



**UNIVERSIDADE  
EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**Curso em Química e Processamento de Recursos Locais**

**Dissertação de Mestrado**

***Incorporação de Folhas Frescas de Moringa oleífera na  
Diminuição da Proporção de C/N do Bagaço de Cana-  
de-açúcar como Fertilizante Orgânico***

**Autora:**

Soraya Morade Izedine

**Maputo, Abril de 2017**



**UNIVERSIDADE  
EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**Curso em Química e Processamento de Recursos Locais**

**Dissertação de Mestrado**

***Incorporação de Folhas Frescas de Moringa oleífera na  
Diminuição da Proporção de C/N do Bagaço de Cana-  
de-açúcar como Fertilizante Orgânico***

**Autora:**

Soraya Morade Izedine

**Supervisora:** Prof. <sup>a</sup>Doutora Tatiana Kouleshova

**Co-supervisor:** Prof. Doutor Daniel Chongo

**Maputo, Abril de 2017**

# ÍNDICE

Agradecimentos .....	i
Declaração de honra.....	ii
Resumo .....	iii
Abstract.....	iv
Abreviaturas usadas .....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de tabelas.....	vii
1. Introdução .....	1
1.1. Objectivos .....	4
1.1.1. Geral.....	4
1.1.2. Específicos .....	4
1.2. Justificativa da escolha do tema.....	5
2. Fundamentação teórica .....	7
2.1. Resíduos resultantes do processamento da cana-de-açúcar .....	7
2.2. Resíduos de fertilização dos solos .....	8
2.3. Compostagem .....	10
2.3.1. Parâmetros envolvidos no processo de compostagem .....	11
2.4. Parâmetros físico-químicos do solo .....	15
2.4.1. pH.....	15
2.4.2. Nutrientes .....	16
2.4.3. Matéria orgânica.....	17
2.4.4. Capacidade de troca catiónica .....	18
2.5. Parâmetros de crescimento de plantas .....	18

3.	Materiais e métodos.....	20
3.1.	Etapas e duração da parte experimental.....	20
3.2.	Matéria-prima .....	20
3.3.	Tratamento físico .....	21
3.3.1.	Solo.....	21
3.3.2.	BCA.....	21
3.3.3.	Correctivo do BCA (FFM).....	21
3.3.4.	Tipos de correctivos incorporados ao BCA .....	22
3.3.5.	Compostagem.....	23
3.3.6.	Preparação dos vasos de experimentação.....	24
3.3.7.	Sementeira da cultura e introdução de compostos orgânicos no solo .....	25
3.4.	Monitoramento e determinação de parâmetros de crescimento da cultura.....	26
3.5.	Tratamento químico .....	28
3.5.1.	Determinação dos parâmetros físico-químicos do solo (controlo) e de solo misturado com o composto orgânico .....	28
3.5.2.	Determinação dos parâmetros químicos do BCA e FFM .....	28
3.5.3.	Determinação dos parâmetros químicos do composto orgânico .....	28
3.6.	Análise estatística dos parâmetros .....	29
4.	Resultados e Discussões .....	30
4.1.	Parâmetros químicos da matéria-prima .....	30
4.2.	Parâmetros de monitoramento do processo de compostagem .....	31
4.2.1.	Monitoramento da temperatura .....	31
4.2.2.	Parâmetros químicos dos compostos orgânicos .....	34
4.3.	Parâmetros físico-químicos do solo incubado .....	35
4.4.	Parâmetros de crescimento da cultura de alface .....	36
4.4.1.	Análise qualitativa da cultura.....	36

4.4.2.	Análise do desempenho agronómico dos compostos .....	37
4.4.2.1.	Número de folhas (NF).....	37
4.4.2.2.	Altura da planta (AP).....	38
4.4.2.4.	Peso fresco das folhas (PFF) .....	40
4.4.2.5.	Peso seco das folhas (PSF) .....	41
5.	Conclusões e recomendações .....	43
5.1.	Conclusões .....	43
5.2.	Recomendações.....	44
	Referências bibliográficas.....	45
	ANEXOS .....	viii

## **Agradecimentos**

- Primeiramente a Allah (ST) por ter permitido alcançar esta fase e sem Ele nada seria concretizado e por dar-me forças para suportar todas as dificuldades encontradas no decorrer deste período para o alcance de mais este grau acadêmico.
- Aos meus supervisores Prof. Doutora Tatiana Kouleshova e Prof. Daniel Chongo pela orientação, ideias valiosas e apoio na concretização do estudo.
- Ao Engenheiro Rogério Borguete pela disponibilidade de amostras de solos e pelos valiosos esclarecimentos durante o estudo e à Engenheira Felicidade Jorge pela orientação.
- Ao Prof. Doutor Arão Manhique e ao Professor Doutor Carvalho Madivate pelas ideias valiosas para o fortalecimento do tema.
- Ao fornecedor de bagaço de cana-de-açúcar e à proprietária da árvore de *Moringa oleífera* Sr.<sup>a</sup> Bibi, por ter fornecido quantidades consideráveis de folhas da mesma.
- Aos meus pais Suleimane Morade Izedine e Ana Paula Carolina Barreto pelo apoio, incentivo ao longo do curso e pela participação no processo de tratamento da matéria-prima usada no estudo e às minhas irmãs Johara e Selma Izedine.
- Ao dr. Hercílio Zimila pelo apoio no tratamento estatístico dos resultados.
- Ao meu padrinho Hermenegildo Jorge Barreto pelo apoio ao longo do curso.
- Aos meus primos, Marth, Roque, Mariel, Dércia, Fátima Isaque e Ericaldina, em especial Edmar Barreto Jorge.
- Aos meus tios Roque, Maria, Sara, Joaquina e Rosa, em especial Carla Barreto pelo amor incondicional.
- A família Saíde e em especial Alda Brígida Saíde pelo apoio e amizade incondicional.

## **Declaração de honra**

Eu, Soraya Morade Izedine, declaro por minha honra que este trabalho para a aquisição do grau de mestre em Química e Processamento de Recursos Locais é fruto do meu esforço individual e estudo experimental por mim realizado na Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (Laboratório de Solos) e que nunca foi usado para aquisição de qualquer grau acadêmico.

A autora

---

(Soraya Morade Izedine)

## **Resumo**

Um dos resíduos produzidos em grande escala nas indústrias açucareiras é o bagaço de cana-de-açúcar, o qual é tradicionalmente usado directamente nos solos como fertilizante orgânico. Estudos passados relevam que este material possui limitação como fertilizante por apresentar elevada proporção C/N, o que prejudica as propriedades físico-químicas do solo e desenvolvimento de culturas. Este trabalho teve como objectivo, estudar o efeito da incorporação das folhas frescas de *Moringa oleífera* na diminuição da proporção de C/N do bagaço de cana-de-açúcar como fertilizante orgânico do solo. Realizou-se o processo de compostagem usando o bagaço *in natura* e alternando o mesmo com folhas frescas de *Moringa oleífera* e ureia (separadamente). O estudo consistiu em 5 tratamentos: mistura de bagaço de cana-de-açúcar com solo (BS); mistura de bagaço com folhas frescas de *Moringa oleífera* (BFM), mistura de bagaço com ureia (BU) e mistura de ureia com solo (US) e um de controlo (solo onde não foi misturado com um outro elemento), todos tratamentos com três repetições. Para testagem da fertilidade e qualidade da compostagem do material em estudo escolheu-se uma cultura de rápido desenvolvimento, a alface (*Lactuca sativa*) e após o seu crescimento, foram avaliadas as características de crescimento: número de folhas (NF), altura da planta (AP), comprimento da raiz (CR), peso fresco e seco das folhas (PFF) e (PSF), respectivamente. A incorporação de folhas frescas de *Moringa oleífera* proporcionou a diminuição da proporção C/N do bagaço de cana-de-açúcar como resultado final de estudo (de 148 para 10); durante a compostagem os tratamentos não apresentaram temperaturas recomendadas. O tratamento BFM apresentou melhores teores de N, P e K com 0.29%, 0.04% e 0.21%, respectivamente em comparação com os tratamentos BS e BU; as formas de tratamento que proporcionaram bons resultados para os parâmetros de crescimento avaliados da cultura de alface foram: BFM, BS e BU. Os dados submetidos à análise de variância apresentaram diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) para as variáveis medidas AP, PFF e PSF no tratamento BFMS, sendo os tratamentos BS e BUS significativos somente nas variáveis PFF e PSF. Também verificou-se que o tratamento US não difere estatisticamente do controlo, sendo inferior comparando com os restantes tratamentos. O melhor resultado em todas as variáveis de crescimento analisadas foi com o tratamento de BFMS.

**Palavras- chave:** Bagaço de cana-de-açúcar, *Moringa oleífera*, compostagem.

## **Abstract**

One of the large-scale waste produced in the sugar industries is sugarcane bagasse, which is traditionally used directly in soils as organic fertilizer. Past studies indicate that this material has a limitation as a fertilizer because it presents a high C/N ratio, which impairs soil physicochemical properties and crop development. The objective of this work was to study the effect of the incorporation of the fresh leaves of *Moringa oleifera* in reducing the proportion of C / N of the sugarcane bagasse as organic fertilizer of the soil. The composting process was carried out using the bagasse *in natura* and alternating the same with fresh leaves of *Moringa oleifera* and urea (separately). The study consisted of 5 treatments: mixture of sugarcane bagasse with soil (BS); (BFM), bagasse mixture with urea (BU) and mixture of urea with soil (US) and a control (soil where it was not mixed with another element), all treatments with three repetitions. In order to test the fertility and compost quality of the studied material, a fast growing crop, lettuce (*Lactuca sativa*) was selected and after growth, the growth characteristics were evaluated: leaf number (NF), plant height (AP), root length (CR), fresh and dry leaf weight (PFF) and (PSF), respectively. The incorporation of fresh leaves of *Moringa oleifera* provided a reduction in the C/N ratio of sugarcane bagasse as a final study result (from 148 to 10); during composting the treatments did not present recommended temperatures. The BFM treatment had better N, P and K contents with 0.29%, 0.04% and 0.21%, respectively, compared to BS and BU treatments; the treatments that gave good results for the evaluated growth parameters of the lettuce culture were: BFM, BS and BU. The data submitted to analysis of variance showed significant differences ( $p < 0.05$ ) for the variables measured AP, PFF and PSF in the BFMS treatment, being the treatments BS and BUS only significant in the variables PFF and PSF. It has also been found that the US treatment does not differ statistically from the control, being lower compared to the other treatments. The best result in all growth variables analyzed was with BFMS treatment.

**Key words:** Sugarcane bagasse, *Moringa oleifera*, composting.

## Abreviaturas usadas

<b>Símbolos</b>	<b>Descrição</b>
<b>AP</b>	Altura da planta
<b>BCA</b>	Bagaço de cana-de-açúcar
<b>BFM</b>	Mistura de bagaço com folhas de <i>Moringa oleifera</i>
<b>BFMS</b>	Mistura de bagaço com folhas de <i>Moringa oleifera</i> com solo
<b>BS</b>	Mistura de bagaço com solo
<b>BU</b>	Mistura de bagaço com ureia
<b>BUS</b>	Mistura de bagaço com ureia com solo
<b>C</b>	Controlo (solo não incubado)
<b>CA</b>	Cana-de-açúcar
<b>CE</b>	Condutividade eléctrica
<b>CR</b>	Comprimento da raiz
<b>CTC</b>	Capacidade de troca catiónica
<b>FFM</b>	Folhas frescas de <i>Moringa oleifera</i>
<b>MO</b>	Matéria orgânica
<b>NF</b>	Número de folhas
<b>PFF</b>	Peso fresco das folhas
<b>PSF</b>	Peso seco das folhas
<b>US</b>	Mistura de ureia com solo
<b>NC</b>	Não classificado
<b>Nd</b>	Não determinado

## **Índice de figuras**

Figura 1. Processo de produção de açúcar a partir de cana-de-açúcar e os resíduos obtidos. ....	7
Figura 2. As fases típicas do processo de compostagem. ....	12
Figura 3. Fases de preparação do BCA: (A) - colmos da cana-de-açúcar; (B) - fibras de cana-de-açúcar; (C) - moinho eléctrico; (D) - pó de bagaço de cana-de-açúcar. ....	21
Figura 4. Aparência das folhas moídas de <i>Moringa oleifera</i> (4A) e ureia (4B). ....	22
Figura 5. Aparência dos compostos orgânicos. ....	24
Figura 6. Etapas de preparação do viveiro e do solo nos vasos de experimentação. ....	25
Figura 7. As fases da preparação do viveiro: A- sementes; B- sementeira; C- viveiro semeado. ....	26
Figura 8. Determinação de parâmetros de crescimento das plantas: (A) - Determinação do comprimento da raiz; (B) - Separação da raiz da parte aérea da planta. ....	27
Figura 9. Comparação das médias da AP dos diferentes tratamentos com a média do controlo. ....	38
Figura 10. Comparação das médias do CR dos diferentes tratamentos com a média do controlo. ....	39
Figura 11. Comparação das médias do PFF dos diferentes tratamentos com a média do controlo. ....	40
Figura 12. Comparação das médias do PSF dos diferentes tratamentos com a média do controlo. ....	41

## **Índice de tabelas**

Tabela 1. Classificação dos valores de pH (em água) do solo.....	16
Tabela 2. Classificação dos teores de fósforo do solo. ....	17
Tabela 3. Classificação dos teores de metais do solo. ....	17
Tabela 4. Classificação dos teores de matéria orgânica do solo. ....	18
Tabela 5. Tratamentos usados no estudo. ....	23
Tabela 6. Resultados experimentais dos parâmetros físico-químicos do solo (controle).....	30
Tabela 7. Resultados experimentais dos parâmetros químicos do BCA* e de FFM*.....	31
Tabela 8. Avaliação da temperatura das misturas durante o período do processo de compostagem. ....	32
Tabela 9. Parâmetros químicos dos compostos orgânicos.....	34
Tabela 10. Resultados experimentais dos parâmetros físico-químicos do solo incubado. ....	35
Tabela 11. Efeito dos diferentes tratamentos nos parâmetros de crescimento da cultura de alface. ....	36

## **1. Introdução**

Durante o processo de produção de açúcar são produzidas quantidades consideráveis de subprodutos como a torta de filtro, o bagaço e o resíduo de cana (palha). Nas fábricas moçambicanas em 2014, foram produzidas aproximadamente mais de 423.062 toneladas métricas de açúcar a partir da cana-de-açúcar (CA) (CEPAGRI, 2014, citado por Kegode, 2015). Nos mais recentes anos, tem crescido o interesse pela utilização de resíduos agro-industriais, com destaque ao bagaço de cana-de-açúcar (BCA) (Pandey *et al.*, 2000), uma vez que numa base anual, neste processamento resulta em cerca de 30% deste resíduo da cana integral moída.

Este interesse na utilização de subprodutos tem sido estimulado pelo aumento do regulamento de queima de resíduos e processamento de subprodutos como os de processamento de CA que posteriormente podem ser compostados para melhorias do solo e suporte de culturas (Meunchang *et al.*, 2005).

O bagaço é um subproduto da moagem de CA, cuja maior porção é usada actualmente como fonte de combustível nas fábricas de açúcar e de álcool (Paturau, 1982, citado por Lucas *et al.*, 1990) e produção de electricidade a ser vendida às redes. No entanto, uma parte importante do bagaço produzido pode ser usado em variadas aplicações, destacando-se o seu uso para produção do etanol, papel e celulose, placas, alimentação animal e síntese de químicos como o furfural (Mussatto *et al.*, 2006; Contreras *et al.*, 2009).

Apesar da utilização deste subproduto, existe ainda um grande excedente, o que torna o bagaço barato e em uma matéria-prima de grande disponibilidade. Ao longo dos anos, vários estudos têm sido desenvolvidos com a finalidade de encontrar um uso adequado e rentável para este subproduto (Paturau, 1982, citado por Lucas *et al.*, 1990), isto por razões económicas relacionadas com a tecnologia e processos de desenvolvimento para a utilização, gestão eficaz destes resíduos (Zhang *et al.*, 2000, citado por Kumar *et al.*, 2010a) e ambientais devido à sua composição lignocelulósica (Rocha *et al.*, 2012), cuja degradação pelo solo se torna lenta.

Contudo, a utilização de materiais de composição lignocelulósica requer um pré-tratamento, seja por métodos físicos, físico-químicos ou biológicos (Rocha *et al.*, 2015) com a finalidade de eliminar substâncias complexas existentes formadas por celulose, hemicelulose e lignina, e por isso considerado como um passo importante na bio refinação tecnológica deste tipo de materiais (Martin *et al.*, 2007; Saad *et al.*, 2008).

Um dos usos do BCA é na conversão em meio de suporte de compostagem (pré-tratamento biológico) (Lucas *et al.*, 1990), uma vez que a incorporação directa de resíduos desta natureza pode causar efeitos indesejáveis, tais como a fito-toxicidade e a imobilização de nitrogénio no solo (Negro *et al.*, 1999).

Apesar de possuir na sua composição alguns resíduos de açúcar que podem ser usados pelos microrganismos, sob condições favoráveis durante a compostagem, formando os maiores produtos de reacção como o composto, dióxido de carbono, calor e água (Lucas *et al.*, 1990), trata-se de um material com baixo teor de nutrientes como consequência da extracção de sumo de cana para diversos fins (Negro *et al.*, 1999) dentre esses nutrientes destaca-se o nitrogénio com 0,24% (Severino *et al.*, 2006) comparando com os outros subprodutos tradicionais utilizados como fertilizantes como o farelo de rícino (7,54%) e de algodão (8,21%) (Vaughn *et al.*, 2010).

Além da disponibilidade de nitrogénio, a proporção carbono- nitrogénio (C/N) é um dos mais importantes factores que afecta a taxa de decomposição de um material orgânico. A proporção óptima para que um material seja utilizado para a compostagem encontra-se no intervalo de 25 a 30 e diferentes materiais podem ser misturados de modo a atingir uma proporção adequada (Kumar *et al.*, 2010b). Portanto, o BCA *in natura*, possui limitação na sua aplicação como fertilizante quando incorporado directamente ao solo devido à sua elevada proporção C/N superior a 30 (Negro *et al.*, 1999) situação idêntica foi reportada por Rocha *et al.* (2015) obtendo em seu estudo uma proporção de C/N de 166:1.

Por isso, a mistura ideal e apropriada consiste em resíduos ou subprodutos orgânicos com elevado teor de nitrogénio (Negro *et al.*, 1999; Meunchang *et al.*, 2005) com o objectivo de diminuir a proporção C/N.

Vários processos de compostagem usando o BCA têm sido investigados com este propósito, como por exemplo o caso da vermicompostagem com a palha de arroz; mistura com esterco de vaca (Ansari & Jaikishun, 2010); mistura com torta de filtro (Meunchang *et al.*, 2005); misturas

preparadas com cinzas de carvão ou ambos com resíduos municipais (Mohee *et al.*, 2015); mistura com microrganismos enriquecidos com fosfatos, ureia (fertilizante químico) e enxofre (Razikordmahalleh, 2014).

Além de uso de resíduos animais, industriais ou materiais sintéticos, resíduos vegetais podem ser usados para esta diminuição. A *Moringa oleífera* é conhecida como sendo um material com elevado teor de proteína (fonte de nitrogênio), fácil crescimento e aquisição. Com o presente trabalho pretende-se avaliar a possibilidade de incorporação de folhas frescas de *Moringa oleífera* (FFM) para diminuir a proporção (C/N) na preparação do BCA como fertilizante orgânico.

## **1.1. Objectivos**

### **1.1.1. Geral**

- O presente trabalho tem como foco principal, estudar o efeito da incorporação das folhas frescas de *Moringa oleífera* na diminuição da proporção de C/N do bagaço de cana-de-açúcar como fertilizante orgânico.

### **1.1.2. Específicos**

- Avaliar o efeito das FFM na diminuição da proporção C/N do bagaço de cana-de-açúcar;
- Analisar de forma comparativa os parâmetros de crescimento das culturas sujeitas a diferentes tratamentos contendo bagaço de cana-de-açúcar: (mistura de bagaço com solo (BS), mistura de bagaço com folhas frescas de *Moringa oleífera* (BFM), mistura de bagaço com ureia (BU) e separadamente a mistura de ureia com solo (US).

## **1.2. Justificativa da escolha do tema**

As indústrias açucareiras produzem grandes quantidades de resíduos, o BCA é o mais expressivo e disponível. Apesar das variadas aplicações deste resíduo pela própria indústria e por outras com interesse no mesmo, existe ainda uma parte a ser eliminada de uma forma racional, porque a eliminação e acúmulo inadequado originam problemas de origem sócio ambiental. Uma das alternativas é como suporte no processo de compostagem, que posteriormente serve como fertilizante e melhorador das propriedades físico-químicas dos solos. Contudo, existem poucos estudos conduzidos para a investigação do processo de compostagem de resíduos de CA, mais concretamente o BCA e seu efeito nas alterações das propriedades físico-químicas dos solos e como suporte de culturas.

Em tempos passados, o BCA era usado como fertilizante somente em canaviais mantendo a sua produtividade; em contraste, este material necessita de um tratamento biológico (compostagem) ou adição de um material rico em nitrogénio para balancear a proporção C/N. O presente trabalho torna-se importante, pelas seguintes razões:

- **Ambientais:**

Representa uma forma de tratamento, aproveitamento e finalidade deste resíduo, criando uma alternativa viável de eliminação para as açucareiras, transformando-os em fertilizante orgânico para melhoramento dos solos, adicionalmente alterando positivamente os teores de nitrogénio no solo, evitando impactos ambientais decorrentes dos mesmos; também colaborando na redução de quantidades de fertilizantes químicos que possam poluir os solos.

- **Sócio-cultural:**

Irá contribuir também na área da agricultura, actuando como uma opção de uso deste fertilizante para melhoramento do solo e desenvolvimento de outras culturas (diferentes da CA).

- **Económicas:**

Uma vez que fertilizantes nitrogenados apresentam elevado custo e a sua utilização inadequada resulta na contaminação do próprio solo, devido à sua elevada mobilidade no sistema solo-planta-atmosfera, escolheu-se as FFM, apesar da competitividade da sua aplicação na área alimentar ou medicinal, uma parte pode ser usada como fertilizante ou correctivo juntamente

com resíduos industriais, mantendo um ciclo repetitivo. As suas folhas contribuem significativamente para o fornecimento de nitrogénio em culturas, a sua fácil disponibilidade torna-a potencial na preparação de um fertilizante orgânico natural, de fácil aquisição e de baixo custo.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1. Resíduos resultantes do processamento da cana-de-açúcar

Os resíduos de indústria açucareira podem ser agrupados em: aqueles que se originam durante a colheita (fase agrícola) como os topos e a palha; e os que são formados durante o processo industrial, como a torta de filtro, o melaço, o bagaço e a lama, como ilustrado na Figura 1 (Contreras *et al.*, 2009); Balakrishnan & Batra (2011).

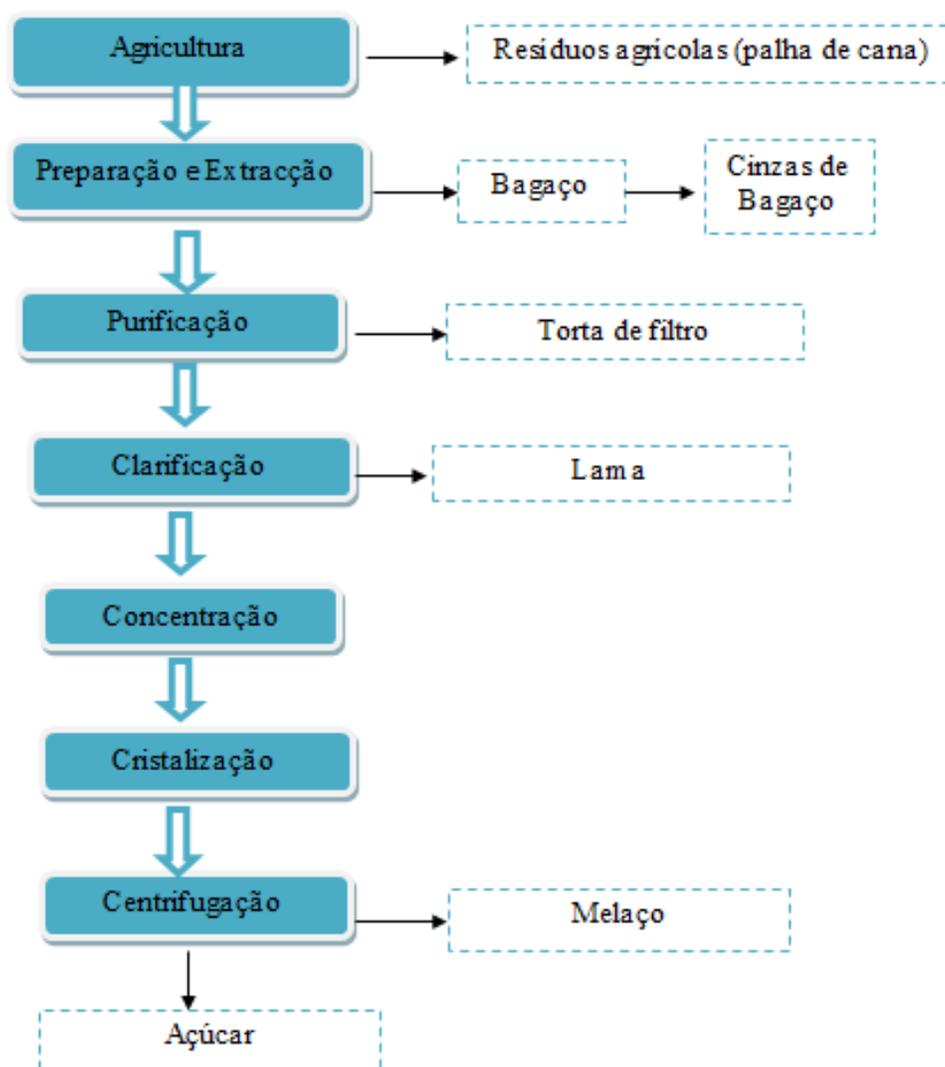


Figura 1. Processo de produção de açúcar a partir de cana-de-açúcar e os resíduos obtidos.

Fonte: Contreras *et al.* (2009); Balakrishnan & Batra (2011).

## **2.2. Resíduos de fertilização dos solos**

Durante o processamento de variados produtos são originados muitos resíduos, que podem ser reutilizados pela própria indústria ou por outros sectores.

A utilização de resíduos orgânicos com o objectivo de melhorar o rendimento de culturas e de reciclar nutrientes é uma alternativa tradicional para a eliminação de resíduos industriais, com vantagens adicionais de evitar alguns impactos ambientais e criando renda para indústrias e propriedades rurais (Severino *et al.*, 2006). Os subprodutos utilizados como fertilizante orgânico podem fornecer macro e micronutrientes, melhorar as propriedades físicas do solo, imobilizar elementos tóxicos como o alumínio e promover actividade de microorganismos (Lima *et al.*, 2006).

Uma das características mais importantes de um subproduto para utilização como fertilizante orgânico é a potencialidade de nitrogénio disponível (Cavaleri *et al.*, 2004, citado por Lima *et al.*, 2011), porque depois da água, este é o nutriente mais importante e factor limitante para o crescimento das plantas (Kowaljow *et al.*, 2010 citado por Lima *et al.*, 2011) seguida da proporção C/N (Kumar *et al.*, 2010b).

Os subprodutos orgânicos podem ser formados durante a fase agrícola ou durante o processamento industrial, cujo uso pode ser por meio de compostagem ou misturando com outros resíduos orgânicos. Em seguida, são descritos alguns subprodutos formados durante o processamento da CA, juntamente com outros resíduos resultantes de outros processos que podem ser usados para esta finalidade.

Os subprodutos de processamento de CA usados no processo de compostagem e aplicados ao solo, são derivados de várias misturas, nomeadamente: da palha de cana (talo imaturo e folhas verdes), água de lavagem de cana, torta de filtro, excesso de bagaço não usado para energia de moinho ou para produtos de fibra industrial (Meunchang *et al.*, 2005). Além das misturas do bagaço com outros resíduos quer resultantes do processamento da própria cana, como no caso da palha (Kumar *et al.*, 2010a), torta de filtro (Meunchang *et al.*, 2005) ou com resíduos de outros tipos de processamento como também a mistura com cinzas de carvão que além de ser uma forma de redução da quantidade de ambos os resíduos, no processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos melhora a qualidade do composto e o tempo de estabilização (Mohee *et al.*, 2015).

As cinzas de bagaço que normalmente são descartadas em covas, podem ser aplicadas no solo em algumas regiões; o resíduo sólido obtido no processo de clarificação do sumo de cana (a lama) é tipicamente descartado por meio de aplicação directa ao solo como fertilizante por possuir um alto teor de nitrogénio e fósforo e pode ser usado também como enchimento para bio-compostagem (Balakrishnan & Batra, 2011) e na verme-compostagem através da mistura com outros resíduos, como esterco de vaca (Prakash & Karmegam, 2010); a torta de filtro actualmente é utilizada como uma emenda do solo ou como aterro orgânico (Meunchang *et al.*, 2005).

As cinzas de carvão separadamente às de bagaço e de resíduos sólidos, possuem nutrientes que podem ser utilizados como fertilizantes nas suas formas puras ou granuladas (Kuba *et al.*, 2008, citado por Mohee *et al.*, 2015) e melhoram a extensão da mineralização da matéria orgânica do composto e aumentam a formação de ácidos húmicos (Koivula *et al.*, 2004, citado por Mohee *et al.*, 2015).

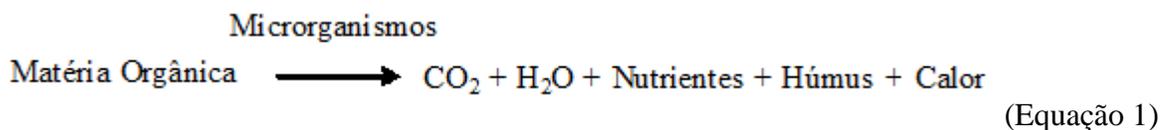
Na literatura existe pouca informação relacionada com o uso das folhas da *Moringa oleífera* como fertilizante e melhorador das propriedades físico-químicas do solo, contudo, a torta resultante da extracção do óleo a partir das suas sementes pode servir de adubo orgânico (Jeng, 2006).

Para a fertilização de solos também pode-se usar resíduos resultantes da extracção de óleos de fonte vegetal, tais como o rícino (*Ricinus communis*) cujos subprodutos originados durante este processo são as cascas de cápsula, produzido quando as sementes são separadas a partir dos frutos, bem como o farelo, quando o óleo é extraído a partir da semente. A composição de ambos os resíduos é antagónica sendo que o farelo possui 7,54% de nitrogénio e 0,66% de potássio enquanto que as cascas são pobres em nitrogénio com 1,86% mas ricas em potássio com 4,50%. Devido ao baixo teor de nitrogénio, as cascas tiveram um mau desempenho quando usadas como fertilizante orgânico ou como ingrediente de enchimento sem ser misturado com material rico em nitrogénio (Lima *et al.*, 2006). Assim, misturando estes dois materiais orgânicos é uma alternativa para reduzir a taxa de mineralização do farelo e para melhorar o equilíbrio nutricional das cascas (Lima *et al.*, 2011).

No processamento da mapira são produzidos a biomassa e açúcares fermentáveis (Negro *et al.*, 1990), como resultado desta extração, fornece resíduo celulósico (bagaço) como um subproduto representando cerca de 30% do peso da planta fresca (Bludeau, 1992, citado por Negro *et al.*, 1990). Este tipo de bagaço juntamente com outros resíduos como o estrume de suíno e lamas de esgoto foram usados para otimizar a proporção C/N do bagaço de mapira, apresentando valores de índice de germinação superiores a 50%, obtenção de um composto estável, elevação dos teores de micro e macronutrientes aceitáveis e níveis baixos de metais pesados (Negro *et al.*, 1999).

### **2.3. Compostagem**

O termo compostagem está associado ao tratamento de resíduos orgânicos sejam eles de origem urbana, industrial, agrícola ou florestal. A compostagem é um processo de decomposição biológica e estabilização de um substrato orgânico, sob condições que permitam o desenvolvimento de temperaturas na categoria termófila como resultado do processo biológico aeróbico exotérmico, para produzir um produto final estável, livre de patogênicos e que possa ser utilizado no solo de forma benéfica. Este processo pode ser considerado como um tipo particular de reciclagem, transformando uma determinada matéria-prima em um produto que possa ter usos determinados ou apresentar um interesse comercial. Na compostagem aeróbica são utilizados microorganismos que decompõem os resíduos orgânicos, resultando em água, dióxido de carbono e composto orgânico. Durante a fase inicial de decomposição, este processo liberta energia (reações exotérmicas) que aquece e otimiza todo o sistema (Elías, 2005). A Equação 1 ilustra a reação que ocorre durante o processo de compostagem (Saranraj & Stella, 2014).



Cada mistura de materiais orgânicos exige tempos diferentes para o composto atingir a maturação, cujo produto final tem de apresentar um pH adequado para o desenvolvimento da cultura, ser estável no que diz respeito à actividade microbiana e ser livre de substâncias fitotóxicas (Meunchang *et al.*, 2005). Por sua vez, além das exigências adequadas do composto formado, deve-se ter em conta informações como a origem, a qualidade de matéria-prima, as

características físico-químicas, o conteúdo de elementos fertilizantes (micro e macronutrientes) para complementar e equilibrar o composto.

### **2.3.1. Parâmetros envolvidos no processo de compostagem**

No processo de compostagem os responsáveis ou agentes de transformação são os microorganismos que vivem no entorno (fungos, bactérias, entre outros) e é necessário que estejam em condições favoráveis para que possam desempenhar sua função (são a chave do processo).

Além da presença de microorganismos, vários parâmetros têm sido propostos para avaliar a estabilidade de compostagem como: as temperaturas padrões do processo correspondentes à fase mesófila, termofílica e maturação do composto, o teor de humidade, pH, teor de nitrogénio e proporção C/N, aeração (Meunchang *et al.*, 2005; Lucas *et al.*, 1990).

Em seguida, a descrição da importância de cada um dos parâmetros durante o processo de compostagem:

#### **a) Temperatura**

A temperatura é um parâmetro muito importante porque serve como indicativo do início da degradação da matéria orgânica. Contudo, o valor de temperatura se deve encontrar numa faixa específica de modo a favorecer o processo de decomposição da matéria orgânica. Nas primeiras duas semanas deve ser mantida entre 55°C e 60°C para promover actividade microbiana, pois caso contrário temperaturas acima de 65°C resultam no empobrecimento da actividade microbiana e conseqüentemente retarda o processo de decomposição (Lucas *et al.*, 1990).

O processo de compostagem típica passa por quatro grandes etapas térmicas, nomeadamente: fase mesófila, termofílica, refrigeração (semicura) e maturação ou cura do composto (como ilustra a Figura 2), o qual depende das temperaturas originadas pela população microbiana e outras condições ambientais. Na primeira fase, as substâncias orgânicas são decompostas por microorganismos mesófilos a temperaturas moderadas (cerca de 40°C). Em seguida a temperatura aumenta por auto aquecimento, como resultado de actividade de microorganismos alcançando a fase termofílica com temperaturas correspondentes a 50-60°C, estimulado pela proliferação de microorganismos termofílicos e patógenos mesofílicos. Após a progressão termofílica da

decomposição dos resíduos, a actividade microbiana diminui (fase de semicura) devido à disponibilidade limitada da degradação da substância orgânica. Nesta fase ocorre a redução da temperatura e permite a predominância de microrganismos mesofílicos (Saranja & Stella, 2014).

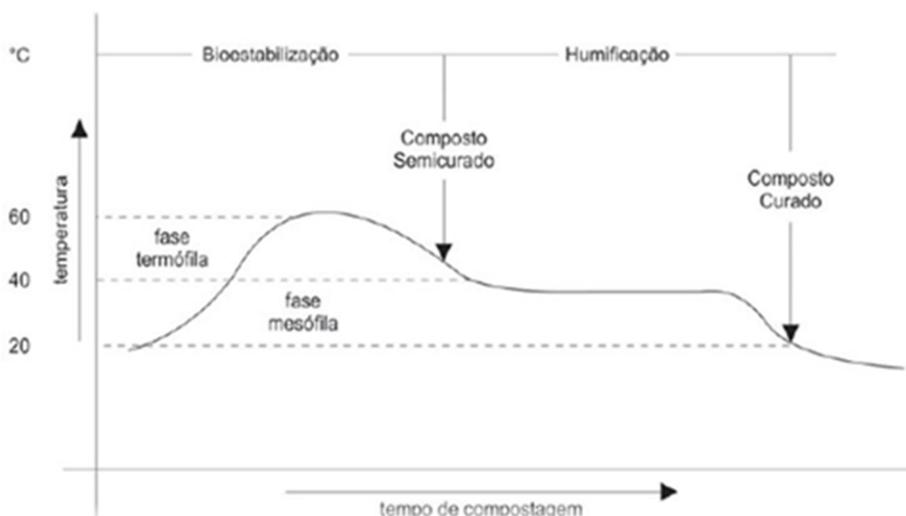


Figura 2. As fases típicas do processo de compostagem.

Fonte: <http://images.slideplayer.com.br/>

### **b) Humidade**

O teor de humidade inicial do material na pilha de compostagem deve estar no intervalo de 68-73% do peso seco. Para as duas primeiras semanas críticas do processo, a quantidade de água através da remoção de calor (vaporização de água) não deve tornar-se excessiva, caso contrário, a actividade microbiana é negativamente afectada. A quantidade de humidade perdida durante a compostagem pode ser usada como uma indicação do sucesso da decomposição da matéria orgânica. Dependendo do tipo de procedimento de aeração implementado, o teor de humidade final do material em compostagem é geralmente cerca de 45 % (Lucas *et al.*, 1990).

### **c) pH**

Este factor influi no processo de compostagem pela sua acção sobre os microrganismos pois à medida que o processo decorre há uma importante variação do pH, onde o intervalo ideal encontra-se na faixa entre 5.5 e 8. Inicialmente o valor de pH encontra-se usualmente entre 5 a 7. Nos primeiros dias, decresce para valores menores ou iguais a 5, isto ocorre devido à formação

de compostos orgânicos intermediários, principalmente ácidos gordos voláteis. Com o aumento de temperatura e crescimento da massa microbiana, estes ácidos formados são consumidos e ocorre o aumento de pH para valores compreendidos entre 7.5 e 8.5, devido à alcalinidade do meio derivada pela libertação de dióxido de carbono que em parte dissolve em forma de bicarbonato, que por sua vez, confere capacidade tampão à massa, mantendo o pH estável até o final do processo podendo ocorrer a diminuição até 7 na maturação do produto (Elías, 2005).

#### **d) Teor de nitrogénio**

O nitrogénio ocupa posição de destaque entre os nutrientes essenciais no desenvolvimento das plantas (Severino *et al.*, 2001). A concentração de nitrogénio inorgânico como material de compostagem é um dos factores mais importantes de determinação do valor agronómico, porque a maior parte do nitrogénio encontrado na mistura do composto está na forma orgânica (Golueke, 1991, citado por Meunchang *et al.*, 2005). Para captação e absorção de nitrogénio pelas plantas, o nitrogénio tem de estar na forma inorgânica como caso de nitrato de amónio (Severino *et al.*, 2001).

Se o nitrogénio disponível for baixo, a actividade microbiana durante a compostagem será lenta. Em contraste, caso não haja excesso deste é frequentemente perdido do sistema como gás amoníaco (NH<sub>3</sub>). Alguns resíduos orgânicos são lentamente mineralizados devido ao baixo teor de nitrogénio ou alta humidificação e quando eles são adicionados ao solo, o conteúdo de nitrogénio e fósforo podem ser reduzidos temporariamente devido à imobilização de microorganismos (López-Pineiro *et al.*, 2008, citado por Lima *et al.*, 2011). A taxa de mineralização do nitrogénio pode ser influenciada pela temperatura, a humidade do solo, a aeração, a textura do solo, pH e o conteúdo de nitrogénio orgânico (Severino *et al.*, 2001).

#### **e) Aeração**

A função da aeração é remover o calor originado pelos microorganismos e reacções químicas que fornecem oxigénio para decomposição aeróbica. A ventilação adequada remove o calor com a perda de água por evaporação (Lucas *et al.*, 1990).

#### **f) Proporção C/N**

A proporção carbono- nitrogénio (C/N) é um dos mais importantes factores que afecta a taxa de decomposição de um material orgânico. A proporção óptima para que um material seja utilizado para a compostagem encontra-se no intervalo de 25 a 30 e diferentes materiais podem ser misturados de modo a atingir uma proporção adequada (Kumar *et al.*, 2010b). Portanto, o BCA *in natura*, possui limitação na sua aplicação como fertilizante quando incorporado directamente ao solo devido à sua elevada proporção (C/N) superior a 30 (Negro *et al.*, 1999) situação idêntica foi reportada por Rocha *et al.* (2015) obtendo em seu estudo uma proporção de C/N correspondente a (166:1).

Teoricamente, a proporção C/N inicial óptima do substrato deve se situar em torno de 30. Mas na realidade, constata-se que esta proporção pode variar de 20 a 70 de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato. A falta de nitrogénio e de carbono limita a actividade microbiológica. Se a proporção C/N for muito baixa pode ocorrer grande perda de nitrogénio pela volatilização do amónio e se for muito elevada os microrganismos não encontrarão nitrogénio suficiente para a síntese de proteínas e terão o seu desenvolvimento limitado, consequentemente o processo de compostagem será mais lento (De Oliveira, 2010).

## **2.4. Parâmetros físico-químicos do solo**

Contrariamente a outros conceitos como a qualidade da água e do ar, a qualidade do solo não possui padrões e, portanto, não têm sido criadas regulamentações como forma de aferir a sua qualidade. Além disso, não existe até presente, um consenso no que diz respeito ao seu conceito, embora tenham surgido vários conceitos de qualidade do solo, em sua maioria relacionados com as funções do solo em ecossistemas naturais e agrícolas (Karlen *et al.*, 1997, citado por De Araújo *et al.*, 2012). Neste contexto, a qualidade do solo pode ser estimada usando indicadores (parâmetros) sejam físicos, químicos ou biológicos.

Alguns parâmetros físico-químicos de interesse para o solo são: pH, condutividade eléctrica, textura; teores de nutrientes (nitrogénio, fósforo, cálcio, magnésio, potássio e sódio), matéria orgânica, carbono orgânico e capacidade de troca catiónica (CTC). Entretanto, existem outros parâmetros físico-químicos como: teor de carbonatos, humidade, densidade do solo e das partículas, condutividade hidráulica, cor, entre outras.

Neste trabalho foram abordados apenas os parâmetros químicos de grande interesse para o solo, ou seja, os parâmetros que têm uma influência directa na fertilidade do mesmo e conseqüentemente no desenvolvimento de uma cultura.

A seguir, são apresentados alguns parâmetros do solo e suas implicações no desenvolvimento de culturas. Uma vez que não existe uma especificação concreta, os teores médios permitidos nas análises da determinação de parâmetros químicos do solo podem ser feitos de acordo com as necessidades de nutrientes de um solo e sua aplicabilidade.

### **2.4.1. pH**

A determinação do pH permite efectuar a avaliação da acidez ou alcalinidade do solo, consistindo na medida de iões de hidrogénio ( $H^+$ ) presentes. Este parâmetro pode afectar a CTC, alterando a carga da superfície dos colóides. Uma maior concentração de  $H^+$  (pH inferior) irá neutralizar a carga negativa em colóides, diminuindo a CTC e aumentando a capacidade de troca aniónica e o oposto ocorre com aumentos de valor de pH (McCauley *et al.*, 2005), como também controla a solubilidade de nutrientes no solo, exercendo grande influência sobre a absorção dos mesmos pela planta (Gomes & Filizola, 2006).

Uma vez que este parâmetro depende da concentração de iões hidrogénio na solução do solo (acidez momentânea) e dos adsorvidos em substâncias de troca (acidez potencial), os solos

ácidos são resultantes da remoção de elementos alcalinos, como o  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$  sendo substituídos nos colóides pelos iões  $\text{H}^+$  (Oliveira, 2005). A Tabela 1 indica a classificação química e agronômica para valores de pH.

Tabela 1. Classificação dos valores de pH (em água) do solo.

<b>Classificação química</b>						
<b>Acidez muito elevada</b>	Acidez elevada	Acidez média	Acidez fraca	Neutra	Alcalinidade fraca	Alcalinidade elevada
<4.5	4.5-5.4	5.5-6.0	6.1-6.9	7.0	7.1-7.8	>7.8

<b>Classificação agronômica</b>				
<b>Muito baixo</b>	Baixo	Bom	Alto	Muito alto
<4.5	4.5-5.4	5.5-6.0	6.1-7.0	>7.0

Fonte: Ribeiro *et al.* (1999).

#### 2.4.2. Nutrientes

O nitrogénio (N) é um elemento essencial tanto para as plantas quanto para os animais sendo, de maneira geral, o nutriente mais exigido pelas culturas (Faquin, 1994, citado por Araújo, 2011). Encontra-se disponível para as plantas nas formas nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) e amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) e no caso de deficiências deste macronutriente, são notadas nas folhas uma coloração amarelada (Gomes & Filizola, 2006). Os macronutrientes representados por P, K, Ca e Mg favorecem o aumento da produtividade. As Tabelas 2 e 3 indicam a classificação quantitativa e qualitativa dos teores de macronutrientes do solo.

Tabela 2. Classificação dos teores de fósforo do solo.

Muito baixo (mg/l)	Médio (mg/l)	Bom/muito bom (mg/l)
<4.4	4.4- 6.0	> 6.0
<6.1	6.1- 8.3	> 8.3
<8.4	8.4- 11.4	> 11.4
<11.5	11.5- 15.8	> 15.8
<15.9	15.9- 21.8	> 21.8
<21.9	21.9- 30.0	> 30.0

Fonte: Ribeiro *et al.* (1999).

Tabela 3. Classificação dos teores de metais do solo.

Parâmetros	Muito baixo (mg/l)	Médio (mg/l)	Bom/ muito bom (mg/l)
<b>Específicos</b>			
<b>K<sup>+</sup></b>	<41	41- 70	> 70.0
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<1.21	1.21- 2.4	> 2.4
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<0.46	0.46- 0.9	> 0.9

Fonte: Ribeiro *et al.* (1999).

### 2.4.3. Matéria orgânica

A MO influencia positivamente em diversas características do solo, tais como: aumento da população de microrganismos, disponibiliza nutrientes para a cultura, melhora a CTC, complexa elementos tóxicos e micronutrientes, participa na formação de agregados do solo e, conseqüentemente, diminui a densidade do solo, aumenta a porosidade, infiltração, retenção de água e aeração. Embora não seja um nutriente para a planta, baixos valores (Tabela 4) podem afectar a produtividade em razão de seu efeito na estrutura, na disponibilidade de água para as plantas e no seu poder tampão frente à presença de compostos muitas vezes tóxicos às plantas (Gomes & Filizola, 2006).

Tabela 4. Classificação dos teores de matéria orgânica do solo.

<b>MO</b>	<b>Muito baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Médio</b>	<b>Bom</b>	<b>Muito bom</b>
<b>(%)</b>	<0.70	0.71- 2.0	2.01- 4.0	4.01- 7	> 7.0

Fonte: Ribeiro *et al.* (1999).

#### **2.4.4. Capacidade de troca catiónica**

A CTC é determinada para a testagem da capacidade de retenção de nutrientes, considerando as interações químicas no solo ocorridas nas superfícies do colóide devido às suas superfícies carregadas. Dependendo da carga do ião, tamanho e concentração no solo, pode ser absorvida e mantidas até à superfície do colóide ou trocadas com outros iões e libertando para a solução do solo (McCauley *et al.*, 2005).

#### **2.5. Parâmetros de crescimento de plantas**

Os parâmetros de crescimento permitem avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total. A partir dos dados de crescimento pode-se inferir actividade fisiológica, isto é, estimar-se, de forma bastante precisa, as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas crescendo em ambientes diferentes. Conforme a classificação de Peixoto & Peixoto (2004), para este fim, as análises podem ser agrupadas em:

- **Dimensões lineares** (altura da planta, comprimento e diâmetro do caule, comprimento e largura de folhas, etc.). Estas medidas de dimensões lineares podem ser feitas em plantas intactas ou não. São muito úteis e, em alguns casos, são as únicas possíveis.
- **Número de unidades estruturais.** O crescimento pode ser acompanhado a partir da contagem de unidades estruturais morfológicas ou anatómicas (folhas, flores, raízes e frutos) que podem fornecer informações sobre a fenologia e são, muitas vezes, usadas para detectar diferenças entre os tratamentos estabelecidos.
- **Medidas de superfície.** Estas medidas estão relacionadas com a determinação ou estimativa da superfície fotossinteticamente activa da planta que, com raríssimas excepções, são as folhas, os órgãos vegetais responsáveis pela fotossíntese.

- **Peso das folhas frescas.** É a massa do material em equilíbrio com o ambiente. Geralmente o crescimento da matéria fresca é acompanhado pelo aumento do teor de água nos tecidos da planta. A desvantagem do uso de massa da matéria fresca é conter algumas imprecisões como o tempo entre a colheita e a pesagem, além de destruir o indivíduo.
- **Peso das folhas secas -** É a massa constante de determinada amostra, numa dada temperatura (nos tecidos vegetais é realizada no intervalo de 65 a 70°). Há também destruição do indivíduo. É muito usado quando se está interessado em produtividade, pois é uma medida bem mais precisa que o peso fresco.

### **3. Materiais e métodos**

Este capítulo apresenta informações sobre as etapas e o respectivo período de duração, os tipos de materiais utilizados, os métodos aplicados para preparação e determinação de parâmetros químicos dos materiais em estudo.

#### **3.1. Etapas e duração da parte experimental**

A parte experimental teve duração de 6 meses, cujas etapas divididas da seguinte forma:

- Preparação e análises químicas da matéria-prima: solo, BCA e FFM (30 dias);
- Mistura dos materiais para a compostagem e o monitoramento do processo (45 dias);
- Análises químicas dos compostos orgânicos resultantes do processo de compostagem (30 dias);
- Incorporação dos tratamentos no solo e germinação das sementes de alface no viveiro (15 dias);
- Transplantação de plântulas para o solo de experimentação e respectivo crescimento (45 dias);
- Colheita e determinação de parâmetros de crescimento da alface (2 dias);
- Análises químicas do solo de experimentação (13 dias).

As análises químicas da matéria-prima, compostos orgânicos e determinação dos parâmetros de crescimento da cultura de alface (*Lactuca sativa*) foram realizadas no laboratório de solos da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane (UEM) e o processo de compostagem foi montado e realizado no domicílio.

#### **3.2. Matéria-prima**

Para o estudo foram utilizados 4 materiais, nomeadamente: solo, BCA, FFM e ureia. A amostra de solo foi fornecida pelo laboratório de solos pertencente ao departamento de Engenharia rural da UEM. O solo foi colhido no distrito de Marracuene (província de Maputo). O bagaço foi colectado após extracção de sumo de CA na cidade de Maputo, da árvore de *Moringa oleífera* foram colhidas as suas folhas frescas. O fertilizante químico (ureia) e as sementes de alface foram adquiridos em um estabelecimento responsável pela venda de insumos agrícolas.

### **3.3. Tratamento físico**

#### **3.3.1. Solo**

O solo foi submetido a um pré-tratamento que consistiu na secagem ao ar em tabuleiros, à temperatura ambiente, durante um dia até as amostras apresentarem um aspecto seco. Durante o período de secagem teve-se o cuidado de ir desfazendo os agregados de modo a facilitar as operações subsequentes.

#### **3.3.2. BCA**

A partir dos colmos da cana-de-açúcar obtidos após a extracção de sumo de cana (Figura 3A) foram retiradas as suas fibras para evitar o acúmulo de humidade e surgimento de fungos (Figura 3B); em seguida foram submetidos a secagem à sombra durante uma semana e por fim foram trituradas em um moinho eléctrico (Figura 3C) numa velocidade de trituração 3050 rotações por minuto e para sua afinação usou-se o crivo de menor furo para redução de fibras, transformando-o em pó (Figura 3D) com intuito de facilitar para a determinação de parâmetros químicos e o processo de compostagem.

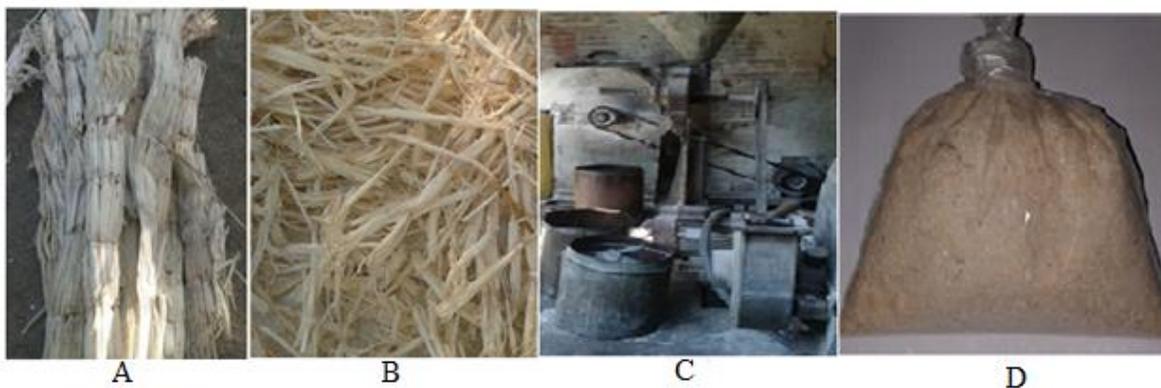


Figura 3. Fases de preparação do BCA: (A) - colmos da cana-de-açúcar; (B) - fibras de cana-de-açúcar; (C) - moinho eléctrico; (D) - pó de bagaço de cana-de-açúcar.

#### **3.3.3. Correctivo do BCA (FFM)**

De forma genérica, os materiais vegetais frescos e verdes tendem a ser mais ricos em nitrogénio do que os materiais secos e acastanhados. Por esta razão, escolheu-se as FFM como correctivo

para reduzir a proporção C/N do BCA e melhorar a sua compostagem. Foram colhidas as suas folhas frescas e em seguida submetidas a trituração em um moedor caseiro e conservadas em plásticos transparentes para as análises químicas e posteriormente para a sua colocação na fase de compostagem (Figura 4A). A ureia foi usada também como fonte de nitrogênio e serviu como tratamento de comparação com os fertilizantes orgânicos preparados (Figura 4B).



Figura 4. Aparência das folhas moídas de *Moringa oleífera* (4A) e ureia (4B).

#### **3.3.4. Tipos de correctivos incorporados ao BCA**

Para o estudo definiu-se 5 formas de tratamento (Tabela 5), onde os tratamentos (1,2,3) foram submetidos ao processo de compostagem. O controlo foi usado como um critério de comparação e avaliação da compostagem, juntamente com os efeitos dos fertilizantes após a incorporação dos compostos orgânicos nas áreas de experimentação. Usou-se também uma área incorporada o BCA *in natura* (anteriormente compostado) para servir como indicativo da redução da proporção C/N do mesmo e a ureia como adubação recomendada (padrão).

Tabela 5. Tratamentos usados no estudo.

<b>Tratamento</b>	<b>Sigla</b>	<b>Descrição do tratamento</b>
1	BS	Bagaço de cana-de-açúcar + solo
2	BFM	Bagaço de cana-de-açúcar + folhas frescas de <i>Moringa oleífera</i>
3	BU	Bagaço de cana-de-açúcar + Ureia
4	C*	Solo
5	US	Ureia + solo

\* - Controlo

### 3.3.5. Compostagem

Os tratamentos com base de BCA (1, 2 e 3) foram submetidos ao processo de compostagem. Para este processo foram usados 3 baldes plásticos com capacidade de 20 l de onde se traçou as alturas correspondentes às camadas de materiais; foram colocadas manualmente e de forma alternada camada de solo (2,5 cm de altura) que serviu como fonte de microrganismos para activar o processo, de material rico em carbono (BCA, com 2,5 cm) e de material rico em nitrogénio (folhas frescas de *Moringa oleífera* no tratamento “2” ou ureia no tratamento “3” ambas com 7,5 cm respectivamente). Para o controlo da quantidade de água, usou-se o teste de esponja, que segundo Brito (2006) consiste em cada camada de material adicionar água para manter a humidade de modo que, ao apertar o material nas mãos não, escorra água e deixando humidade na mão; repetiu-se o procedimento de organização de camadas finalizando com a de solo, totalizando 7 camadas. Contudo, para a preparação do tratamento “3” a ureia foi usada em forma de solução, misturando a mesma com água de modo a obter um extracto aquoso e por fim colocou-se de forma intercalada com camadas de solo e de BCA com as alturas anteriormente mencionadas. Os baldes depois de enchidos com o material orgânico foram misturados e cobertos (não na totalidade) e colocados fora da exposição directa do sol, para evitar a sua secagem e permitir a eficiência do processo de compostagem. O material orgânico foi misturado manualmente uma vez por semana durante o período do processo de compostagem para manter a aeração dos baldes.

Considerando a compostagem como um processo contínuo, fez-se o controle da temperatura no meio do recipiente todos os dias numa hora fixa com auxílio de um termómetro de mercúrio de escala 0-100°C, onde após a introdução do termómetro aguardou-se cerca de cinco minutos para a leitura da mesma. O composto orgânico foi removido para aplicação em vasos após 45 dias, cuja aparência é ilustrada na Figura 5.



Figura 5. Aparência dos compostos orgânicos.

### **3.3.6. Preparação dos vasos de experimentação**

Antes da introdução dos compostos orgânicos no solo, preparou-se os vasos em triplicado, totalizando 15 vasos e um viveiro. Para a preparação de ambos primeiro humedeceu-se o solo com água de modo que ao apertar o material nas mãos não escorresse nenhuma gota de água e introduziu-se a mistura (solo e água) nos respectivos vasos (Figura 6).



Figura 6. Etapas de preparação do viveiro e do solo nos vasos de experimentação.

### **3.3.7. Sementeira da cultura e introdução de compostos orgânicos no solo**

Para a análise do efeito dos fertilizantes preparados à base de BCA sobre o solo, foi escolhida a cultura de alface (*Lactuca sativa*) de variedade *Great Lakes* devido uso amplo da população moçambicana e o seu rápido desenvolvimento (máximo de 45 dias). Foram lançadas as sementes de alface no viveiro (Figura 7). Após o cálculo baseado no protocolo em uso no laboratório de solo da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (UEM) que recomenda 5 toneladas de composto para 1 hectare, introduziu-se os compostos orgânicos e ureia nos vasos de experimentação.



Figura 7. As fases da preparação do viveiro: A- sementes; B- sementeira; C- viveiro semeado.

### **3.4. Monitoramento e determinação de parâmetros de crescimento da cultura**

Após as plantas apresentarem três folhas, seguiu-se para a fase de transplantação para os vasos correspondentes às áreas mencionadas anteriormente, colocando no mínimo três plantas em cada vaso. Para manter as melhores condições de desenvolvimento da cultura de alface, fez-se a irrigação das plantas diariamente usando 200 ml de água por vaso cuidadosamente para não encharcar o solo e esperou-se o tempo necessário de desenvolvimento.

Para a classificação qualitativa dos parâmetros de crescimento das culturas foram realizados por observação directa os seguintes parâmetros: vigor das plantas, cor das folhas, e a sanidade.

A colheita da cultura foi baseada no princípio de aparecimento de nova folha na alface, ou seja, após o transplante, o aparecimento ocorreu em cada uma semana. Após a observação e constatando o contrário (sem ocorrer aparecimentos de novas folhas) fez-se a colheita aos 45 dias após a transplantação.

Para este fim, o solo foi bem molhado para facilitar a retirada da planta inteira. Para a análise quantitativa do crescimento das plantas foram usados os seguintes parâmetros de crescimento: número de folhas (NF), altura da planta (AP), comprimento das raízes (CR), peso fresco (PFF) e seco das folhas (PSF). O NF foi obtido por uma contagem directa, baseado no princípio de aparecimento de nova folha na alface, ou seja, após o transplante, o aparecimento ocorreu em cada uma semana e não observação deste fenómeno, realizou-se a contagem e a colheita. A AP e CR mediram-se com auxílio de uma régua de 30 cm; e o PFF e PSF por pesagem (precisão

$\pm 0.01g$ ). A Figura 8 ilustra a medição do CR, juntamente com a separação da planta da raiz para determinação do PFF e posterior PSF.

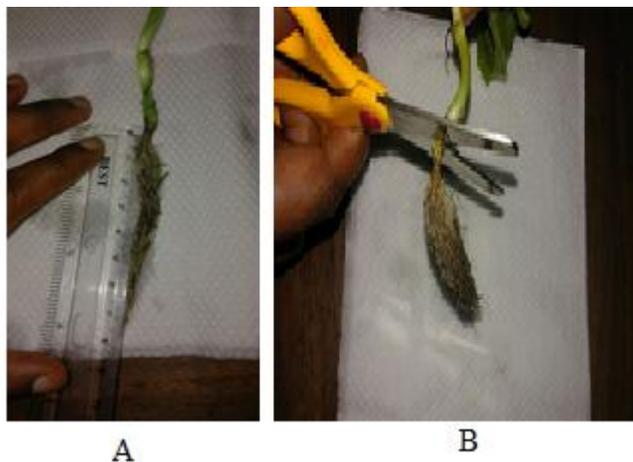


Figura 8. Determinação de parâmetros de crescimento das plantas: (A) - Determinação do comprimento da raiz; (B) - Separação da raiz da parte aérea da planta.

### **3.5. Tratamento químico**

#### **3.5.1. Determinação dos parâmetros físico-químicos do solo (controle) e de solo misturado com o composto orgânico**

As análises físico-químicas dos solos foram realizadas antes e depois da incorporação dos compostos orgânicos segundo o protocolo em uso no laboratório de solos. Para os ensaios pesou-se 50g de solo, o qual foi usado para determinação dos parâmetros físico-químicos.

As análises físico-químicas consistiram na determinação do pH, condutividade elétrica (método potenciométrico); determinação dos teores de macronutrientes (nitrogênio: método de *Kjeldahl*), carbono orgânico (*Walkley & Black*), fósforo (espectrofotometria), cálcio e magnésio (complexometria), potássio e sódio (fotometria de chama) e CTC (acetato de amônio a pH =7).

#### **3.5.2. Determinação dos parâmetros químicos do BCA e FFM**

Antes da colocação do BCA e FFM para o processo de compostagem, os mesmos foram submetidos às mesmas análises químicas que a do solo, onde foram determinados os teores de nutrientes (N, C, P, Mg, Ca, K e Na) e posterior determinação da proporção C/N, usando os teores de C e de N obtidos.

#### **3.5.3. Determinação dos parâmetros químicos do composto orgânico**

Para a avaliação do processo de compostagem, testou-se alguns parâmetros como indicativo da decomposição da matéria orgânica e melhoramento dos parâmetros químicos do BCA *in natura* como fertilizante orgânico, tendo com isto, uma informação prévia da diminuição C/N dos materiais antes de serem introduzidos no solo em estudo. Os parâmetros escolhidos foram: teor de N, C e outros nutrientes (P, Mg, Ca, K e Na) e a partir dos teores de C e N calculou-se novamente a proporção C/N dos compostos produzidos durante a compostagem de BCA *in natura*. Para a determinação destes parâmetros, recolheu-se o composto orgânico de cada balde de compostagem, colocou-se em plásticos transparentes e levou-se ao laboratório de solos (UEM) onde os mesmos foram determinados baseando-se nos métodos para a determinação de parâmetros químicos dos solos.

### **3.6. Análise estatística dos parâmetros**

Para validar os parâmetros de crescimento das plantas avaliadas, usou-se o pacote estatístico *MINITAB 17*, onde se efectuou a análise de variância ou seja, ANOVA unimodal para testar a significância das diferenças entre as médias dos tratamentos para cada variável usada. Aplicou-se o teste de *Dunnnett* a um nível de significância de 5% para comparar cada um dos tratamentos com o controlo. Definiu-se duas hipóteses:

A hipótese nula assume a forma  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ , caso as médias sejam iguais e hipótese alternativa  $H_a$  quando pelo menos duas dos  $\mu_k$  são diferentes.

O teste *F* está baseado na hipótese nula de que as variâncias das duas populações consideradas sejam iguais,  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ . A hipótese nula é rejeitada se o teste estatístico difere muito de 1 (Skoog *et al.*, 2006).

## 4. Resultados e Discussões

Este capítulo destina-se à apresentação e discussão dos resultados experimentais obtidos neste trabalho. Primeiramente são apresentados os resultados das análises químicas da matéria-prima (C, BCA e FFM), juntamente com os resultados de monitoramento de temperaturas do processo de compostagem dos tratamentos (1, 2 e 3) e parâmetros químicos dos compostos orgânicos obtidos no final da compostagem. E por fim os resultados dos parâmetros físico-químicos do solo incubado e determinação e tratamento estatístico dos parâmetros de crescimento da cultura de alface.

### 4.1. Parâmetros químicos da matéria-prima

Os resultados obtidos nas análises químicas dos materiais encontram-se nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Resultados experimentais dos parâmetros físico-químicos do solo (controle).

Parâmetros	Resultados	Classificação *
pH	6.1	Próximo ao neutro
CE (mS/cm)	0.30	NC
C (%)	0.34	Médio
N (%)	0.07	Baixo
P (mg/l)	0.47	Muito baixo
K <sup>+</sup> (mg/l)	320	Muito bom
Na <sup>+</sup> (mg/l)	209	NC
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	1283	Muito bom
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	97.6	Muito bom

\*Classificação segundo Ribeiro *et al.* (1999); NC- não classificado

Para o controle, o valor de pH corresponde a um solo próximo ao neutro, segundo a classificação de Ribeiro *et al.* (1999). Em contraste, os teores de nutrientes básicos como potássio, cálcio, magnésio e sódio revelam um solo básico (Oliveira, 2005). Gomes & Filizola (2006) reportam

que solos ideais para cultivo devem apresentar pH entre 6,0 e 6,5. Porém, esta faixa pode ser estendida de 5,5 a 6,8.

Os resultados obtidos das análises químicas do BCA e FFM comparativamente com a literatura (Tabela A:1 e A:2, em anexo), revelam que o BCA apresenta baixos teores de outros nutrientes e elevado teor de carbono, em comparação com as FFM que são ricas em nitrogénio (Tabela 7).

Tabela 7. Resultados experimentais dos parâmetros químicos do BCA\* e de FFM\*.

Materiais	Parâmetros							
	C (%)	P (%)	Na <sup>+</sup> (%)	K <sup>+</sup> (%)	Ca <sup>2+</sup> (%)	Mg <sup>2+</sup> (%)	N <sub>total</sub> (%)	C/N
<b>BCA</b>	47.54	0.04	0.05	1.04	0.70	0.06	0.32	148
<b>FFM</b>	39.78	0.33	0.24	3.07	2.50	1.68	4.38	9.1

\*- BCA – bagaço de cana-de-açúcar; \*FFM – folhas frescas de *Moringa oleifera*

Segundo os resultados obtidos (Tabela 7), os dois materiais apresentam proporções C/N fora dos intervalos recomendados, o que indica que não podem ser utilizados isoladamente como fertilizantes orgânicos, devido à proporção C/N elevada do BCA (148) e inferior da FM (9.1), pois a proporção óptima para que um material seja utilizado para a compostagem encontra-se no intervalo de 25 a 30 (Kumar *et al.*, 2010b). Em um estudo similar, Negro *et al.* (1999) obteve uma elevada proporção (C/N) superior a 30 e Rocha *et al.* (2015) a (166:1).

## **4.2. Parâmetros de monitoramento do processo de compostagem**

### **4.2.1. Monitoramento da temperatura**

O parâmetro de controlo de estabilidade do processo de compostagem foi a temperatura que serviu para classificar o processo e posteriores análises químicas dos compostos orgânicos. Porém, não foi o único parâmetro a ser usado no estudo, conforme a Tabela 8 que ilustra o comportamento de cada tratamento obtido durante os 45 dias de compostagem, demonstra que as temperaturas obtidas não se enquadram nas fases típicas. Chegou-se a conclusão que a partir da compostagem obteve-se um composto estabilizado (fim do processo), por apresentar as seguintes

características, nomeadamente: temperatura igual à ambiente, apresentou-se quebradiço quando seco, moldável quando húmido, não atraiu moscas e não teve odor desagradável.

Kumar *et al.* (2010a) realizaram a compostagem por um período de 40-70 dias, no presente estudo o processo de compostagem durou 45 dias porque a partir dos 40 dias as temperaturas dos tratamentos não apresentaram alterações que justifica o fim do processo.

Tabela 8. Avaliação da temperatura das misturas durante o período do processo de compostagem.

<b>Tratamentos</b>	<b>10 dias</b>	<b>20 dias</b>	<b>30 dias</b>	<b>40 dias</b>	<b>45 dias</b>
<b>BS</b>	20°C	20°C	24°C	26°C	25°C
<b>BFM</b>	20°C	20°C	25°C	27°C	26°C
<b>BU</b>	18°C	18°C	24°C	24°C	24°C

De acordo com a Tabela 8, verificou-se que os tratamentos não apresentaram temperaturas recomendadas, contudo, nos mesmos verificou-se um aumento gradual de temperatura sem com isto enquadrar os compostos nas fases típicas do processo de compostagem, e por sua vez foi obtido o comportamento adequado da curva padrão de temperatura para o processo de compostagem. Saranraj & Stella (2014) argumenta que este aumento é decorrente da decomposição do material, que começa a libertar calor, bem como resultado de actividade de microrganismos.

Nas primeiras quatro semanas apresentaram temperaturas correspondentes a 20°C durante a compostagem, isto é, sem alcançar a fase mesofílica. Segundo Lucas *et al.* (1990) nas primeiras duas semanas deve ser mantida entre 55°C e 60°C para promover actividade microbiana, pois caso contrário temperaturas acima de 65°C resultam no empobrecimento da actividade microbiana e consequentemente retarda o processo de decomposição. Temperaturas similares a Lucas *et al.* (1990) foram obtidas durante o processo de compostagem de Mohee *et al.* (2015) a partir de tratamentos preparados com cinzas de carvão e bagaço de cana-de-açúcar com resíduos municipais realizados nas Maurícias, contudo, não consta a indicação da estação de ano que decorreu a compostagem.

Este cenário pode ser explicado devido à estação do ano (inverno), uma vez que a temperatura ambiente também tem influência na baixa actividade microbiana e a composição do próprio material.

O processo de degradação da matéria orgânica foi lento na compostagem do bagaço *in natura* (tratamento 1) devido à sua elevada relação C/N. Este material apresenta baixo teor de nutrientes e a proporção C/N é um dos mais importantes factores que afecta a taxa de decomposição do material orgânico (Kumar *et al.*, 2010b).

Segundo De Oliveira (2010) os microrganismos necessitam de carbono, como fonte de energia e de nitrogénio para síntese de proteínas. Quando a percentagem de carbono é excessiva, como no caso do BCA *in natura*, os microrganismos não encontrarão nitrogénio suficiente para a síntese de proteínas e terão o seu desenvolvimento limitado, por isso o crescimento de microrganismos foi observado tardiamente. Contudo, observou-se o surgimento de minhocas no composto orgânico, o que indica a ocorrência de decomposição de matéria orgânica e produção de húmus no processo (isto ocorreu na oitava semana). Quando ocorreu o surgimento de minhocas a temperatura atingiu uma faixa de 25-26<sup>0</sup>C, intervalo óptimo para surgimento deste microrganismo.

A compostagem com adição de FFM (tratamento 2) originou vermes passadas duas semanas, acompanhada por uma temperatura correspondente a 18°C. Apesar de que esta temperatura não corresponde a nenhuma fase importante do processo, uma vez que a predominância de determinadas espécies de microrganismos e a sua actividade metabólica determina a fase em que se encontra o processo de compostagem (Miller, 1992, citado por Valente *et al.*, 2009).

Cada microrganismo durante a compostagem actua numa faixa de temperatura óptima. Apesar de que a variação deste factor (temperatura) não depende apenas da actividade microbiana. Conforme com Miller (1992), citado por Valente *et al.* (2009) os microrganismos presentes nessa fase são os psicrófilos, cuja multiplicação ocorre em ambientes refrigerados aproximadamente a 18°C, contudo, o processo de compostagem é marcado por uma contínua mudança das espécies de microrganismos envolvidos, devido às modificações nas condições do meio, sendo praticamente impossível identificar todos os presentes.

O processo de compostagem com adição de ureia (tratamento 3) apresentou temperaturas baixas em comparação com os outros tratamentos (1 e 2) e não houve o surgimento de microrganismos.

Isto por se tratar de um agente químico que provavelmente tenha inibido o aparecimento de microrganismos como nos casos anteriores. Neste caso, a compostagem apenas serviu para decompor o bagaço e permitir a mistura de ambos os materiais.

#### 4.2.2. Parâmetros químicos dos compostos orgânicos

Apesar dos valores de temperaturas observadas durante o processo de compostagem não se enquadrarem nos valores recomendados em Lucas *et al.* (1990) e, conseqüentemente, não corresponderem na totalidade às fases características do processo, em contraste, os resultados dos parâmetros químicos dos compostos orgânicos indicam o melhoramento das características químicas do BCA em função dos materiais incorporados (FFM e ureia). Sendo assim, verificou-se uma diminuição considerável no teor de nutrientes (Tabela 9) comparativamente com os teores das matérias-primas (BCA *in natura* e FFM).

Tabela 9. Parâmetros químicos dos compostos orgânicos.

Materiais	Parâmetros							
	C (%)	P (%)	Na <sup>+</sup> (%)	K <sup>+</sup> (%)	Ca <sup>2+</sup> (%)	Mg <sup>2+</sup> (%)	N <sub>total</sub> (%)	C/N
<b>BS*</b>	1.34	0.03	0.02	0.07	0.21	0.02	0.10	13.40
<b>BFM</b>	3.40	0.04	0.04	0.21	0.37	0.04	0.29	11.70
<b>BU</b>	1.75	0.00	0.01	0.03	0.28	0.06	12.12	0.14

\*Teores correspondentes às análises do composto químico (BS) antes da incorporação no solo da experimentação.

Esta alteração dos teores é devido ao processo de compostagem, que influenciou para o melhoramento do material. A proporção C/N foi reduzida nas combinações (BFM) e (BS), como se esperava, o que indica que o bagaço quando compostado reduz a proporção C/N que está de acordo com os resultados de Kumar *et al.* (2010b).

Os tratamentos (BS) e (BFM) apresentam teor de nitrogénio inferior aos resultados quando isolados; isto explica-se devido ao processo de volatilização do amónio ou nitrato; contudo, a

elevada C/N do BCA foi diminuída quando compostado *in natura* e quando incorporado às FFM, apesar de não enquadrá-lo nos limites recomendados na proporção óptima no intervalo de 25 a 30 (Kumar *et al.*, 2010b).

O teor de nitrogénio das misturas de compostagem no final do processo foi muito reduzido, em comparação aos seus teores antes das misturas. Tendo em conta a perda de peso no final do processo, pode-se dizer que as perdas de nitrogénio foram muito elevadas em todos os sistemas de compostagem. Em relação ao carbono orgânico a redução foi observada ao longo de todos os processos devido à perda de CO<sub>2</sub> pela respiração microbiana. O teor de carbono diminui em conjunto ao teor observado de nitrogénio produzindo uma diminuição da proporção C/N em cada mistura ao longo do processo (Negro *et al.*, 1999).

#### **4.3. Parâmetros físico-químicos do solo incubado**

Os parâmetros físico-químicos do solo incubado apresentaram alterações no teor de nutrientes (diminuição dos teores). A Tabela 10 ilustra os resultados experimentais dos parâmetros químicos do solo incubado.

Tabela 10. Resultados experimentais dos parâmetros físico-químicos do solo incubado.

<b>Parâmetros</b>	<b>BS**</b>	<b>BFMS</b>	<b>BUS</b>	<b>US</b>
<b>pH</b>	7.790	6.690	7.010	6.640
<b>CE (mS/cm)</b>	0.733	1.587	0.398	0.402
<b>CTC (meq/100g)</b>	13.200	5.200	10.000	11.600
<b>C (%)</b>	0.190	1.550	0.100	0.730
<b>P (%)</b>	0.004	0.006	0.003	0.003
<b>Na<sup>+</sup> (%)</b>	0.009	0.010	0.006	0.19
<b>K<sup>+</sup> (%)</b>	0.009	0.027	0.004	0.004
<b>Ca<sup>2+</sup> (%)</b>	0.064	0.088	0.032	0.003
<b>Mg<sup>2+</sup> (%)</b>	0.010	0.019	0.005	0.005
<b>N<sub>total</sub> (%)</b>	0.080	0.150	0.110	1.230
<b>C/N</b>	2.4	10	0.9	0.6

\*\* Teores correspondentes às análises do composto químico (BS) depois da incorporação no solo.

Comparando os resultados obtidos do solo (de controlo) e o incubado (Tabelas A:3 em anexo e 10), observa-se uma variação irregular dos parâmetros determinados, ou seja, os valores são superiores em relação aos solos incubados. Isto explica-se porque os solos incubados consistem em uma mistura de materiais e considerando que a compostagem de resíduos é um processo contínuo, conseqüentemente ocorre uma absorção desigual de nutrientes pela cultura, contrariamente ao controlo (solo não incubado).

#### **4.4. Parâmetros de crescimento da cultura de alface**

##### **4.4.1. Análise qualitativa da cultura**

Na Tabela 11 constam algumas observações relativas ao efeito de cada tratamento sobre o crescimento das plântulas. As plântulas apresentaram melhor vigor nos tratamentos BFM, BS e BU. No tratamento US e controlo houve uma demora na resposta do vigor. Contudo, as plantas apresentaram uma coloração esverdeada normal nos cinco tratamentos submetidos.

Tabela 11. Efeito dos diferentes tratamentos nos parâmetros de crescimento da cultura de alface.

<b>Observações</b>			
<b>Tratamento</b>	<b>Vigor das plantas</b>	<b>Cor das folhas</b>	<b>Sanidade</b>
C	Baixo	Normal	Sem contaminações
BS	Muito alto	Normal	Sem contaminações
BFM	Muito alto	Normal	Sem contaminações
BU	Moderado	Normal	Sem contaminações
US	Baixo	Normal	Sem contaminações

Nd (não determinado): Os tratamentos US e C não proporcionaram bons resultados, pois após a transplantação das plântulas de alface, mantiveram as características do viveiro, não apresentando nenhum indício de crescimento.

O crescimento da alface, e como consequência o acúmulo de nutrientes, é lento até 30 dias após a emergência, aumentando rapidamente após este período. Apesar de absorver quantidades relativamente pequenas de nutrientes devido ao seu ciclo curto (2 a 3 meses), esta cultura é considerada exigente em nutrientes, principalmente na fase final do seu ciclo (Katayama, 1993, citado por De Resende *et al.*, 2010). Sendo assim, os tratamentos à base de BCA apresentaram

qualitativamente melhores efeitos em comparação aos C e US por serem deficientes de nutrientes.

#### **4.4.2. Análise do desempenho agronômico dos compostos**

Os dados submetidos à análise de variância apresentaram diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) para as variáveis AP, PFF e PSF no tratamento BFMS, sendo os tratamentos BS e BUS significativos somente nas variáveis PFF e PSF. Também se verificou que o tratamento US não difere estaticamente do controlo, sendo inferior comparando com os restantes tratamentos. Este resultado era esperado, pois fertilizantes orgânicos e sobretudo após submetidos a compostagem resultam em compostos orgânicos benéficos ao solo e consequentemente afectam positivamente nos parâmetros de crescimento de culturas. Segundo a Tabela 9 é evidente que os melhores resultados de teor de nutrientes encontraram-se nos tratamentos BFM e BS após serem compostados.

##### **4.4.2.1. Número de folhas (NF)**

O NF é um parâmetro de crescimento usado para detectar diferenças entre os tratamentos estabelecidos. Entretanto, esta variável demonstrou diferenças entre os tratamentos estabelecidos, tendo o tratamento BFMS apresentado maior valor de NF seguido do BS (Tabela A:5 em anexo). Moreira *et al.* (2006) afirma que o NF é uma característica importante, e possivelmente plântulas com maior NF tem maior índice de fixação no solo, pois as folhas são as estruturas responsáveis pela captação de energia solar e produção de matéria orgânica através da fotossíntese.

A resposta de folhas verdes advém não só dos teores de nitrogénio, fósforo e potássio, mas também da sincronia com que estes elementos são libertos e absorvidos pela planta, que, segundo Fontanétti *et al.* (2006), a absorção dos nutrientes, advindos da mineralização das folhas verdes pelas hortaliças depende, em grande parte, da sincronia entre a decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e a época de maior exigência da cultura. De acordo com os resultados obtidos (Tabela 9) o BFM apresenta uma sincronia nestes nutrientes.

Os tratamentos C e US apresentaram resultados menos satisfatórios em relação a todas as variáveis analisadas. Após o transplante não houve alteração positiva no crescimento das plantas.

De acordo com os resultados das análises químicas dos solos de experimentação (Tabela 10), o tratamento US apresenta uma proporção C/N é inferior comparativamente aos outros tratamentos, factor que possivelmente afectou negativamente no desempenho agronómico em estudo.

#### 4.4.2.2. Altura da planta (AP)

Em relação à altura das plantas, verificou-se que somente o tratamento BFMS difere significativamente da média do controlo (Figura 9).

Conforme Filgueira (2000), o aumento no crescimento e na AP pode estar associado a doses elevadas de nitrogénio, por isso, verificou-se maior valor desta variável para o tratamento de BFMS (Tabela A:6 em anexo). Tendo em vista que as folhas verdes da *Moringa oleífera* proporcionaram incorporação de nitrogénio, possivelmente foi este factor que mais contribuiu para elevação da altura da planta de alface.

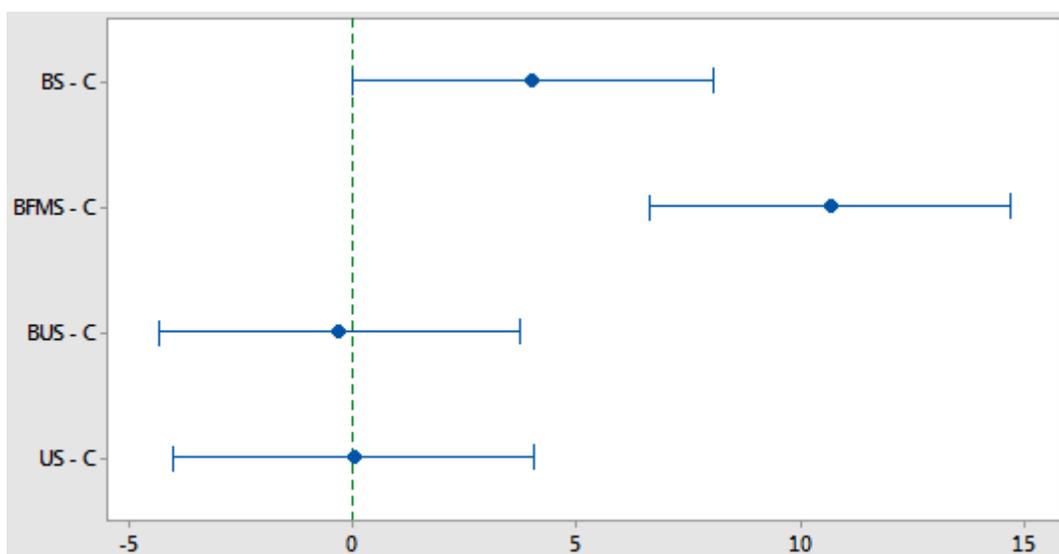


Figura 9. Comparação das médias da AP dos diferentes tratamentos com a média do controlo.

*Se um intervalo não contiver o zero, a média correspondente será significativamente diferente da média do controlo.*

Ao considerar um nível de confiança de 95%, não se rejeita a hipótese de igualdade entre os tratamentos (BS-C), (BU-C) e (US-C).

#### 4.4.2.3. Comprimento da Raiz (CR)

Conforme mostra a Figura 10, nenhum tratamento teve influência estatisticamente significativa no comprimento da raiz em comparação com o controle. Entretanto, o tratamento com BFMS é que teve a melhor influência no comprimento da raiz enquanto o resultado menos satisfatório foi com a aplicação da ureia ao solo.

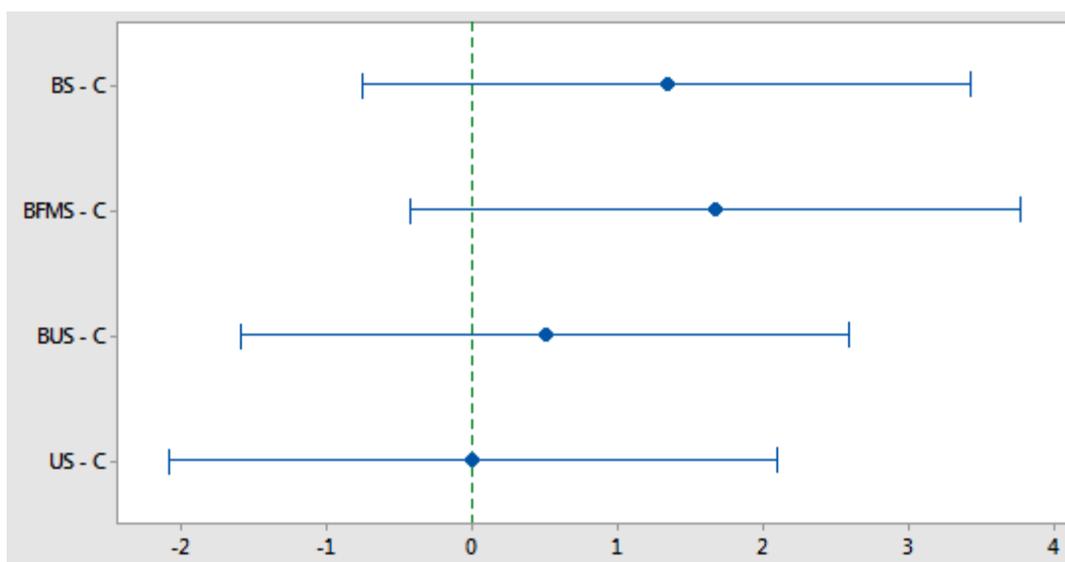


Figura 10. Comparação das médias do CR dos diferentes tratamentos com a média do controle.

Embora nenhum tratamento aplicado seja significativo, observou-se que os tratamentos na base de BCA tiveram influência nesta variável quando *in natura* e melhorou o seu desempenho como fertilizante quando adicionado a FFM, entretanto, o tratamento US indicou o contrário.

#### 4.4.2.4. Peso fresco das folhas (PFF)

Nesta variável analisada os melhores desempenhos agronômicos pertenceram aos tratamentos na base de BCA e diferem significativamente da média do controle, como ilustra a Figura 11.

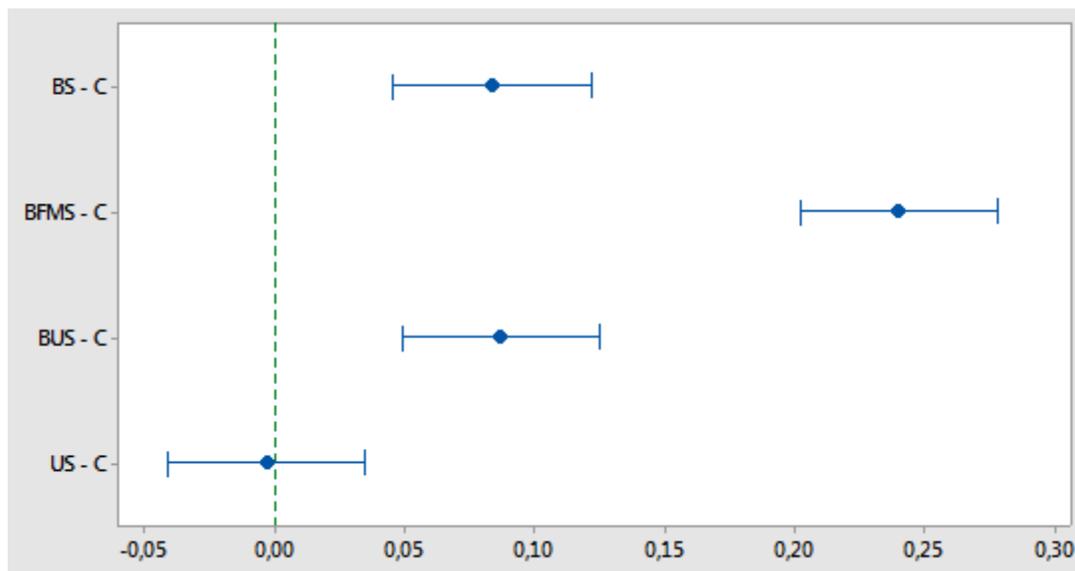


Figura 11. Comparação das médias do PFF dos diferentes tratamentos com a média do controle.

#### 4.4.2.5. Peso seco das folhas (PSF)

O único tratamento não satisfatório foi a mistura de solo com ureia, como ilustra a Figura 12.

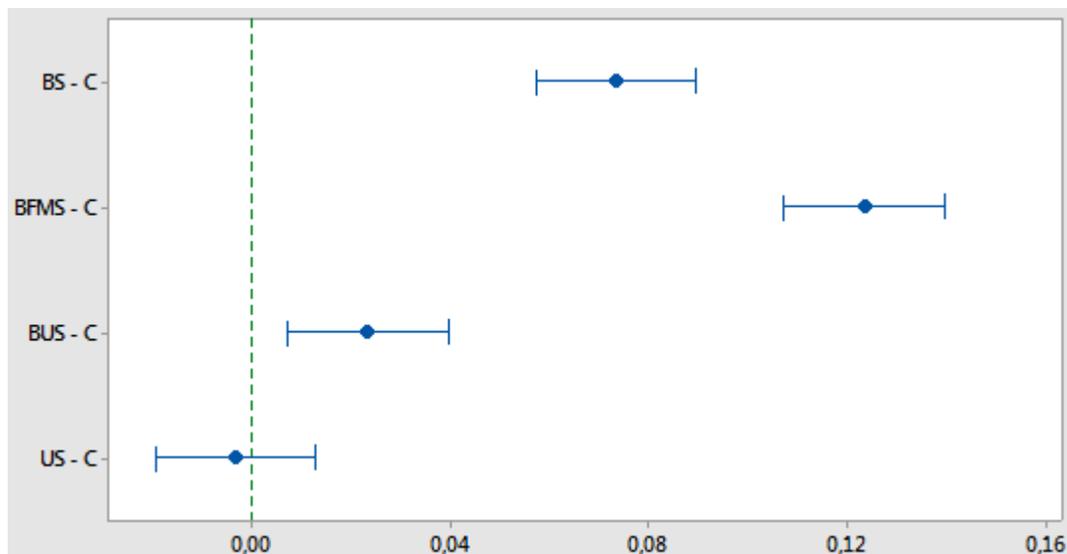


Figura 12. Comparação das médias do PSF dos diferentes tratamentos com a média do controle.

Nas variáveis PFF e PSF, o melhor resultado foi com o tratamento BFMS, entretanto não foi possível representar graficamente devido aos valores inferiores obtidos.

De acordo com os resultados dos parâmetros de crescimento das plantas e posterior análise estatística, observou-se que o melhor resultado em todas as variáveis analisadas foi com o tratamento de BFMS e o resultado menos satisfatório com aplicação de ureia (US), considerando que a ureia não teve influência sobre os parâmetros de crescimento das plantas. Este cenário pode ser explicado na base da composição dos materiais utilizados no estudo; a concentração de potássio foi provavelmente o que também mais influenciou o desempenho do tratamento BFMS em relação aos demais tratamentos no NF por plantas e nas demais variáveis com concentração de 0.027% (Tabela 10). O potássio é um elemento essencial para as plantas, constituinte da clorofila e que possui interação positiva com o nitrogênio, contribuindo, dessa forma, para a expansão foliar. O potássio é o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, depois do nitrogênio (Novais *et al.*, 2007).

Verificou-se uma relação proporcional entre as variáveis, ou seja, maior número de folhas implica valores máximos na AP, CR, PFF e PSF, relação que está de acordo com os resultados observados por Araújo (2011).

Os resultados obtidos demonstram que o BCA promoveu o crescimento das plantas e isto pode ser verificado pelos aumentos de AP, NF, CR, PFF e PSF; quando utilizado isoladamente ou em mistura com qualquer dos compostos alternativos apresentou uma tendência no melhoramento nos parâmetros de crescimento avaliados, demonstrando melhor desempenho agronômico com a incorporação de FFM e o tratamento US apresentou resultados menos satisfatórios. Em um estudo similar, Biasi *et al.* (1995), citado por Klein (2015) avaliaram o efeito de misturas de turfa com o bagaço de CA na produção de plântulas de maracujá e tomate, e concluíram que para ambas as culturas a mistura destes materiais (1:1) foi mais indicada ao desenvolvimento destas culturas. Os autores ainda ressaltaram que a turfa e o bagaço de CA isolados não são recomendados como composto para a produção de plântulas das mesmas. O resultado obtido no presente estudo leva à conclusão que o bagaço quando incorporado o material vegetal melhora o seu desempenho como fertilizante.

## **5. Conclusões e recomendações**

### **5.1. Conclusões**

Neste capítulo são apresentadas as conclusões tomadas no fim da realização do trabalho com as respectivas recomendações para futuros estudos.

O objectivo deste trabalho foi estudar o efeito da incorporação das folhas frescas de *Moringa oleífera* na diminuição da proporção de C/N do bagaço de cana-de-açúcar como fertilizante orgânico. Durante a análise dos resultados obtidos da realização dos ensaios de interesse, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- A incorporação de folhas frescas de *Moringa oleífera* ao bagaço de cana-de-açúcar proporcionou a diminuição da proporção de C/N do bagaço de cana-de-açúcar como resultado final de estudo (de 148 para 10);
- Os dados submetidos à análise de variância apresentaram diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) para as variáveis de crescimento altura da planta (AP), peso fresco e seco das folhas (PFF e PSF) no tratamento de mistura de bagaço com folhas frescas de *Moringa oleífera* (BFMS), sendo os tratamentos de mistura de bagaço com solo (BS) e mistura de bagaço com ureia (BUS) significativos somente nas variáveis de crescimento peso fresco e seco das folhas (PFF e PSF). Também se verificou que o tratamento de ureia com solo (US) não difere estatisticamente do controlo, sendo inferior comparando com os restantes tratamentos.
- O melhor resultado em todas as variáveis de crescimento analisadas foi com o tratamento de BFMS e o resultado menos satisfatório com aplicação de ureia apenas (US).

## **5.2. Recomendações**

No sentido de aprofundar a análise dos resultados obtidos, são sugeridos os seguintes estudos teóricos e experimentais:

- Recomenda-se a continuação dos estudos relativos à compostagem do bagaço de cana-de-açúcar considerando um maior intervalo de duração do processo;
- Incorporação de bactérias como *Pseudomonas striatum* ou fungos (*Pleurotus sajor-caju*, *Trichoderma víride* e *Arpergillus niger*) para decompor facilmente o BCA e otimizar os parâmetros do processo de compostagem;
- Apesar dos resultados satisfatórios do tratamento de bagaço de cana-de-açúcar com folhas frescas de *Moringa oleífera* como fertilizante orgânico, recomenda-se a busca por outras alternativas de correctivos para diminuição da proporção C/N do bagaço de cana-de-açúcar; uma vez que as folhas de *Moringa oleífera* apresentam competitividade devido à sua aplicação na área alimentar ou medicinal, aconselhando o uso da massa obtida gratuitamente da extracção de óleo das sementes de *Moringa oleífera* com um elevado teor de nitrogénio também útil como um fertilizante natural.
- Aconselha-se a aquisição de BCA a partir das fábricas de processamento de CA locais para minimizar a quantidade produzida anualmente e reduzir o impacto ambiental, uma vez que no estudo foi obtido através da extracção do sumo de cana.

## **Referências bibliográficas**

- Ansari, A. & Jaikishun, S. (2010). An Investigation into the Vermicomposting of Sugarcane Bagasse and Rice Straw and its Subsequent Utilization in Cultivation of Phaseolus vulgaris L. In Guyana. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. **8**: 666-671.
- Araújo, W., De Sousa, K., Viana, T., De Azevedo, B., Barros, M. & Marcolina, E. (2011). Resposta da Alface a Adubação Nitrogenada. *Revista Agro-ambiente On-line*. **5**: 12-17.
- Balakrishnan, M. & Batra, V. (2011). Valorization of Solid waste in Sugar Factories with Possible Applications in India: A Review. *Journal of Environmental Management*. **92**: 2886-2891.
- Brito, M. (2006). *Manual de Agricultura Biológica- Terra de Bouro*. Editora Vilaverdense.
- Contreras, A., Rosa, E., Perez, M., Langenhove, H. & Dewulf, J. (2009). Comparative Life Cycle Assessment of Four Alternatives for Using by-Products of Cane Sugar Production. *Journal of Cleaner Production*. **17**: 772-779.
- De Araújo, E., Ker, J., Neves, J. & Lani, J. (2012). Qualidade do Solo: Conceitos, Indicadores e Avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*. **5**: 187- 206.
- De Oliveira, J. (2010). *Compostagem e Vermicompostagem de Bagaço de Cana-de-açúcar da Produção de cachaça de Alambique, Salinas-Minas Gerais (MG)*. Tese de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente - Universidade Estadual de Santa Cruz. Bahia.
- De Resende, G., Alvarenga M., Yuri J. & De Souza R. (2010). Doses de Nitrogênio e Molibdênio no Rendimento e Teor de Micronutrientes em Alface Americana. *Horticultura Brasileira*. **28**: 266-270.
- Elias, X. 2005. Tratamiento y Valorización energética de Residuos. Editorial Diaz de Santos. Madrid.
- Filgueira, F. (2000). *Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças*. Editora Viçosa. Viçosa.
- Fontanétti, A., De Carvalho, G., Gomes, L., De Almeida, K., De Moraes, S. & Teixeira, C. (2006). Adubação Verde na Produção Orgânica de Alface Americana e Repolho. *Horticultura Brasileira*. **24**: 146-150.

- Gomes, M. & Filizola, H. (2006). Indicadores Físicos e Químicos de Qualidade de Solo de Interesse Agrícola. Embrapa Meio Ambiente. Brasil.
- Jeng, A. (2006). Jatropha and Moringa: Two Tropical Multipurpose Trees with Potentials. *Bioforsk.* **1**: 1-4.
- Kegode, P. (2015). *Açúcar em Moçambique: Equilibrar Competividade com o Proteccionismo.*
- Klein, C. (2015). Utilização de Substratos Alternativos para Produção de Mudanças. *Revista Brasileira de Energias Renováveis.* **4**:43-63.
- Kumar, R., Verma, D., Singh, B., Kumar, U. & Shweta. (2010a). Composting of Sugar-cane Waste by-Products through Treatment with Microorganisms and Subsequent Vermicomposting. *Bioresource Technology.***101**: 6707-6711.
- Kumar, M., Ou, Y. & Lin, J. (2010b). Co-composting of Green Waste and Food Waste at low C/N ratio. *Waste Management.* **30**: 602-609.
- Lima, R., Severino, L., Sampaio, L., Sofiatti, V., Jucélia A., Gomes, J. & Beltrão, N. (2011). Blends of Castor Meal and Castor Husks for Optimized use as Organic Fertilizer. *Industrial Crops and Products.* **33**:364-368.
- Lima, R., Severino, L., Silva, M., Jerônimo, J., Vale, L. & Beltrão, N. (2006). Substrato para Produção de Mudanças de Mamoneira Compostos por Misturas de Cinco Fontes de Matéria Orgânica. *Ciências Agro-técnicas.* **30**: 474-479.
- Lucas, S., Ashbolt, N. & Inkerman, P. (1990). Preliminary Studies on the Composting of Bagasse. In: Egan, B., Atherton, P., Gellie, R., Hayes, A., Roach, B. & White, E. *Proceedings of Australian Society of sugar Cane Technologists.* 1-4 de May 1990. pp. 195-198.
- Martin, C., Klinke, H. & Thomsen, A. (2007). Wet Oxidations as a Pretreatment Method for Enhancing the Enzymatic Convertibility of Sugarcane Bagasse. *Enzyme Microbiology Technology.* **40**: 426-432.
- McCauley, A., Jones, C. & Jacobsen, J. (2005). *Basic Soil Properties.* Bozeman.
- Meunchang, S., Panichsakpatana, S. & Weaver, R. (2005). Co-composting of Filter Cake and Bagasse; by-Products from a Sugar Mill. *Bioresource Technology.* **96**: 437-442.
- Mohee, R., Boojhawon, A., Sewhoo, B., Rungasamy, S., Somaroo, G. & Mudhoo, A. (2015). Assessing the Potential of Coal Ash and Bagasse Ash as Inorganic Amendments During

- Composting of Municipal Solid Wastes. *Journal of Environmental Management*. **159**: 209-217.
- Moreira, M., De Carvalho, J., Pasqual, M., Fráguas, C. & Da Silva, A. (2006). Efeito de Substratos na Aclimatização de Mudanças Micropropagadas de Abacaxizeiro cv. Pérola. *Ciência & Agrotecnologia*. **30**:875-879.
  - Mussatto, S., Dragone, G., Rocha, G. & Roberto, I. (2006). Optimum Operating Conditions for Brewer's Spent Grain Soda Pulping. *Carbohydrate Polymers*. **64**: 22–28.
  - Negro, M., Solano, M., Ciria, P. & Carrasco, J. (1999). Composting of Sweet Sorghum Bagasse with Other Wastes. *Bioresource Technology*. **67**: 89-92.
  - Novais, R., Alvarez, V., Barros, N., Fontes, R., Cantaruti, R. & Neves, J. (2007). *Fertilidade do Solo*. Editora Viçosa. Minas Gerais.
  - Oliveira, S. (2005). *Estudos sobre Métodos de Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos: Grau de Maturação e Qualidade do Composto*. Tese de Doutorado em Química. Instituto de Química - Universidade Estadual Paulista. Araraquara.
  - Pandey, A., Soccol, C., Nigam, P. & Soccol, V. (2000). Biotechnological Potential of Agro-Industrial Residues. Part I: sugarcane Bagasse. *Bioresource Technology*. **74**: 69–80.
  - Peixoto, C. & Peixoto, M. (2004). *Dinâmica do Crescimento Vegetal*. Acedido em: [www2.ufrb.edu.br/](http://www2.ufrb.edu.br/) no dia 25/01/17.
  - Prakash, M. & Karmegam, N. (2010). Vermistabilization of Press mud Using *Perionyx Ceylanensis*. *Bioresource Technology*. **101**: 8464–8468.
  - Razikordmahalleh, L. (2014). Production of Compost with useful Microorganisms from Sugar Cane Bagasse Enriched with Rock Phosphate, Urea and Sulphur. *Journal of Environmental Research and Management*. **5**: 0119-0124.
  - Ribeiro, A., Guimarães, P. & Alvarez, V. (1999). *Recomendação para o Uso de Correctivos e Fertilizantes em Minas Gerais*. Editora Viçosa. Minas Gerais.
  - Rocha, G., Martin, C., Silva, V., Gomez, E. & Gonçalves, A. (2012). Mass Balance of Pilot-scale Pretreatment of Sugarcane Bagasse by Steam Explosion Followed by Alkaline Delignification. *Bioresource Technology*. **111**: 447–452.

- Rocha, G., Nascimento, V., Gonçalves, A., Silva, V. & Martín, C. (2015). Influence of Mixed Sugarcane Bagasse Samples Evaluated by Elemental and Physical–chemical Composition. *Industrial Crops and Products*. **64**: 52-58.
- Saad, M., Oliveira, L., Cândido, L., Quintana, G., Rocha, G. & Gonçalves, A. (2008). Preliminary Studies on Fungal Treatment of Sugarcane Straw for Organosolv Pulping. *Enzyme Microbiology Technology*. **43**: 220–225.
- Saranraj, P. & Stella, D. (2014). Composting of Sugar Mill Wastes: A Review. *World Applied Sciences Journal*. **31**: 2029 – 2044.
- Severino, L., Ferreira, G., Moraes, C., Gondim, T., Cardoso, G., Viriato, J. & Beltrão, N. (2006). Produtividade e Crescimento da Mamoneira em Resposta à Adubação Orgânica e Mineral. *Pesquisa Agro-pecuária*. **41**: 879-882.
- Severino, L., Mendonça, E., Neves, Y., Barros, U. & Barbosa, C. (2001). Formas de Nitrogénio e Propriedades do solo em Cultivo Adensado de Café. *Revista Ceres*. **48**: 71–80.
- Skoog, A., West, D., Holler, F. & Crouch, R. (2006). *Fundamentos de Química Analítica*. 8ª edição. Editora Thomson. São Paulo.
- Valente, B., Xavier, E., Morselli, T., Jahnke, D., Brum, B., Cabrera, B., Moraes, P. & Lopes, D. (2009). Factores que Influenciam o Desenvolvimento da Compostagem de Resíduos Orgânicos. *Arquivos Zootecnia*. **58**: 59-85.
- Vaughn, S., Deppe, N., Berhow, M. & Evangelista, R. (2010). Lesquerella Press Cake as an Organic Fertilizer for Greenhouse Tomatoes. *Industrial Crops and Products*. **32**: 164-168.
- Yaméogo, C., Bengaly, M., Savadogo, A., Nikiema, P. & Traore, S. (2011). Determination of chemical Composition and Nutritional Values of *Moringa Oleifera* Leaves. *Pakistan Journal of Nutrition*. **10**: 264-268.

## ANEXOS

Tabela A: 1. Parâmetros químicos do BCA.

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>
<b>C (%)</b>	41.18
<b>P (%)</b>	0.03
<b>K (%)</b>	0.15
<b>Ca (%)</b>	0.08
<b>Mg (%)</b>	0.62
<b>N (%)</b>	0.36
<b>C/N</b>	114.39

Fonte: Meunchang *et al.* (2005)

Tabela A: 2. Parâmetros químicos de FFM.

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>
<b>C</b>	Nd
<b>P (%)</b>	35.10
<b>K (%)</b>	192.20
<b>Ca (%)</b>	209.80
<b>Mg (%)</b>	4.10
<b>N (%)</b>	0.40

Fonte: Yaméogo *et al.* (2011)

Tabela A: 3. Resultados experimentais dos parâmetros químicos do solo (controle).

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Classificação *</b>
<b>pH</b>	6.1	Neutro
<b>CE (mS/cm)</b>	0.30	NC
<b>C (%)</b>	0.34	Médio
<b>N (%)</b>	0.07	Baixo
<b>P (%)</b>	0.47	Muito baixo
<b>K<sup>+</sup> (%)</b>	0.03	Muito bom
<b>Na<sup>+</sup> (%)</b>	0.02	NC
<b>Ca<sup>2+</sup> (%)</b>	0.13	Muito bom
<b>Mg<sup>2+</sup> (%)</b>	0.01	Muito bom

\*Classificação segundo Ribeiro *et al.* (1999); NC- não classificado

Tabela A:4. Avaliação da temperatura das misturas durante o período do processo de compostagem.

<b>Tratamentos</b>	<b>10dias</b>	<b>20 dias</b>	<b>30 dias</b>	<b>40 dias</b>	<b>41dias</b>	<b>42 dias</b>	<b>43 dias</b>	<b>44 dias</b>	<b>45dias</b>
<b>BS</b>	20°C	20°C	24°C	26°C	26°C	25°C	25°C	25°C	25°C
<b>BFM</b>	20°C	20°C	25°C	27°C	27°C	26°C	26°C	26°C	26°C
<b>BU</b>	18°C	18°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C

Tabela A:5. Número de folhas para o conjunto de tratamentos.

<b>Tratamentos</b>	<b>Vaso 1</b>	<b>Vaso 2</b>	<b>Vaso 3</b>
<b>C</b>	3*	3*	3*
<b>BS</b>	5	4	4
<b>BFMS</b>	6	7	6
<b>BUS</b>	4	4	4
<b>US</b>	3*	3*	3*

\*: Os tratamentos US e C não proporcionaram bons resultados, pois após a transplantação das plântulas de alface, mantiveram as características do viveiro, não apresentando nenhum indício de crescimento (variações do NF, AP, CR, PFF e PSF).

Tabela A:6. Resultados da medição de altura da planta (cm) para o conjunto de tratamentos.

<b>Tratamentos</b>	<b>Vaso 1</b>	<b>Vaso 2</b>	<b>Vaso 3</b>
<b>C</b>	11*	9*	9*
<b>BS</b>	14	12	15
<b>BFMS</b>	24	19	18
<b>BUS</b>	10	9	9
<b>US</b>	10*	10*	9*

Tabela A:7. Resultados da medição de comprimento da raiz (cm) para o conjunto de tratamentos.

<b>Tratamentos</b>	<b>Vaso 1</b>	<b>Vaso 2</b>	<b>Vaso 3</b>
<b>C</b>	5*	5*	5*
<b>BS</b>	7	7	5
<b>BFMS</b>	8	5	7
<b>BUS</b>	6	5	5.5
<b>US</b>	5*	5*	5*

Tabela A:8. Resultados da medição de peso fresco das folhas (mg) para o conjunto de tratamentos.

<b>Tratamentos</b>	<b>Vaso 1</b>	<b>Vaso 2</b>	<b>Vaso 3</b>
<b>C</b>	0.02*	0.02*	0.03*
<b>BS</b>	0.12	0.10	0.10
<b>BFMS</b>	0.25	0.30	0.24
<b>BUS</b>	0.11	0.11	0.11
<b>US</b>	0.03*	0.02*	0.01*

Tabela A:9. Resultados da medição de peso seco das folhas (mg) para o conjunto de tratamentos.

<b>Tratamentos</b>	<b>Vaso 1</b>	<b>Vaso 2</b>	<b>Vaso 3</b>
<b>C</b>	0.01	0.01	0.02
<b>BS</b>	0.09	0.08	0.09
<b>BFMS</b>	0.13	0.15	0.13
<b>BUS</b>	0.04	0.04	0.03
<b>US</b>	0.01	0.01	0.01

Tabela A:10. Valor de médias para AP, CR, PFF e PSF.

<b>Tratamento</b>	<b>AP (cm)</b>	<b>CR (cm)</b>	<b>PFF (mg)</b>	<b>PSF (mg)</b>
<b>BS</b>	13.667	6.333	0.107	0.087
<b>BFMS</b>	20.330	6.667	0.263	0.137
<b>BUS</b>	9.333	5.500	0.110	0.037
<b>US</b>	9.667	5.000	0.020	0.010
<b>C</b>	9.667	5.000	0.023	0.013

Tabela A:11. Valor de desvio padrão para AP, CR, PFF e PSF.

<b>Tratamento</b>	<b>AP (cm)</b>	<b>CR (cm)</b>	<b>PFF (mg)</b>	<b>PSF (mg)</b>
<b>BS</b>	1.528	1.155	0.012	0.006
<b>BFMS</b>	3.210	1.528	0.032	0.012
<b>BUS</b>	0.577	0.500	0.000	0,006
<b>US</b>	0.577	0.000	0.010	0,000
<b>C</b>	1.555	0.000	0.006	0,006