os outros. No peso total, foi seguida a mesma tendência dos comentados anteriormente com a diferença de que os tratamentos utilizando gigoga não diferiram entre si. No parâmetro peso total, o tratamento 25% gigoga/ 75% substrato não diferiu de 100% de substrato e tampouco de 50% gigoga/ 50% substrato, foi superior apenas a 100% areia.

Foi avaliado se há relação entre tratamento e coleta, porém a bioestatística indicou não haver relação entre os fatores. O teste de normalidade de Shapiro-Wilk em função da coleta e tratamento revelou valores de p menores que 0.05 nos fatores peso total, peso aéreo, peso raiz e número de folhas.

Tabela 11 - Efeito de diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* no cultivo de alface (*Lactuca sativa*), colhido aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.

Coletas 1,2 e 3	Peso total (g)	Peso Aéreo (g)	Peso de Raiz (g)	Comp. Aéreo (cm)	Comp. de Raiz (cm)	Folhas (nº)
100% AREIA	0.0564 b	0.0443 b	0.0136 b	3.4543 c	2.3138 b	3.25 b
50% GIGOGA / 50% SUBSTRATO	0.0638 b	0.0494 b	0.0118 b	3.5543 c	2.5887 b	3.5333 b
100% SUBSTRATO	0.2274 a	0.1628 a	0.0465 a	6.239 a	4.427 a	4.0667 a
25% GIGOGA / 75% SUBSTRATO	0.1581 a	0.1158 a	0.0349 a	5.379 b	4.67 a	3.9667 a
Desvio Padrão	0,0817	0,0568	0,0169	1,192	1,056	0,329
CV (%)	64,62%	60,98%	63,15%	25,60%	30,19%	8,90%
Coleta 1						
100% AREIA	0,0474 b	0,0375 b	0,0150 b	3,2 c	2,17 c	3 b
50% GIGOGA / 50% SUBSTRATO	0,0576 b	0,0412 b	0,0146 b	3,65 bc	2,74 bc	3 b
100% SUBSTRATO	0,1703 a	0,1338 a	0,0376 a	5,80 a	3,66 a	3,9 a
25% GIGOGA / 75% SUBSTRATO	0,0966 a	0,079 a	0,0183 b	4,58 ab	2,9 b	3,6 a
Desvio Padrão	0,0484	0,0387	0,0094	0,9947	0,5317	0,3897
CV (%)	52,15%	53,15%	44,30%	23,09%	18,54%	11,55%
Coleta 2						
100% AREIA	0,0716 b	0,0528 b	0,0221 bc	4,1 b	3,47 b	3,56 b
50% GIGOGA / 50% SUBSTRATO	0,0604 b	0,0471 b	0,0102 c	4,25 b	2,91 b	4 a
100% SUBSTRATO	0,2042 a	0,1503 a	0,0458 a	6,92 a	5,25 a	4,4 a
25% GIGOGA / 75% SUBSTRATO	0,1659 a	0,1166 a	0,0330 ab	5,91 a	5,24 a	4,1 a
Desvio Padrão	0,06103	0,0433	0,0131	1,1767	1,0463	0,301
CV (%)	48,62%	47,21%	47,34%	22,23%	24,81%	7,50%
Coleta 3						
100% AREIA	0,0513 c	0,0434 b	0,0034 b	3,1 b	1,31 c	3,22 a
50% GIGOGA / 50% SUBSTRATO	0,0733 bc	0,0600 b	0,0104 b	2,77 b	2,11 c	3,6 a
100% SUBSTRATO	0,2935 a	0,1943 a	0,0504 a	5,74 a	4,61 b	3,89 a
25% GIGOGA / 75% SUBSTRATO	0,2118 ab	0,1520 a	0,0533 a	5,64 a	5,87 a	4,2 a
Desvio Padrão	0,0997	0,0628	0,0226	1,382	1,842	0,361
CV (%)	63,34%	55,90%	77,07%	32,07%	53,01%	9,70%

*Médias da mesma coluna e da mesma fonte de variação (coletas conjuntas, coleta 1, coleta 2 e coleta 3) seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelos teste de Tukey para os parâmetros comprimento de folha e de raiz e pelo teste de Dunn para os demais parâmetros.

5.3.2. Análise de gráficos

A escolha de gerar gráficos de dispersão com linhas de tendência por tratamento no *software R Core Team* foi estratégica para proporcionar uma visualização clara e detalhada do desempenho dos diferentes tratamentos ao longo das coletas no experimento. Permitiram identificar padrões e tendências no comportamento das variáveis, como o crescimento radicular, peso e outras métricas avaliadas, facilitando a comparação direta entre os tratamentos.

Os gráficos de dispersão com linha de tendência por coleta e tratamento do peso total (Figura 11) e peso aéreo (Figura 12) ilustram a média de melhor desempenho do tratamento 100% substrato comercial acompanhado paralelamente pelo tratamento 25% gigoga/ 75% substrato comercial, indicando também ser uma alternativa. Os tratamentos 100% areia e 50% gigoga/ 50% substrato comercial apresentaram médias poucos expressivas quando comparados aos tratamentos citados anteriormente (Figuras 11 e 12).

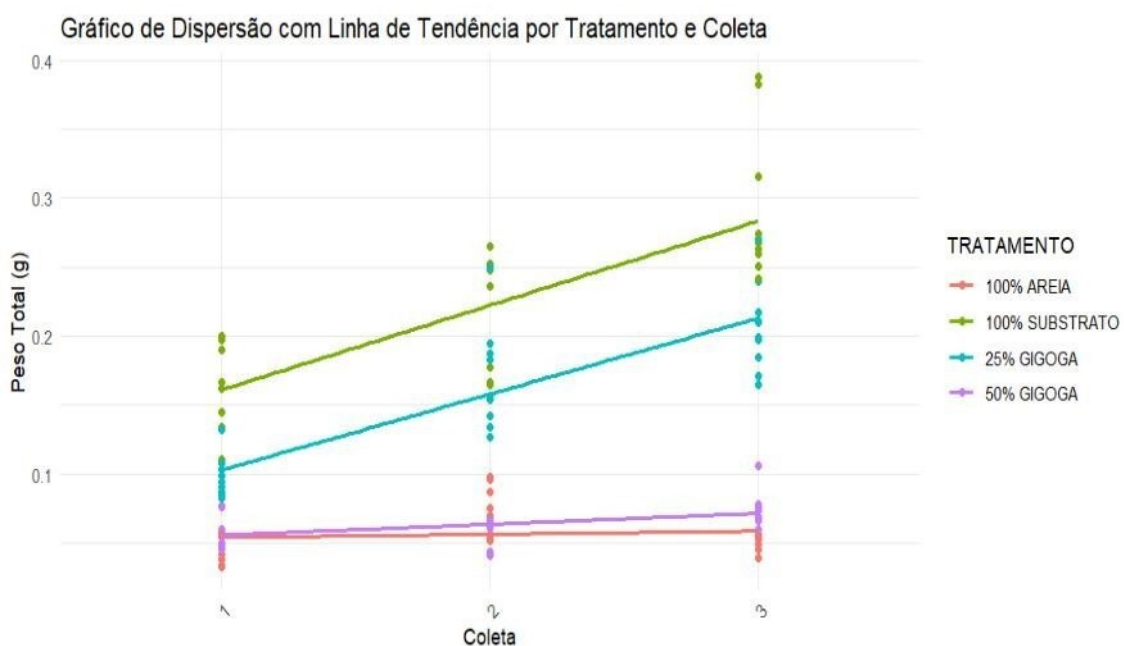


Figura 11- Evolução do peso total (g) de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.

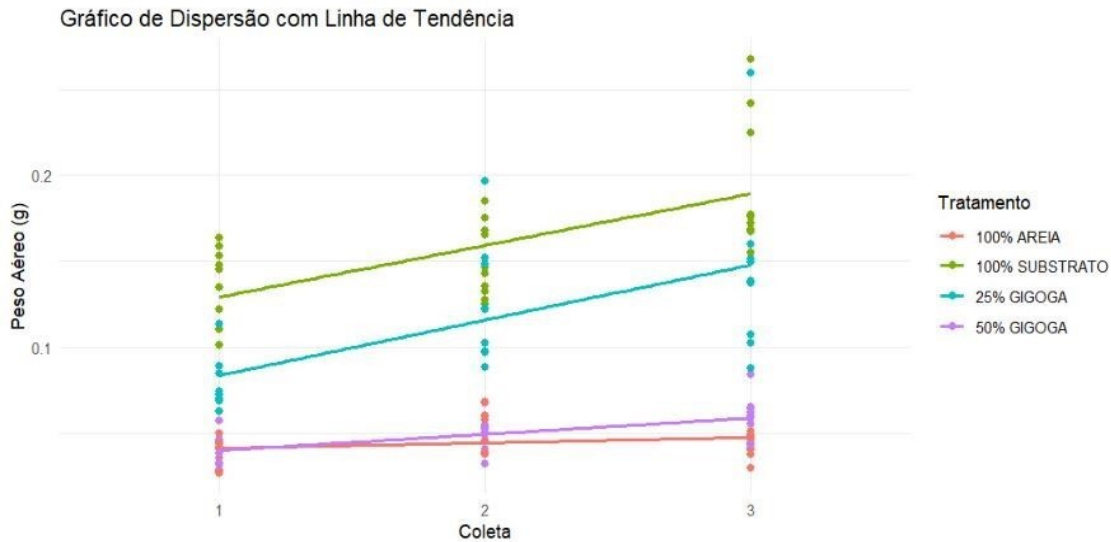


Figura 12- Evolução do peso aéreo (g) de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.

O tratamento 100% areia apresentou o menor peso radicular (Figura 13) em todas as coletas, com uma ligeira tendência de queda ao longo do tempo, reforçando ser inadequada como substrato para germinação de alface. O tratamento 50% gigoga/ 50% substrato apresentou redução progressiva no peso da raiz. O tratamento 100% substrato apresentou aumento contínuo e estável no peso radicular, indicando melhor desempenho em relação aos demais tratamentos. O tratamento 25% gigoga/ 75% substrato foi o mais eficiente, com o maior aumento no peso das raízes, principalmente na terceira coleta.

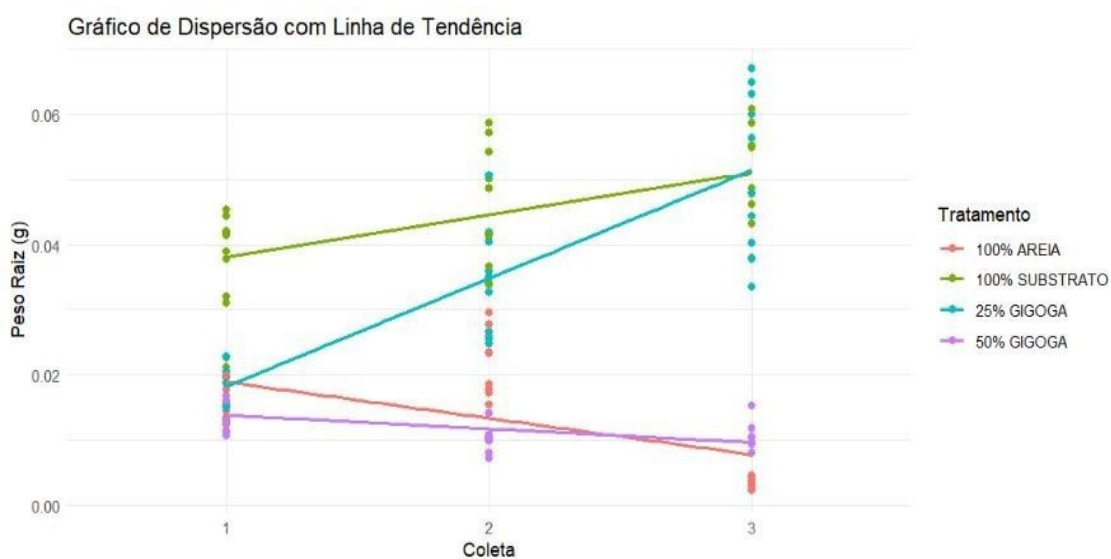


Figura 13- Evolução do peso raiz (g) de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.

Em relação ao comprimento de raiz (Figura 14), observou-se que o tratamento 100% areia apresentou consistência para menores valores, com leve queda ao longo das coletas, indicando limitação como meio de cultivo. O tratamento 50% gigoga/ 50% substrato também demonstrou uma redução progressiva no comprimento radicular. Porém, o tratamento 100% substrato apresentou estabilidade no comprimento das raízes, embora o aumento tenha sido menos expressivo quando comparado ao tratamento 25% gigoga/ 75% substrato.

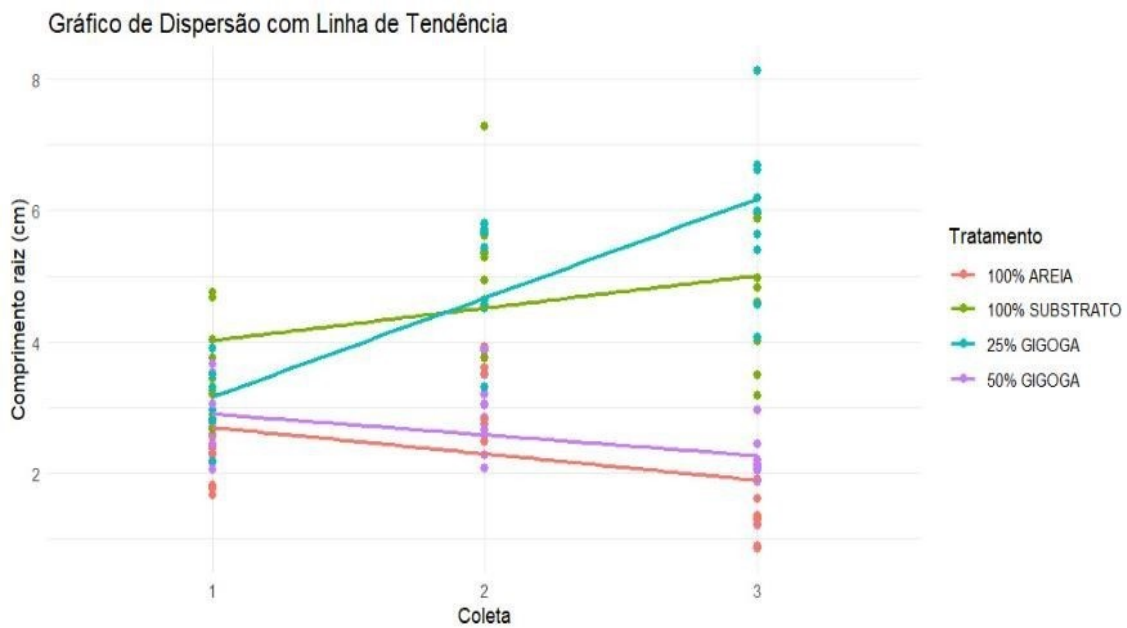


Figura 14- Evolução do comprimento raiz (centímetros) de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.

Os tratamentos 100% areia e 50% gigoga/ 50% substrato assim como no comprimento raiz (Figura 14) demonstraram queda no comprimento aéreo (Figura 15). Enquanto o tratamento 100% substrato manteve o comprimento da parte aérea com leve queda da linha de tendência, ao contrário do tratamento com 25% gigoga/ 75% substrato que teve linha de tendência em crescimento ao longo das coletas (Figura 16).

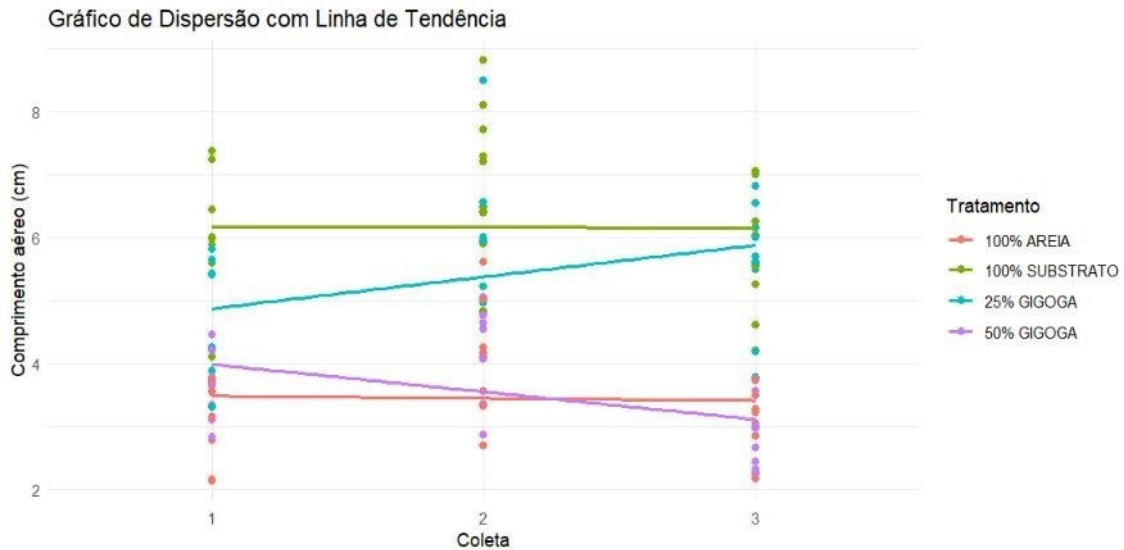


Figura 15- Evolução do comprimento aéreo (centímetros) de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.

No tratamento com 100% de areia a maioria dos pontos está concentrada entre 3 e 4 folhas (Figura 16). Já o tratamento com 100% de substrato comercial, os pontos se concentraram entre 4 e 5 folhas. O tratamento 25% de gigoga/ 75% substrato demonstrou similaridades na dispersão dos pontos (4 a 5 folhas) do tratamento 100% substrato. O tratamento com 50% de gigoga/ 50% substrato apresentou pontos majoritariamente na faixa de 3 a 4 folhas.

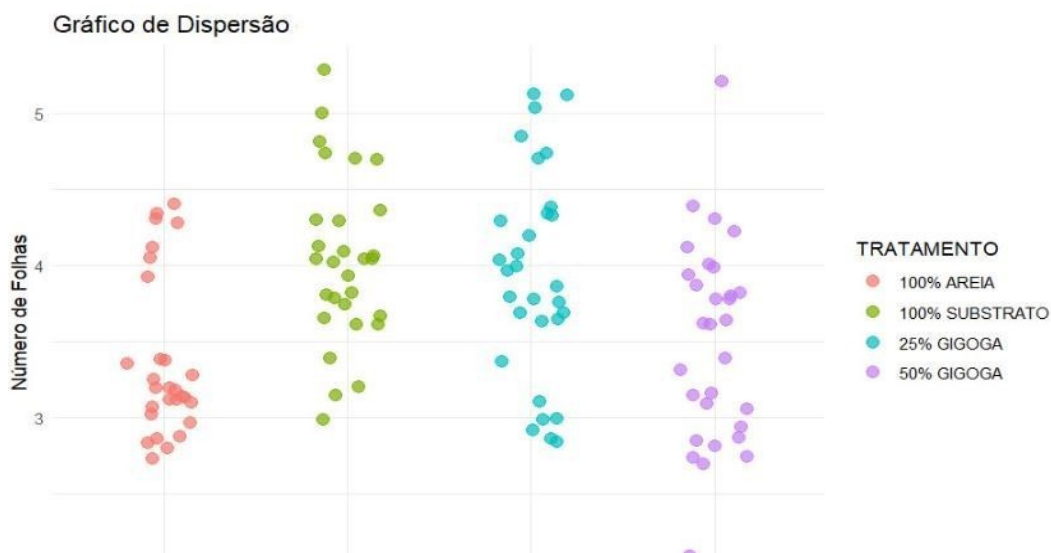


Figura 16- Evolução do número de folhas de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes proporções de areia, substrato comercial *Carolina Soil* e *Eichhornia crassipes* ao longo das coletas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência.

5.4. Uso de *E. crassipes* como substrato

A macrófita, especialmente quando utilizada na proporção de 25% gigoga/ 75% substrato comercial, apresentou viabilidade como componente sustentável em substratos orgânicos. Este tratamento teve desempenho comparável ao substrato comercial puro na maioria dos parâmetros analisados durante as três coletas, destacando-se no aumento rápido do peso da planta e desenvolvimento radicular, principalmente a partir da segunda coleta.

A germinação e crescimento do milho (*Zea mays*) utilizando as mesmas proporções de substrato comercial e matéria seca de *E. crassipes* foi realizada por Anjos *et al.* (2018). Concluiu-se que não houve diferença significativa nas taxas de crescimento entre os tratamentos com matéria seca. Entretanto, o desempenho desses tratamentos foi inferior ao tratamento com 100% de substrato comercial, possivelmente devido às baixas concentrações de nutrientes que a matéria seca das macrófitas coletadas continham. Os autores ressaltam que o local de coleta das macrófitas influencia nos teores de nutrientes presentes nas mesmas. Na produção de milho realizada em outro experimento, também foi constatada que a incorporação de *E. crassipes* em diferentes tipos de solos proporcionou produção semelhante ou superior à obtida em solos adubados com fertilizantes comerciais (Parra & Hortenstein, 1974).

O desempenho do tratamento 50% gigoga/ 50% substrato foi intermediário, com resultados inferiores aos tratamentos 25% gigoga/ 75% substrato e 100% substrato comercial, mas superior ao tratamento 100% areia. Enquanto o tratamento 100% areia demonstrou limitações, com baixos valores de peso total das plantas, peso radicular, comprimento de raízes e número de folhas, o tratamento 50% gigoga/ 50% substrato mostrou-se capaz de superar esses resultados. Malavolta *et al.* (1989), os nutrientes absorvidos pelas macrófitas são incorporados ao solo permitindo que as demandas nutricionais das plantas sejam atendidas. Segundo Farias *et al.* (2015), as mudas de *Moringa oleifera* cultivadas com 100% de macrófitas (*Typha domingensis*, *Pistia stratiotes* e *E. crassipes*), apresentaram menor crescimento para altura de plantas e diâmetro de caule, enquanto as misturas de 60% macrófita+ 30% esterco + 10% terra vegetal e 70% macrófita + 30% esterco proporcionaram melhor nutrição e crescimento das mudas. É possível dizer que

maiores concentrações de *E. crassipes* incorporadas nos substratos não são um fator limitante de crescimento. Acredita-se que a irrigação e a saturação do substrato tenha desfavorecido o desenvolvimento das sementes e plântulas no tratamento 50% gigoga/50% substrato. Substratos saturados tendem a apresentar menor espaço de aeração, o que pode levar à hipóxia das raízes e à diminuição da atividade dos mecanismos de absorção, comprometendo o desenvolvimento inicial das plantas (Ludwig *et al.*, 2014; Kerbauy, 2008). Além disso, a saturação hídrica pode alterar o equilíbrio químico do substrato, influenciando negativamente a disponibilidade e mobilidade dos nutrientes essenciais (Ludwig *et al.*, 2014). A utilização de 50% gigoga /50% substrato comercial demonstra viabilidade parcial, mas ressalta a necessidade investigações adicionais.

5.5. Logística do uso da gigoga

. Segundo o Instituto (Tabela 12), entre os anos de 2021 e 2023 foram recolhidas, em média 7.788,79 toneladas da macrófita por ano das cinco ecobarreiras operadas e são realizadas 615,6 viagens de caminhão. Considerando a média do preço do Diesel S-10 na tabela 13, o preço do combustível de transporte custa em média por ano o valor de R\$188.225,85.

Tabela 12- Quantitativo de peso e viagens realizadas para o recolhimento e transporte de *E. crassipes* acumuladas nas ecobarreiras do Itanhangá, Arroio Fundo, Canal do Anil, Pavuninha e Arroio Pavuna nos anos de 2021,2022 e 2023. (Fonte: INEA, 2023)

Meses	Peso total (t)	Viagens totais	Meses	Peso total (t)	Viagens totais	Meses	Peso total (t)	Viagens totais
1	168	19	1	660	61	1	831	60
2	114	13	2	1.896	66	2	774	57
3	257	23	3	680	43	3	719	52
4	394	30	4	1.082	88	4	617	49
5	322	22	5	687	66	5	673	52
6	630	48	6	903	78	6	747	57
7	619	51	7	646	65	7	526	44
8	819	62	8	539	55	8	506	48
9	886	66	9	650	65	9	287	27
10	953	67	10	570	56	10	515	43
11	755	57	11	550	51	11	519	49
12	876	67	12	480	45	12	497	45
2021	6.798,94	525	2022	9.351,11	739	2023	7.216,32	583

Tabela 13 - Custos de combustível para o percurso de transporte de resíduos coletados nas ecobarreiras do sistema lagunar de Jacarepaguá para o aterro sanitário de Seropédica, RJ.

Ano	Média do valor do Diesel	Custo anual
2021	R\$3,72	R\$128.241,79
2022	R\$6,74	R\$232.352,06
2023	R\$5,92	R\$204.083,71
Média	R\$5,46	R\$188.225,85

*Média anual de 615,6 viagens anuais e percurso de 140 kms ida e volta do aterro sanitário, resultando em 86.184 kms percorridos por ano e eficiência de 2,5km/l do caminhão.

Além da logística envolvendo o aluguel de caminhões e caçambas (sem disponibilidade de informações detalhadas de custo), é importante considerar a problemática que envolve as emissões de gases de efeito estufa provenientes dos veículos. Durante o processo (Figura 17), o material não recebe qualquer tipo de tratamento prévio, é transferido diretamente para o transporte. No aterro sanitário, o valor da tonelada cobrado para ser depositada é de R\$74,30. Considerando a média recolhida de 7.788 toneladas por ano (Tabela 12), o custo anual apenas para o descarte da biomassa fresca no aterro é de R\$578.707,10. A biomassa é descartada e, ao se decompor, contribui para a emissão de gases de efeito estufa e a produção de chorume. Contabilizar o gasto de combustível do transporte (Tabela 13) e o custo do descarte da biomassa no aterro sanitário, os custos anuais totalizam, em média, R\$766.932,95.

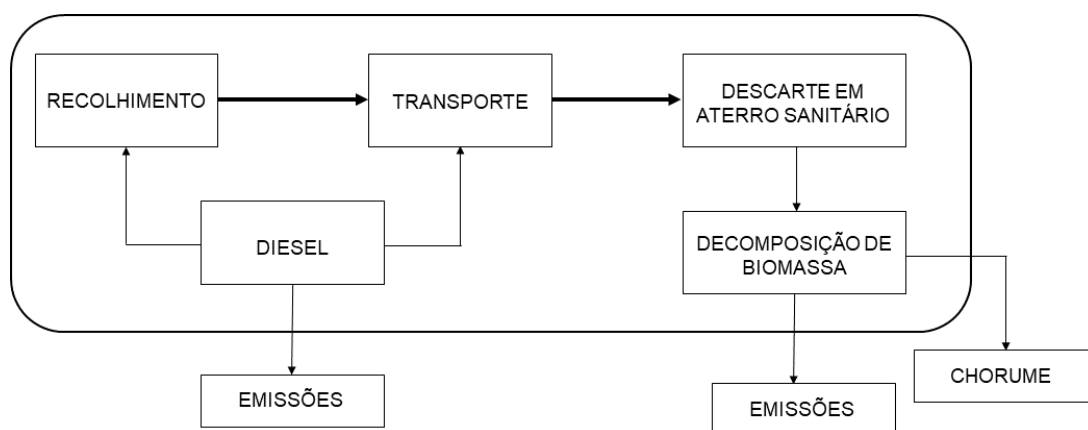


Figura 17- Diagrama da operação de manejo da *Eichhornia crassipes* empregado pelo poder público nas ecobarreiras localizadas no complexo lagunar de Jacarepaguá. Fonte: elaborado pela autora.

A partir dos testes de redução da matéria fresca na temperatura ambiente, foi possível estimar uma significativa economia no manejo da macrófita no complexo lagunar de Jacarepaguá. O percentual da redução de peso, ao ar livre, de *E. crassipes* foi de 86,25%. Entre 2021 e 2023, foram recolhidas cerca de 7.788,79 toneladas de biomassa e cerca de 615,6 viagens anuais de caminhão. A implementação do método de secagem em temperatura ambiente e *in loco*, por um período médio de duas semanas, reduzirá o peso do material para aproximadamente 1.070,96 toneladas de biomassa seca (Tabela 14).

Considerando a densidade de 1g/cm^3 , o volume da biomassa seca será $1.070,96\text{m}^3$. Ao utilizar apenas o método de secagem da biomassa fresca *in loco*, foi possível reduzir consideravelmente as viagens para o depósito da mesma no aterro sanitário. Para o uso apenas do caminhão *rollon rollof* de 35 m^3 , serão necessárias apenas 30,6 viagens anuais para transportar a gigoga, caso seja considerado o caminhão basculante de 12 m^3 , serão necessárias 89,25 viagens anuais (Tabela 14).

No panorama onde o aproveitamento da biomassa como substrato orgânico (Figura 18) os custos serão significativamente menores, isso se deve ao fato da transformação da biomassa em substrato, o maquinário é relativamente barato e diminui a mão-de-obra para realizar o manejo: secagem *in loco* ao ar livre, se atentando às condições meteorológicas, trituração em máquina forrageira e ensacamento (opcional). Após o manejo, o material já em condição de substrato pode ser recolhido para uso. Esta redução de viagens gerará uma economia significativa, não apenas no custo de aluguel do caminhão, mas também nas despesas com diárias de motoristas e consumo de diesel, considerando um percurso de aproximadamente 140 km (ida e volta). Além disso, a diminuição ou extinção (caso o substrato seja coletado por terceiros) das viagens implica na redução emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para a sustentabilidade da operação e a diminuição da pegada de carbono associada ao transporte da biomassa.

Tabela 14 - Comparativo de custos e logística entre diferentes métodos de manejo e transporte de biomassa de gigoga.

Manejo	Peso a ser transportado (t)	Distância (km)	Viagens (ida e volta)	Gasto de combustível (R\$)	Gasto com descarte (R\$)	Custo total (R\$)
Atual	7.788,89	86184*	615,6*	188.225,85	578.714,52	766.940,37
Secagem <i>in loco</i> (caminhão 35m ³)	1.070,96	4284*	30,6*	9.356,25	79.572,32	88.928,57
Secagem <i>in loco</i> (caminhão 12m ³)	1.070,96	12495*	89,25*	27.289,08	79.572,32	106.861,40
Secagem <i>in loco</i> e substrato	1.070,96	2677,4**	89,25 **	5.847,44	-	5.847,44

*140 km (ida e volta) até o Aterro Metropolitano de Seropédica; **30 km (ida e volta) até hortas urbanas localizadas na baixada de Jacarepaguá.

Esse estudo, poderá oferecer novas alternativas sustentáveis para a produção de substratos em ambientes urbanos, contribuindo, por exemplo, para a viabilidade econômica e ecológica das hortas urbanas ou hortos da prefeitura da cidade do Rio de Janeiro.

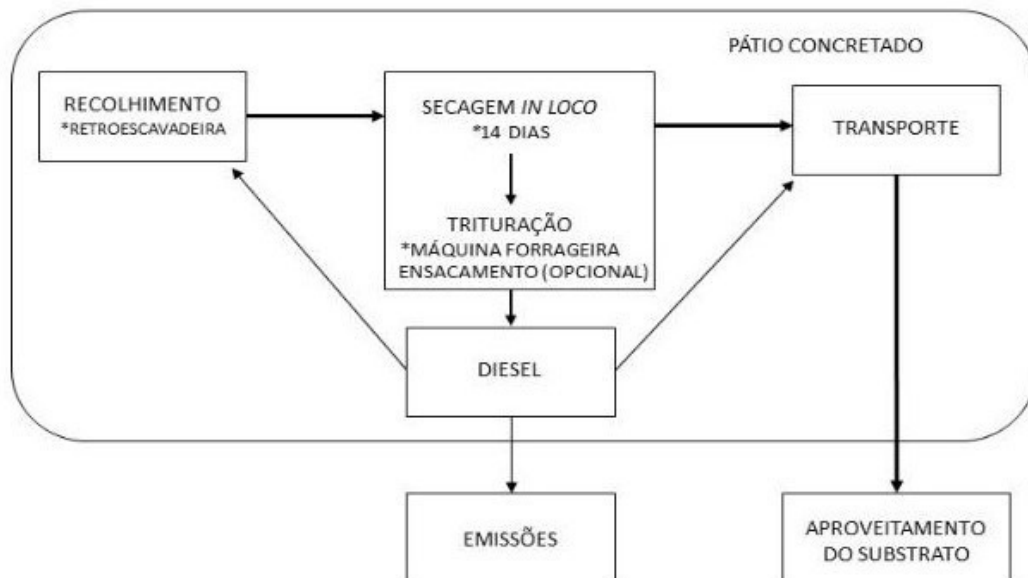


Figura 18- Diagrama de entradas e saídas do sistema de gestão proposta com aproveitamento da biomassa de *Eichhornia crassipes*. Fonte: elaborado pela autora.

6. Conclusão

Os resultados obtidos demonstram o potencial promissor da gigoga (*Eichhornia crassipes*) como alternativa sustentável e eficiente para substratos comerciais. A proporção de 25% de gigoga/ 75% substrato comercial apresentou resultados que se aproximam ao substrato comercial puro viável do ponto de vista agrônomo sem comprometer o crescimento vegetativo.

A utilização de 50% de gigoga também mostrou desempenho consistente. Encontram-se vantagens práticas significativas no manejo da gigoga no Complexo Lagunar de Jacarepaguá. A redução de peso por secagem *in loco* permite uma economia expressiva em termos logísticos, diminuindo o número de viagens necessárias para transporte da biomassa.

A redução de viagens de transporte da biomassa, conforme descrito, apresenta impacto direto na mitigação da emissão de gases de efeito estufa. Com a média anual reduzida de 615,6 para até 30,6 viagens de caminhão, estima-se uma queda significativa no consumo de diesel e na pegada de carbono associada.

No panorama mais amplo, a aplicação da gigoga como substrato é oportunidade estratégica para iniciativas urbanas, como hortas comunitárias e projetos paisagísticos, promovendo a economia circular e o reaproveitamento de resíduos vegetais.

A biomassa de gigoga, frequentemente vista como um resíduo, pode ser transformada em um recurso valioso por meio de processos físicos como a secagem e a trituração. A utilização da gigoga como substrato para hortas urbanas, em substituição ao seu descarte inadequado, alinha-se com diversos princípios e objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010. Dentre eles, destaca-se a prioridade à não geração, redução, reutilização e reciclagem de resíduos, transformando um material antes considerado problema em um recurso valioso. Essa prática também promove a ecoeficiência, compatibilizando a produção de alimentos com a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais, além de fomentar o desenvolvimento sustentável ao valorizar resíduos reutilizáveis e recicláveis como um bem econômico.

7. Referências bibliográficas

Abdo, M. S. A. (2004). Biomassa, composição química e estoque de nutrientes em *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, na Baía do Ninhal Corutuba, Município de Barão de Melgaço, Mato Grosso. 2004

Anjos, G. B. dos; Souza, M. C. de; Silva, M. F. da; Oliveira, J. A. de. Uso da matéria seca de *Eichhornia crassipes* como substrato orgânico para germinação e crescimento inicial de milho (*Zea mays* L.). *Revista Cultura Agronômica*, 27(1), 3-12, 2018.

AGEI. Área de gestão dos empreendimentos de irrigação, Boletim Informativo dos Projetos Codevasf. v. 16, ago. 2017. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/projetos-publicos-de-irrigacao/boletim-informativo-dos-projetos-da-codevasf/edicoes-anteriores/bip-16-agosto-2017.pdf>. Acesso em: 01 de maio 2023.

Bernal, M. P.; Paredes, C.; Sanchez-Monedero, M. A.; Cegarra, J. ,Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresourse Technology*, New York, v. 63, n. 1, p. 91-99, 1998.

Bissani, C. A.; Anghioni, I. Fertilidades dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Gênese. p. 207–220, 2004.

Brady, N. C.; Weil, R. R. *The Nature and Properties of Soils*, 14 ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA nº 23, de 31 de agosto de 2005. Estabelece as garantias mínimas para fertilizantes sólidos e fluidos. Diário Oficial da União, Brasília, 1 set. 2005.

Câmara, M. Y. F.; Pinto, L. É. S.; Freitas, F. B. A.; Pinto, F. G. H. S.; Santos, A. G. D.; Martins, D. F. F. Determinação do Potencial Fitorremediador da *Eichhornia crassipes* em Ambientes Naturais. *Blucher Chemistry Proceedings*, v. 3, n. 1, 2015.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA). Biomassa de aguapé como substrato para a germinação e crescimento de plantas de milho. Brasília, 2021.

Delaqua C.G. Incorporação da biomassa seca de salvinia auriculata aubl. proveniente do processo de fitorremediação em cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado) UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2016.

El-Sayed, A. F. M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.* *Aquaculture*, v. 179, n. 1–4, p. 149–168, 1999.

Farias, S. F.; Andrade, L. A. Substratos à base de macrófitas aquáticas no cultivo de plantas: potencialidades e desafios. Embrapa Solos, 2015.

Fonseca, A. C. Qualidade física do substrato para produção de mudas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS, 1988, Viçosa. Viçosa: UFV, 1988. p. 123-135, 1988.

Gomes, J. A., Kawai, H., & Jahne, M. C. Estudo piloto sobre obtenção de composto orgânico a partir do aguapé (*Eichhornia crassipes*). [Artigo]. Revista CETESB, 2010.

Gomes, P. M., & Souza, R. F. Uso de compostagem de aguapé (*Eichhornia crassipes*) na produção de milho verde. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UEG, 2016.

Guerrini, I. A.; Trigueiro, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1069-1076, 2004.

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. *Plant Propagation: Principles and Practices*. Pearson, 2018.

Henry-Silva, G. G.; Camargo, A. F. M. Valor nutritivo de macrófitas aquáticas

flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*) utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura. *Acta Sci.*, v. 24, n. 2, p. 519-526, 2002.

Hochmuth, G. J.; Hanlon, E. A.; Mylayarapu, R. S. *IFAS Standardized Fertilization Recommendations for Vegetable Crops*. Gainesville, FL: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 2012.

Holm, G. L. et al. *The world's worst weeds*. Malabar: Krieger Publishing Company, 609 p, 1991.

Holm, L.; YEO, R. The biology control and utilization of aquatic weeds. *Weeds Today*, p. 7-13, 1980.

Hoyer, M. V. et al. *Florida freshwater plants: A handbook of common aquatic plants in Florida lakes*. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agriculture Sciences, 256 p, 1996.

Hough, M. *Cities and Natural Process*. Londres, Routledge. 319 p, 2000.

Instituto Estadual do Ambiente (INEA). *Plano de gestão integrada da bacia hidrográfica da Baía de Jacarepaguá*. Rio de Janeiro: INEA, 2019.

Jafari, N. Ecological and socio-economic utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart Solms). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, v. 14, n. 2, 2010.

Kerbauy, K. C. *Nutrição mineral de plantas*. Universidade Federal de Lavras, 2008.

Kiehl, E. J. Fertilizantes Orgânicos. In *Fertilizantes Orgânicos* (pp. 3–4), 1985.

Kiehl, E. J. Preparo do composto na fazenda. *Casa da Agricultura, Campinas*: v.3, n.3, p.6-9, 1981.

Koller, O. C. Fisiologia da Germinação das Sementes. Editora Agropecuária, 2014.

Lee, U.; Han, J.; Wang, M. Evaluation of landfill gas emission from municipal solid waste landfills for the lifecycle analysis of waste-to-energy pathways. *Journal of Cleaner Production*, 2017.

Lins, E. A. M.; Lima, R. C.; Silva, J. V. M.; França, S.P.S. Geração de ilhas de calor em um aterro sanitário. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, Vitória, ed. 11., 2020.

Lins, M. A., Silva, L. P., & Almeida, A. L. Estudo do lixiviado em aterros sanitários: Características e necessidade de tratamento. *Revista de Engenharia Ambiental*, 14(3), 123-136, 2020.

Ludwig, F.; Fernandes, D. M.; Guerrero, A. C.; Villas Bôas, R. L. Características dos substratos na absorção de nutrientes e na produção de gerbera de vaso. *Horticultura Brasileira*, 2014.

Malavolta, E., Malavolta, M.L., Cabral, C.P., Antonioli, F. Sobre a composição mineral do aguapé *Eichhornia crassipes*. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz* 46: 155-162, 1989.

Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas (1ª ed.). São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.

Marschner, H. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3ª ed.). Londres: Academic Press, 2012.

Mees, J. B. R. Uso de Aguapé (*Eichhornia Crassipes*) em Sistema de Tratamento de Efluente de Matadouro e Frigorífico e Avaliação de sua Compostagem. [Dissertação]. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2006.

Meurer, E. J.; Inda Jr., A. V. Potássio e adubos potássicos. In: BISSANI, C. A. et

al. (Eds). Fertilidades dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Gênese, p. 139–153, 2004.

Nascimento, L. A. Uso da biomassa de *Eichhornia crassipes* na produção de substratos para horticultura. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 51, n. 1, p. 45-54, 2021.

Nunes, M. U. C. Compostagem de Resíduos para Produção de Adubo Orgânico na Pequena Propriedade. Circular Técnica - EMBRAPA, 59, 10, 2009.

Oliveira, J. R., & Silva, A. F. Produção de composto orgânico a partir da compostagem de aguapé (*Eichhornia crassipes*). Revista de Ecologia Urbana, 10(1), 45-52, 2018.

Palma-Silva, C., Albertoni, E. F., Trindade, C. R. T., Furlanetto, L. M., & Acosta, M. C. Uso de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil. Perspectiva, 36(133), 73-81, 2012.

Parra, J. V.; Hortemstein, C. C. Plant nutritional content of some Florida water hyacinths and response by pearl millet to incorporation of water hyacinths in three soil types. Hyacinth Control., v. 12, p. 85-90, 1974.

Paula, M. G. de. Análise do ciclo de vida da compostagem de *Eichhornia crassipes* – Jacinto d’água. [Dissertação]. Biblioteca Digital IPB, 2022.

Pereira, L. R., & Nascimento, M. R. Estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico. Semina: Ciências Agrárias, 31(2), 327-336, 2010.

Pereira, M. C. Composição química de *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms, no sistema de Baías Chacororé-Sinhá Mariana, Pantanal de Mato Grosso, Brasil. Research, Society and Development, v. 11, n. 2. DOI: 10.33448/rsd-v11i2.25720, 2022.

Petrucio, M. M.; Esteves, A. A. Uptake rates of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 60, n. 2, p. 229-236, 2000.

Pieterse, A. H.; Murphy, K. *Aquatic weeds and management of nuisance aquatic vegetation*. New York: Oxford University Press, 593 p, 1990.

Portella, L. Areia toma conta de lagoa na Barra. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 01 nov. 2001. Disponível em <http://www.jbonline.terra.com.br/jb/papel/cidade>. Acesso em, 31 out. 2023.

Prasetyo, S., Anggoro, S., & Soeprbowati, T. R. *The Growth Rate of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes [Mart.] Solms) in Rawapening Lake, Central Java*. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 222–231, 2021.

Quintão, J. M. B. *Decomposição de macrófitas aquáticas em reservatórios eutróficos e oligotróficos*. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

Raij, B. Van, Andrade, J. C., Cantarella, H.; Quaggio, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996.

Resende, G. M., Yuri, J. E., Vidal, M. C., & Costa, N. D. *Produção de alface*. In: Embrapa Hortaliças (Ed.), *Sistema de produção de alface* (p. 9-17). Brasília: Embrapa Hortaliças, 2003.

Ribeiro, K. S. *Incorporação de macrófitas (Eichhornia crassipes) no substrato de produção de mudas de Inga laurina (SW.) Willd em viveiro florestal*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

Rio de Janeiro (Estado), 2019. *Manutenção e operação das ecobarreiras dos Sistema Lagunar de Jacarepaguá-RJ*.

Sacramento, B. L.; Mota, K. N. A. B.; Silva, L. L.; Cruz, T. S.; Azevedo Neto, A. D. Crescimento de *Eichornia crassipes* (Pontederiaceae) sob estresse salino. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 64., 2013, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte: Sociedade Botânica do Brasil, 2013.

SEMADS, Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Ambiente das águas do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Sholna Reproduções Gráficas, 230 p, 2001.

Sirtoli, R. A.; et all. Restauração da Qualidade da Água Contaminada Usando a Fitorremediação Com Plantas Aquáticas. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, 2001.

Silva, F. H.; Favero, S.; Sabino, J.; Garnes, S. J. A.; Índices bióticos para avaliação da qualidade ambiental em trechos do rio Correntoso, Pantanal do Negro, Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Acta Scientiarum Biological Sciences. Maringá, v. 33, n. 3, p. 289-299. 2011.

Silva, R. F. da et al. Influência do substrato na germinação e vigor de sementes de alface. Revista Brasileira de Sementes, v. 39, n. 2, p. 345-353, 2017.

Souza, M. C. de et al. Avaliação de substratos alternativos produzidos a partir de macrófitas aquáticas na germinação de hortaliças. Horticultura Brasileira, v. 37, n. 3, p. 310-317, 2019.

Souza, V. C.; Lorenzi, H. Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP. 640p, 2005.

Szymanski, Nayara. Estudo da bioacumulação de cobre e chumbo pela macrófita aquática *Eichornia crassipes* em solução hidropônica. 2011. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2011.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates, 2015.

Tolentino, P. S.; Lantican, N. B. Optimized drying parameters of water hyacinths (*Eichhornia crassipes* L). *Science Diliman*, v. 32, n. 2, 2020.

Wang, X.; Jia, M.; Zhang, H.; Pan, S.; Kao, C. M.; Chen, S. Quantifying N₂O emissions and productions pathways from fresh waste during the initial stage of disposal to a landfill. *Waste Management*, 2016.

8. Apêndice

Tabela 15 - Médias, desvio padrão e coeficiente de variação referentes aos parâmetros peso total, aéreo e de raiz, comprimento aéreo e de raiz e número de folhas de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em 100% de areia, das coletas realizadas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência e analisadas conjuntamente.

100% AREIA – COLETA 01						
	Peso Total (g)	Peso Aéreo (g)	Peso Raiz (g)	Comp. Aéreo (cm)	Comp. Raiz (cm)	Folhas
Média	0,0474	0,0375	0,0150	3,2	2,17	3
Desvio Padrão	0,0098	0,0079	0,0029	0,6388	0,3768	0
CV%	20,67%	21,11%	19,33%	19,97%	17,33%	0,00%
COLETA 02						
Média	0,0716	0,0528	0,0221	4,1	3,47	3,56
Desvio Padrão	0,0184	0,0125	0,005	0,8696	0,6642	0,527
CV%	25,67%	23,68%	22,82%	21,23%	19,13%	14,82%
COLETA 03						
Média	0,0513	0,0434	0,0034	3,1	1,31	3,22
Desvio Padrão	0,0059	0,0069	0,0008	0,5808	0,3242	0,441
CV%	11,44%	15,91%	24,81%	18,75%	24,73%	13,68%

Tabela 16 - Médias, desvio padrão e coeficiente de variação referentes aos parâmetros peso total, aéreo e de raiz, comprimento aéreo e de raiz e número de folhas de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em 50% gigoga/ 50% substrato, das coletas realizadas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência e analisadas conjuntamente.

50% GIGOGA/50% SUBSTRATO COMERCIAL – COLETA 01						
	Peso Total (g)	Peso Aéreo (g)	Peso Raiz (g)	Comp. Aéreo (cm)	Comp. Raiz (cm)	Folhas
Média	0,0576	0,0412	0,0146	3,65	2,74	3
Desvio Padrão	0,0113	0,0081	0,0028	0,5462	0,5452	0,4714
CV%	19,64%	19,61%	19,18%	14,98%	19,87%	15,71%
COLETA 02						
Média	0,0604	0,0471	0,0102	4,25	2,91	4
Desvio Padrão	0,0108	0,0087	0,0018	0,6857	0,5501	0,4714
CV%	17,83%	18,54%	17,77%	16,15%	18,89%	11,79%
COLETA 03						
Média	0,0733	0,0600	0,0104	2,77	2,11	3,6
Desvio Padrão	0,0138	0,0115	0,002	0,5422	0,4404	0,5164
CV%	18,78%	19,20%	18,86%	19,58%	20,87%	14,34%

Tabela 17 - Médias, desvio padrão e coeficiente de variação referentes aos parâmetros peso total, aéreo e de raiz, comprimento aéreo e de raiz e número de folhas de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em 100% de substrato, das coletas realizadas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência e analisadas conjuntamente.

100% SUBSTRATO COMERCIAL - COLETA 01						
	Peso Total (g)	Peso Aéreo (g)	Peso Raiz (g)	Comp. Aéreo (cm)	Comp. Raiz (cm)	Folhas
Média	0,1703	0,1338	0,0376	5,80	3,66	3,9
Desvio Padrão	0,032	0,0237	0,0075	1,1992	0,7042	0,3162
CV%	18,77%	17,70%	19,89%	20,66%	19,25%	8,11%
COLETA 02						
Média	0,2042	0,1503	0,0458	6,92	5,25	4,4
Desvio Padrão	0,0409	0,0214	0,0093	1,1471	0,9237	0,5164
CV%	20,02%	14,23%	20,29%	16,58%	17,60%	11,74%
COLETA 03						
Média	0,2935	0,1943	0,0504	5,74	4,61	3,89
Desvio Padrão	0,0559	0,0397	0,0075	0,976	0,9402	0,7817
CV%	19,04%	20,43%	14,97%	17,00%	20,41%	20,10%

Tabela 18 - Médias, desvio padrão e coeficiente de variação referentes aos parâmetros peso total, aéreo e de raiz, comprimento aéreo e de raiz e número de folhas de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em 25% gigoga/ 75% substrato, das coletas realizadas aos 13, 21 e 27 dias após a emergência e analisadas conjuntamente.

25% GIGOGA/75% SUBSTRATO COMERCIAL - COLETA 01						
	Peso Total (g)	Peso Aéreo (g)	Peso Raiz (g)	Comp. Aéreo (cm)	Comp. Raiz (cm)	Folhas
Média	0,0966	0,079	0,0183	4,58	2,9	3,6
Desvio Padrão	0,0152	0,0148	0,0035	0,9	0,5291	0,5164
CV%	15,72%	18,73%	18,86%	19,65%	18,23%	14,34%
COLETA 02						
Média	0,1659	0,1166	0,0330	5,91	5,24	4,1
Desvio Padrão	0,0261	0,0217	0,0059	1,0456	0,8373	0,5676
CV%	15,72%	18,60%	17,80%	17,68%	15,98%	13,85%
COLETA 03						
Média	0,2118	0,1520	0,0533	5,64	5,87	4,2
Desvio Padrão	0,0341	0,0482	0,0106	0,993	1,1447	0,7888
CV%	16,11%	31,69%	19,82%	17,60%	19,51%	18,78%