

EFEITO DO RESÍDUO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
INDUSTRIAL NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) E MILHO (*Zea mays* L.)

KÁSSILA BARRETO AZEREDO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO DE 2021

EFEITO DO RESÍDUO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
INDUSTRIAL NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) E MILHO (*Zea mays* L.)

KÁSSILA BARRETO AZEREDO

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal”.

ORIENTADOR: PROF. DR. FÁBIO CUNHA COELHO

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO DE 2021**

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

A993

Azeredo, Kássila Barreto.

EFEITO DO RESÍDUO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) E MILHO (*Zea mays* L.) / Kássila Barreto Azeredo. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

70 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2021.
Orientador: Fabio Cunha Coelho.

1. economia circular. 2. agroecologia. 3. crescimento inicial. 4. plântulas anormais. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

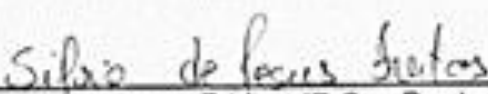
EFEITO DO RESÍDUO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
INDUSTRIAL NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) E MILHO (*Zea mays* L.)

KÁSSILA BARRETO AZEREDO


“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal”.

Aprovada em 09 de Março de 2021


Comissão Examinadora:



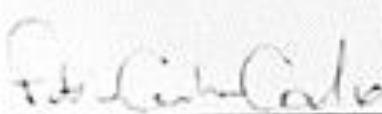
Prof. Silvio de Jesus Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF



Jaidson Gonçalves da Rocha (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF



Priscila Pixoline Eiras (D.Sc., Produção Vegetal) - UNESA



Prof. Fabio Cunha Coelho (D. Sc., Fitotecnia) – UENF
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho ao meu pai, Rossine (*in memorian*), que me ensinou a nunca desistir dos meus sonhos e foi o principal responsável por influenciar a escolha da minha profissão, mas que infelizmente não está mais aqui para compartilhar esta conquista comigo. Onde estiver, com certeza, está sempre torcendo por mim;

À minha mãe Danusia e irmã Rhianna que, com muito carinho e apoio, sempre estiveram ao meu lado para que eu chegasse até esta etapa da minha vida;

Ao meu noivo Igor, que foi o primeiro a me incentivar a chegar até aqui e a ir muito além, que esteve presente comigo em cada etapa desse processo, me impulsionando a dar sempre o meu melhor, mesmo quando eu não achava possível;

Ao professor Fábio Cunha Coelho, por toda paciência, orientação, conselhos e ensinamentos, que vão muito além do contexto acadêmicos;

Ao amigo Jaídson Gonçalves, pelos conselhos e acompanhamento em mais essa jornada;

Às amigas Giovana Campos, Maria Clara Coutinho e Mayara Arantes, que são parceiras desde a graduação e, mais uma vez, tive o prazer de dividir com elas as situações acadêmicas e pessoais. E às novas companheiras Jaqueline Oliveira e Maria Kalyane Farias, por fazerem parte desse período e por estarem presentes nos momentos bons e ruins e sempre acolhendo e compartilhando suas próprias experiências. Desejo que vocês voem ainda mais alto;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense e ao programa de pós-graduação da Produção Vegetal, por mais uma vez me possibilitar alcançar uma educação de qualidade;

À banca examinadora aqui presente, por aceitarem contribuir com suas experiências e conhecimento para enriquecer este trabalho;

À empresa Corbion-Purac, pelo fornecimento do resíduo para tornar possível a elaboração deste estudo;

Ao Rogério Faria Vieira, da EPAMIG, por me fornecer as sementes de feijão-caupi utilizadas nesse experimento;

Finalmente, agradeço a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
SUMÁRIO.....	iv
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1.INTRODUÇÃO.....	1
2.REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1.1.Economia Circular.....	3
1.2.Resíduo industrial sólido.....	4
1.3.Uso de biossólido ETE na agricultura.....	6
1.4.Legislação sobre utilização de biossólidos ETE na agricultura.....	7
2.3.A cultura do feijão-caupi.....	10
2.3.1.Histórico.....	10
2.3.2.Atuação no Brasil.....	10
2.3.3.Feijão comum e feijão-caupi.....	11
2.3.4.Expansão da cultura.....	11
2.3.5.Benefícios da cultura.....	12
2.4.A cultura do milho.....	13
2.4.1.Histórico.....	13

2.4.2.Características	13
2.4.3.Atuação no Brasil	14
2.4.4.Benefícios da cultura.....	15
3.OBJETIVOS	16
3.1.Geral:.....	16
4.MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1.Experimento I - Preliminar.....	17
4.1.1.Avaliações morfológicas.....	19
4.1.2.Análise estatística	20
4.2.Experimentos II e III	20
4.2.1.Avaliações.....	22
4.2.2.Avaliações morfológicas.....	23
4.2.3.Análise estatística	23
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1.Experimento I	24
5.2.Experimento II e III	28
5.2.1.Feijão-caupi.....	28
5.2.2.Milho.....	37
5.2.3.Síntese geral dos resultados obtidos com feijão-caupi e milho.....	48
6.RESUMO E CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
APÊNDICE.....	58

RESUMO

AZEREDO, Kássila Barreto, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2021. Efeito do resíduo de tratamento de efluente industrial na germinação de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e milho (*Zea mays* L.). Orientador: Prof. Fábio Cunha Coelho.

Toda atividade industrial gera resíduos que, em sua maioria, são pouco aproveitados em outras atividades. O desenvolvimento de metodologias visando o reaproveitamento de resíduos em outras atividades, principalmente na agricultura, que é responsável pelo consumo de um grande volume de insumos, é uma alternativa para a redução do impacto ambiental e agregação de valor aos produtos anteriormente descartados pela indústria. Este trabalho tem como objetivo determinar a dose ideal de um resíduo sólido oriundo do tratamento de efluente de indústria de produção de ácido láctico na utilização como substrato para germinação e desenvolvimento inicial de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e milho (*Zea mays* L.). Um primeiro experimento preliminar foi realizado em casa de vegetação em blocos casualizados (DBC) com feijão-caupi, com doze tratamentos (100% areia; 75% areia + 25% resíduo sólido; 50% areia + 50% resíduo sólido; 25% areia + 75% resíduo sólido; 100% resíduo sólido; 100% areia + adubação; 75% areia + 25% resíduo sólido + adubação; 50% areia + 50% resíduo sólido + adubação; 25% areia + 75% resíduo sólido + adubação; 100% resíduo sólido + adubação; substrato comercial e substrato comercial + adubação). Neste experimento verificou-se que todas as doses de resíduo sólido (de 25 a 100%) inibiram a germinação de

sementes de feijão-caupi. Assim, o segundo e o terceiro experimentos foram realizados com delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com feijão-caupi e milho contendo doze tratamentos (Substrato comercial; 100% areia; 97,5 % areia + 2,5% resíduo sólido; 95% areia + 5% resíduo sólido; 92,5% areia + 7,5% resíduo sólido; 90% areia + 10% resíduo sólido; 87,5% de areia + 12,5 % resíduo sólido; 85% areia + 15% resíduo sólido; 82,5% areia + 17,5% resíduo sólido; 80% areia + 20% resíduo sólido; 77,5 % areia + 22,5% resíduo sólido; 75 % areia + 25% de resíduo sólido). Foram avaliados temperatura e pH diariamente e, após dez dias, com a retirada das plantas, realizaram-se avaliações morfológicas (matéria fresca e seca da parte aérea e raiz, volume de raiz, comprimento da parte aérea e raiz) e de porcentagem de germinação, plântulas normais e anormais e índice de velocidade de emergência (IVE). O milho se mostrou mais resistente quanto a germinação sob dosagens mais altas do resíduo sólido, além do menor aparecimento de plântulas anormais em relação ao feijão-caupi. Entretanto, doses acima de 5% de resíduo sólido foram prejudiciais à germinação e ao crescimento de plântulas de feijão-caupi e milho. Para o feijão-caupi, 2,5% de resíduo sólido foi a dose que não causou danos significativos à germinação e ao crescimento das plântulas, enquanto, para o milho, 2,5% de resíduo sólido não afetou a porcentagem de germinação, porém, diminuiu a velocidade de emergência e o comprimento das raízes.

Palavra-chave: economia circular, agroecologia, crescimento inicial, plântulas anormais.

ABSTRACT

AZEREDO, Kássila Barreto, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March 2021. Effect of industrial effluent treatment residue on the germination of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and corn (*Zea mays* L.) seeds. Advisor: Prof. Fábio Cunha Coelho.

Every industrial activity generates waste that, in its majority, is little used in other activities. The development of methodologies aimed at reusing waste in other activities, mainly in agriculture, which is responsible for the consumption of a large volume of inputs, is an alternative for reducing the environmental impact and adding value to products previously discarded by the industry. This work aims to determine the ideal dose of a solid residue from the effluent treatment of the lactic acid production industry when used as a substrate for the germination and initial development of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and corn (*Zea mays* L.). A first preliminary experiment was carried out in a greenhouse in randomized blocks (DBC) with cowpea, with twelve treatments (100% sand; 75% sand + 25% solid waste; 50% sand + 50% solid waste; 25% sand + 75% solid residue; 100% solid residue; 100% sand + fertilization; 75% sand + 25% solid residue + fertilization; 50% sand + 50% solid residue + fertilization; 25% sand + 75% solid residue + fertilization; 100% solid waste + fertilization; commercial substrate and commercial substrate + fertilization). In this experiment it was found that all doses of solid waste (from 25 to 100%) inhibited the germination of cowpea seeds. Thus, the second and third experiments were carried out with a randomized block design (DBC) with cowpea and corn containing twelve treatments (Commercial substrate; 100% sand; 97.5% sand + 2.5% solid residue; 95% sand + 5% solid waste; 92.5% sand + 7.5% solid waste; 90% sand + 10% solid waste; 87.5% sand + 12.5% solid waste; 85% sand + 15% solid waste; 82.5% sand + 17.5% solid residue; 80% sand + 20% solid residue; 77.5% sand + 22.5% solid residue; 75% sand + 25% solid residue). Temperature and pH were evaluated daily and, after ten days, with the removal of the plants, morphological evaluations (fresh and dry matter of shoot and root, root volume, length of shoot and root) and germination percentage were performed, normal and

abnormal seedlings and emergence velocity index (IVE). Maize proved to be more resistant to germination under higher dosages of solid waste, in addition to the smaller appearance of abnormal seedlings in relation to cowpea. However, doses above 5% of solid residue were harmful to the germination and growth of cowpea and corn seedlings. For cowpea, 2.5% of solid waste was the dose that did not cause significant damage to germination and seedling growth, while for corn, 2.5% of solid waste did not affect the germination percentage, but decreased the germination speed and root length.

Keyword: circular economy, agroecology, initial growth, abnormal seedlings.

1. INTRODUÇÃO

O modelo de produção predominante desde o início da industrialização é linear, isso significa extração da matéria prima, produção de um bem, consumo desse bem e descarte. Os resíduos industriais são apontados como os principais responsáveis por parte dos impactos ambientais que ocorrem no mundo. A economia circular propõe o fechamento dos processos produtivos lineares, com a reintegração dos resíduos em um ciclo produtivo, minimizando, assim, a disposição no ambiente e, também, a extração de novas matérias primas (Foster *et al.*, 2016).

A aplicação dos mais diversos resíduos na agricultura vem a cada dia ganhando espaço, como fonte alternativa de nutrientes para a fertilização de distintas culturas, uma vez que os fertilizantes químicos são parte significativa nos custos de produção, são fontes finitas e não são aceitos em produção orgânica de alimentos. Diferentes resíduos também podem ser utilizados como fontes de matéria orgânica, responsável por atribuir propriedades químicas e físicas desejáveis ao solo, elevação de pH, entre outros benefícios (Lobo e Filho, 2007; Oliveira, 2009; Costa *et al.*, 2015).

Os resíduos sólidos têm grande diversidade de definição, variando em função de sua origem, local, época do ano, processo de tratamento, estabilização, condicionamento final e de diversos outros fatores, porém todos esses resíduos utilizados têm em comum o fato de serem ricos em matéria orgânica e diversos nutrientes. Das mais diversas atividades que geram os resíduos, o provindo de

estações de tratamento de efluentes (ETE), que após passar por tratamento prévio pode ser denominado biossólido, é o mais usado na agricultura.

Existem vários estudos utilizando resíduo ETE em culturas agrícolas. Adubos produzidos a partir de rejeitos de uma empresa geradora de resíduos acarreta numa grande economia, e ao invés de gastar dinheiro com a remoção do mesmo, pode-se investir na transformação do resíduo industrial em adubo (Morais *et al.*, 2021).

O resíduo sólido proveniente de estação de tratamento de indústria de produção de ácido láctico ainda é pouco estudado quanto à possibilidade de sua utilização na agricultura. Desta forma, são necessários trabalhos exploratórios de pesquisa em relação à possibilidade da sua utilização como adubo orgânico, bem como a verificação das possíveis respostas de culturas agrícolas em diferentes estádios de crescimento

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) possui grande importância no mercado brasileiro, sendo consumido em todo o país. A produção é em sua maioria concentrada no Nordeste brasileiro, porém a cultura vem ganhando espaço em outras regiões devido às suas características de adaptabilidade e boa aceitação no mercado. Enquanto isso, o milho (*Zea mays* L.) é amplamente cultivado em todo o país, sendo importante para a agricultura de baixo, médio e grande porte.

Este trabalho visa avaliar a possibilidade de utilização do resíduo sólido proveniente da estação de tratamento de efluente industrial, de uma indústria produtora de ácido láctico, para produção de plantas de feijão-caupi e milho e sua influência na germinação e crescimento inicial destas plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Economia Circular

Com a Revolução Industrial e o maior avanço da economia e indústrias, o homem passou a enfrentar diversos problemas, como esgotamento de recursos, escassez de energia, devastação ecológica, poluição ambiental, aquecimento global e extinção de muitas espécies. Assim, o sistema de desenvolvimento linear, mais comum em processos de produção, necessita ser repensado, buscando estabelecer um novo sistema de desenvolvimento econômico que preserve, dentre outros, a natureza (Shen e Qi, 2012).

O modelo de produção linear visa a extração de insumos da natureza, a transformação deste material pela indústria, a distribuição e a entrega do produto final ao cliente e, por último, o descarte dos resíduos ou do produto após o fim da vida útil (Esposito *et al.*, 2017).

A economia circular possui diversas definições, e aqui pode ser descrita como um sistema de negócios que repensa o fim da vida útil dos produtos, desenvolvendo um mecanismo que reduza, recicle, recupera e regenera os insumos e resíduos durante o fluxo da cadeia (Pires e Martins, 2020).

A economia circular vem com propostas de estratégias de limitação, o que significa o uso racionalizado do sistema ambiental e, por outro lado, a sustentabilidade preocupa-se com o bom uso dos recursos ambientais de forma a garantir sua existência futura (Tioffi e Simon, 2021)

De fato, a economia circular vai muito além apenas do descarte e da reciclagem, o sistema busca modificar também a forma como é realizada a criação e o desenvolvimento dos projetos de produtos, levando esse conceito desde a base da produção. Ela representa também uma mudança sistêmica, que constrói um processo de recuperação em longo prazo, gerando oportunidades econômicas e de negócios e proporcionando benefícios ambientais e sociais (EMF, 2021)

Diversas empresas e grupos no Brasil têm adotado esse conceito em seus meios de produção, por exemplo, Native (Grupo Balbo) que adotou uma nova abordagem utilizando agricultura regenerativa em larga escala na produção de cana-de-açúcar. A empresa Natura também seguiu o conceito criando economia regenerativa na Amazônia, no “Programa Amazônia” visando transformar desafios socioambientais em oportunidades de negócios, gerando empregos e informando clientes e comunidades sobre o potencial de diversas matérias-primas da região, evitando, por exemplo, o corte extensivo pela indústria madeireira, sendo esse o projeto “Floresta em pé”. No setor de construção, há o exemplo da Precon Engenharia, que adotou uma redução de perdas estruturais na construção através da inovação circular, e essa adoção e otimização da técnica de construção modular resultou em redução de resíduos em 85% em relação à média do setor de construção brasileiro, e redução em 50% do tempo de construção e nos custos (EMF, 2017).

Assim, diversas empresas mostram na prática que a adoção desse conceito serve tanto para benefício ambiental quanto para próprio desenvolvimento econômico da empresa responsável.

1.2. Resíduo industrial sólido

Toda atividade humana resulta na produção de resíduos, o crescimento populacional em conjunto com a crescente demanda da sociedade por produtos e serviços leva essa produção à um nível cada vez maior. Há na sociedade uma grande preocupação sobre a finalidade desses resíduos, exigindo das autoridades e das empresas públicas e privadas atividades que prezem pela manutenção e melhoria das condições ambientais (Bettioli e Camargo, 2006).

O termo "lixo", utilizado anteriormente, foi substituído por "resíduos sólidos". Antes, eram classificados apenas como subprodutos do sistema produtivo, passaram a ser considerados como responsáveis por graves problemas de degradação ambiental. Além disso, "resíduos sólidos" diferenciam-se do termo "lixo" porque este último não possui qualquer tipo de valor, sendo apenas descartado, já os resíduos podem possuir valor econômico agregado, por possibilitarem e muitas vezes estimularem reaproveitamento no próprio processo produtivo ou em outros (Demajorovic, 1995).

Segundo Valle (1995), o termo resíduo é utilizado em sentido amplo, englobando não somente sólidos como também os efluentes líquidos e os materiais presentes nas emissões atmosféricas. Crittenden e Kolaczowski (1995) definiram resíduo como todo e qualquer elemento que não seja considerado produto ou matéria-prima da produção. Podem ser água residuária e produtos de limpeza associados às operações de higienização das instalações e dos equipamentos, resíduos dos equipamentos do final de produção, vazamentos acidentais de líquidos, emissões fugitivas, descarga de produtos gasosos, resíduos de máquinas e acabamentos. No processo industrial, o resíduo representa perda de matérias-primas, insumos, subprodutos ou produto principal, e requer tempo e capital para o seu gerenciamento.

Há diferentes tipos de resíduos provenientes das mais diversas atividades, e a composição de cada tipo de resíduo varia em função de sua origem, local, época do ano e de diversos outros fatores. O mais utilizado em atividades agrícolas como uma alternativa ao final de seu processo é o biossólido proveniente do tratamento de efluentes (ETE). O lodo de esgoto, que é devidamente tratado e passa por um processo de estabilização, é então denominado biossólido e constitui uma fonte de matéria orgânica e nutrientes para as plantas (Abreu *et al.*, 2017)

Estações de tratamento de efluentes (ETE) têm como objetivo a remoção de poluentes presentes dentro do rejeito gerado pela área urbana (doméstica) ou de indústrias (Suciu *et al.*, 2015).

Todo resíduo industrial, após gerado, necessita um destino adequado, já que não é viável sua acumulação e seu acondicionamento no local em que foi produzido. Para o descarte desses resíduos é necessário seguir os padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Além dos resíduos, de maneira geral, serem um potencial problema ambiental, eles também são caracterizados como

perdas de matérias-primas e energia e exigem investimentos significativos para seu tratamento e disposição final.

1.3. Uso de biossólido ETE na agricultura

A prática de reciclagem de biossólido (ETE) em contexto agrícola tem diversos benefícios como a incorporação dos macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e os micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio) principalmente. O biossólido (ETE) também pode ter papel em melhorar a porosidade e as condições físicas do solo, tendo a função de aumentar a retenção de umidade em solos arenosos e melhorar a permeabilidade e infiltração em solos argilosos. A reciclagem de nutrientes e matéria orgânica para as plantas faz com que o uso de biossólidos na agricultura seja uma opção ambientalmente favorável em comparação com outras opções de manejo (Pinto *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2010).

Porém, é preciso conhecimento da composição do biossólido para que seja calculada a quantidade adequada a ser incorporada ao solo para que não ocorra toxicidade às plantas, aos animais e ao homem, sempre considerando a poluição do ambiente. O emprego deste tipo de material em culturas utilizadas na alimentação ainda apresenta grande resistência devido o receio da contaminação por patógenos (Andreoli, 1999).

Biossólidos provenientes de estação de tratamento de esgoto (ETE) costumam apresentar elementos potencialmente tóxicos e agentes patogênicos ao homem e por isso necessitam passar por tratamento prévio à sua utilização na agricultura, além disso, há possíveis efeitos a longo prazo do biossólido sobre o ecossistema do solo que ainda necessita mais estudos (Li *et al.*, 2020; Mossa *et al.* 2020).

No trabalho realizado por Li *et al.* (2020) foi monitorado, por nove anos, uma área de aplicação de biossólido ETE, e foram realizadas coletas da fauna do solo em que colêmbolos e nematoides bacterívoros apresentaram aumento significativo em suas comunidades. Cada biossólido se comporta de uma maneira, sendo necessário seu correto planejamento e monitoramento para que sua utilização na agricultura seja benéfica.

Existem vários benefícios agrônômicos associados à aplicação de biossólidos mais amplamente observados após aplicação repetida por vários anos ou mesmo uma única vez. Lu *et al.* (2019) realizaram um trabalho com diferentes fontes nutricionais para grama-bahia durante dois anos e, ao fim do experimento, não encontraram diferenças significativas no acúmulo de massa para o biossólido e para o fertilizante inorgânico, mostrando assim, que o biossólido poderia ser usado como uma alternativa sustentável para a produção da pastagem. O trabalho realizado por Avery *et al.* (2018) constataram que, quatorze anos após uma única aplicação de biossólido numa área de pastagem não pastejada, ainda havia uma biomassa de plantas acima do solo quase duas vezes maior do que uma área em que o resíduo não foi aplicado. Newman *et al.* (2014) já haviam constatado um crescimento na cobertura de grama perene de 44% a 99% na mesma área quatro anos após a aplicação do resíduo.

Assim como o biossólido ETE demonstra essa gama utilização na agricultura, mostrando benefícios quando utilizado corretamente, o resíduo sólido do tratamento de efluente industrial apresenta possível potencial para seu emprego na agricultura.

1.4. Legislação sobre utilização de biossólidos ETE na agricultura

De acordo com os dados do relatório da Imperial College (2008), sobre as implicações na saúde humana e meio ambiente da reciclagem de biossólidos na agricultura, a quantidade de lodo produzido aumentou nos últimos dez anos na UE (União Européia), devido à introdução de novas legislações e implementação da Diretiva de Tratamento de águas Residuais Urbanas 91/271/CEE (CEC,1991). Em 1999/2000, cerca de sete milhões de toneladas de lodo foram produzidos na UE, em que aproximadamente 40% foram recicladas na agricultura, porém a proporção da reciclagem deste produto varia entre os diferentes países membros. Países como Bélgica, Dinamarca, Espanha, França, Irlanda, Reino Unido e Hungria são alguns exemplos que aplicam $\geq 50\%$ do lodo gerado em sua agricultura, na Inglaterra e País de Gales 73% do lodo produzido foi utilizado como fertilizante agrícola em 2005, quase dobrando o montante utilizado para a mesma finalidade em 1996.

A aplicação agrícola foi evitada em alguns países devido a restrições rigorosas para metais pesados, além disso, a aplicação de lodo no solo pode não ser uma prática bem desenvolvida ou não existir experiência com esse tipo de aproveitamento agrícola, como no caso da Grécia. Sendo assim, dependendo das circunstâncias, a incineração pode ser a melhor opção ambientalmente praticável, para situações como quando não há terra acessível para o uso agrícola do lodo ou quando este está comprometido para esse tipo de reciclagem, como por exemplo, devido à grandes concentrações de contaminantes.

Com base nisso, a política ambiental da UE tem como objetivo reduzir a eliminação de resíduos biodegradáveis em aterro, que não é considerada uma abordagem sustentável para gestão do lodo em longo prazo.

Para que o biossólido ou lodo de esgoto possa ser utilizado na agricultura é necessário que ele seja tratado, sendo esse processo necessário por três razões: 1-estabilizar a fração orgânica para reduzir a potencial agressividade do lodo e odor durante o processo de putrefação; 2- reduzir significativamente ou eliminar o potencial conteúdo patogênico presente no lodo; 3 - reduzir a atração vetorial.

Nos Estados Unidos a reciclagem de biossólidos em terras agrícolas apresenta alguns desafios que restringem essa prática, como desequilibrada relação N/P em relação à exigência da cultura, muitas vezes, resultando em acúmulo excessivo de P no solo (Antille *et al.*, 2017) e indesejados impactos ambientais na qualidade da água (Paramashivam *et al.*, 2016).

Devido aos perigos de contaminação de seres humanos, animais e plantas, cada país possui sua legislação própria para utilização de biossólido na agricultura, estabelecendo normas com as concentrações máximas permitidas de metais pesados possivelmente existentes e o teor máximo acumulado no solo (Bettiol e Camargo, 2006).

Para o devido balizamento de posturas quanto à legislação brasileira pertinente à utilização de resíduo sólido, é importante conhecer as principais referências legais nacionais atualmente em vigor, aplicáveis à reciclagem de resíduos orgânicos e sobre sua utilização na agricultura. Estas estão listadas abaixo conforme o Ministério do meio ambiente (2019):

- Lei nº 6894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas,

destinados à agricultura, e dá outras providências. (Redação dada pela Lei nº 12.890, de 2013);

- Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. (Redação dada pelo Decreto nº 8.384, de 2014);

- Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho de 2006, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Dispõe sobre a importação ou comercialização, para a produção, de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes;

- Resolução CONAMA n. 375, de 29 de agosto de 2006. É a Resolução que estabelece critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto gerado em estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente. Esta também direciona formas de aplicação, processo de estabilização pelo qual o lodo deve passar tornando-se biossólido, também deixa claro que essa legislação não se aplica ao lodo de estação de tratamento de efluentes de processos industriais.

- Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispendo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Ainda visa uma destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético.

Nesta lei 12.305 de 2 de agosto de 2010 também é citada a “logística inversa” similar à economia circular determina procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada; porém, esta lei não direciona utilização agrônômica desses resíduos sólidos.

2.3. A cultura do feijão-caupi

2.3.1. Histórico

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa (Família Fabaceae) utilizada na alimentação humana e tradicionalmente cultivada por agricultores familiares. A área mundial plantada de feijão-caupi é de 10,4 milhões de hectares, concentrados nas regiões tropicais e subtropicais da América, Ásia e África (FAO, 2018). Essa cultura vinda da África foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses, principalmente no Estado da Bahia (Freire Filho *et al.*, 1998). É uma das leguminosas mais consumidas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, representando importante fonte de proteína, energia, fibras e minerais, além de ser um gerador de emprego e renda (Dutra *et al.*, 2012).

2.3.2. Atuação no Brasil

No Brasil, estima-se que é cultivada uma área em torno de 1,5 milhão de hectares de feijão-caupi, atingindo produção média de, aproximadamente, 740 mil toneladas, obtendo rendimento de 497 kg ha⁻¹, sendo assim, o quarto maior produtor mundial (EMBRAPA, 2019).

Visto sua alta adaptabilidade às condições de clima e solo das áreas semiáridas do Nordeste brasileiro, essa cultura também é possuidora de grande variabilidade genética, isso possibilita sua utilização em diferentes sistemas de produção, sendo eles tradicionais ou modernos (Freire Filho *et al.*, 2005).

As pesquisas de melhoramento genético atuais com o feijão-caupi focam em desenvolver cultivares com alto potencial produtivo, com maturidade uniforme e perfil ideal para o cultivo mecanizado, além de cultivares precoces, com ciclo de até 60 dias (entre plantio e colheita) e grãos de alta qualidade (Andrade *et al.*, 2010). Assim, com o aumento das melhorias técnicas e econômicas dos sistemas de

produção, médios e grandes produtores começaram a demonstrar maior interesse pela cultura (Bezerra *et al.*, 2008).

2.3.3. Feijão comum e feijão-caupi

No Brasil são cultivadas várias espécies de feijão, entretanto, somente as espécies *Phaseolus vulgaris* (L.) e *Vigna unguiculata* (L.) Walp., mais conhecidos como feijão comum e feijão-caupi, respectivamente, são consideradas como feijão pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2008). Ambas são as espécies de significativa importância social e econômica no país, muitas das vezes sendo plantadas em conjunto numa mesma propriedade. Assim, além de sua grande importância como alimento também é bom gerador de renda e emprego no país.

O feijão-caupi possui diversos nomes populares, como: feijão-macassa e feijão-de-corda, na região Nordeste; feijão-de-praia, feijão-da-colônia e feijão-de-estrada, na região Norte; feijão-miúdo, na região Sul, sendo a sua variabilidade de tipos e plantas influenciados por sua disseminação em diferentes regiões do país (Freire Filho *et al.*, 1983). Além desses nomes, há um tipo de grão que tem o tegumento branco com um grande halo preto, que é chamado de feijão-fradinho nos estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro.

2.3.4. Expansão da cultura

A cultura tipicamente plantada no Nordeste brasileiro, com grande variedade de feijões e favas, cultivada principalmente na Bahia, começou a ser introduzido na Amazônia por imigrantes nordestinos que foram trabalhar na extração de látex, produção de borracha e garimpo (Freire Filho *et al.*, 2017; Vale *et al.*, 2017). A cultura vem se expandindo para outras regiões do país, em razão de seus grãos de elevada qualidade nutricional e energética, ampla adaptabilidade às condições tropicais, baixo custo de produção, sendo possível devido ao intenso trabalho de melhoramento aplicado nos últimos 20 anos (Ribeiro *et al.*, 2002).

De acordo com Freire Filho *et al.* (2017) vem ocorrendo uma expansão ainda maior para áreas de cerrado nas Regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e

Sudeste, onde é cultivado por médios e grandes produtores na forma de safrinha, esses produtores utilizam a mesma tecnologia empregada para a soja, possibilitando uma produção em larga escala, com alta qualidade e regularidade, aumentando assim, a oferta do feijão-caupi dentro e fora do país.

Também é uma cultura de grande importância econômica sendo geradora de trabalho, estimulando assim a economia e abastecendo a cadeia produtiva e comercial passando desde o agricultor familiar ao empresarial, por diversas áreas de comércio até o consumidor, indo da zona rural, pelas pequenas cidades até os grandes centros urbanos do país (Freire Filho *et al.*, 2017).

A Região Sudeste, principalmente Minas Gerais, tem se mostrado um mercado consumidor e produtor expressivo para essa cultura (Valeriano *et al.*, 2019). Porém, esta produção enfrenta algumas condições limitantes para seu avanço, como o baixo nível tecnológico nas lavouras e ausência de cultivares recomendadas para a região, mostrando assim, a grande importância de pesquisa nessa área (Souza, *et al.*, 2018).

A proximidade da pesquisa com o produtor se torna cada vez mais necessária para desempenhar um resultado relevante para a agricultura, assim, práticas estudadas poderão contribuir para um ambiente agrícola mais sustentável, com aumento da renda familiar e respeitando os valores ambientais.

No geral, o feijão-caupi, cultivado na região de Campos dos Goytacazes, é proveniente de sementes trazidas por imigrantes nordestinos que vinham para o Estado do Rio de Janeiro à procura de emprego e melhores condições de vida. Com sua alta adaptabilidade, o feijão-caupi vem contribuindo como fonte de alimento e renda familiar e de subsistência, ademais possui alto potencial de expansão do mercado (Bezerra *et al.*, 2007).

2.3.5. Benefícios da cultura

Com o aumento da produção e os benefícios nutricionais, essa cultura vem ganhando espaço no contexto nacional e internacional e, além disso, os grãos dessa planta podem ser consumidos secos ou verdes e seus caules e ramos são utilizados na alimentação animal, ou ainda, como adubo verde para recuperação de solos, tendo um aproveitamento máximo dessa cultura (Silva Júnior *et al.*, 2015).

Na revisão realizada por Owade *et al.* (2020), afirmam-se que as folhas de feijão-caupi são ricas em ferro e vitamina A, além de beta-carotenos e que são recomendadas para a redução da insegurança alimentar e nutricional na África Subsaariana.

Este feijão é uma excelente fonte de proteínas (23% a 25% em média), apresentando todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62% em média), vitaminas e minerais, além de grande quantidade de fibras dietéticas e baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2% em média) (Rocha *et al.*, 2017). Também foram encontrados antioxidantes na composição de suas folhas como alfa tocoferóis, flavonoides, licopeno e agentes anti-cancro (Shetty *et al.*, 2013).

2.4.A cultura do milho

2.4.1. Histórico

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie que pertence à família Gramineae/Poaceae com origem botânica no teosinto, encontrado no México, que sofreu um processo de seleção artificial (feita pelo homem) até resultar nas variedades de milho atuais. Ao longo dos anos, o homem vem promovendo uma intensa domesticação do milho por meio da seleção no campo, levando em consideração características importantes, como produtividade, resistência a doenças e capacidade de adaptação, entre outras (Kistler *et al.*, 2018).

2.4.2. Características

Essa cultura é, geralmente, cultivada sob condições pouco favoráveis ao seu desenvolvimento pleno, assim, devido sua alta adaptabilidade, é uma cultura amplamente espalhada no planeta. O milho possui raiz fasciculada com grande desenvolvimento, e a planta pode atingir cerca de dois metros, podendo variar de acordo com o cultivar. O caule do milho é um colmo ereto, não ramificado, apresenta nós e entrenós, sendo que, essa parte da planta, além de ter função de suportar as folhas, é um importante órgão de reserva de sacarose. Os tipos de

milho que não são utilizados para produção de grãos secos são chamados de “milhos especiais”, e alguns exemplos são o milho branco (milho canjica), milho verde, milho pipoca, etc (Embrapa, 2019).

O vigor de uma semente é definido como a capacidade de germinar sob uma gama de condições, que também depende das condições ambientais encontradas na sementeira (Simoni *et al.*, 2011). A semente de milho tem como característica o alto vigor, tornando possível sua germinação mesmo em condições adversas (Silva *et al.*, 2020).

A cultura do milho tem uma característica muito diferente de outras culturas como arroz, feijão, soja e sorgo, sendo essa planta é cultivada com um número pequeno de plantas por área. Neste caso, cada planta possui um papel importante de contribuição para o rendimento total de grãos, sendo assim, a perda de cada planta impacta negativamente, causando prejuízo direto à produção, conseqüentemente, a manutenção do número de plantas até a colheita é seriamente importante (Cruz, 2015).

Dessa forma, essa manutenção deve começar antes mesmo da sementeira, na escolha de sementes de qualidade, assim como o ajuste nos implementos e doses de insumos associados também devem ser rigorosos. Os fatores bióticos muitas vezes não podem ser controlados, mas devem ser considerados e manejados de maneira adequada (Cruz, 2015).

2.4.3. Atuação no Brasil

A produção mundial de milho na safra 2019/20 foi de 1,11 bilhão de toneladas, sendo o Brasil o terceiro maior produtor de milho do mundo, com uma produção de, aproximadamente, 100 milhões de toneladas na safra 2019/20, ficando atrás dos Estados Unidos, com uma produção de cerca de 350 milhões de toneladas e da China, com 250 milhões de toneladas. Nas exportações, o Brasil fica atrás apenas dos Estados Unidos (Embrapa, 2019).

No Brasil, o milho ocupa o segundo lugar como o cereal mais produzido no país, sendo cultivado geralmente, em dois períodos no ano, a safra e a safrinha. De acordo com o MAPA (2012) o Brasil cultiva, por ano cerca de 12 milhões de hectares de milho, 70% dessa área é destinada a safra e 30% utilizado na safrinha.

O Estado de Goiás está entre os maiores produtores de milho no país, com produção acima de 10 milhões de toneladas na safra 2018/19, ficando atrás dos estados do Mato Grosso, Paraná e Mato Grosso do Sul (CONAB, 2020).

2.4.4. Benefícios da cultura

Essa cultura possui extrema importância econômica e social, pois é cultivada em muitas partes do Mundo (Estados Unidos, China, Índia, Brasil, França, Indonésia, África do Sul, etc.) e, devido, principalmente, à sua grande adaptabilidade é encontrada em climas tropicais, subtropicais e temperados.

As principais aplicações desta cultura são para a alimentação humana, na produção de grãos; e alimentação animal, na produção de silagem; isso por causa de suas elevadas qualidades nutricionais, porém, a indústria vem ampliando o emprego do milho como insumo para fabricação de diversos outros produtos como lisina, isoglucose, e itens biodegradáveis, além do etanol. (Embrapa, 2019; Barros e Alves, 2015).

Na alimentação humana o papel desse grão é de extrema importância, muito energético e rico, tendo em sua composição vitaminas A e na do complexo B, proteínas, gorduras, carboidratos, cálcio, ferro, fósforo e amido, além de ser rico também em fibras. Além disso, o milho pode receber genes responsáveis pela alteração de sua composição química de carboidratos, proteínas e aminoácidos e produzir variedades para serem produzidas com finalidades especiais (CIB, 2006).

O milho atua de maneira fundamental na dieta animal, assegurando a parte energética das rações de bovinos, aves e suínos. Pode ser usado processado como, por exemplo, farelo de milho, farelo de gérmen de milho peletizado, fubá grosso e outros; também pode ser utilizado na forma de silagem de planta inteira para bovinos e grão úmido para suínos (CIB, 2006).

3. OBJETIVOS

3.1. Geral:

Determinar a concentração de resíduo industrial sólido, proveniente de tratamento de efluente de indústria de produção de ácido láctico, utilizado na germinação de sementes de feijão-caupi e milho.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Experimento I - Preliminar

Foi realizado um experimento com feijão-caupi em ambiente protegido na Unidade de Apoio à Pesquisa, Ensino e Extensão (UAp), coordenadas geográficas de 21°45' de latitude Sul e 41°17" de longitude Oeste, da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes-RJ. As sementes de feijão-caupi cv. Poços de Caldas utilizadas neste experimento foram doadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e apresentavam 95% de germinação.

Foi utilizado o arranjo fatorial (5 x 2) + 2 cujos fatores e níveis foram: vasos preenchidos com proporções de areia e resíduo sólido (100% areia; 75% areia + 25% resíduo sólido; 50% areia + 50% resíduo sólido; 25% areia + 75% resíduo sólido e 100% resíduo sólido); utilização de adubação (sem e com) e dois tratamentos adicionais com substrato comercial sem e com adubação.

Os tratamentos (T) foram constituídos de:

T1 – 100% areia

T2 – 75% areia + 25% resíduo sólido

T3 – 50% areia + 50% resíduo sólido

T4 – 25% areia + 75% resíduo sólido

T5 – 100% resíduo sólido

- T6 – 100% areia + adubação
- T7 – 75% areia + 25% resíduo sólido + adubação
- T8 – 50% areia + 50% resíduo sólido + adubação
- T9 – 25% areia + 75% resíduo sólido + adubação
- T10 – 100% resíduo sólido + adubação
- T11 – Substrato comercial
- T12 – Substrato comercial + adubação

As unidades experimentais foram constituídas por vasos de 2 L, preenchidos com areia e/ou resíduo sólido. Foi adotado delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições.

A areia foi incorporada ao resíduo sólido nas doses estipuladas acima, sendo T1 constituído apenas de areia, e T5 apenas de resíduo sólido.

Nos tratamentos em que houve adubação, primeiramente, foi realizado o cálculo para determinar o volume dos vasos, sendo obtido o valor de 2,79 dm³, e em seguida, foi consultada a recomendação do Manual de calagem e adubação do Rio de Janeiro (Freire, 2013). Seguindo a recomendação para feijão-caupi em solos de baixa fertilidade, a dose de P₂O₅ é de 60 kg ha⁻¹, obtendo-se que em um recipiente de 2,79 dm³ seria necessário 0,0837g de P₂O₅. Para K₂O a recomendação era de 40 kg ha⁻¹, sendo que para o volume de um vaso o necessário foi 0,0558g de K₂O.

Assim, em 24 vasos (as quatro repetições dos tratamentos T6, T7, T8, T9, T10 e T12) foram necessários o total de 2,01g de P₂O₅ e 1,34g de K₂O. Foram utilizados os adubos Superfosfato (18% P₂O₅) e KCl (53% K₂O), então, para atingir os valores necessários foram pesados 11,16 g de Superfosfato e 2,53 g de Cloreto de potássio (KCl), essa quantidade foi dissolvida em 480 mL de água e, então, aplicou-se 20 mL da solução em cada vaso. E durante a incorporação da areia com o resíduo sólido este foi acrescentado em forma líquida.

Foi utilizado um resíduo sólido proveniente de estação de tratamento de efluentes de uma indústria de produção de ácido láctico. As análises desse resíduo foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Campos dos Goytacazes, e estão especificadas abaixo (Quadro 1).

Após o preenchimento dos vasos com as respectivas proporções de areia e resíduo sólido, foi feita a semeadura do feijão-caupi com cinco sementes por

recipiente de 2 a 3 cm de profundidade. As sementes demoraram em torno de três-quatro dias para emergir.

As plantas cresceram nos vasos pelo período de sete dias, então foram realizadas as avaliações descritas abaixo.

Quadro 1- Características químicas do resíduo sólido proveniente da produção de ácido láctico.

Características	Valor encontrado
pH	6,6
N (g kg⁻¹)	37,03
P₂O₅ (g kg⁻¹)	25,83
K₂O (g kg⁻¹)	7,01
Ca (g kg⁻¹)	157,87
Mg (g kg⁻¹)	2,03
C (g kg⁻¹)	129,6
Fe (mg kg⁻¹)	10408
Cu (mg kg⁻¹)	50
Zn (mg kg⁻¹)	656
Mn (mg kg⁻¹)	312
U (%)	50,1

4.1.1. Avaliações morfológicas

Sete dias após a semeadura, ocorreu a medição do comprimento da haste principal com régua milimetrada, também foi determinado o comprimento da raiz. As plantas foram coletadas e a parte aérea foi separada da raiz, ambas foram pesadas em balança analítica para determinação da massa da matéria fresca.

As folhas passaram pelo aparelho de medição de área foliar com auxílio de medidor de bancada (LI- 3100 LI-COR). Em seguida, as partes aéreas e raízes foram levadas à estufa com circulação de ar forçada a 65°C, por 72 horas. Após este processo, as amostras foram pesadas em balança analítica para determinação da massa da matéria seca da parte aérea e raiz.

4.1.2. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas, SAEG (2007).

4.2. Experimentos II e III

Foram realizados dois experimentos semelhantes em B.O.D no Laboratório de Fitotecnia, da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes-RJ. As espécies vegetais utilizadas foram feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Poços de caldas (experimento II) e milho (*Zea mays* L.) AL bandeirantes (experimento III). As sementes de feijão-caupi utilizadas no experimento foram doadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e tinham 95% de germinação, enquanto as sementes de milho foram adquiridas comercialmente e apresentavam 98% de germinação.

Cada experimento foi constituído pelos seguintes tratamentos:

- T1 – Substrato comercial
- T2 – 100% areia
- T3 – 97,5 % areia + 2,5% resíduo sólido
- T4 – 95% areia + 5% resíduo sólido
- T5 – 92,5% areia + 7,5% resíduo sólido
- T6 – 90% areia + 10% resíduo sólido
- T7 – 87,5% de areia + 12,5 % resíduo sólido
- T8 – 85% areia + 15% resíduo sólido
- T9 – 82,5% areia + 17,5% resíduo sólido
- T10 – 80% areia + 20% resíduo sólido
- T11 – 77,5 % areia + 22,5% resíduo sólido
- T12 - 75 % areia + 25% de resíduo sólido

As proporções de 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 12,5%; 15%; 17,5%; 20%; 22,5% e; 25% resíduo sólido correspondem a 50; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 450 e; 500 m³ ha⁻¹ de resíduo sólido. Isto considerando que em uma área de um hectare

(10.000 m²) seja incorporado o biossólido à profundidade de 20 centímetros, que é a profundidade geralmente utilizada para incorporação de adubos orgânicos em áreas agrícolas. Assim, considerou-se o volume de solo de 1 ha como equivalente a 2.000 metros cúbicos e, a partir deste volume, calculou-se cada dose de resíduo sólido dos tratamentos.

Em ambos os experimentos foi adotado delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por recipientes plásticos de 500 ml, preenchidos com os substratos referentes à cada tratamento.

Os tratamentos foram montados incorporando o resíduo sólido à areia, nas doses estipuladas em cada tratamento, até sua total homogeneização. O substrato comercial foi utilizado para controle. Foi utilizado um resíduo sólido proveniente de estação de tratamento de efluente de uma indústria de produção de ácido láctico. As análises desse resíduo sólido foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Campos dos Goytacazes (Quadro 1).

Em seguida, foi realizada a semeadura do feijão-caupi e do milho em cada experimento, utilizando-se duas sementes por recipiente na profundidade de 2 à 3 cm, em seguida, estas foram cobertas com o próprio substrato. Os recipientes foram mantidos em câmara BOD para manter as condições de fotoperíodo de 16:8 h (luz:escuro) e temperatura 25°C ± 2°C controladas, de acordo com a Regra para Análise de Sementes (RAS, 2009).

Após a semeadura, o experimento foi acompanhado diariamente. A irrigação foi realizada de forma a manter o substrato úmido, mas não encharcado, e em condições ideais para que as sementes fossem capazes de germinar. Também foi observado qualquer interferência externa como possível ataque de pragas que pudesse alterar os resultados do experimento.

As plantas cresceram nos recipientes pelo período de dez dias e, então, foram feitas as avaliações descritas abaixo. Para isso, as plantas foram cuidadosamente retiradas dos recipientes contendo os substratos, com auxílio de água para que as raízes não fossem danificadas, e estas foram lavadas em água corrente para a retirada de partículas aderidas.

4.2.1. Avaliações

pH e temperatura

Medidas diariamente com auxílio de aparelho de medição em substrato.

Porcentagem de germinação

A porcentagem de germinação foi calculada de acordo com Labouriau e Valadares (1976), pela fórmula $G = (N/A) \times 100$. Em que: G = germinação; N = número total de sementes germinadas; A = número total de sementes colocadas para germinar.

Índice de velocidade de emergência (IVE)

Para o índice de velocidade de emergência foi realizada a contagem de sementes emergidas diariamente. Ao final do experimento, os dados coletados foram utilizados no cálculo utilizando a fórmula do $IVE = E_1/N_1 + E_2/N_2 \dots + E_N/N_N$, onde IVE é o índice de velocidade de emergência; E_1 , E_2 , E_N corresponde ao número de plântulas computadas no primeiro, segundo até o último dia da contagem. N_1 , N_2 e N_N é o número de dias da semente à primeira, segunda até o último dia da contagem, respectivamente (Maguire, 1962).

Porcentagem de plântulas normais

Plântulas normais são aquelas que mostram potencial para continuar seu desenvolvimento e dar origem às plantas normais. Elas podem ser intactas ou com pequenos defeitos.

Plântulas normais apresentam todas as estruturas bem desenvolvidas, completas, proporcionais e saudáveis. Plântulas com pequenos defeitos apresentam alguma anomalia em suas estruturas essenciais, porém desde que apresentam um desenvolvimento satisfatório e equilibrado, são consideradas plântulas normais (MAPA, 2009).

4.2.2. Avaliações morfológicas

O comprimento de plântulas foi avaliado ao final da condução do experimento e foi medido com o auxílio de uma régua graduada.

As plântulas foram coletadas e separadas em parte aérea e raiz, e ambas foram pesadas em balança analítica. Em seguida, foi determinado o volume de raiz com auxílio de uma proveta com água e volume conhecido e, então, as partes aérea e raiz foram levadas à estufa com circulação de ar forçada a 65°C, por 72 horas. Após este processo, as amostras foram pesadas em balança analítica para determinação da massa da matéria seca da parte aérea e raiz.

4.2.3. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas, SAEG (2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Experimento I

Em todos os tratamentos em que foram acrescentadas doses de biossólido não ocorreu germinação de sementes. Assim, somente os tratamentos 100% substrato comercial; 100% substrato comercial + adubação, 100% areia e; 100% areia + adubação apresentaram germinação das sementes de feijão-caupi.

Todas as doses de resíduo sólido utilizadas, de 25 a 100%, resultaram em efeito negativo sobre a germinação de feijão-caupi, levando ao apodrecimento de todas as sementes destes tratamentos, não se obtendo valores das variáveis biométricas de plântulas (Figura 1 e 2). A ocorrência do apodrecimento das sementes, nos tratamentos contendo resíduo sólido na dose entre 25 e 100%, pode ter várias causas possíveis. Entre estas se podem elencar: a possível diminuição da porosidade, com conseqüente diminuição da aeração próximo às sementes, prejudicando o fornecimento de oxigênio essencial para o processo germinativo.

Além disto, há outros fatores como, como: a possibilidade da temperatura aumentar devido à atividade microbiana na decomposição do material orgânico presente no resíduo sólido; ou alguma alteração no pH, devido à presença do resíduo sólido, que prejudicou o processo germinativo; ou substâncias químicas liberadas no processo de decomposição do resíduo sólido que tenham efeito tóxico sobre as sementes; ou o próprio resíduo sólido conter substâncias que prejudicam

a germinação de sementes (Einhellig, 1995; Farias *et al.*, 2015; Monquero *et al.*, 2009).



Figura 1. Germinação de feijão-caupi ocorrida apenas nos tratamentos contendo substrato comercial, substrato comercial + adubação, areia e areia + adubação.



Figura 2. Sementes de feijão-caupi que não germinaram ou apodrecidas dos tratamentos com resíduo sólido.

As características matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da raiz (MSR), comprimento da raiz (CR) e comprimento da parte aérea (CPA) não mostraram diferença significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos que apresentaram germinação (Tabela 1).

Tabela 1. Médias das variáveis matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da raiz (MSR), comprimento da raiz (CR) e comprimento da parte aérea (CPA) em feijão-caupi

Tratamentos	MFR (mg)	MSR (mg)	CR (mm)	CPA (mm)
Substrato	206,3 A	13,6 A	55,6 A	10,9 A
Substrato + adubação	197,5 A	12,8 A	51,0 A	11,1 A
Areia	196,9 A	11,9 A	71,1 A	10,7 A
Areia + adubação	249,3 A	15,1 A	73,6 A	11,1 A
Média	212,5	13,3	62,8	10,9

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem pelo teste F em nível de 5% de probabilidade

Os tratamentos com substrato comercial apresentaram maiores matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF) que os tratamentos com 100% de areia (Figura 3). Por outro lado, não houve efeito significativo da adubação ($P < 0,05$) sobre estas variáveis.

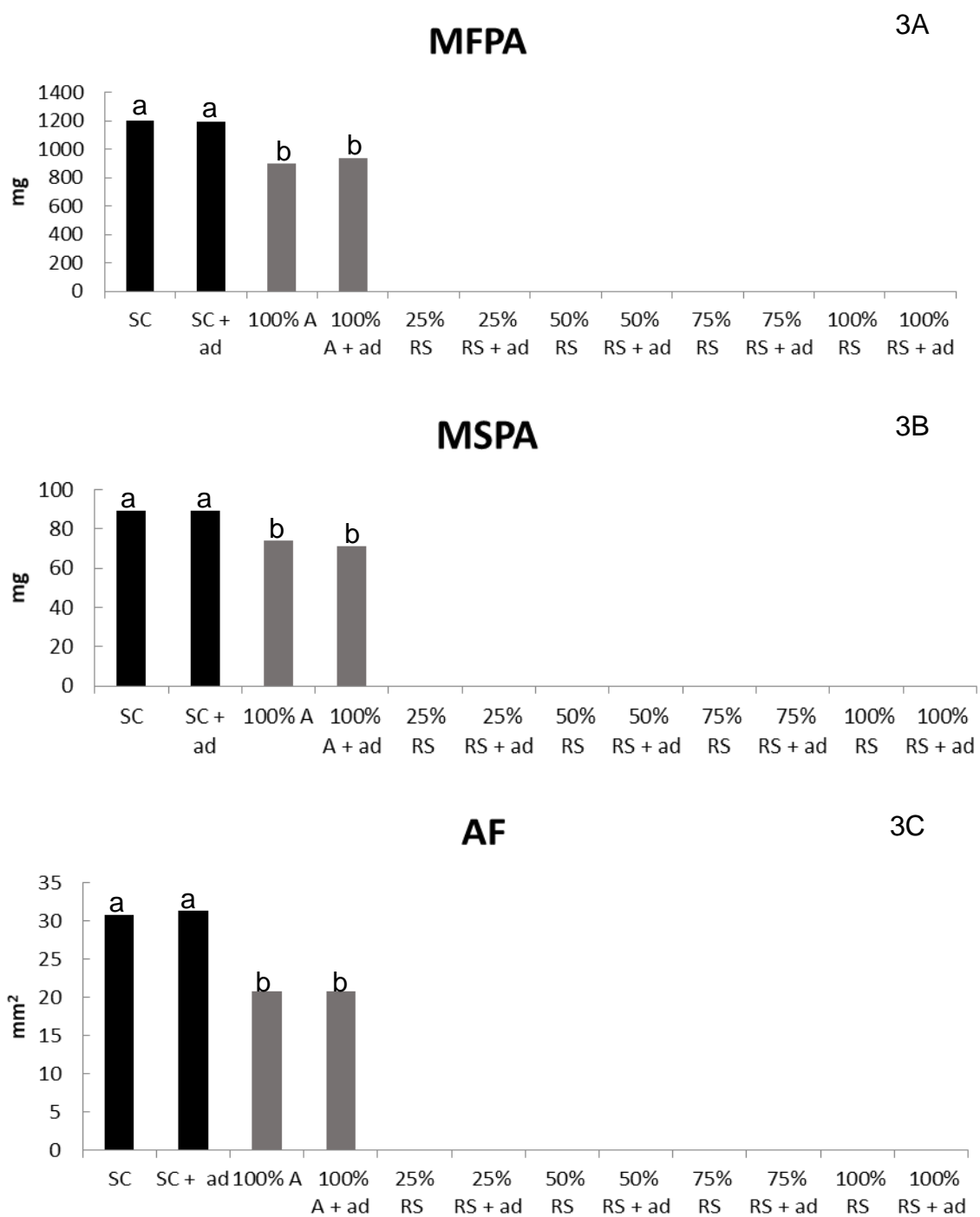


Figura 3. Matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF) do experimento com diferentes concentrações de resíduo sólido em cultivo de feijão-caupi. Colunas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. SC=substrato comercial; ad=adubação; A=areia e; RS= resíduo sólido.

Este resultado do substrato comercial apresentando maiores médias que a areia (Figura 3) se justifica, já que o substrato possui condições físicas e químicas ideais para germinação e desenvolvimento inicial da planta.

Diante dos resultados deste experimento, de não germinação e apodrecimento de sementes de feijão caupi em substratos contendo de 25 a 100% de resíduo sólido, foram propostos mais dois experimentos para avaliar os efeitos de doses menores que 25% de resíduo sólido, sobre a germinação e o crescimento inicial de plântulas.

5.2. Experimento II e III

5.2.1. Feijão-caupi

No segundo experimento, realizado em BOD por dez dias com o feijão-caupi, como esperado, não houve germinação no T12 que consistia no tratamento com 25% de resíduo sólido. Entretanto, os tratamentos T8, T9, T10 e T11 (15%; 17,5%; 20% e 22,5% de resíduo sólido, respectivamente) também resultaram em ausência de germinação das sementes, mostrando assim a concentração limite para o uso deste resíduo sólido como substrato para germinação do caupi (Figura 4A).

A germinação do feijão-caupi foi 100% nos tratamentos testemunhas (substrato comercial e areia) e nos tratamentos contendo 2,5 e 5,0% de resíduo sólido (Figura 4A). Entretanto, as doses de 7,5 e 10 % de resíduo sólido resultaram em decréscimo em aproximadamente 50% na germinação, enquanto, com a dose de 12,5 % de resíduo sólido apenas 20% das sementes germinaram. E, assim, como já comentado, as doses de resíduo sólido maiores que 15% causaram apodrecimento e não germinação das sementes (Figura 4A).

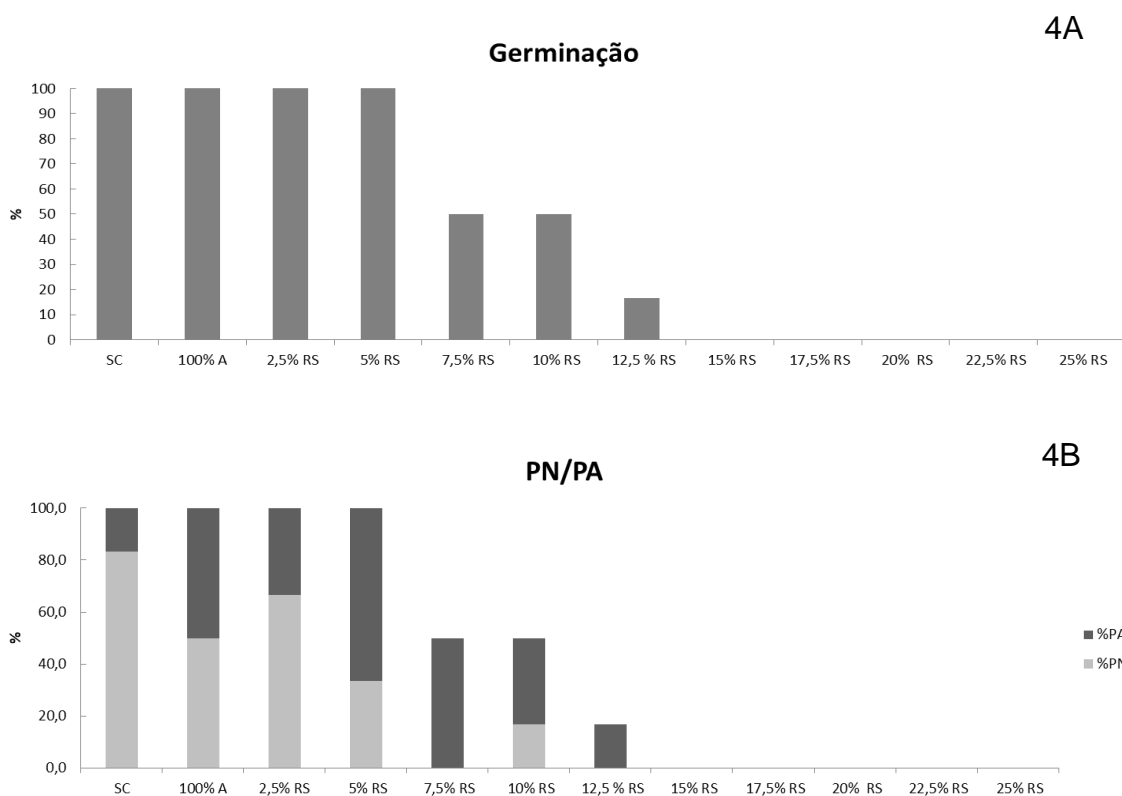


Figura 4. Porcentagem de germinação (A) e de plântulas normais e anormais (B) presentes no experimento com feijão-caupi.

Nenhum dos tratamentos obteve 100% de plântulas normais, o tratamento com 100% areia apresentou 50% das plântulas normais, porém, o tratamento com 2,5% de resíduo sólido apresentou 66,7 % de plântulas normais. Os tratamentos com 7,5 e 12,5 % de resíduo sólido apresentaram apenas plântulas anormais, nos valores de 50 e 16,7%, respectivamente (Figura 4B).

Já quanto ao índice de velocidade de emergência (IVE) (Figura 5) verificou-se que quanto maior a concentração de resíduo sólido no substrato, menor é a velocidade que a semente de caupi germina, ou seja, os tratamentos com mais resíduo sólido tiveram sua emergência mais tardia. Entretanto, as doses de 2,5 e 5% de resíduo sólido apresentaram IVE intermediários aos apresentados pelo substrato comercial e a areia (testemunhas), indicando que essas doses de resíduo sólido não afetam negativamente a velocidade de emergência das sementes de caupi.

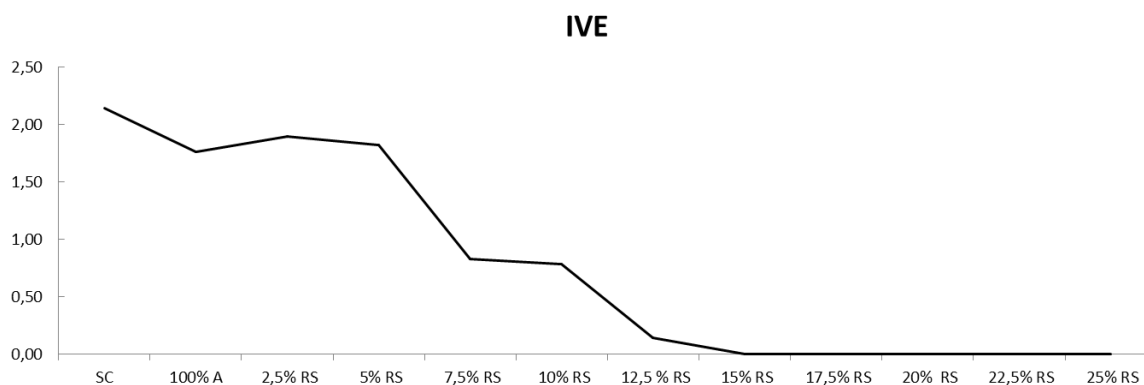


Figura 5. Índice de velocidade de emergência (IVE) no experimento com feijão-caupi.

Com a inibição da germinação presente no primeiro experimento (Figuras 1 e 2), cogitou-se a possibilidade de o processo de decomposição do resíduo sólido estar resultando em variação de temperatura e pH próximo às sementes, e que isto fosse desfavorável à germinação, por isso, neste experimento, ambos foram medidos diariamente.

A variação de temperatura para cada tratamento no decorrer dos dias (Figura 6A) atingiu o menor valor de aproximadamente 24,7°C no tratamento com 15% de resíduo sólido, no 5º dia após a semeadura, e o maior valor de aproximadamente 26,7°C para os tratamentos 2,5%; 5%; 7,5%; 12,5% e 15% resíduo sólido, no 9º dia. Assim, a variação entre o menor e o maior valor encontrado de temperatura foi de 2°C. Verifica-se que a amplitude de variação diária de temperatura entre os tratamentos não possibilita explicar os efeitos dos tratamentos sobre a germinação de sementes (Figuras 4A e 6).

Na comparação das médias de temperaturas, ocorridas ao longo do experimento, o substrato comercial e doses de 15% e 22,5% de resíduo sólido não diferiram entre si ($P < 0,05$) e seus valores estão compreendidos entre aproximadamente 25,5°C e 25,7°C. Já o maior valor médio foi de 26°C na dose de 20% de resíduo sólido, mas que não diferiu dos outros tratamentos restantes (Figura 6B). A partir destes dados, pode-se considerar que a variação média de temperatura dos tratamentos, possivelmente, não afetou a germinação das sementes.

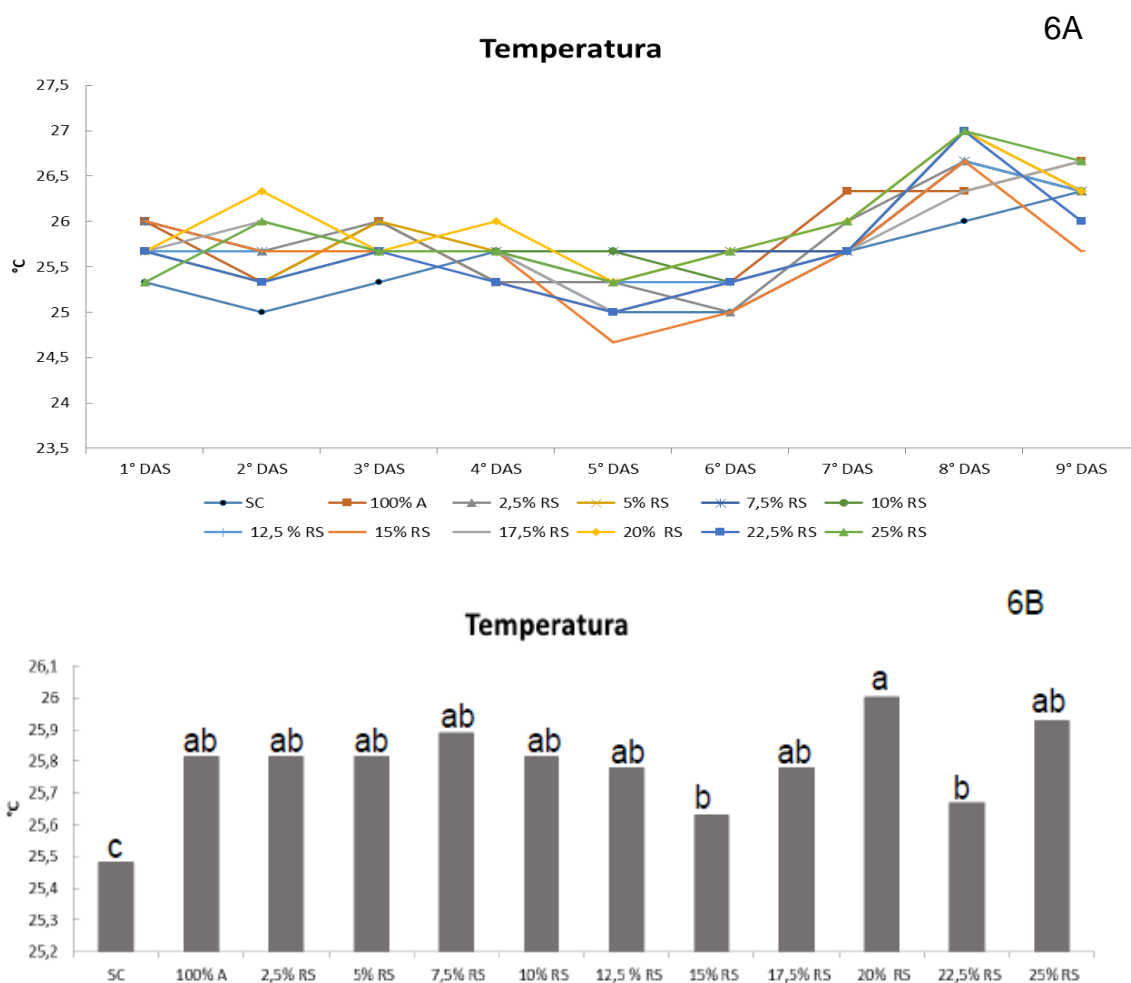


Figura 6. Variação da temperatura para cada tratamento durante os dias do experimento (A) e comparação das médias da temperatura dos tratamentos (B) do experimento com feijão-caupi. Colunas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O pH atingiu o menor valor de aproximadamente 4,8 nas doses de 17,5%; 20% e; 22,5% de resíduo sólido, no dia 22/out, 1º dia. O maior valor de pH foi de aproximadamente 6,7 para a areia no 2º dia (23/out), mostrando uma variação entre o menor e o maior valor de 1,7 (Figura 7A).

Na comparação das médias, apenas o tratamento 100% areia atingiu o maior valor (6,5), sendo superior a todos os outros tratamentos. As doses de 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 12,5% e 25% de resíduo sólido não diferiram entre si ($P < 0,05$). Já o substrato comercial; 15%; 17,5%; 20% e; 22,5% resíduo sólido também não diferiram entre si ($P < 0,05$), alcançando os menores valores (Figura 7B). Considerando os dados, pode-se considerar que a variação média de pH dos

tratamentos, possivelmente não afetou a germinação das sementes. Verifica-se isto, principalmente ao constatar-se que o pH dos tratamentos com doses de resíduo sólido apresentaram valores intermediários ao pH apresentado pelas testemunhas (substrato comercial e 100% areia) (Figura 7B).

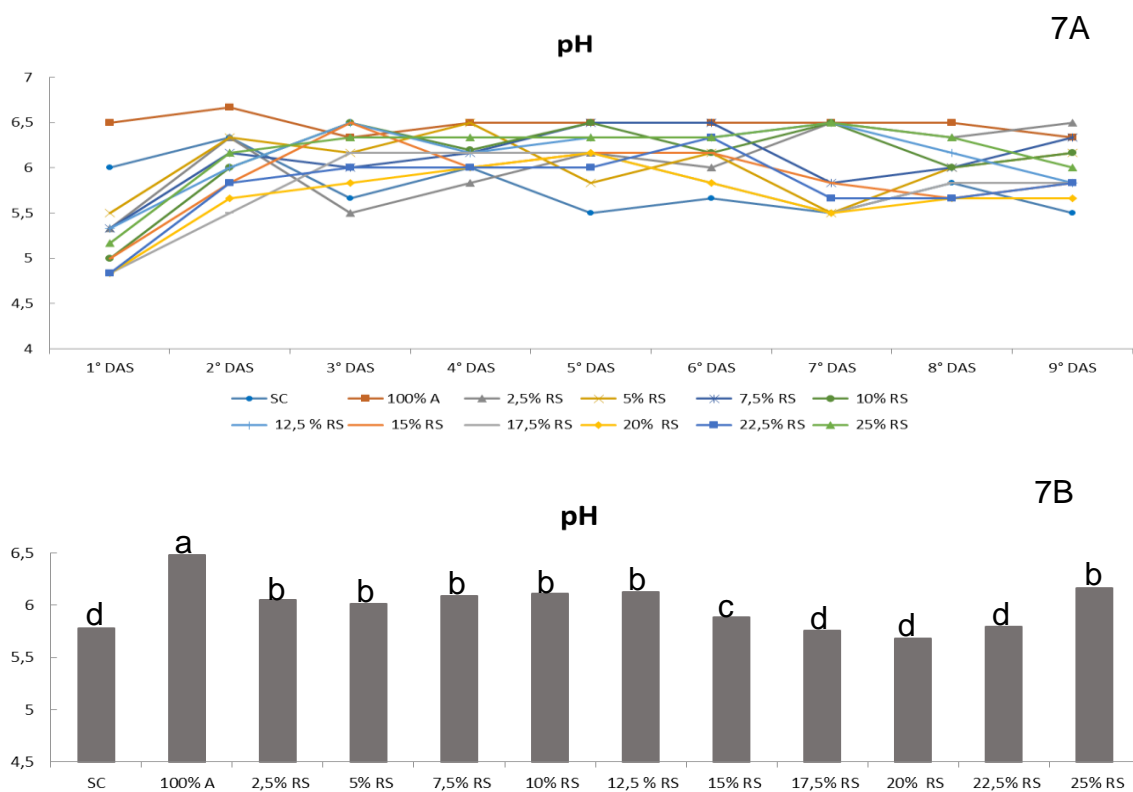


Figura 7. Variação de pH para cada tratamento durante os dias do experimento (A) e comparação das médias do pH dos tratamentos (B) do experimento com feijão-caupi. Colunas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Outros fatores podem ter afetado negativamente a germinação das sementes nas doses maiores de resíduo sólido que, entretanto, não foram avaliados neste experimento. O processo de decomposição de resíduos orgânicos do resíduo sólido, que com o aumento da dose elevou o teor de matéria orgânica, certamente resultou em condições adequadas para instalação de microbiota que afetou negativamente a germinação das sementes, pois microrganismos decompositores podem utilizar sementes e plântulas como fontes de energia (Monquero *et al.*, 2009). Outro possível fator é a diminuição do teor de oxigênio próximo às sementes, devido à decomposição da matéria orgânica do resíduo

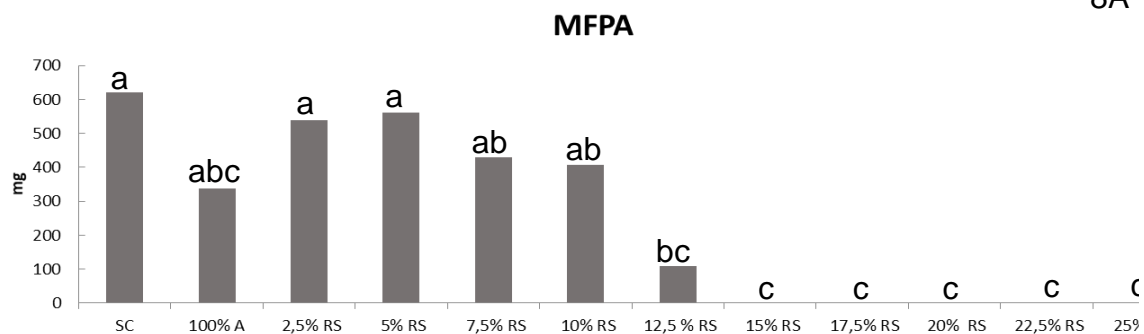
sólido que, em doses maiores, pode ter diminuído a respiração das sementes, com consequente atraso ou paralisação na germinação (Carvalho e Nakagawa, 2000).

Em trabalho realizado com resíduo de tratamento de efluente de uma indústria responsável por produção de água de coco, este resíduo passou por alguns processos para se tornar um adubo e ao ser utilizado numa área de plantio de feijão-caupi, foi observada resposta positiva em relação à taxa e velocidade de emergência (Morais *et al.* 2021). Maciel *et al.* (2009) observaram que resíduo ETE industrial foi eficiente no desenvolvimento de mudas de feijão (*Phaseolus vulgaris*).

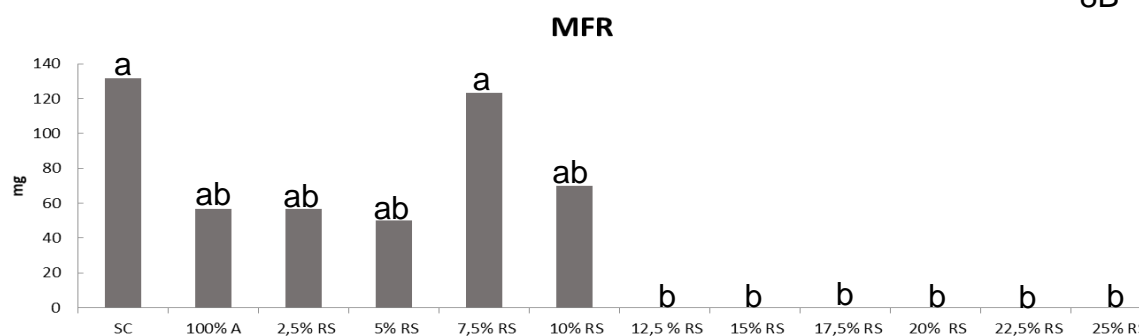
Ocorreram efeitos significativos ($P > 0,05$) dos tratamentos para matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), volume de raiz (VR), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento de raiz (CR) (Figura 8 e 9).

Quanto à matéria fresca da parte aérea (MFPA) e a matéria fresca da raiz (MFR), as doses de 2,5%, 5%, 7,5% e 10% de resíduo sólido apresentaram valores que não diferiram significativamente ($P < 0,05$) das testemunhas (substrato comercial e 100% areia) (Figura 8A e B).

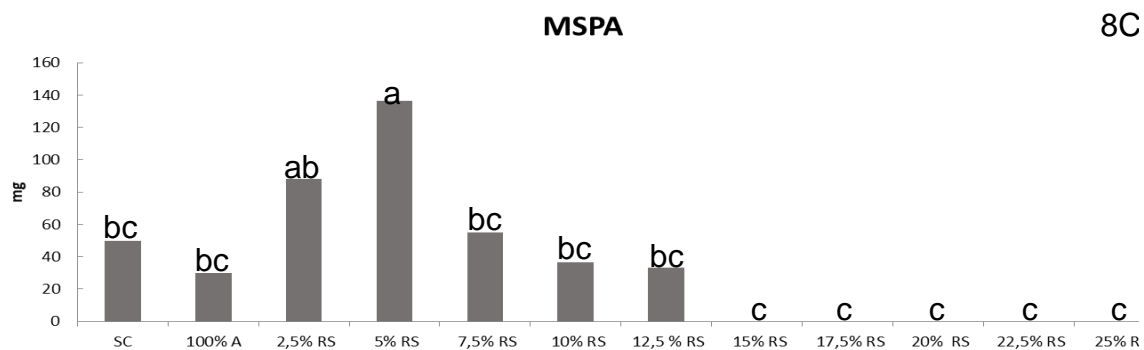
8A



8B



8C



8D

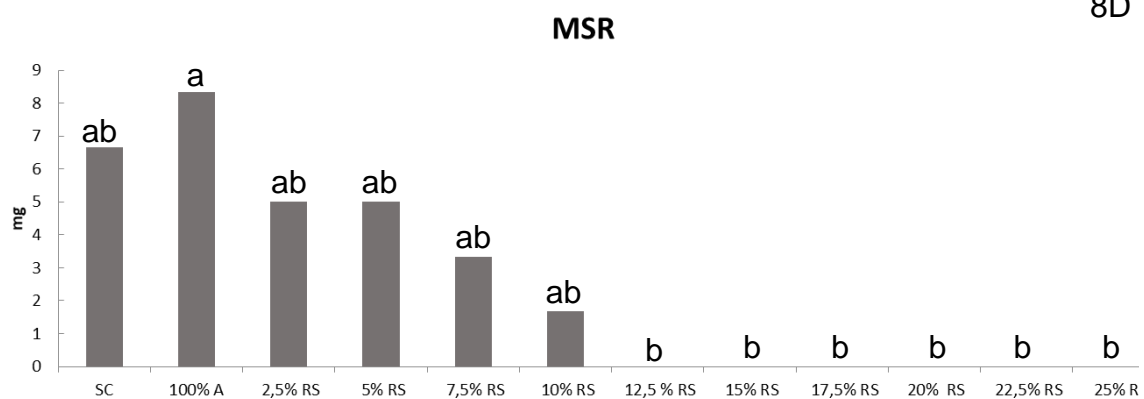


Figura 8. Matéria fresca da parte aérea (A), matéria fresca da raiz (B), matéria seca da parte aérea (C), matéria seca da raiz (D) em diferentes concentrações de resíduo sólido na germinação de feijão-caupi. Colunas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

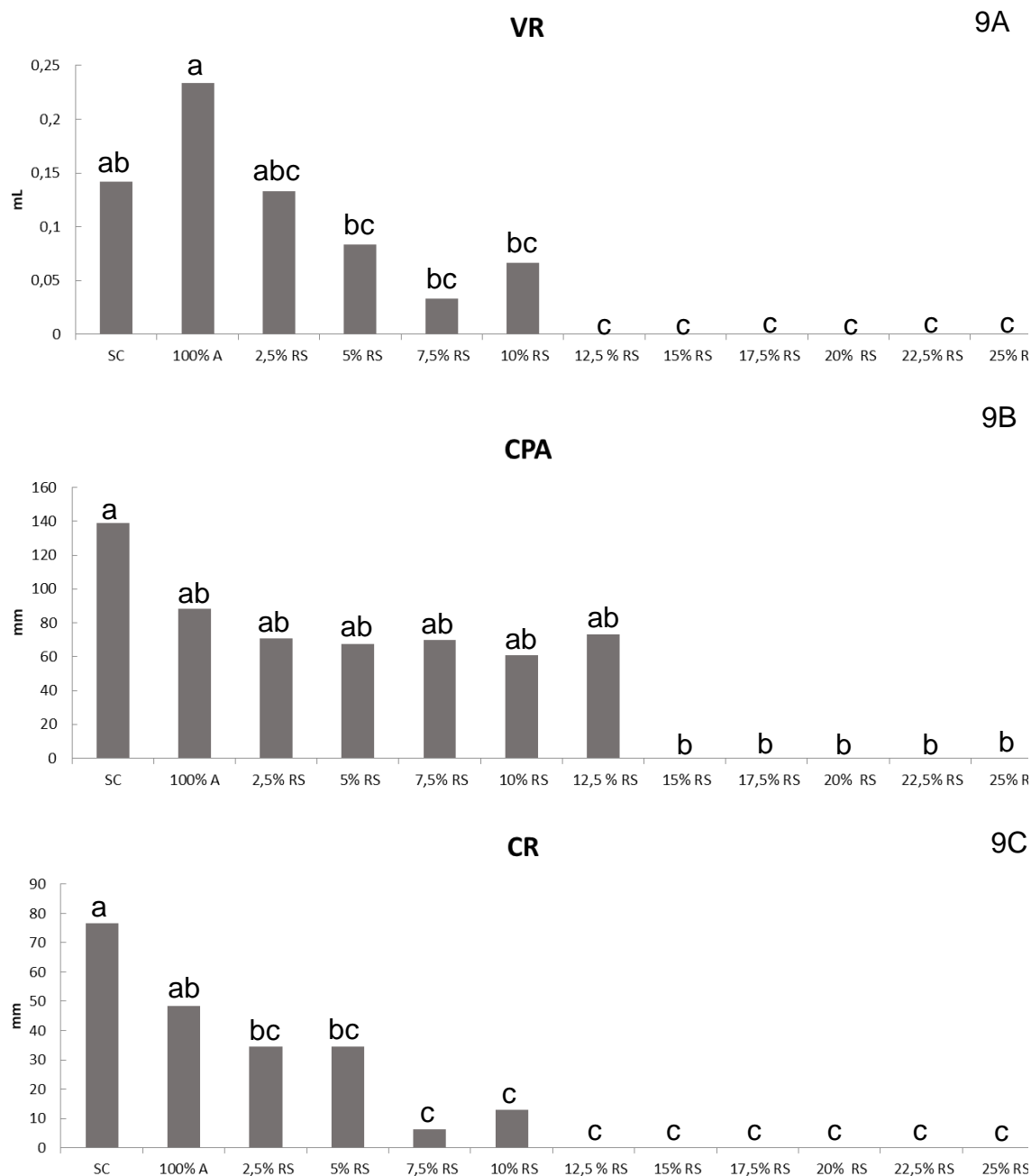


Figura 9. Volume de raiz (A), comprimento da parte aérea (B), comprimento de raiz (C) em diferentes concentrações de resíduo sólido na germinação de feijão-caupi. Colunas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Para comprimento da parte aérea (CPA) as doses 2,5%, 5%, 7,5%, 10% e 12,5 % resíduo sólido não diferiram estatisticamente das testemunhas (Figura 10B). Já para matéria seca da parte aérea (MSPA) a dose de 5% de resíduo sólido resultou em valor superior às testemunhas, sendo que essa dose não apresentou diferença significativa da dose 2,5% de resíduo sólido. Por outro lado, todas as

demais doses, inclusive a de 2,5% de resíduo sólido, não diferiram significativamente dos tratamentos testemunhas (Figura 8C).

Quanto à matéria seca de raiz (MSR), não diferiram entre si ($P < 0,05$) o substrato comercial, 100% areia, 2,5%, 5%, 7,5% e 10% resíduo sólido.

Os volumes de raízes (VR) das médias dos tratamentos controle (substrato comercial e 100% areia) e 2,5% de resíduo sólido foram os maiores, entretanto, a dose de 2,5% resultou em volume de raízes que não diferiu das doses de 5,0%, 7,5% e 10% de resíduo sólido (Figura 10A). Enquanto, para comprimento de raízes (CR), as doses de 2,5% e 5% não diferiram da testemunha, 100% de areia, mas resultaram em CR inferiores ao substrato comercial. Já as doses de 7,5% e 10% de resíduo sólido apresentaram CR inferiores às testemunhas (Figura 9C).

Vale considerar que, nas variáveis referentes à parte aérea da planta, as doses de 2,5% e 5% de resíduo sólido se destacaram em todas as variáveis analisadas. Para as variáveis relativas à avaliação biométrica das raízes apenas os tratamentos controle com substrato comercial e 100% areia estiveram entre as maiores médias. Assim, verifica-se que as doses de resíduo sólido afetaram mais negativamente as raízes das plantas, enquanto que, em menores doses, não afetou negativamente o crescimento da parte aérea das plântulas de caupi.

Pinto *et al.* (2020) observaram em seu experimento com biofósforo ETE na germinação de angico-vermelho que a altura das mudas e o comprimento médio das raízes foi inversamente proporcional ao aumento da concentração do biofósforo nos tratamentos.

Em uma análise geral, verifica-se que as doses de 2,5% e 5,0% de resíduo sólido mantiveram a germinação em 100% (Figura 4A) e a velocidade de germinação semelhante ao tratamento com 100% de areia (Figura 5). Além disto, estas doses não resultaram em decréscimo significativo ($P < 0,05$) de matéria fresca da parte aérea, matéria fresca da raiz, matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz, comprimento da parte aérea e comprimento de raiz, em comparação ao tratamento com 100% areia (Figura 8 e 9). Por outro lado, a dose de 5% resultou em mais plantas anormais (Figura 4) assim como menor volume de raízes (Figura 9A) em comparação ao tratamento com 100% areia.

Desta forma, a dose de 2,5 % de resíduo sólido foi a que resultou em germinação e características biométricas das plântulas de caupi semelhantes à testemunha com 100% de areia, indicando que esta dose não acarreta em danos

à germinação e ao crescimento inicial do caupi. Entretanto, como os resultados deste experimento foram obtidos com a mistura de resíduo sólido e areia, para a recomendação segura da dose de biossólido que não afete negativamente a germinação e o crescimento inicial de plântulas de feijão-caupi, é necessário repetir esta experimentação com diferentes tipos de solo.

5.2.2. Milho

No experimento realizado com milho, não houve germinação nos tratamentos T10, T11 e T12 (20%; 22,5% e 25% de resíduo sólido, respectivamente), mostrando assim qual a concentração limite para o uso desse resíduo sólido como substrato que possibilita a germinação do milho (Figura 10A).

A germinação do milho foi de 100% apenas no tratamento 100% areia. A dose de 2,5% de resíduo sólido resultou em 87% de germinação semelhante à obtida como o substrato comercial. Já as doses de 5% e 7,5% de resíduo sólido resultaram em decréscimo em aproximadamente 25% na germinação, enquanto que, com a dose de 12,5 % de resíduo sólido houve um decréscimo de mais de 60% na germinação. No tratamento com 10% de resíduo sólido apenas 25% das sementes germinaram e nos tratamentos com 15 e 17,5% de resíduo sólido ocorreu apenas 13% de germinação (Figura 10A)

De acordo com Madejón *et al.* (2015) a germinação de sementes é considerada um parâmetro importante na avaliação da fitotoxicidade de compostos orgânicos. Em trabalho realizado com lodo ETA (Estação de Tratamento de Água) no cultivo de feijão guandu e milho observou-se que a porcentagem de germinação de feijão guandu apresentou resultados satisfatórios com média de 90% em quase todos os tratamentos, em contrapartida, o milho não apresentou diferença significativa neste parâmetro para os tratamentos testados (Bitencourt *et al.* 2020).

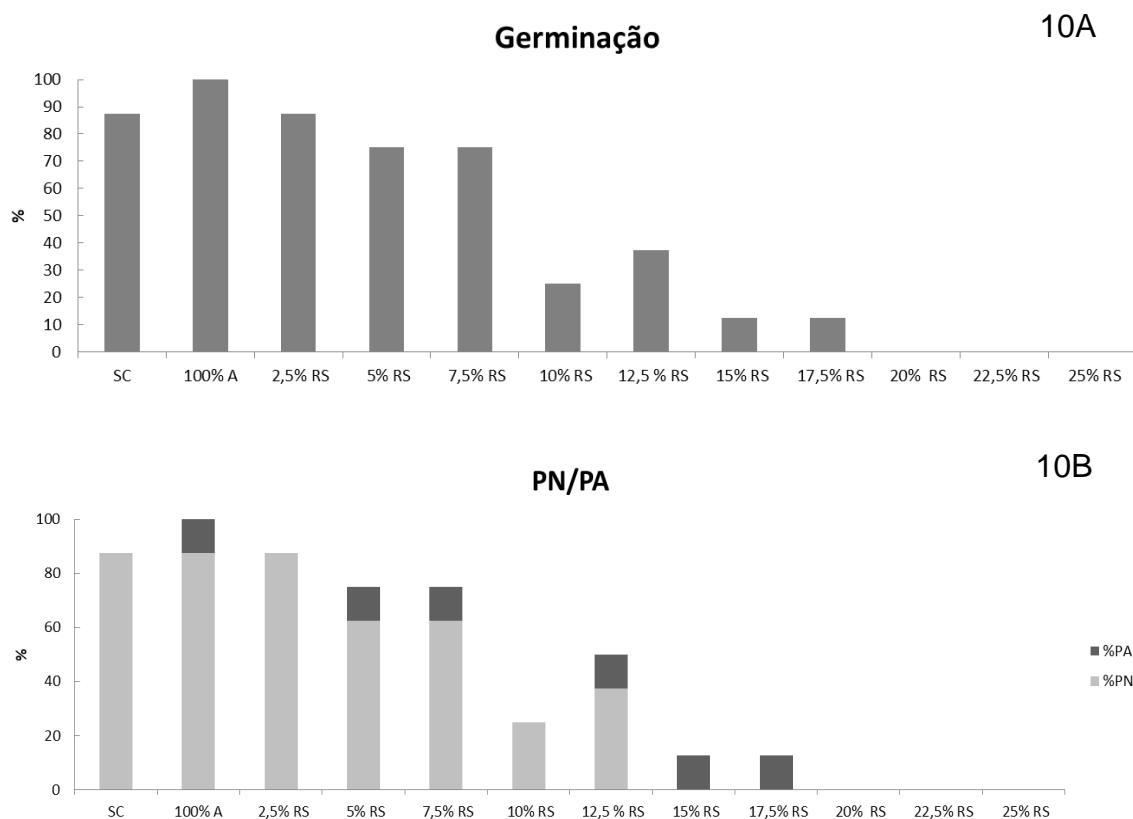


Figura 10. Porcentagem de germinação (A) e de plântulas normais e anormais (B) presentes no experimento com milho.

Os tratamentos substrato comercial, 100% areia e 2,5% de resíduo sólido obtiveram 87,5% de plântulas normais. O tratamento 100% areia; 5; 7,5; 12,5; 15 e 17,5% de resíduo sólido apresentaram 12,5% de plântulas anormais, porém 15 e 17,5% de resíduo sólido não apresentaram nenhuma plântula normal. Nos tratamentos com substrato comercial e 2,5 e 10 % de resíduo sólido, todas as sementes que germinaram resultaram em plântulas normais, porém os tratamentos com substrato comercial e 2,5 % de resíduo sólido apresentaram três vezes mais plantas normais que o tratamento com 10% de resíduo sólido (Figura 10B).

O índice de velocidade de emergência (IVE) indicou que quanto maior a concentração do resíduo sólido menor é a velocidade que a semente germina, porém, a exceção foi a dose de 12,5% de resíduo sólido que resultou em IVE superior ao apresentado pela dose de 10% de resíduo sólido (Figura 11). Mesmo na menor dose (2,5% de resíduo sólido) o IVE teve decréscimo e foi menor que os ocorridos em substrato comercial e 100% areia.

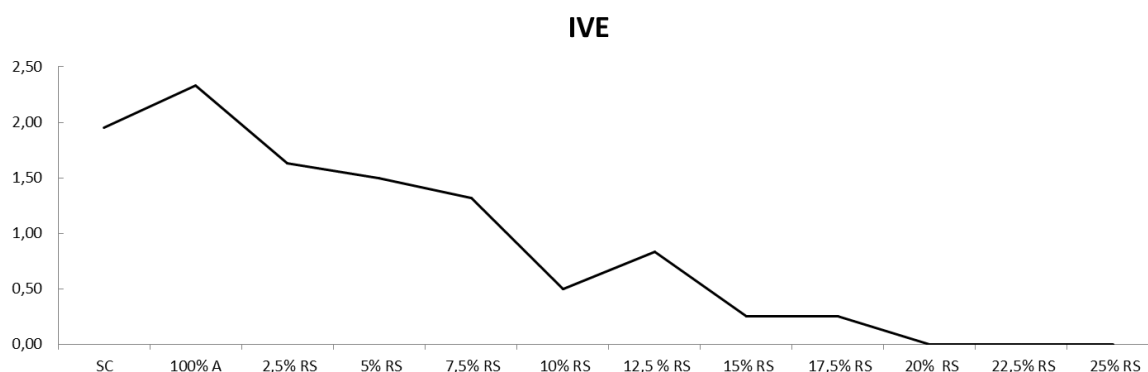


Figura 11. Índice de velocidade de emergência (IVE) no experimento com milho.

A variação de temperatura para cada tratamento, no decorrer dos dias, atingiu o menor valor de 24,7°C no tratamento substrato comercial no dia 26/out, 5º dia após a semeadura, enquanto o maior valor foi de 26,7°C que ocorreu nos tratamentos 15; 17,5 e 20% de resíduo sólido, esse valor ocorreu no dia 29/out, no 9º dia. A variação entre o menor e o maior valor de temperatura foi de 2°C (Figura 12), assim como ocorreu com o feijão-caupi (Figura 6A). Verifica-se que a amplitude de variação diária de temperatura entre os tratamentos não possibilita explicar os efeitos dos tratamentos sobre a germinação de sementes (Figuras 10A e 12).

Na comparação das médias, o tratamento 20% resíduo sólido atingiu o maior valor, de temperatura, enquanto os tratamentos 22,5 e 25% resíduo sólido não diferiram entre si ($P < 0,05$), porém esses foram os três tratamentos em que não ocorreu germinação (Figura 10A) mostrando que não houve relação direta entre o fator temperatura e a germinação. Os tratamentos controle (substrato comercial e 100% areia) obtiveram os menores valores, já o substrato comercial e os tratamentos 100% areia, 2,5; 7,5 e 22,5% de resíduo sólido não diferiram entre si ($P < 0,05$) e 100% areia não se diferenciou de substrato comercial; 2,5; 5; 7,5; 22,5 e 25% de resíduo sólido (Figura 12B).

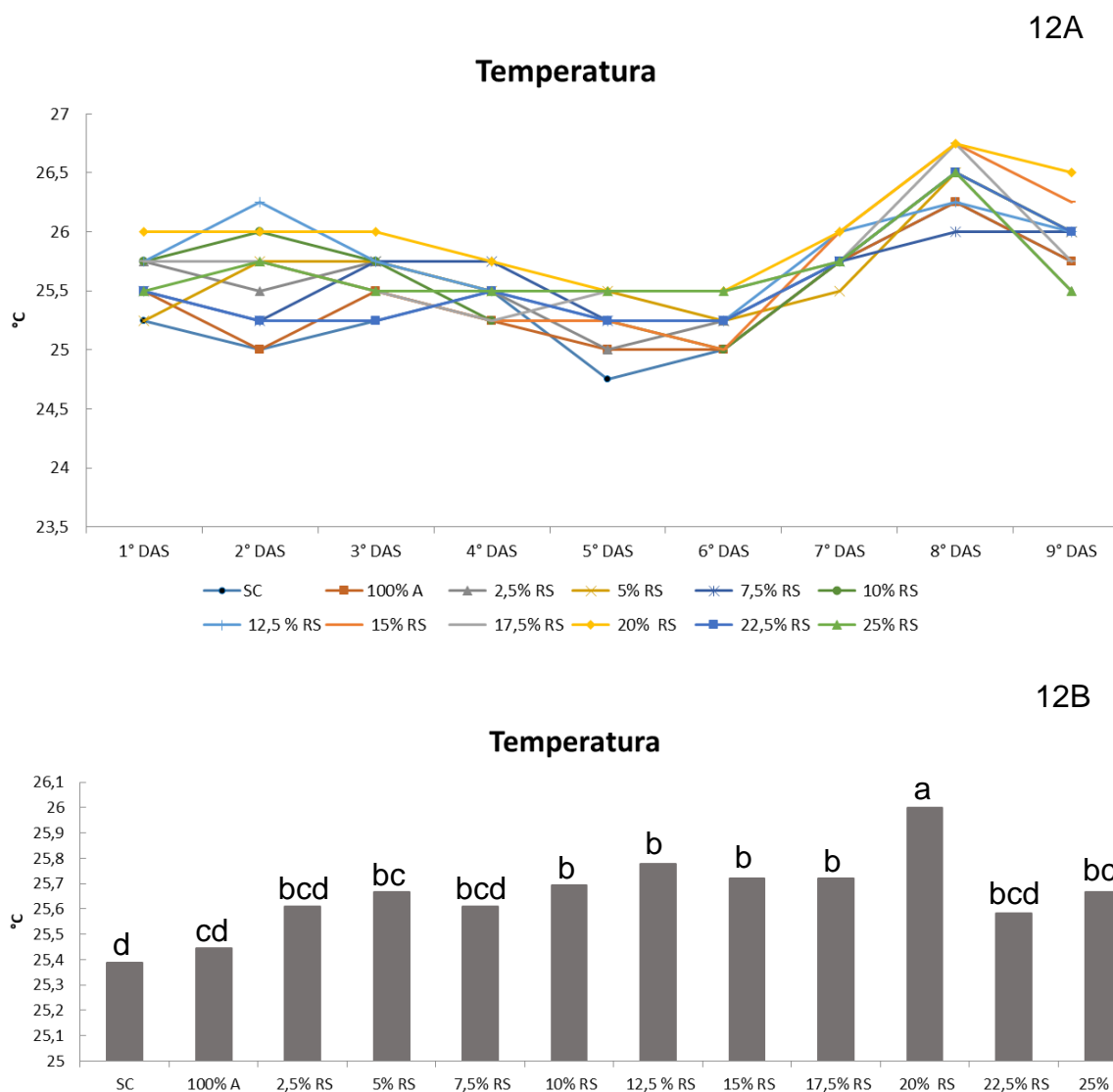


Figura 12. Variação da temperatura para cada tratamento durante os dias do experimento (A) e comparação das médias da temperatura dos tratamentos (B) do experimento com milho. Colunas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O pH atingiu o menor valor, de aproximadamente 4,4, na dose de 22,5% de resíduo sólido, no dia 22/out, 1° dia. O maior valor de pH foi de 6,5, no tratamento com 100% de areia, que se manteve, a maior parte dos dias, estável nesse valor. A variação entre o menor e o maior valor de pH foi de 2,1, (Figura 13A) tendo uma variação maior se comparado com o experimento com feijão-caupi (Figura 7A)

Na comparação das médias, o tratamento 100% areia atingiu o maior valor (6,5), sendo superior a todos os outros tratamentos (Figura 13B), assim como ocorreu com feijão-caupi (Figura 7B). Os tratamentos 2,5; 7,5; 12,5 e 15% resíduo

sólido não diferiram entre si ($P < 0,05$). Os tratamentos substrato comercial; 17,5; 20 e 22,5% resíduo sólido, não apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$). Também não foi observada ligação com os valores de pH e a não germinação dos tratamentos contendo 20%; 22,5% e 25% de resíduo sólido (Figura 13B)

Em diversos trabalhos utilizando lodo de esgoto foi apontado que o resíduo podia interferir no pH do substrato, quando este resíduo é tratado com cal isso interfere no pH original elevando seu valor. Quando o resíduo não é tratado com cal, ocorre alteração diminuindo o pH, isso é atribuído ao processo de nitrificação que ocorre no lodo de esgoto (Bettioli e Fernandes, 2004; Nascimento, 2004; Nogueira, 2006).

Utilizando o resíduo sólido da estação de tratamento de efluente da produção de ácido láctico sem que este sofra nenhum tipo de tratamento prévio, não foi observado interferência no pH a ponto de interferir negativamente na germinação e no desenvolvimento, tanto das plântulas de feijão quanto das de milho.

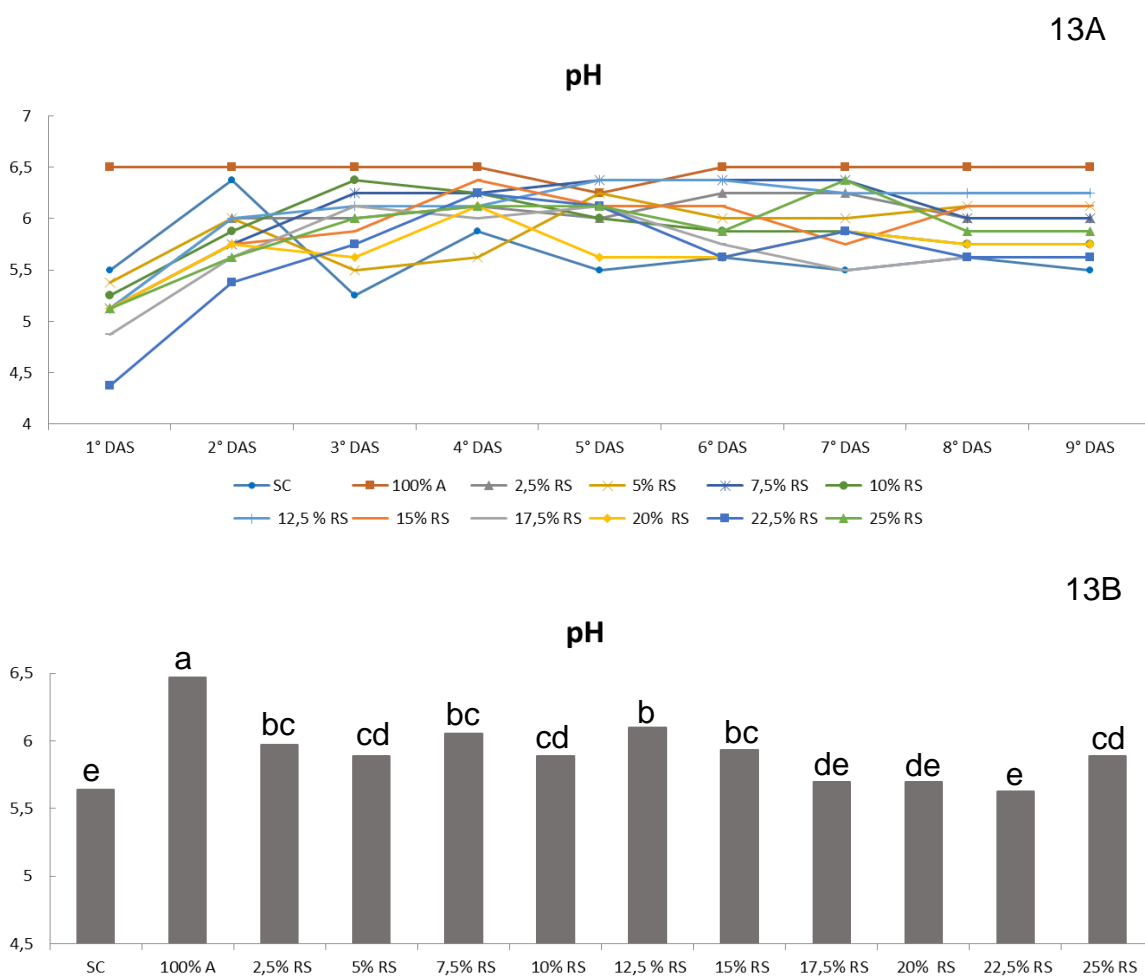


Figura 13. Variação de pH para cada tratamento durante os dias do experimento (A) e comparação das médias do pH dos tratamentos (B) do experimento com milho. Colunas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Em trabalho realizado com milho e biossólido ETE, após ser tratado e estabilizado, verificou-se que o aumento da dose de biossólido, de 1 kg/parcela para 4 kg/parcela do biossólido, resultou em decréscimo na germinação que passou de 92%, na menor dose, para 83 % na dose maior (Costa *et al.*, 2019). É importante frisar que para o sucesso da germinação é necessário que o substrato tenha capacidade de retenção de umidade e que, também, seja capaz de disponibilizar prontamente os nutrientes necessários para o desenvolvimento inicial dessas plântulas, e que o teor da matéria orgânica e sua estruturação também são fatores que contribuem nesta eficácia (Canesin e Barbosa, 2017).

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) dos tratamentos em todas as variáveis analisadas: matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), volume de raiz (VR), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento de raiz (CR).

Os tratamentos controle (substrato comercial e 100% areia) e os tratamentos com 2,5 e 5% resíduo sólido se destacaram na maioria das variáveis, mas em comprimento de raiz (CR) apenas o controle com substrato comercial atingiu o maior valor.

Quanto à matéria fresca da parte aérea (MFPA), os tratamentos substrato comercial; 100% areia e 2,5 e 5% de resíduo sólido não diferiram entre si ($P < 0,05$). Enquanto a dose de 7,5 % de resíduo sólido resultou em MFPA que não diferiu, significativamente, ($P < 0,05$) da proporcionada pela dose de 2,5% de resíduo sólido e do tratamento com 100% de areia (Figura 14A).

Para a matéria fresca da raiz (MFR) os tratamentos controle (substrato comercial e 100% areia) não diferiram, significativamente, ($P < 0,05$) das doses 2,5% e 5% de resíduo sólido, sendo que, em média, os tratamentos controle e a dose de 5% resultaram em MFR três vezes maior do que os proporcionados pelas doses 7,5; 10 e 12,5% de resíduo sólido (Figura 14B).

Na variável matéria seca da parte aérea (MSPA), as doses de 2,5% e 5% de biossólido não diferiram, significativamente, ($P < 0,05$) do substrato comercial e do tratamento com 100% areia, enquanto a dose de 7,5% de resíduo sólido resultou em MSPA que não diferiu do controle 100% areia. Já as doses de 10 e 12,5% de resíduo sólido resultaram em MSPA, aproximadamente três vezes menor que a MSPA do milho semeado em 100% areia, enquanto, as doses de 15% e 17,5% de biossólido resultaram em decréscimo na MSPA ainda maior (Figura 14C).

Em matéria seca da raiz (MSR), as doses de 2,5% e 5% de resíduo sólido não diferiram, significativamente, ($P < 0,05$) do substrato comercial e do tratamento com 100% areia, enquanto a dose de 12,5% de resíduo sólido resultou em MSR que não diferiu do controle 100% areia. (Figura 14D). Já as doses de 7,5%, 10%, 15% e 17,5% de resíduo sólido resultaram em decréscimo superior a três vezes na MSR do milho em comparação ao milho semeado em 100% areia (Figura 14D).

O volume de raiz (VR) apresentou decréscimo significativo ($P > 0,05$) a partir da dose 7,5% de resíduo sólido e, em comparação às testemunhas (substrato comercial e 100% areia), este decréscimo no VR foi superior a 50% a partir desta

dose de resíduo sólido. Por outro lado, as doses de 2,5% e 5% de resíduo sólido resultaram em VR que não diferiu ($P < 0,05$) do substrato comercial e do tratamento com 100% areia (Figura 15A).

Novamente para comprimento da parte aérea (CPA) assim como verificado no VR, ocorreu decréscimo significativo ($P > 0,05$) a partir da dose 7,5% de resíduo sólido, em comparação às testemunhas (substrato comercial e 100% areia). A partir da dose de 7,5% de resíduo sólido o CPA das plântulas de milho foi menos que a metade do verificado nas testemunhas substrato comercial e 100% areia (Figura 15B).

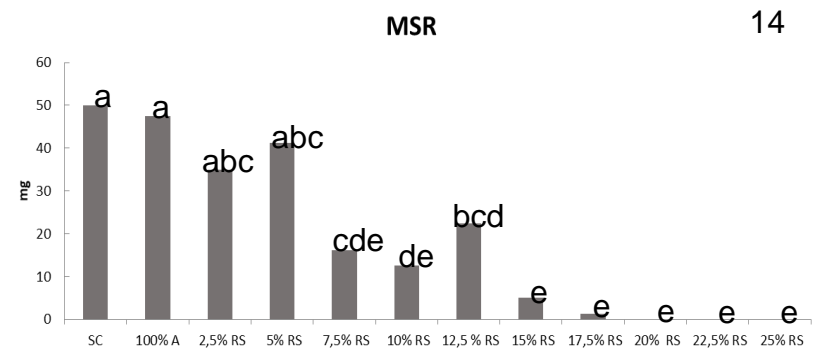
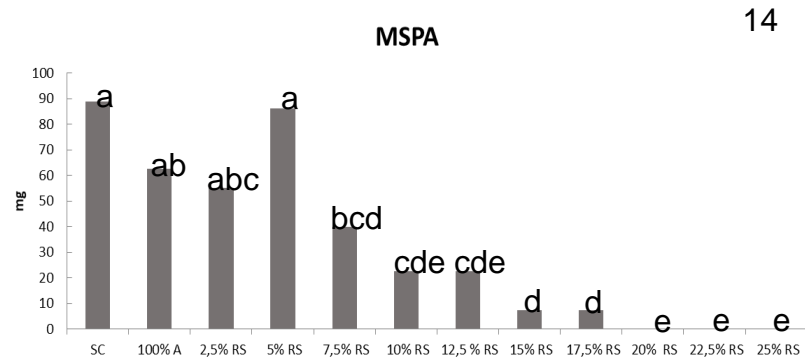
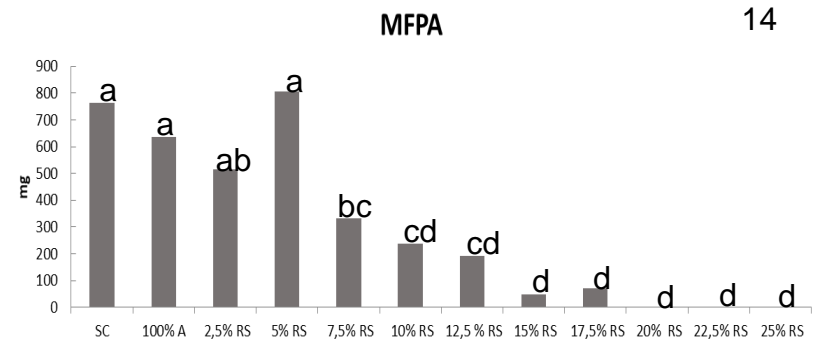
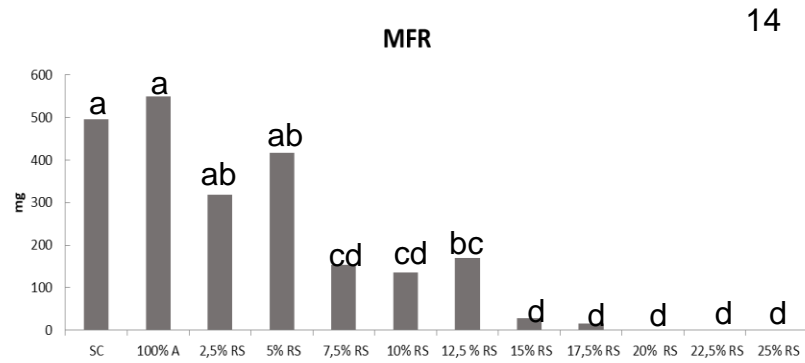


Figura 14. Matéria fresca da parte aérea (A), matéria fresca da raiz (B), matéria seca da parte aérea (C), matéria seca da raiz (D) em diferentes concentrações de biofósforo na germinação de milho. Colunas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

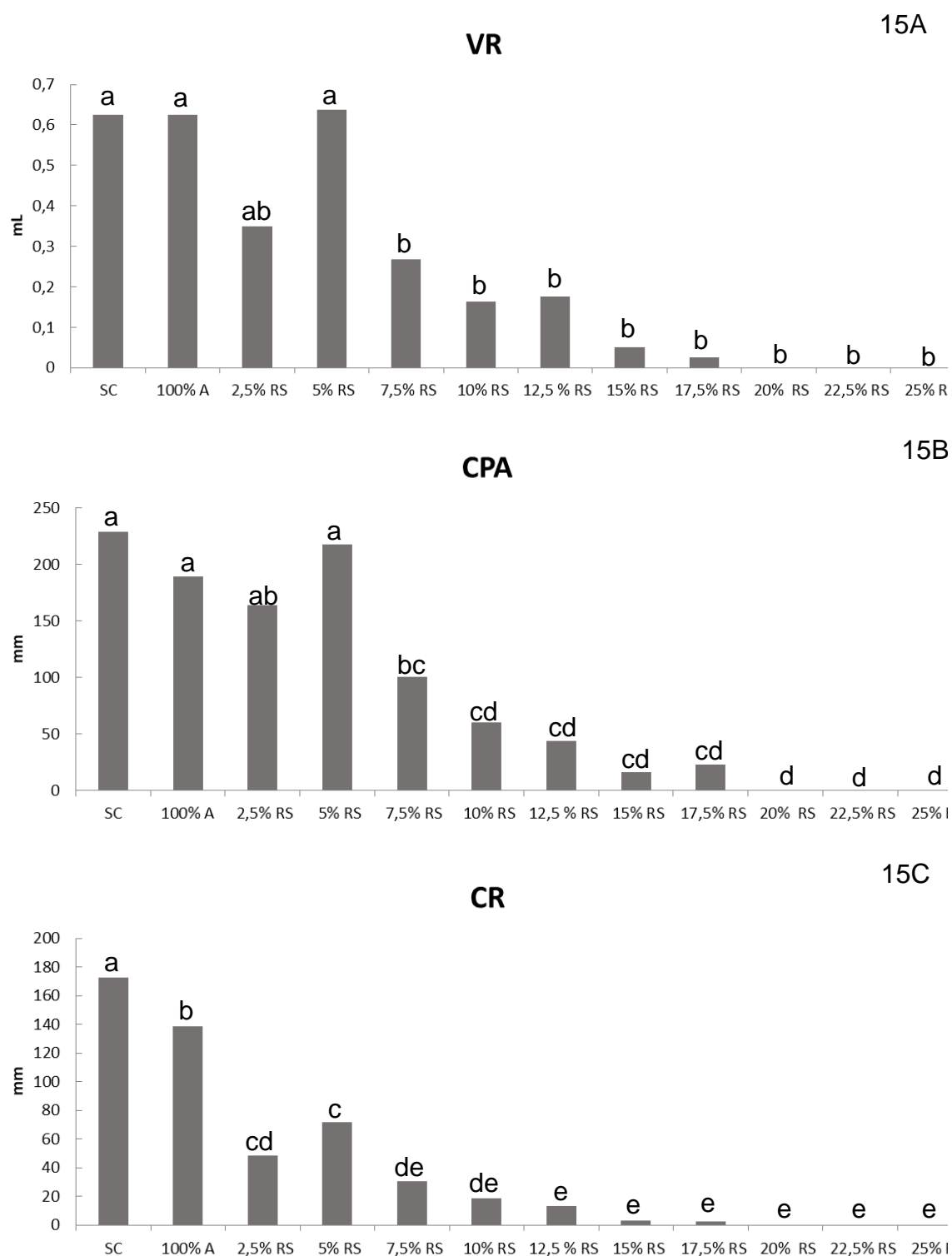


Figura 15. Volume de raiz (A), comprimento da parte aérea (B), comprimento de raiz (C) em diferentes concentrações de biossólido na germinação de milho. Colunas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O substrato comercial resultou no maior comprimento de raiz (CR) das plântulas de milho, seguido pelo tratamento 100% areia. Entretanto, todas as doses de resíduo sólido resultaram em decréscimos superiores a 50% no comprimento de raiz (CR) em comparação ao substrato comercial e 100% areia. As doses 2,5 e 5% de resíduo sólido não diferiram entre si ($P < 0,05$) e, a partir de 7,5% de resíduo sólido, foram verificados os menores valores de CR ($P < 0,05$) (Figura 15C).

De uma maneira geral, na maioria das variáveis analisadas, os tratamentos 2,5 e 5% de resíduo sólido não diferiram ($P < 0,05$) dos tratamentos controle, com substrato comercial e 100% areia, estando sempre entre as maiores médias. Apenas na variável comprimento de raiz (CR), o único tratamento a se destacar foi o controle com substrato comercial.

De acordo com Liu *et al.* (2014) que utilizaram bio-sólido ETE como substrato para a germinação de tomate e alface, o teor de sais solúveis presentes no bio-sólido ETE pode inibir a germinação e crescimento das mudas. Porém, há formas simples e eficazes de contornar este problema, como misturar com terra de subsolo ou solo cru, vermiculita, resíduos agrícolas, ou ainda passando pelo processo de eluição na água (Liu *et al.*, 2014; Zaller, 2007).

Resultados de inibição de germinação e crescimento de mudas também foram encontrados por Cai *et al.* (2010) em seus experimentos, utilizando lodo de esgoto compostado com as culturas de pepino, tomate e pimenta. Eles relataram que o lodo de esgoto compostado contendo o maior teor de sal (1,8%) inibiu comprimento da parte aérea e biomassa do tomate e na pimenta atuou na inibição do índice de biomassa, enquanto foi verificado que o pepino se mostrou mais resistente. O teor de sal de 1,45% causou menor diâmetro do caule, altura do caule, biomassa e índice de muda em tomate e pimenta.

Utilizando um tratamento com mistura entre solo, lodo ETA, bagaço e vinhaça, Bitencourt *et al.* (2020) observaram maior crescimento radicular para feijão guandu, enquanto que para milheto apenas o tratamento controle contendo solo apresentou maiores valores para essa variável. De acordo com Mata *et al.* (2011), possíveis efeitos de compostos tóxicos presentes no substrato utilizado afetam primeiramente a germinação e o crescimento das raízes.

Em uma análise geral do experimento com o milho, verifica-se que a dose de 2,5% de resíduo sólido manteve a germinação e o número de plantas normais,

semelhante ao substrato comercial (Figura 10). Quanto ao crescimento das plântulas de milho, até a dose de 5% de resíduo sólido, as variáveis biométricas avaliadas não foram afetadas negativamente, com exceção do comprimento da raiz que decresceu significativamente mesmo na menor dose avaliada (2,5%) (Figura 14 e 15).

5.2.3. Síntese geral dos resultados obtidos com feijão-caupi e milho

O milho se mostrou mais resistente que o feijão-caupi quando submetido a doses de resíduo sólido. Verificou-se que o milho apresentou germinação em concentrações até 17,5% de resíduo sólido (Figura 10A) enquanto o caupi apresentou germinação até 12,5% de resíduo sólido (Figura 7A). Além disto, o milho apresentou menor número de plântulas anormais (Figuras 10B) em comparação ao caupi (Figura 7B). Assim, nestes experimentos realizados com resíduo sólido proveniente de estação de tratamento de efluente da produção de ácido láctico, o feijão-caupi se mostrou mais sensível ao aumento de dosagem do resíduo sólido apresentando menor taxa de germinação e mais plântulas anormais.

Apesar do milho prevalecer na maior dosagem suportada na germinação, em quase todas as outras características ele foi mais prejudicado por uma dosagem menor que a do feijão, apenas na característica volume de raiz o feijão foi afetado de forma negativa pela dosagem 2,5% e o milho por 5% de resíduo sólido (Tabela 2). Em suma, em ambos os experimentos, feijão-caupi e milho foram prejudicadas em sua germinação e desenvolvimento pela presença do resíduo sólido em doses maiores.

É necessário que hajam mais estudos em relação a diferentes formas de utilização desse resíduo sólido em conjunto com outros substratos e com outras culturas.

Tabela 2. Doses máximas (%) de resíduo sólido adicionadas à areia que não afetaram negativamente a germinação e o crescimento inicial do caupi e do milho

Característica	Caupi	Milho
Germinação	5,0	2,5
Plantas normais	2,5	2,5
IVG	5,0	0,0
Matéria fresca da parte aérea	10,0	5,0
Matéria fresca da raiz	10,0	5,0
Matéria seca da parte aérea	12,5	5,0
Matéria seca da raiz	10,0	5,0
Volume de raiz	2,5	5,0
Comprimento da parte aérea	12,5	5,0
Comprimento da raiz	5,0	0,0
Dose máxima que ainda proporciona alguma germinação	12,5	17,5

6. RESUMO E CONCLUSÕES

Doses acima de 5% de resíduo sólido, proveniente de estação de tratamento de efluente de indústria de produção de ácido láctico, são prejudiciais à germinação e crescimento de plântulas de feijão caupi e milho.

Para o feijão caupi, 2,5% de resíduo sólido foi a dose que não causou danos significativos à germinação e ao crescimento das plântulas, enquanto para o milho, 2,5% de resíduo sólido não afetou a porcentagem de germinação, porém diminuiu a velocidade de germinação e o comprimento das raízes.

O milho se mostrou mais resistente à inibição de germinação e ao aparecimento de plântulas anormais do que o feijão-caupi, suportando dosagens maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, A. H. M., Marzola, L. B., Melo, L. A., Leles, P. S. S., Abel, E. L. S., Alonso, J. M. (2017) Urban solid waste in the production of *Lafoensia pacari* seedlings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21:83-87.
- Andrade, F. N., Rocha, M. de M., Gomes, R. L. F., Freire Filho, F. R., Ramos, S. R. R. (2010) Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, 41:253-258.
- Andreoli, C. V. (1999) Aceitabilidade pública da utilização do lodo de esgoto na agricultura da região metropolitana de Curitiba. *Sanare*, 12:43-52.
- Antille, D. L., Godwin, R. J., Sakrabani, R., Seneweera, S., Tyrrel, S. F., Johnston, A. E. (2017) Field-scale evaluation of biosolids-derived organomineral fertilizers applied to winter wheat in England. *Agronomy Journal*, 109:654–674.
- Avery, E., Krzic, M., Wallace, B., Newman, R. F., Smukler, S. M., Bradfield, G. E. (2018) One-time application of biosolids to ungrazed semiarid rangelands: 14 yr soil responses. *Canadian Journal of Soil Science*, 98:696–708.
- Barros, G. S. de C., Alves, L. R. A. (2015) Maior eficiência econômica e técnica depende do suporte das políticas públicas. *Revista Visão Agrícola: Milho*, 13:4-7.
- Bettiol, W.; Camargo, O. A. A (2006) disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. (Editores técnicos). *Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna. São Paulo, p. 181.
- Bezerra, A. P. A., Pitombeira, J. B., Tavora, F. J. A. F., Vidal Neto, F. C. (2007) Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho. *Revista Ciência Agronômica*, 38:104 - 108.

- Bezerra, A. A. C., Távora, F. J. A. F., Freire Filho, F. R. e Ribeiro, V. Q. (2008) Morfologia e produção de grãos em linhagens modernas de feijão-caupi submetidas a diferentes densidades populacionais. *Revista de Biologia Ciência da Terra*, 8:85-93.
- Bitencourt, G. A., Souza, G., Frazão, J. J., Apolari, J. P., Monteiro, R. T. R. (2020) Uso do lodo de eta no crescimento de feijão guandu e milho. *Revista de biologia e ciências da terra*, (20): 1.
- MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009) Regras para Análise de Sementes. Secretária de Defesa Agropecuária, Brasília, 395 p.
- Cai, H., T. B. Chen, H. T. Liu, D. Gao, G. D. Zheng, J. Zhang. (2010) The effect of salinity and porosity of sewage sludge compost on the growth of vegetable seedlings. *Sci. Horticult.*, 124(3), 381-386.
- Canesin, F. M, Barbosa, R. Z. (2017) Efeito de diferentes substratos na germinação de sementes de maracujá azedo. *Periódico Semestral* n. 31.
- Carvalho, N.M.; Nakagawa, J. (2000) Vigor de sementes. In: _____. (Eds.). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, p.224-242.
- CEC: Council of the European Communities (1991) Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC). *Official Journal of the European, Communities* No. L 135/40-52.
- CIB: Conselho de Informações sobre Biotecnologia (2006). Guia do milho tecnologia do campo à mesa. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/guia_do_milho_CIB.pdf> Acesso em junho de 2020.
- CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. (2020) Décimo segundo levantamento:file:///C:/Users/55989/Downloads/GrosZsetembroZresumo.pdf Acesso em abril de 2020.
- Costa, A. N., Costa A. F. S., Caetano L. C. S. (2015) Aspectos químicos e físicos da disposição dolodo de ETE no solo: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/724/1/cap4lodoesgoto.pdf> Acesso em abril de 2020.
- Costa, T., A., Cunha, L. M., Iwata, B. F., Coelho, J. V., Santos, J. G. P. dos, Clementino, G. E. S. (2019) Crescimento de milho (*Zea mays* L.) sob o efeito de doses de biofóssido em Latossolo Vermelho-Amarelo no Cerrado piauiense. *Multi-Science Journal*, 2:1-6.
- Crittenden, B., Kolaczowski, S. (1995) *Waste minimization: a practical guide*. England: IChemE. 81 p.
- Cruz, I. (2015) Manejo de Pragas da Cultura do Milho: <http://www.cnpms.embrapa.br/mipmilho/arquivos/MIPCulturaDoMilhoCap12.pdf> Acesso em fevereiro de 2021.

- Demajorovic, J. (1995) Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: As novas prioridades. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, 35:88-93.
- Dutra, A. S., Bezerra, F. T. C., Nascimento, P. R. e Lima, D. C. (2012) Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi em função da adubação nitrogenada. *Revista Ciência Agronômica*, 43(4):816-821.
- Einhellig, F. A. (1995) Mechanism of Action of Allelochemicals in Allelopathy. Eds. *Allelopathy: Organism, Processes and Applications*. ASC Symposium Series 582, American Chemical Society, p.1-116.
- EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2019) Socioeconomia: <http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.html> Acesso em setembro de 2019.
- EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2019). Série desafios do agronegócio brasileiro (NT2). Embrapa, sede, 2 p.
- EMF: Ellen Macarthur Foundation (2021) Uma Economia Circular no Brasil: Apêndice de estudos de caso: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_-Ape%CC%82ndice-de-Estudos-de-Caso.pdf Acesso em março de 2021.
- Esposito, M., Tse, T., Soufani, K. (2017) Is the circular economy a new fast-expanding market? *Thunderbird International Business Review*, 59(1):9-14.
- FAO: Food and Agriculture Organization. (2018) Crops. Cow peas, dry: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> Acesso em setembro de 2019
- Farias, V. D. S., Costa, D. L. P., Souza, P. J. O. P., Takaki, A. Y., Lima, M. J. A. (2015) Temperaturas basais e necessidade térmica para o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi. *Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, 11(21):1781.
- Foster, A., Roberto, S. S., Igari, A. T. (2016) Economia Circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente – São Paulo.
- Freire, L. R. (2013) Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. Editora Universidade Rural - Seropédica, RJ.
- Freire Filho, F. R., Ribeiro, V. Q., Silva, P. H. S. da, Carvalho, P. A. C. (1998) Monteiro: cultivar de caupi de tegumento branco para cultivo irrigado. Teresina. Embrapa Meio-Norte. 3 p.
- Freire Filho, F. R., Lima, J. A. de A., Ribeiro, V. Q. (2005). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Embrapa Informação Tecnológica, Teresina: Embrapa Meio-Norte, p. 29-92.

- Freire Filho, F. R., Cardoso, M. J., Araújo, A. G. de. (1983) Caupi: nomenclatura científica e nomes vulgares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, 18(12):1369-1372.
- Freire Filho, F. R., Ribeiro, V. Q., Rodrigues, J. E. L. F., Vieira, P. F. M. J. (2017) *Acultura: Aspectos socioeconômicos. Feijão-caupi: do plantio à colheita*. Editores: Júlio César DoVale, Cândida Bertini, Aluizio Borém. Ed. UFV, p.10.
- Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Rodrigues, J. E. L. F., Vieira, P. F. M. J. (2017) *A Cultura: Aspectos Socioeconômicos*. In: VALE, J.C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (Eds.) – *Feijão Caupi do plantio à colheita*. Viçosa, MG: UFV, 1: 9- 34.
- Kistler, L., Maezumi, S.Y., Gregorio de Souza, J., Przelomska, N.A.S., Malaquias Costa, F., Smith, O., Loïselle, H., Ramos-Madrigal, J., Wales, N., Ribeiro, E.R., Morrison, R.R., Grimaldo, C., Prous, A.P., Arriaza, B., Gilbert, M.T.P., de Oliveira Freitas, F., Allaby, R.G. (2018) Multiproxy evidence highlights a complex evolutionary legacy of maize in South America. *Science* (80-) 362: 1309–1313.
- Labouriau, L.G., Valadares, M.B. (1976). On the germination of seeds of *Calotropis procera*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48(2):263-284.
- Li, S., Zhu, L., Li, J., Ke, X., Wu, L., Luo, Y. Peter, C. (2020) Influence of long-term biosolid applications on communities of soil fauna and their metal accumulation: A field study. *Environmental Pollution*, 260.
- Liu, H. Gao, D. Chen, T. Cai, H. e Zheng G. (2014) Improvement of salinity in sewage sludge compost prior to its utilization as nursery substrate. *Journal of the Air e Waste Management Association*, 64:546–551.
- Lobo, T. F. e Filho, H. G. (2007) Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. *The Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 7(3):16-25.
- Lu, Y., Silveira, M. L., Vendramini, J. M. B., Erickson, J. E. (2019) Biosolids and biochar application effects on bahiagrass herbage accumulation and nutritive value. *Agronomy Journal*, p.1–16.
- Maciel, C. A. C., Santos, A. B. C. R., Antônio, F. R., Duarte, F. C., Filho, M. M. (2009) *Reutilização do lodo ETE industrial na cultura de mudas de feijão*. Espírito Santo do Pinhal: UNIPINHAL.
- Madejón, P., Cantos, M., Jiménez-Ramos, M.C., Marañón, T., Murillo, J.M. (2015) Effects of soil contamination by trace elements on white poplar progeny: seed germination and seedling vigour. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(11):663-674.
- Maguire, J. D. (1962) Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, Madison, 2(2):176-177.
- MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2006) *Dispõe sobre a importação ou comercialização, para produção, de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes*. Instrução normativa SDA nº 27, de 5 de junho de 2006.

- MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2008) Regulamento técnico do feijão. Instrução normativa nº 12, de 28 de março de 2008.
- MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2010) Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.
- MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2012). Brasil Projeções do Agronegócio 2011/2012 a 2021/2022. Brasília.
- Mata, J.F., Pereira, J.C.S., Chagas, J.F.R., Vieira, L.M. (2011) Germinação e emergência de milho híbrido sob doses de esterco bovino. *Ciência e Desenvolvimento*, Belém, 6(12):31-40.
- Monquero, P. A., Amaral, L. R., Inácio, E. M., Brunhara, J. P., Binha, D. P., Silva, P. V., Siva, A. C. (2009) Efeito de adubos verdes na supressão de espécies de plantas daninhas. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 27(1):85-95.
- Morais, L. S., Oliveira, F. W. S., Diogo, I. J. S. (2021) Adubo a partir de lodo de esgoto industrial: produção e viabilidade para a cultura do feijoeiro. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 12(1):42-53.
- Mossa, A. W., Bailey, E. H., Usman, A. (2020) The impact of long-term biosolids application (>100 years) on soil metal dynamics. *Science of the Total Environment*, 720, 137441.
- Nascimento, C. W. A., Barros, D. A. S., Melo, E. E. C., Oliveira, A. B. (2004) Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 28(2):385-392.
- Newman, R. F., Krzic, M., Wallace, B. M. (2014) Differing effects of biosolids on native plants in grasslands of southern British Columbia. *J. Environ.* 43:1672–1678..
- Nogueira, T. A. R., Sampaio, R. A., Ferreira, C. S., Fonseca, I. M. (2006) Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de biologia e ciências da terra*. 6:1.
- Oliveira, J. P. B. Lopes J. C. Alexandre R. S. Jasper, A. P. S. Santos, L. N. S., Oliveira L. B. (2009) Efeito do lodo de esgoto no desenvolvimento inicial de duas cultivares de mamona em dois tipos de solos. *Espírito Santo do Pinhal*, 6(2):174-180.
- Owade, J. O., Abong, G., Okoth, M., Mwang'ombe, A. (2020) A review of the contribution of cowpea leaves to food and nutrition security in East Africa. *Food Sci Nutr.*, 8:36–47.
- Paramashivam, D., Clough, T. J., Dickinson, N. M., Horswell, J., Lense, O., Clucas, L., Robinson, B. H. (2016) Effect of pine waste and pine biochar on nitrogen mobility in biosolids. *Journal of Environment Quality*, 45:360–367.
- Pinto, D. E. E., Souza, I. P., Pinto, R. (2020) Avaliação de diferentes concentrações de lodo de esgoto como substrato para a germinação e crescimento de mudas de angico-vermelho. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, (65):6.

- Pires, G. S., Martins, C. M. (2020) Economia Circular e os avanços da temática: um estudo bibliográfico. XI CODS – Colóquio de organizações, desenvolvimento e sustentabilidade, Belém- PA.
- Ribeiro, V. Q., Júnior, A. S. D., Santos, A. A., Sobrinho, C. A., Bastos, E. A., Melo, F. B., Viana, F. M. P., Filho, F. R. F., Carneiro, J. S., Rocha, M. M., Cardoso, M. J., Silva, P. H. S. (2002) Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp*). Embrapa Meio-Norte-Sistema de Produção (INFOTECA-E), p.11-17.
- Rocha, M. de M., Silva, K. J. D., Menezes Junior, J. A. N. de (2017) Sistemas de produção EMBRAPA – Importância econômica do cultivo de feijão-caupi, 2º edição.
- SAEG: Sistema para Análises Estatísticas (2007) Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV – Viçosa.
- Shen, X., Qi, C. (2012) Countermeasures towards Circular Economy Development in West Regions. Energy Procedia 16. International Conference on Future Energy, Environment, and Materials, 16:927-932.
- Shetty, A., Magadum, S., e Managanvi, K. (2013) Vegetables as Sources of antioxidants. Journal of Food e Nutritional Disorders, 2, 1–5.
- Silva Júnior, J. F. da, Lopes, M. C., Cardoso, S. S. (2015) Características Biométricas em cultivares de feijão-caupi. HOLOS Environment, 15(1):75.
- Silva, L. E. B., Silva, J. C. de S., Souza, W. C. L. de, Lima, L. L. C., Santos, R. L. V. (2020) Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays L.*): revisão de literatura. Diversitas Journal, Santana do Ipanema/AL. 5(3):1636-1657.
- Simoni, F., Costa, R. S., Fogaça, C. A., Gerolineto, E. (2011) Sementes de Sorghum bicolor L. – Gramineae, submetidas ao estresse hídrico simulado com PEG (6000). Revista de Biologia e Ciência da Terra, Paraíba. 11(1):188-192.
- Smith, S. R. (2008) The Implications for Human Health and the Environment of Recycling Biosolids on Agricultural Land. Centre for Environmental Control and Waste Management, London.
- Souza, V. B., Carvalho, A. J., Damasceno-Silva, K. J., Rocha, M.de M., Lacerda, M. L., Pereira Filho, I. A. (2018) Agronomic performance of cowpea elite lines in the states of Minas Gerais and Mato Grosso, Brazil. Rev. Caatinga, Mossoró, 31(1):90 – 98
- Suciu, N. A., Lamastra, L., Trevisan, M. (2015) PAHs contente os sewage sludge in Europe and its use as soil fertilizer. Waste Management, 41:119-127.
- Tioosi, F. M. e Simon, A. T. (2021) Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade. Brazilian Journal of Development, Curitiba, 7(2):11912-1192.
- Valle, C.E. (1995) Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente. Pioneira, São Paulo, 113 p.

- Valeriano, T. T. B., Borges, R. M., Almeida, F. S., Silva Neto, O. F. da, Santana, M. J. da, Silva, K. A. (2019) Desempenho agronômico de cultivares de plantas de feijão-caupi em função da densidade de plantas. *Revista Inova Ciência e Tecnologia*, Uberaba, 5(1):12-17
- Zaller, J. G., (2007) Vermicompost as a substitute for peat in pottingmedia: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*, 112(2):191–199.

APÊNDICE

Quadro 1A. Concentração de metais pesados do resíduo sólido da estação de tratamento de efluentes de indústria de ácido láctico

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLUBILIZADO			
Parâmetros	Unidade	Limite máximo	Resultado
Alumínio	mg/L	0,2	<0,010
Arsênio	mg/L	0,01	<0,010
Cádmio	mg/L	0,005	<0,001
Chumbo	mg/L	0,01	<0,010
Cianeto	mg/L	0,07	<0,02
Cromo Total	mg/L	0,05	<0,010
Mercúrio	mg/L	0,001	<0,0002
Prata	mg/L	0,05	<0,010

Análise realizada pela EP Engenharia do Processo LTDA.