



**USO DE LODO DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS NO SORGO GRANÍFERO
CULTIVADO EM CASA DE VEGETAÇÃO**

KLENNIA LIVIA GOMES PEIXOTO CASEIRO

GARANHUNS

JULHO/2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

USO DE LODO DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS NO SORGO GRANÍFERO
CULTIVADO EM CASA DE VEGETAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção Agrícola.

Klenna Livia Gomes Peixoto Caseiro

Orientador: Keila Aparecida Moreira

Coorientador: Alexandre Tavares da Rocha

GARANHUNS

JULHO/2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Ariano Suassuna, Garanhuns - PE, Brasil

C337u Caseiro, Klenna Livia Gomes Peixoto
Uso de lodo de indústria de laticínios no sorgo granífero
cultivado em casa de vegetação / Klenna Livia Gomes Peixoto
Caseiro. - 2019.
64 f. : il.

Orientadora: Keila Aparecida Moreira.

Coorientador: Alexandre Tavares da Rocha.

Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) -
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa
de Pós - Graduação em Produção Agrícola, Garanhuns,
BR - PE, 2019.

Inclui referências.

1. Lodo residual 2. Indústria de laticínios 3. Adubos e
fertilizantes 4. Produção Agrícola I. Moreira, Keila Aparecida,
orient. II. Rocha, Alexandre Tavares da, coorient. III. Título

CDD 631.8

**USO DE LODO DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS NO SORGO GRANÍFERO
CULTIVADO EM CASA DE VEGETAÇÃO**

KLENNA LIVIA GOMES PEIXOTO CASEIRO

Data da defesa: 29/julho/2019

COMISSÃO EXAMINADORA

MEMBROS TITULARES

Dra. Keila Aparecida Moreira - Orientadora

Unidade Acadêmica de Garanhuns - Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. João Tiago Correia Oliveira

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Dra. Maria Camila de Barros Silva Leite

Unidade Acadêmica de Garanhuns - Universidade Federal Rural de Pernambuco

“Você não pode colocar qualquer limite, nada é impossível.”

Usain Bolt

Dedicatória

Aos meus pais JURANDIR NUNES PEIXOTO e MARIA RAIMUNDA GOMES CHAVES, por todo apoio, dedicação, incentivo e motivação durante toda a minha vida!

Agradecimentos

À Deus, em conceder esta vitória em minha vida.

Ao meus pais Jurandir Nunes Peixoto e Maria Raimunda Gomes Chaves, exemplos de luta e força de vontade, por todo incentivo e motivação em todos os momentos da minha vida.

À toda minha família, em especial meu irmão Ydriss Augusto Gomes Peixoto e meus avôs paterno e materno.

Ao meu esposo Pablo Rodrigo de Oliveira Caseiro, pela paciência, amor e apoio em todos os momentos.

A minha orientadora Prof.^a Dra. Keila Aparecida Moreira, pela orientação, oportunidade em desenvolver esta pesquisa, amizade e paciência.

Ao meu coorientador Prof. ° Dr. Alexandre Tavares da Rocha, pelo ensinamento acadêmico, apoio, confiança em desenvolver e finalizar esta pesquisa, paciência e amizade.

A Prof. ° Dra. Josabete Salgueiro Bezerra de Carvalho, pela contribuição nas avaliações fisiológicas durante o experimento.

Ao Prof.° Dr Macio Moura, pelas valiosas contribuições no desenvolvimento da estatística.

A empresa Bom Gosto, pelo o apoio e fornecimento do lodo de laticínios.

À coordenação da Pós-Graduação em Produção Agrícola pelo o apoio;

A universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Academia de Garanhuns pelo o apoio.

A técnica Sonora e Maria Rita, pelo apoio na execução das análises em laboratório.

Aos bolsistas de graduação Marília, Paloma e Jeconias, pelo apoio na execução e análises em laboratório da pesquisa.

Aos meus colegas do mestrado, Caroline, Euzanir, Leandro, Fabio, Jeferson, Diego, Ronielton e Ytalo, por todos os momentos de aprendizados e risos.

A minha amiga Caroline Marques Rodrigues, por todo apoio e amizade.

Aos meus amigos e amigas, Ana Paula, Daiane, Fabiane, Leidiane, Charles, Aluízio, Larissa nutri, Patrícia, Fernanda, por todo o apoio, carinho e amizade.

Aos docentes e funcionários da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/UAG.

Aos membros da banca avaliadora, pela disponibilidade e contribuições.

RESUMO

O sorgo é utilizado como alimento básico para milhões de pessoas que vivem nas regiões subtropicais e semiáridas. Com o aumento dos valores dos fertilizantes comerciais o uso do lodo, procedente da estação de tratamento de esgoto tornou-se uma alternativa. O uso dos resíduos da indústria de laticínios como fertilizantes, bem como a determinação da dose correta, pode fornecer subsídios para a produção em bases sustentáveis sem comprometer o ambiente. O objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de lodo de indústria de laticínios no sorgo granífero cultivado em casa de vegetação. O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 20L em casa de vegetação na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UAG, entre setembro a dezembro de 2018. A cultura estudada foi o sorgo granífero, como planejamento experimental, adotou-se o delineamento em blocos casualizados – DBC com 7 tratamentos em 4 blocos, totalizando 28 unidades experimentais. As doses de lodo de laticínios foram dimensionadas de acordo com a taxa de aplicação subsuperficial definida pela resolução 375/2006 – CONAMA, as seguintes doses foram: T1 - (0% - controle); T2 - 50% (1,5 L de lodo/vaso); T3 - 100% (3,0 L de lodo/vaso); T4 – 150% (4,5 L de lodo/vaso); T5: 200% (6 L de lodo/vaso); T6 - (NPK - adicional); T7: (PKL = T3+PK - adicional). Nos tratamentos com adubação mineral, as doses de N, P₂O₅ e K₂O foram determinadas conforme a recomendação de adubação do Estado de Pernambuco. Foram avaliadas a FDA do solo, variáveis fisiológicas: fotossíntese, taxa de transpiração, condutância estomática, clorofila a e b, enzimas da planta CAT, APX e SOD, N da folha e panícula, C da folha, altura, diâmetro e massa seca. As crescentes doses de lodo e a testemunha PKL proporcionaram aumento na atividade microbiana do solo. Os tratamentos 0% e NPK apresentaram maior elevação na atividade da enzima SOD. As variáveis taxa fotossintética, taxa de transpiração e condutância estomática não apresentaram diferenças significativas. As crescentes doses de lodo proporcionaram maiores incrementos para clorofila a e b. A adição das doses de lodo proporcionaram aumento para o N e C da folha e N da panícula, assim como, seu uso foi eficiente quando utilizado como complemento mineral. As crescentes doses de lodo proporcionaram maiores médias para as variáveis altura e diâmetro. As crescentes doses de lodo contribuíram com os maiores incrementos para a massa seca.

Palavras-chave: sorgo, adubação, lodo industrial.

ABSTRACT

Sorghum is used as a staple food for millions of people living in subtropical and semi-arid regions. With the increase of commercial fertilizer values the use of sludge from the sewage treatment plant became an alternative. The use of dairy industry residues as fertilizers as well as the determination of the correct dosage can provide subsidies for sustainable production without compromising the environment. The objective of the present study was to evaluate the use of dairy industry sludge in the sorghum grown in a greenhouse. The experiment was carried out in pots with a capacity of 20L in a greenhouse at the Federal Rural University of Pernambuco - UAG, from September to December 2018. The studied culture was the sorghum. As experimental design, a randomized complete block design was adopted. - DBC with 7 treatments in 4 blocks, totaling 28 experimental units. Dairy sludge doses were sized according to the subsurface application rate defined by resolution 375/2006 - CONAMA, the following doses were: T1 - (0% - control); T2 - 50% (1.5 L sludge / vessel); T3 - 100% (3.0 L sludge / vessel); T4 - 150% (4.5 L of sludge / vessel); T5: 200% (6 L sludge / vessel); T6 - (NPK - additional); T7: (PKL = T3 + PK - additional). In the treatments with mineral fertilization, the rates of N, P₂O₅ and K₂O were determined according to the recommendation of fertilization of the State of Pernambuco. Soil ADF, physiological variables were evaluated: photosynthesis, transpiration rate, stomatal conductance, chlorophyll a and b, enzymes of CAT plant, APX and SOD, leaf and panicle N, leaf C, height, diameter and dry mass. Increasing doses of sludge and PKL control increased soil microbial activity. The treatments 0% and NPK presented higher increase in the activity of the enzyme SOD. The photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance variables did not present significant differences. Increasing doses of sludge provided larger increases for chlorophyll a and b. The addition of sludge doses increased the leaf N and C and panicle N, and its use was efficient when used as mineral supplement. Increasing sludge doses provided higher averages for the height and diameter variables. Increasing doses of sludge contributed to the largest increases in dry mass.

Keywords: sorghum, fertilization, industrial sludge.

Lista de Abreviaturas

FDA	Hidrólise de diacetato de fluoresceína
PKL	Fósforo, potássio, lodo
NPK	Nitrogênio, Fósforo, potássio
ETE	Estação de tratamento de esgoto
CAT	Catalase
APX	Ascorbato de peroxidase
SOD	Superóxido dismutase
EROS	Espécies reativas de oxigênio
N	Nitrogênio
C	Carbono
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco
COT	Carbono orgânico total
IPA	Instituto agrônômico de Pernambuco

Lista de Figuras

Figura 1 - Temperatura, precipitação e umidade relativa no Município de Garanhuns-PE	25
Figura 2 - Experimento em casa de vegetação em vasos com capacidade de 20L.....	27
Figura 3 - Atividade enzimática FDA inicial (A) e FDA final (B) em solo submetidos a tratamentos com diferentes doses de lodo da indústria de laticínios, analisado pelo teste de regressão.....	31
Figura 4 - Atividade enzimática catalase (A), ascorbato de peroxidase (B) e superóxido dismutase (C) de folhas de sorgo, submetidas a tratamentos com doses de lodo de laticínios.....	36
Figura 5 - Variáveis fisiológicas clorofilas a (A), clorofila b (B) em sorgo, submetidas a tratamentos com doses de lodo de laticínios. Analisado pelo teste de regressão.....	38
Figura 6 - Nitrogênio da folha (A), Nitrogênio da panícula (B), Carbono da folha (c) submetidas a tratamentos com doses de resíduo de laticínios. Analisado pelo teste de regressão.....	43
Figura 7 - Massa seca da planta de sorgo, adubadas com lodo de laticínios.....	45

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Caraterização do lodo (resíduo de uma indústria de laticínios localizada no município de Garanhuns -PE)	26
Tabela 2 - Caracterização química e granulométrica do solo.....	26
Tabela 3 - Atividade microbiana enzimática do solo, adubado com lodo de laticínios e PKL.....	32
Tabela 4 - Atividade microbiana enzimática do solo, adubado com resíduo de laticínios e NPK..	33
Tabela 5- Atividade da catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato de peroxidase (APX) em folha de sorgo adubadas com doses de lodo e PKL em casa de vegetação da UFRPE/UAG, 2019.....	35
Tabela 6 - Atividade da catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato de peroxidase (APX) em folha de sorgo adubadas com doses de lodo e NPK em casa de vegetação da UFRPE/UAG, 2019.....	35
Tabela 7 - Taxa fotossintética, condutância estomática, teores de clorofila A, teores clorofila B em folha de sorgo adubadas com doses de lodo de laticínios e PKL.....	40
Tabela 8 - Taxa fotossintética, condutância estomática, teores de clorofila A, teores clorofila B em folha de sorgo adubadas com doses de lodo de laticínios e NPK.....	41
Tabela 9 - Nitrogênio da folha, nitrogênio da panícula, carbono da folha, adubadas com doses de lodo de laticínios e PKL.....	42
Tabela 10 - Nitrogênio da folha, nitrogênio da panícula, carbono da folha, adubadas com doses de resíduo de laticínios e NPK.....	42
Tabela 11 - Diâmetro, altura, massa seca, em folha de sorgo adubadas com doses de lodo de laticínios e PKL.....	45
Tabela 12 - Diâmetro e altura, em plantas de sorgo adubadas com doses de lodo de laticínios e NPK.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1. Sorgo	17
2.2. Lodo de efluente.....	18
2.3. Culturas adubadas com lodo.....	19
2.4. Fatores oxidantes e atividade enzimática.....	21
2.4.1. Catalase.....	22
2.4.1.2. Ascorbato de peroxidase.....	22
2.4.1.3. Superóxido dismutase.....	23
2.5. Atividade enzimática microbiana.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Descrição e área de estudo.....	25
3.2. Coleta do lodo.....	25
3.3. Coleta do solo.....	26
3.4. Área experimental e cultivar.....	26
3.5. Avaliação bioquímica.....	28
3.5.1 Extratos vegetais.....	28
3.5.1.2 Determinação de proteína.....	28
3.5.1.3. Catalase.....	28
3.5.1.4. Ascorbato de peroxidase.....	28
3.5.1.5. Superóxido dismutase.....	29
3.6. Atividade enzimática microbiana.....	29
3.7. Avaliação fisiológica.....	29
3.8. Avaliação da altura, diâmetro e massa seca.....	30
3.9. Análise estatística.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1. Atividade enzimática microbiana.....	30
4.2. Caracterização bioquímica.....	34
4.3. Caracterização fisiológica.....	38
4.4. Nitrogênio e carbono.....	41

4.5. Diâmetro, altura e massa seca.....	44
5. CONCLUSÕES.....	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O sorgo é caracterizado como uma planta da família *Poaceae*, do gênero *sorghum*, e da espécie *Sorghum bicolor L. Moench* (MAGALHÃES et al., 2010). Caracterizado como alimento básico para milhões de pessoas que vivem nas regiões subtropicais e semiáridas do globo. O seu cultivo está espalhado por diversos agrossistemas (ARUNA et al., 2019). Sendo aproveitado na alimentação animal e produção de silagem devido a seus atributos fenotípicos, agrupadas a facilidade de plantio, colheita e armazenamento (FERREIRA et al., 2012).

Por apresentar resistência a seca, o sorgo pode substituir a cultura do milho na alimentação animal em rações para bovinos, suínos e aves. Tornando-se importante para região Nordeste, em locais com ocorrências frequentes de déficit hídrica (PITOMBEIRA et al., 2004).

Com o aumento dos valores dos fertilizantes comerciais o uso dos resíduos orgânicos, procedente de estações de tratamento de esgoto (ETE) tornou-se uma alternativa (MESQUITA, 2002). Os resíduos sólidos com características orgânicas, tais como os resíduos produzidos nas (ETE's), vêm sendo utilizado nos Estados Unidos, na Inglaterra, na Austrália e no Japão, como adubos orgânicos de solos agrícolas, contudo, essa incorporação ao solo deve ser controlada e monitorada (SILVA, 2017).

De acordo com Junio et al. (2013) o lodo viabiliza a reciclagem de nutrientes, melhora os atributos físicos e químicos do solo. Tejada et al. (2016) ressalta que a aplicação de matéria orgânica em solos agrícolas é uma prática comum entre os agricultores.

O lodo oriundo da ETE apresenta efeitos positivos em seu uso agrícola, porém dependendo das características do resíduo e a forma de disposição, ocasiona efeitos negativos, pois o lodo pode conter quantidades altas de metais pesados, patógenos, vírus, protozoários, que podem ocasionar contaminação ao solo, o lençol freático e as plantas cultivadas (AFAZ et al., 2016).

Para a utilização do resíduo oriundo das estações de tratamento de efluente, ele deve apresentar concentrações de agentes patogênicos e de metais pesados abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução Conama 375/2006 (SOUZA et. al., 2009).

Pesquisadores avaliaram o uso do lodo de diversos setores industriais como fontes alternativas de nutrição das plantas na agricultura. Melo et al. (2014) avaliaram o uso do

efluente de laticínios, obtendo crescimento morfofisiológico das plantas. Gheri et al. (2003) estudaram o resíduo lácteo, observaram que estes são ricos em nutrientes como o nitrogênio contribuindo com o aumento dos teores de Ca, P e K do solo. Silva et al. (2011) avaliaram a eficiência da aplicação do soro de leite bovino e resíduos ruminal, encontraram maior produtividade para os tratamentos com soro de leite em comparação aos que continham resíduo ruminal. Oliveira et al. (2007), aplicando resíduo de laticínio no capim Braquiarião, obtiveram aumento da massa seca total.

Como exposto o uso de resíduos industriais é rentável na produtividade sustentada das culturas, na saúde do solo e fornece nutrientes as plantas (ANSARI et al., 2017). Por outro lado, a aplicação de resíduos oriundos de ETE's podem provocar alterações de caráter poluentes ou não, que afetam a qualidade dos solos e da planta cultivada. Sua utilização em áreas agrícolas, todavia ainda se encontra como objeto de análises e pesquisas (PAULA et al., 2013).

A necessidade nutricional das plantas é também um fator que deve ser considerado, a análise de nutrientes foliares fornece uma indicação do estado nutricional podendo diagnosticar deficiências e representa uma ferramenta importante para determinar os requisitos de fertilização (FERNÁNDEZ-ESCOBAR et al., 2009).

As plantas são expostas a vários fatores abióticos ou bióticos, tais como déficit hídrico, metais pesados, salinidade, temperatura, deficiência de nutrientes, herbicidas e patógenos, esses fatores podem modificar as variáveis bioquímicas e fisiológicas das plantas. A resposta da planta a esses fatores pode ser avaliada pelas enzimas do estresse oxidativo (BARBOSA et al., 2010). A superóxido dismutase - SOD, catalase - CAT, ascorbato peroxidase – APX oferecem um eficiente sistema de defesa antioxidante (BARBOSA et al., 2014).

Um outro fator de importância é avaliar as alterações na microbiota do solo e no sistema solo-planta (JUNIOR FRADE, 2007). De acordo Kai-lo et al. (2018) a comunidade de microrganismos pode ser alterada através de diferentes padrões de fertilização em longo prazo. Estas são de interesse, pois catalisam transformações importantes nos ciclos do carbono, nitrogênio e fósforo (WALLENSTEI et al., 2011). Porém aplicações excessivas de N e P podem deteriorar a qualidade do solo, reforçando a importância da compreensão da resposta do solo para as adições dos nutrientes (ZHANG et al., 2015).

O uso de resíduos provenientes da indústria de laticínios como fertilizantes, bem como a determinação da dose correta, pode fornecer subsídios para a produção em bases sustentáveis sem comprometer o ambiente. Conforme Melo et al. (2011) os resíduos de laticínios possuem uma grande disponibilidade de nutrientes, tais como fósforo e potássio tendo potencial para uso no solo e proporcionar o aumento na produção, desde que ocorra o seu monitoramento, quanto a sua incorporação ao solo e resposta dos efeitos nos tecidos vegetais. Desta forma o presente trabalho propõe analisar o uso de lodo de indústria de laticínios no sorgo granífero cultivado em casa de vegetação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sorgo

Com origem na agricultura africana o sorgo é uma planta da família poaceae, do gênero *Sorghum*, e da espécie *Sorghum bicolor* L. Moench. Caracterizada como planta C4, de dias curtos, com altas taxas fotossintéticas, de clima quente, apresentando características xerófilas e mecanismos eficientes de tolerância à seca (MAGALHÃES et al., 2010).

Descrita como uma das cinco principais culturas de cereais do mundo amplamente cultivado em regiões áridas, semiáridas tropicais, subtropicais e temperadas (HUANG, 2018). Sendo aproveitado na alimentação animal, produção de silagem devido às suas características fenotípicas, agrupadas a facilidade de plantio, manejo, colheita e armazenamento (NEUMANN et al., 2002).

Conforme Conab (2018/19), para o semiárido, o sorgo, é uma cultura de evidência para a alimentação animal por apresentar elevado rendimento forrageiro, capacidade de adequabilidade às regiões secas, sobrevivendo e produzindo em condições de limitado suprimento de água em períodos longos de seca. Com respectivos levantamentos de dados, a produção nacional de sorgo alcançou 2.135,8 mil toneladas no comparativo de área, produtividade e produção de sorgo, na safra de grãos de 2017/18.

Por apresentar tolerância ao estresse hídrico, a cultura do sorgo pode ocupar áreas onde a cultura do milho não apresenta desempenho satisfatório (ELIAS et al., 2016). Além disso, sua tolerância à seca tornou o sorgo uma das espécies favoritas para o cultivo na safrinha, possuindo disposição produtiva, alto valor nutritivo e possibilidade de

aproveitamento da rebrota, com cultivo de até 60% do primeiro corte (PINHO et al., 2007).

Esta cultura apresenta dois mecanismos de adaptação ao déficit hídrico sendo: tolerância e escape. A tolerância relacionada ao nível bioquímico e o escape apresenta um sistema radicular profundo e ramificado, facilitando a extração de água do solo (EMBRAPA, 2008). Basicamente, existem quatro tipos de sorgo sendo: granífero, sacarino, vassoura e forrageiro (IPA, 2019). Almeida Filho et al. (2010) ressaltaram que decorrente a melhoria genética o cereal que apresentou maior incremento médio em produtividade, foi o sorgo granífero atraindo mais agricultores empresariais buscando a sua boa rentabilidade no sistema produtivo.

O sorgo granífero, caracteriza-se como planta de porte baixo, altura até 170 cm, produz uma panícula compacta de grãos. A destinação principal desse tipo de sorgo é o grão. Contudo, depois da colheita, quando a planta ainda se encontra verde, pode ser usada como feno ou pastejo. A capacidade do sorgo de ser produtivo em condições ambientais adversas com insumos mínimos o torna um componente importante nos sistemas de cultivo das regiões áridas e semiáridas do mundo (IPA et al., 2019).

2.2 Lodo de efluente

A produção e o acúmulo contínuo de lodo de efluente, particularmente de grandes cidades industriais, podem representar riscos potenciais de poluição, a menos que sejam implementados métodos adequados de disposição. O efluente sanitário denomina-se como o despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária (ABNT, 1986). A composição do efluente varia em relação ao local de origem, ou seja, se oriundo de residência ou indústria, e da época do ano entre outros fatores (BETTIOL et al., 2006).

O resíduo (lodo), é subproduto sólido do tratamento de efluentes. Na etapa do tratamento dos processos biológicos, a matéria orgânica é transformada, sendo composta por parte da biomassa microbiana, denominada de lodo biológico (PEDROZA et al., 2010). Possuindo considerável quantidade de matéria orgânica e de nutrientes que são essenciais para o desenvolvimento vegetal (BITTENCOURT et al., 2017).

A destinação final adequada do lodo do efluente tem sido considerado uma questão ambiental, pois pode conter em sua composição patógenos, contaminantes inorgânicos e orgânicos. A forma mais comum de disposição do lodo é em aterros

sanitários. No entanto, existe algumas desvantagens como o odor, patógenos, contaminação da água subterrânea e poluição visual (PENIDO et al., 2019).

De acordo com as diretrizes previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, esse tipo de destinação deverá ser restringido, em função da existência de melhores formas de seu destino e uso (BRASIL, 2010).

Devido a necessidade de tratamento e disposição de lodo, faz-se necessário criar formas ambientalmente segura e economicamente viáveis para evitar problemas de lançamento de contaminantes e patógenos no ambiente (EPA, 1997). As formas de disposição do lodo encontram-se da seguinte forma: aterro, solo (para fins agrícolas, áreas de recuperação), mar e incineração (MATTHEWS, 1992).

De acordo Silva et al. (2010) a alternativa agrícola para destinação final do lodo caracteriza-se como uma forma promissora, sendo uma alternativa segura e viável economicamente para seu descarte, proporcionando vantagens ao seu emprego agrícola. Devido à sua composição em termos de nutrientes e matéria orgânica, o uso do lodo vem sendo utilizado como adubo orgânico aplicado aos solos. No entanto, depende de sua natureza, tipos de tratamentos e processo de estabilização (LLORETA et al., 2016).

Desde 1927, o resíduo oriundo da estação de tratamento de efluente vem sendo utilizado como fertilizante nos Estados Unidos. Um percentual de 25 % do lodo produzido era aplicado na agricultura (BARBOSA et al., 2007). No Brasil, a disposição do lodo doméstico na agricultura adota a Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2006).

A resolução define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados e outras providências tais como: processos para redução de agentes patogênicos, critérios para as análises de lodo e solo, cálculo do nitrogênio disponível no lodo de esgoto, critérios para amostragem de solo e lodo de esgoto, substâncias orgânicas a serem determinadas no lodo e no solo e a elaboração do projeto agrônômico (CONAMA, nº 375/2006).

2.3 Culturas adubadas com lodo

A destinação final do lodo para fins agrícolas é uma prática antiga, sendo efetivada na China, e em países como Inglaterra (1800) e Prússia (1560) (RIGO et al., 2014).

Conforme abordado, o resíduo lodo contém quantidades consideráveis de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), elementos estes essenciais para o desenvolvimento das plantas. Com o aumento do custo e a escassez de fertilizantes químicos, o lodo pode ser uma valiosa fonte de fertilizantes, uma vez que as taxas adequadas de aplicação e as práticas culturais sejam estabelecidas (DAYT et al., 1988).

Alguns pesquisadores utilizaram em suas pesquisas o lodo para fins agrícolas, os autores Urbaniak et al. (2017) estudaram a cultura do salgueiro *Salix alba* em solo tratado com lodo, observaram um aumento gradual das frações de húmus, no teor de carbono orgânico total e na abundância bacteriana. Obtendo-se aumento na biomassa, na superfície foliar, comprimento das folhas e no teor de clorofila a + b.

Day e Tucker (1977) ressaltaram que o rendimento e a qualidade do grão de sorgo (*Sorghum bicolor L.*) irrigado com efluente de esgoto foram maiores que o rendimento e a qualidade do sorgo fornecido com fertilizantes inorgânicos contendo N, P e K em quantidades iguais às do eluente de esgoto.

Oliveira et al. (1995) observaram que, a decomposição do lodo de esgoto no solo, proporcionou a liberação de nutrientes para as plantas, cogitando no aumento da produção de matéria seca. Porém, visando-se atender às necessidades da cultura, fez-se necessária complementação com potássio.

Os nutrientes N, P e K liberados do lodo de esgoto no solo aumentaram o rendimento de grãos de milho (*Zea mays L.*) conforme Cunningham et al. (1975). Sabeyetal (1977) observaram que a aplicação de lodo sem e com com resíduos de madeira resultou no maior crescimento da cultura do trigo (*Triticum aestivum L.*) do que fertilizantes químicos contendo altas taxas de N, P e K.

Santos et al. (2016) avaliaram a aplicação do resíduo de laticínios no capim Mombaça, tendo como resultado o acréscimo no acúmulo de massa seca total, pelo incremento dos componentes lâmina foliar e de colmos.

Oliveira et al. (2007), aplicando resíduos orgânicos de laticínio no capim Braquiara, obteve aumento da massa seca total e atribuíram o fato a absorção dos nutrientes do resíduo pelas plantas.

A adubação foliar com resíduo orgânico, sobre a produtividade do milho, proporcionou aumento significativamente as concentrações foliares de macro e micronutrientes (TEJADA et al., 2018).

Mantovani et al. (2015) analisaram a cultura do milho adubado com soro de leite, obtendo o incremento nos teores de P-disponível e K, aumento na produção de matéria seca das plantas e as acumulações de N, P, K e Ca na parte aérea. Como exemplificado o uso do lodo de esgoto na agricultura pode ser considerado como um método alternativo de sua eliminação e reciclagem de matéria orgânica e nutrientes (WATER UK, 2010).

2.4 Fatores oxidantes e atividade enzimática

As plantas são expostas a vários fatores abióticos ou bióticos, tais como déficit hídrico, metais pesados, salinidade, temperatura, deficiência de nutrientes, herbicidas e patógenos. A resposta da planta a esses fatores pode ser avaliada pelas enzimas do estresse oxidativo (BARBOSA et al., 2010).

Conforme Mitra et al. (2019) as espécies reativas de oxigênio (ERO) são geradas em plantas para lidar com o estresse motivado por fatores abióticos (temperatura e luz) e bióticos (ataque de patógenos e herbívoros), a ocorrência desse estresse ocasiona o desequilíbrio entre a produção e a eliminação de ERO, podendo ocasionar a diminuição da fotossíntese (BECANA et al., 2010).

Essas (ERO's), fazem parte do metabolismo normal da planta, sendo indispensável da vida aeróbica com a introdução de oxigênio molecular por organismos fotossintéticos que envolvem o O₂ diretamente na atmosfera (TAVERNE et al., 2018; GUPTA et al., 2017; SCHMITT et al., 2016). Porém quando ocorre o desequilíbrio dessa substância, ocorre a geração de inúmeras reações indesejáveis.

Dentro do sistema biológico, o estresse oxidativo é um processo fisiológico natural em que a presença de radicais livres de oxigênio supera a capacidade de eliminação de radicais que levam a um desequilíbrio entre as espécies reativas de oxigênio e os antioxidantes (FOYER et al., 1994).

Zhu, (2001) ressalta que a salinidade do solo é caracterizada como um grande estresse abiótico para a agricultura. Chandrasekhar et al. (2017) afirmaram que as atividades antropogênicas como a descarga desordenada de resíduos urbanos e industriais, aplicação excessiva de fertilizantes químicos, ocasionam grandes quantidades de metais pesados exógenos que são transportadas para o ambiente do solo, esse acúmulo excessivo resulta em teores de metais.

Os sistemas que controlam os níveis de espécies reativas de oxigênio, devem ser controlados para evitar possíveis danos oxidativos. Este controle deve-se a ação de um mecanismo de defesa, composto por antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos. A atividade destes dois sistemas, atuam na proteção contra danos oxidativos (MOLLER et al., 2007).

As modificações ocasionadas as plantas pelos fatores (bióticos e abióticos) levam a geração de espécies reativas de oxigênio (ERO's), ocasionando modificações às estruturas celulares e destruição da planta. Os fatores fisiológicos e bioquímicos de plantas exposta ao estresse oxidativo, podem ser respondidos pelo um eficiente sistema de defesa antioxidante, envolvendo a atividade das enzimas tais como: superóxido dismutase SOD, catalase CAT, ascorbato peroxidase APX. (BARBOSA et al., 2014). A ativação do sistema enzimático antioxidante, incluindo as enzimas citadas a cima ocasiona o alívio ao dano oxidativo de plantas sob variados tipos de estresses (LIN et al., 2014; WANG et al., 2011).

2.4.1 Catalase

A catalase caracteriza-se como uma enzima antioxidante presente em todos os organismos aeróbicos. Sua principal função é catalisar a decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água e oxigênio molecular (AHMAD et al., 2014).

O H_2O_2 é uma espécie reativa de oxigênio (ERO) produzido pelo metabolismo aeróbico em situações de estresse biótico ou abiótico (MATAMOROS et al. 2003). Podem ser encontradas no citoplasma, mitocôndrias, peroxissomos de folhas (FRIGOLLI et al., 1996). Desempenha um papel central na manutenção do equilíbrio de peróxido de hidrogênio celular em plantas.

As plantas precisam de mecanismos enzimáticos rotativos à catalase para remoção do H_2O_2 e proteção aos danos oxidativos. As peroxidases participam de inúmeros processos fisiológicos como lignificação, suberização, catabolismo de auxina, tolerância à salinidade, mecanismos de defesa contra patógenos e herbívoros (HIRAGA et al., 2001).

2.4.2 Ascorbato peroxidase

A ascorbato peroxidase denomina-se como uma enzima responsável pelo metabolismo antioxidante. Essas enzimas são responsáveis a exercer a função que catalisam a transferência de elétrons para eliminar H_2O_2 (CHIN et al., 2019).

A APX é indispensável para a proteção de cloroplastos e outros constituintes celulares dos danos ocasionado pelo H_2O_2 e do radical hidroxila (ASADA, 1992). As peroxidases são proteínas que catalisam a oxidação de grande variedade de substratos através da reação com peróxido de hidrogênio (BANCI, 1997; YOSHIDA et al., 2003).

2.4.3 Superoxido dismutase

A superoxido dismutase, é uma enzima classificada como oxireductase com função antioxidante. Tem o papel fundamental na defesa do organismo contra as espécies reativas de oxigênio, atuando na remoção do radical superóxido (YOSHIDA et al., 2003). Catalisa a dismutação de duas moléculas de ânion superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio molecular (O_2), contornando o ânion superóxido potencialmente maléfico menos perigoso (GILL et al., 2010; KARUPPANAPANDIAN et al., 2011).

Existem várias isoformas de SOD encontradas em toda a biosfera que evoluíram a partir de genes diferentes, tais como: cobre e zinco, manganês ou ferro (RICE-EVANS et al., 1991). O mecanismo de ação é o mesmo para todas as SODs: um íon metálico localizado no sítio ativo é responsável por catalisar o elétron transferência entre duas moléculas de O_2 (WINTEJENAS et al., 2008).

2.5 Atividade enzimática microbiana

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) é um método preciso e simples para medir a atividade microbiana total em solos. A FDA é hidrolisada por enzimas livres e ligadas à membrana, a fluorescência gerada no processo final da análise pode ser medida por espectrofotometria (ADAM et al., 2001).

A atividade da FDA tem sido sugerida como um possível indicador para medir a atividade microbiana, porque a lipase, protease e esterase estão envolvidas na hidrólise da FDA, sendo utilizado como um indicador da biomassa microbiana (YUAN et al., 2017; BRUNIUS et al., 1980).

O uso de lodo de efluente na agricultura ou para recuperação pode ser considerado como um método alternativo de sua eliminação e reciclagem de matéria orgânica e nutrientes (WATER UK, 2010). Porém deve ser avaliado a qualidade do solo após o seu uso.

A disposição de lodos urbanos ou industriais ao solo pode ocasionar alterações na estrutura e funcionamento do sistema agrícola, os componentes mais sensíveis a

interações é a comunidade microbiana, com isso, pode ser utilizada como indicadora da qualidade dos solos (DICK 1994; GILLER et al., 1998).

Deste modo, o comportamento da população microbiana depende da qualidade e da quantidade dos resíduos aplicados ao solo. Alterações na qualidade do solo, ocasionadas pela aplicação de resíduos, são frequentemente avaliadas por meio das características biológicas do solo (GARCÍA-GIL et al., 2000; TRANNIN et al., 2007; LAMBAIS & CARMO, 2008; SOUZA et al., 2009). Em solos contaminados, a atividade da comunidade microbiana é relacionada com as propriedades abióticas do solo (SCHIMEL et al., 2007).

Efeitos positivos e negativos na aplicação de lodo em solos, podem ser observados através do monitoramento das doses adicionadas ao solo (GIANELLO et al., 2011; SEGATTO et al., 2012). Os microrganismos do solo atuam como mediadores dos processos biológicos do solo, incluindo degradação da matéria orgânica, mineralização, reciclagem e transformação de nutrientes, que desempenham um papel importante na manutenção qualidade do solo e da funcionalidade dos ecossistemas (LI et al., 2009; XIAO et al., 2017).

A atividade biológica no solo é caracterizada pelos processos ecossistêmicos que são sustentados por microrganismos (DAILY, 1997), necessariamente de caráter importante na manutenção e estabilidade da ciclagem de nutrientes (WEYHENMEYER et al., 2013). Deste modo, identificar o mecanismo pelo qual as comunidades microbianas são geradas e mantidas no solo é essencial para a compreensão de suas funções biológicas (XUN et al., 2015).

O responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos é a microbiota do solo, devido a ciclagem de nutrientes, podendo influenciar na transformação da matéria orgânica e na estocagem do carbono e nutrientes minerais (JENKINSON; LADD, 1981). Essa atividade microbiológica aborda todas as ações metabólicas celulares, interações e processos bioquímicos conduzidos pelos organismos do solo (SIQUEIRA et al., 1994).

A rotação de matéria orgânica em habitats naturais, são descritos pela atividade microbiana total já que cerca de 90% da energia no ambiente do solo flui através de decompositores microbianos (HEAL e MCCLEAN, 1975).

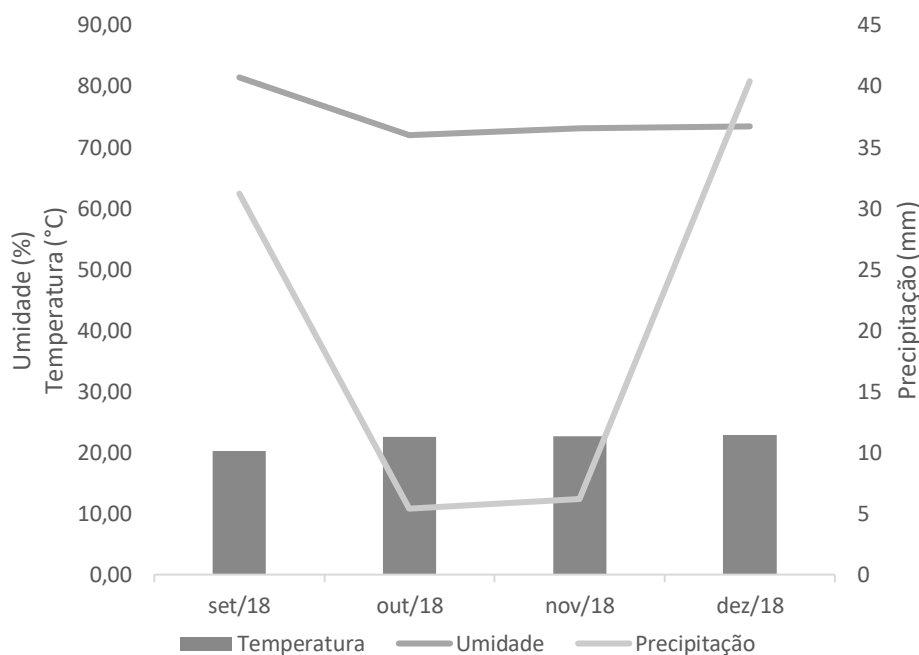
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UAG, no Agreste Meridional, município de Garanhuns – Pernambuco, Brasil. O clima predominante é o Mesotérmico Tropical de Altitude (Cs'a), de acordo com a classificação climática de Köppen (ANDRADE et al., 2008).

Durante a condução do experimento conforme INMET (2018), a temperatura local de Garanhuns foi aproximadamente 22° C, precipitação 20,8 mm e umidade relativa do ar de 74,9 %, conforme a figura 1.

Figura 1. Temperatura, precipitação e umidade relativa no Município de Garanhuns – PE, no período de setembro a dezembro de 2018.



Fonte: INMET, (2018).

3.2 Coleta do lodo

O lodo utilizado no experimento foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE, de uma empresa de laticínios localizada no município de Garanhuns - PE. Na tabela 1 está a caracterização do lodo conforme métodos exigidos pela resolução 375/2006-CONAMA.

Tabela 1 Caracterização do lodo (resíduo de uma indústria de laticínios localizada no município de Garanhuns -PE).

Parâmetros	Unidade	Valor	Conama 357/2006 VMP
Nitrogênio total	mg/kg	7070	-
Nitrogênio amoniacal	mg/kg	2,8	-
Nitrato	mg/kg	60	-
Nitrito	mg/kg	10	-
Fósforo	mg/kg	7470	-
Cádmio	mg/kg	0,1	39
pH	-	8,53	-
Potássio	mg/kg	3250	-
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	850	1000
Sódio	mg/kg	18600	-
Cálcio	mg/kg	21200	-
Carbono orgânico total	%	1,39	-
Chumbo	mg/kg	2,61	300
Enxofre	mg/kg	4510	-
Zinco	mg/kg	436	2800

Fonte: Laboratório Bioagri Ambiental Ltda.

3.3 Coleta do solo

O solo foi coletado no Município de São João, com as coordenadas de 08° 51' 11" S / 36° 22' 49,1" W, na mesorregião Agreste e na microrregião Garanhuns do Estado de Pernambuco (BRASIL, 2005), classificado como Neossolo Regolítico, apresentando a seguinte caracterização química e granulométrica de acordo com a tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química e granulométrica do solo.

Solo	Areia g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	COT g kg ⁻¹	Ca ²⁺ cmolc kg ⁻¹	Na ⁺ cmolc kg ⁻¹	K ⁺ cmolc kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	Fe mg kg ⁻¹
0-20	892	68	40	1,63	0,95	0,08	0,04	20,63	0,1

Fonte: Firmino (2016).

3.4 Área experimental e cultura

O experimento foi realizado em vasos com capacidade de 20L, em casa de vegetação, entre setembro a dezembro de 2018 (Figura 2). A cultura estudada foi o sorgo

granífero - variedade BRS/373). Como planejamento experimental, adotou-se o delineamento em blocos casualizados - DBC com 7 tratamentos em 4 blocos, totalizando 28 unidades experimentais.

Figura 2. Experimento em casa de vegetação em vasos com capacidade de 20L.



Fonte: Caseiro, 2018.

As doses de lodo de laticínios foram dimensionadas de acordo com a taxa de aplicação subsuperficial definida pela resolução 375/2006 – CONAMA, que calcula a dosagem a partir do teor de N do resíduo, obtendo-se a dose 100% (T3: 3 litros/vaso), equivalente a $20,711 \text{ Mg ha}^{-1}$. A partir desse cálculo foram estabelecidos os níveis para aplicação das demais doses.

Para calcular a dose e o volume a ser aplicado, foram determinados os valores da densidade do lodo ($0,70\text{g/cm}^3$) e de umidade, 92,71%. Tendo as seguintes doses: T1 - (0% - controle); T2 - 50% (1,5 L de lodo/vaso); T3 - 100% (3,0 L de lodo/vaso); T4 – 150% (4,5 L de lodo/vaso); T5: 200% (6 L de lodo/vaso); T6 - (NPK - adicional); T7: (PKL = T3+PK - adicional). Nos tratamentos com adubação mineral, as doses de N, P_2O_5 e K_2O foram determinadas conforme a recomendação de adubação do Estado de Pernambuco (IPA, 2008).

A mistura lodo-solo foi realizada antes de sua disposição aos vasos, como estratégia para proporcionar melhor homogeneização na distribuição do lodo no solo, após 30 dias realizou-se a semeadura. No tratamento correspondente a testemunha adicional foi aplicada adubação química, contento fósforo, potássio e nitrogênio, para a segunda testemunha adicional aplicou-se fósforo, potássio e como complemento a dose 100% do lodo, ambos

foram aplicados quando se realizou o semeio. Esse semeio foi realizado no mês de setembro de 2018 adicionando-se três sementes por vaso, em 15 dias após a germinação foi realizado o desbaste deixando-se duas plantas por vaso.

3.5 Avaliação bioquímica

Para a análise da atividade enzimática da planta utilizou-se tecidos de folhas de sorgo granífero, que foram coletados aos 78 dias quando ocorreu o término do experimento, as amostras foram congeladas em nitrogênio líquido e mantidas na temperatura de -80°C , em ultrafreezer, até a obtenção dos extratos vegetais para as determinações analíticas.

3.5.1 Extratos vegetais

Para a obtenção dos extratos vegetais pesou-se 0,1g das amostras de folha de cada tratamento, em seguida foram maceradas em nitrogênio líquido adicionando-se 2mL de tampão fosfato de potássio 100mM pH 7,0 (HAVIR; MCHALE, 1987). Os extratos foram centrifugados por 10 minutos a 10.000 rpm a 4°C . Em seguida foram coletados os sobrenadantes das amostras em microtubos para posterior análises.

3.5.2 Determinação de Proteína

Para quantificação da proteína total foram adicionados 50 μL do extrato enzimático e 1500 μL da solução de Bradford, agitados por 5 minutos em vortex para posterior leitura em espectrofotômetro a 595nm (Bradford, 1976). Para a curva de calibração utilizou-se soluções estoques de soro albumina bovina (BSA) em concentração de 0-1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ em 10 pontos.

3.5.3 Catalase (CAT)

A atividade da CAT foi determinada utilizando as soluções de EDTA 0,1 M, tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH 7,0 e peróxido de hidrogênio 0,1 M. Realizou-se a leitura em espectrofotômetro com absorvância de 240nm no tempo 0 e 60 segundos (HAVIR e MCHALE, 1987). Para o cálculo utilizou-se o coeficiente de extinção molar de 36 $\text{M}\cdot\text{cm}^{-1}$.

3.5.4 Ascorbato peroxidase (APX)

Para a atividade da APX foi utilizado as soluções de EDTA 0,1 M, peróxido de hidrogênio 0,1 M, ácido ascórbico 0,01 M e tampão fosfato de potássio 0,05 M. A leitura

foi realizada em espectrofotômetro a 290nm no tempo 0 e após 60 segundos de acordo com o método de Nakano e Asada (1981), modificado por Koshiba (1993).

3.5.5 Superóxido dismutase (SOD)

A atividade da SOD, foi determinada de acordo com Giannopolitis e Ries (1977), utilizou-se tampão fosfato de sódio 50mM (pH 7,8), riboflavina 2mM, NBT 750mM, metionina 13mM e 1mM EDTA. O material foi exposto à luz visível (duas lâmpadas fluorescentes de 18 W) por 10 minutos e as leituras realizadas em espectrofotômetro a 560nm. A atividade foi calculada com base na inibição da redução de NBT com fotoredução em 50 % (BEAUCHAMP e FRIDOVICH, 1971).

3.6 Atividade microbiana do solo (FDA)

Realizou-se as coletas das amostras do solo aos 30 dias de adição do lodo, (FDA inicial) e ao término do experimento aos 78 dias, (FDA final), mantendo-as congeladas para posterior análise. Para a obtenção da atividade da FDA pesou-se 2,5 g de solo 5 vezes para cada amostra de solo. Em seguida utilizou-se as soluções tampão de fosfato de sódio (pH 7,6), 0,01g de diacetato de fluoresceína - FDA e 5ml de acetona. Procedeu-se à leitura da atividade em espectrofotômetro a 490nm (CHEN, et al., 1988).

3.7 Avaliação fisiológica

As avaliações fisiológicas foram realizadas aos 75 dias após semeadura, no período da manhã entre 9:00 às 11:00 horas. A taxa fotossintética, condutância estomática e taxa de transpiração foram mensuradas em folhas completamente desenvolvidas com auxílio do equipamento IRGA modelo LCpro-SD, Leaf Chamber & Soil Respiration Analysis System. As taxas de clorofila a e b, foram aferidas com uso do clorofilômetro digital portátil.

Para a determinação do nitrogênio e carbono, as amostras de folhas foram secas em estufa a 65°C por um período de 24 h e moídas. Para a determinação do nitrogênio da folha foi submetida à digestão sulfúrica, pelo método Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1997). O carbono da folha, foi determinado utilizando um forno do tipo mufla, incinerando a amostra a temperatura de 550°C, por 3h. Em seguida, o conjunto cadinho + amostras foram acondicionados em dessecador e pesados (GOLDIN, 1987).

3.8 Avaliação da altura, diâmetro e massa seca

A determinação da altura da planta foi realizada no final do ciclo, mensurada com o auxílio de régua graduada. O diâmetro do caule, foi aferido com auxílio de um paquímetro digital. A massa seca foi obtida através da secagem da planta em estufa de circulação de ar forçada a 65°C por 72 horas até atingir peso constante. Posteriormente realizou-se a pesagem da amostra em balança analítica (MALAVOLTA et al., 1997).

3.9 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Os dados correspondentes às doses do lodo foram submetidos a análise de regressão, utilizando o software SAS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atividade microbiana enzimática do solo – FDA

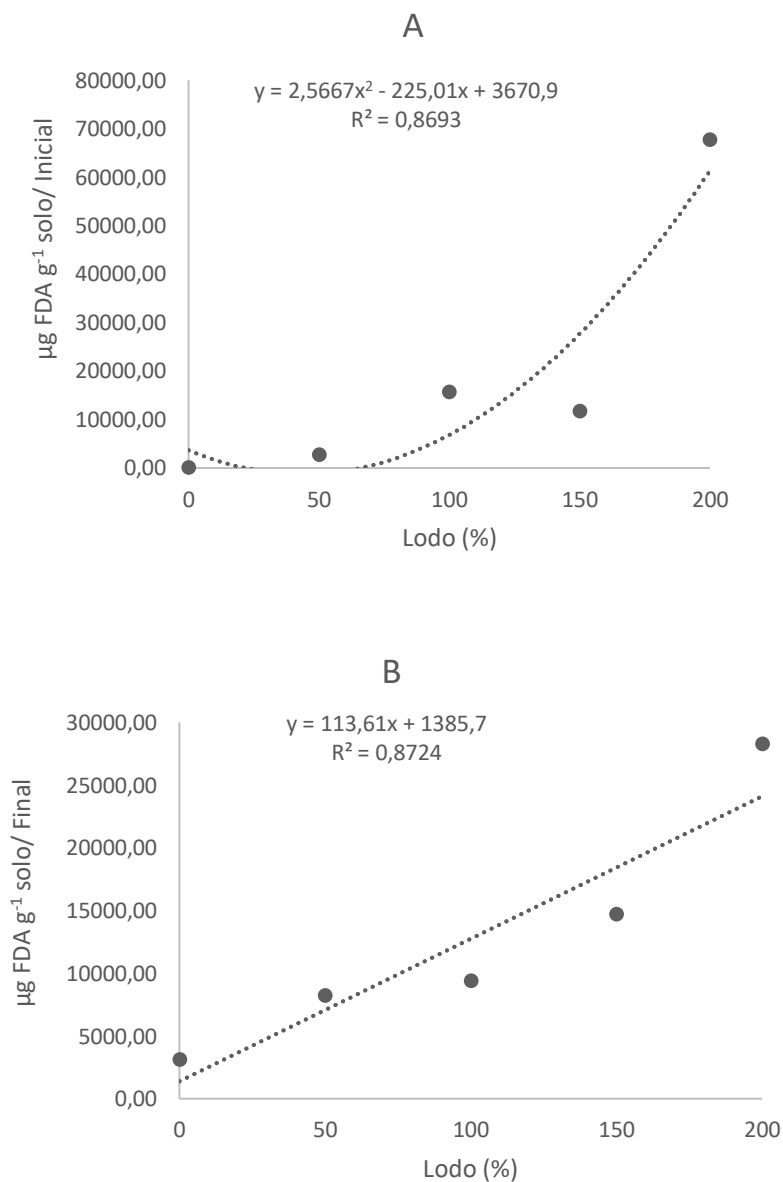
Neste estudo a atividade microbiana enzimática inicial do solo, apresentou comportamento quadrático para análise de regressão dos tratamentos com doses de lodo, a partir da dose 100% foi estimulado a atividade, porém ocorreu um decréscimo na dose 150%, no entanto com a adição da dose 200% foi obtido maior incremento (Figura 3A), ou seja, com a adição da maior dose de lodo foi possível expressar o maior valor de média para a atividade microbiana durante a decomposição do lodo no solo.

A FDA final apresentou comportamento linear (figura 3B), foi possível observar a elevação da atividade a medida que se aumentou a dose. O aumento linear com a elevação das doses sugere que o lodo estimulou o aumento da atividade microbiana ao solo. Isso implica que a elevação da FDA de acordo com Brunius et al., (1980) é descrita como um indicador da biomassa microbiana, sendo usado para medir a elevação ou diminuição da atividade.

De acordo com os autores Ferreira et al. (2017), ressaltaram que a microbiota do solo é responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, podendo ter influência na transformação da matéria orgânica. Essa atividade biológica no solo é caracterizada pelos processos ecossistêmicos que são sustentados pelas atividades microbianas (DAY, 1997). Deste modo, identificar o mecanismo pelo qual as comunidades microbianas são

provocadas e sustentadas no solo é essencial para a compreensão de suas funções biológicas (XUN et al., 2015).

Figura 3. Atividade enzimática FDA inicial (A) e FDA final (B) em solo submetidos a tratamentos com diferentes doses de lodo da indústria de laticínios, analisado pelo teste de regressão.



Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al., (1995), na qual avaliaram a aplicação do lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero, obtendo maiores incrementos aos teores de matéria orgânica no solo, com a adição das maiores doses de lodo.

Joniec (2019), estudou o crescimento da atividade microbiana sob a aplicação do lodo em solo contaminado com enxofre. O aumento nas atividades microbiológicas foi evidente no solo tratado com lodo de esgoto aplicado separadamente ou em combinação com outros resíduos.

Na Tabela 3, foi possível observar diferenças significativas para a FDA inicial e final em comparação com as testemunhas adicionais (PKL inicial 39,05 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo) e (PKL final 26979,59 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo). Para a FDA Inicial as doses 100% (15712,79 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo), 150% (11836,79 - $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo) e 200% (67776,29 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo) apresentaram médias superiores. Em relação a FDA final verificou-se atividades inferiores para as doses 0% (3131,70 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo), 50% (8220,34 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo), 100% (9392,86 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo) e 150% - $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo). Obtendo-se maior atividade para a dose 200%.

Como exposto as doses com lodo proporcionaram resultados satisfatórios quando utilizado como complemento mineral, contribuindo com o aumento da atividade microbiana do solo.

Tabela 3. Atividade microbiana enzimática do solo, adubado com lodo de laticínios e PKL.

TRAT (%)	FDA inicial $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo	FDA final $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo
PKL	39,05	26979,59
0	191,57ns	3131,70*
50	2837,30ns	8220,34*
100	15712,79*	9392,86*
150	11836,79*	14689,27*
200	67776,29*	28300,09ns

*Significativo à testemunha PKL, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; ns Não significativo.

Em pesquisa realizada por Lloret et al., (2016), a adubação com lodo proporcionou aumento para a atividade microbiota do solo e modificações de caráter positivo nas propriedades químicas do solo. Tendo como resposta melhorias para a atividade microbiana do solo, crescimento e desempenho das plantas.

Conforme Heal e Mcclean (1975), o sistema de funcionamento rotacional da matéria orgânica, são descritos pela atividade microbiana total. A disposição de lodo ao

solo pode ocasionar alterações no sistema agrícola, o comportamento mais hábil a interações é a comunidade microbiana, com isso, pode ser utilizada como indicadora da qualidade dos solos (DICK, 1994; GILLER et al., 1998).

Em relação a segunda testemunha adicional NPK - FDA inicial (185,80 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo) e NPK – FDA final (18121,58 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo), conforme tabela 4 apresentaram diferenças significativas. As doses da FDA inicial 0% (191,57 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo) e 50 % (2837,30 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo) obtiveram valores de médias inferiores. Já a FDA final obteve média superior com a dose 150% (14689,27 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo).

Em média o tratamento 200% expressou maior atividade microbiana. Conforme os autores Siebielec et al., (2018), ressaltaram que quando o lodo possui padrões de qualidade para aplicação na agricultura, estimulam a atividade microbiana mesmo quando aplicados em altas doses, essa afirmação corrobora como os resultados desta pesquisa.

Tabela 4. Atividade microbiana enzimática do solo, adubado com resíduo de laticínios e NPK.

TRAT (%) NPK	FDA I $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo 185,80	FDA F $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo 18121,58
0	191,57*	3131,70 ^{ns}
50	2837,30*	8220,34 ^{ns}
100	15712,79 ^{ns}	9392,86 ^{ns}
150	11836,79 ^{ns}	14689,27*
200	67776,29 ^{ns}	28300,09 ^{ns}

*Significativo à testemunha PKL, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade;
ns Não significativo

Resultados semelhantes foram encontrados por Trannin et al., (2007), ao avaliarem a resposta à aplicação de lodo industrial no cultivo de milho, a FDA apresentou maior atividade nos tratamentos com adição de lodo em comparação com a adubação mineral. Chun-xi Li et al., (2018) avaliaram um experimento de fertilização a longo prazo. Com as seguintes aplicações: fertilizante (NPK) e três tratamentos de fertilização orgânica. Os tratamentos com fertilização orgânica aumentaram a atividade microbiana do solo.

De modo geral, as crescentes doses de lodo proporcionaram aumento a atividade microbiana. Esse resultado pode ser explicado por Drake et al. (2018), ressaltaram que o uso de resíduos orgânicos ao solo, disponibilizam alguns benefícios como: o aumento da matéria orgânica e maior biomassa microbiana. Em acordo com Water, (2010) o uso do lodo industrial na agricultura pode ser considerado como um método alternativo de sua eliminação e reciclagem de matéria orgânica e nutrientes. Por tanto, o comportamento da população microbiana depende da qualidade e da quantidade dos resíduos aplicados ao solo.

4.2 Características bioquímicas

As plantas são expostas a vários fatores abióticos e bióticos, ou seja, suscetíveis a diversos estresses ambientais afetando de forma negativa seu metabolismo e produção (VASCONCELOS et al., 2005). A resposta a esses fatores pode ser avaliada pelas enzimas do estresse oxidativo tais como CAT, APX e SOD (BARBOSA et al., 2010).

A atividade enzimática das folhas do sorgo encontra-se nas tabelas 5 e 6, verificou-se resultados não significativos para as enzimas CAT e APX sob as testemunhas adicionais PKL e NPK. Este resultado pode ser explicado por Mitler, (2002), as adaptações fisiológicas das plantas C4, podem reduzir as espécies reativas de oxigênio. Isso implica na estabilidade da atividade para todos os tratamentos. Conforme Magalhães et al., (2010), o sorgo é uma planta caracterizada como planta C4, portanto possuem fotorrespiração reduzida (WILLEKENS et al., 1995).

Enquanto para a enzima SOD o tratamento 0% diferiu estatisticamente com atividade média superior a $11,3076 \text{ U.A min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ sob a testemunha adicional (PKL - $5,1142 \text{ U.A min}^{-1} \text{ g}^{-1}$), porém quando comparado com (NPK - $11,8700 \text{ U.A min}^{-1} \text{ g}^{-1}$) observou-se média inferior. Em estudos realizados pelos autores Balakhnina e Borkowska, (2013) confirmam que plantas vulneráveis a estresses apresentaram elevados valores para a atividade enzimática da SOD, em resposta ao aumento de radicais livres no interior das células.

Esses elevados valores das atividades das enzimas são ocasionados pela geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), que causam danos oxidativos as plantas (SHIGEOKA et al., 2002). Isso implica que os tratamentos que apresentaram atividades elevadas (Tabelas 5 e 6), estão suscetíveis a presença de estresse oxidativo, ocasionado pelo aumento do radical superóxido.

Tabela 5. Atividade da catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato de peroxidase (APX) em folha de sorgo adubadas com doses de lodo e PKL em casa de vegetação da UFRPE/UAG, 2019.

TRAT (%)	CAT $\mu\text{mol mg}^{-1} \text{prot. min}^{-1}$	SOD U.A $\text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ MF.	APX $\mu\text{mol mg}^{-1} \text{prot. min}^{-1}$
PKL	0,012	5,1142	0,4071
0	0,0066 ^{ns}	11,3076*	0,6259 ^{ns}
50	0,0198 ^{ns}	4,3250 ^{ns}	0,2790 ^{ns}
100	0,0069 ^{ns}	5,0489 ^{ns}	0,3026 ^{ns}
150	0,0113 ^{ns}	5,2266 ^{ns}	0,3150 ^{ns}
200	0,0112 ^{ns}	4,6392 ^{ns}	0,3232 ^{ns}

*Significativo à testemunha PKL, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade;
ns Não significativo

Tabela 6. Atividade da catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato de peroxidase (APX) em folha de sorgo adubadas com doses de lodo e NPK em casa de vegetação da UFRPE/UAG, 2019.

TRAT (%)	CAT $\mu\text{mol mg}^{-1} \text{prot. min}^{-1}$	SOD U.A $\text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ MF.	APX $\mu\text{mol mg}^{-1} \text{prot. min}^{-1}$
NPK	0,0373	11,8700	1,0627
0	0,0066 ^{ns}	11,3076*	0,6259 ^{ns}
50	0,0198 ^{ns}	4,3250 ^{ns}	0,2790 ^{ns}
100	0,0069 ^{ns}	5,0489 ^{ns}	0,3026 ^{ns}
150	0,0113 ^{ns}	5,2266 ^{ns}	0,3150 ^{ns}
200	0,0112 ^{ns}	4,6392 ^{ns}	0,3232 ^{ns}

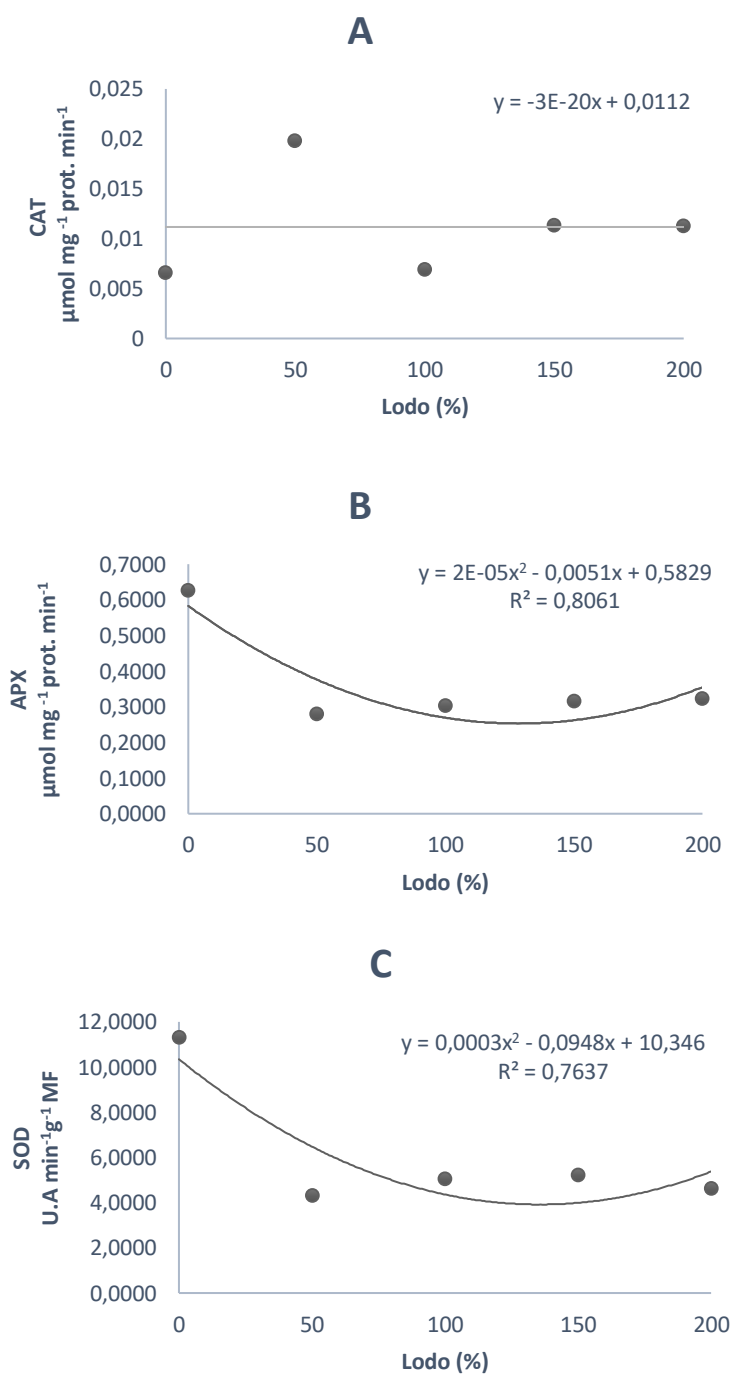
*Significativo à testemunha NPK, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade;
ns Não significativo

Ao submeter os tratamentos com doses de lodo a análise de regressão para avaliar se o uso desse composto ocasionou danos oxidativos as plantas de sorgo, pois conforme Chandrasekhar et al. (2017), a destinação final inadequada de resíduos industriais, urbanos, aplicação excessiva de fertilizantes, ocasionam o acúmulo de metais pesados ao solo, acarretando o aumento das espécies reativas de oxigênio as plantas. Como exemplificado pelos autores Apel e Hirt (2004), é necessário verificar as doses adequadas para aplicação dos fertilizantes oriundos de lodo em plantas.

Na figura 4A, observa-se resultados não significativos para a enzima CAT, as doses 0, 100%, 150% e 200% mantiveram-se estáveis, apenas a dose 50% apresentou maior atividade. Conforme Scandalions (2005), a elevação da atividade da CAT aumenta

de acordo com a quantidade de H_2O_2 dentro das células (GILL e TUTEJA, 2010; WEYDERT e CULLEN, 2010). Isso implica que as maiores doses de lodo não proporcionaram o aumento do H_2O_2 .

Figura 4. Atividade enzimática catalase (A), ascorbato de peroxidase (B) e superóxido dismutase (C) de folhas de sorgo, submetidas a tratamentos com doses de lodo de laticínios.



A atividade das enzimas APX e SOD apresentaram diferença significativa de acordo com a figura 4B e 4C, sendo explicado pelo comportamento quadrático, com aumento sob a dose 0, em relação as doses 100% e 150% permaneceram estáveis e as doses 50% e 200% ocorreu a diminuição da atividade.

Essas enzimas atuam na inibição dos fatores oxidantes, a APX utiliza o ascorbato como um redutor, para catalisar a remoção do H_2O_2 , transferindo elétrons para sua eliminação (AHMAD et al., 2014, MUCHATE et al., 2016, CHIN et al 2019).

A SOD atua na remoção do radical superóxido na qual reduz a dismutação de duas moléculas de ânion superóxido O_2^- em peróxido de hidrogênio H_2O_2 e oxigênio molecular O_2 (YOSHIDA, et al., GILL, et al., 2010; KARUPPANAPANDIAN, et al., 2011). Sendo assim, valores elevados indicam a defesa do estresse oxidativo no tecido da planta (LIMMONGKON et al. 2018).

Portanto, o aumento da atividade para a dose 0% e a testemunha NPK pode ser explicada por Carvalho et al., (2008), afirmam que quando ocorre estresse elevado ou prolongado nas células das plantas, ocorre aumento oxidativo, ou seja, aumento das ERO's, essa produção elevada em resposta ao aumento por algum fator estressante, pode ocasionar a morte celular das plantas (VRANOVA et al., 2002).

Deste modo o aumento da atividade das enzimas ocorre segundo o comportamento das plantas em relação ao seu sistema enzimático antioxidante (CARNEIRO et al., (2011). As enzimas estabelecem um sistema de defesa contra os radicais livres gerados sob variadas condições de estresse, sendo estas responsáveis por minimizar os danos causados pelo estresse oxidativo (PRICE; HENDRY 1991).

Singh et al. (2018), aplicaram efluente industrial têxtil em solos com deficiência nutricional para fornecer nutrientes às plantas, ressaltaram que o uso desse resíduo aumentou a resposta da defesa antioxidante enzimática em (pimentão e trigo).

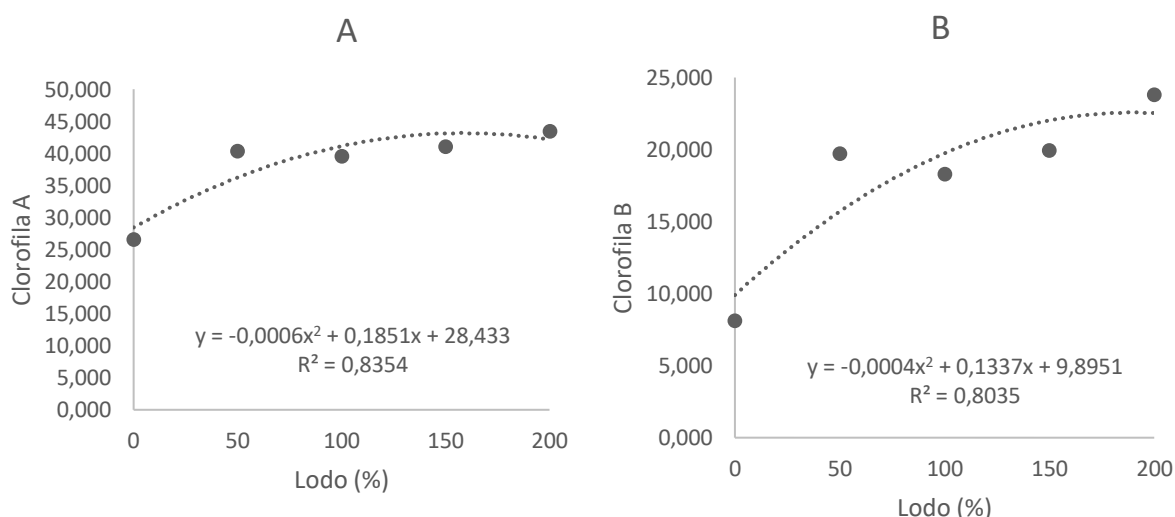
Wyrwicka et al. (2018), afirmam que a aplicação do lodo em plantas cultivadas em solo de baixa qualidade, promove boas condições para o seu desenvolvimento, além disso, ao funcionamento eficiente do sistema antioxidante. Conforme Vasconcelos et al. (2005) as enzimas antioxidantes superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase são eficientes eliminadores das espécies reativas de oxigênio ERO's.

4.3 Características fisiológicas

Os teores referentes a clorofila a e clorofila b apresentaram comportamento quadrático para a análise de regressão dos tratamentos com doses de lodo. Obteve-se maior incremento para a dose 200% com médias de (43,7 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) clorofila a e (23,803 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) clorofila b (Figura 5A e 5B).

A clorofila a existe em todos os sistemas coletores de luz de organismos fotossintéticos já a clorofila b habita substancialmente nos sistemas de antenas periféricas (TAKANA et al., 2019), utilizada com um indicador da fotossíntese sendo adequada para a avaliação dos parâmetros fisiológicos das plantas (ZHOU et al., 2019). Além de descrevendo respostas ao crescimento e o índice fisiológico da fotossíntese (SU et al., 2018).

Figura 5. Variáveis fisiológicas clorofila a (A), clorofila b (B) em sorgo, submetidas a tratamentos com doses de resíduo de laticínios. Analisado pelo teste de regressão.



Os teores de clorofila a e b (Tabelas 7 e 8) apresentaram significância quando comparados os tratamentos referentes às doses de lodo de laticínios com as testemunhas adicionais contendo PKL e NPK. As maiores médias foram encontradas para os tratamentos 150% - clorofila a (41,008 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$); clorofila b (19,958 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) e 200% - clorofila a (43,470 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$); clorofila b (23,803 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) em comparação as testemunhas adicionais PKL e NPK. Isso implica que a adição do lodo proporcionou resultados eficazes quanto a elevação do teor de clorofila.

Estudos realizados utilizando resíduos orgânicos para fins agrícolas corroboram com os resultados dessa pesquisa. Su et al. (2018), avaliaram a espécie de *Juncus L.*, sob

irrigação com diferentes concentrações de efluentes de fábrica de papel. Encontraram aumento no teor de clorofila e taxa fotossintética, devido ao aumento das concentrações do efluente. Freire et al. (2013), avaliou os teores de clorofila do maracujazeiro irrigado com biofertilizante bovino, na qual foi possível observar que com altas doses do biofertilizante houve aumento nos teores de clorofila a e b.

Na tabela 7 e 8, observa-se as variáveis fisiológicas em comparação com as testemunhas adicionais PKL e NPK. A taxa fotossintética, taxa de transpiração e condutância estomática não apresentaram diferença significativa. Obteve-se maiores médias para a taxa fotossintética (Tabela 7) sob os tratamentos 50% - $24,711 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 100% - $16,152 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em comparação ao (PKL - $16,110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Resultados semelhantes foram encontrados pelos autores Yan et al. (2008) e Mata-González et al. (2002), relataram que as maiores doses proporcionaram diminuição da taxa fotossintética, atribuíram esse fato ao aumento do déficit hídrico. Como as plantas que receberam maiores doses de lodo proporcionaram maior biomassa vegetal, conseqüentemente necessitou-se maior demanda de água.

Conforme Larcher (2000), nos solos sem deficiência mineral, o auxílio de nutrientes não afeta tanto as taxas fotossintéticas quanto as condições climáticas. Entretanto em comparação ao NPK - $9,822 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabela 8), todas doses com lodo foram superiores. Este resultado pode ser explicado por Kibria et al., (2017), ressalta que a geração de espécies reativas de oxigênio, ocasionada pelo estresse podem alterar o equilíbrio dos processos celulares, resultando em danos oxidativos, como a redução da taxa fotossintética.

Um outro fator que deve ser avaliado é a nutrição da planta, mantendo-se o balanço nutricional apropriado, pode-se manter a capacidade fotossintética em equilíbrio (TAIZ e ZEIGER, 2004), avaliar a caracterização fisiológica em condições normais e com estresse são necessários para melhorar a produtividade das culturas (SUDHAKAR et al., 2016).

Larcher (2000) afirma que plantas do ciclo C4, possuem capacidade fotossintética elevada. O sorgo é caracterizado como planta C4, com altas taxas fotossintéticas, possuindo tolerância ao déficit hídrico (MAGALHÃES et al., 2003). Isso explica a diferença não significativa encontradas neste estudo.

Tabela 7. Taxa fotossintética, condutância estomática, teores de clorofila A, teores clorofila B em folha de sorgo adubadas com doses de lodo de laticínios e PKL.

Tratamento	Taxa fotossintética	Taxa de transpiração	Condutância estomática	Clorofila a	Clorofila b
(%)	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{g.cm}^{-2}$	$\mu\text{g.cm}^{-2}$
PKL	16,110	3,665	0,112	40,900	19,125
0	11,271 ^{ns}	3,212 ^{ns}	0,112 ^{ns}	26,613*	8,138*
50	24,711 ^{ns}	3,725 ^{ns}	0,117 ^{ns}	40,392 ^{ns}	19,700 ^{ns}
100	16,152 ^{ns}	3,396 ^{ns}	0,151 ^{ns}	39,575 ^{ns}	18,283 ^{ns}
150	10,504 ^{ns}	2,958 ^{ns}	0,063 ^{ns}	41,008 ^{ns}	19,958 ^{ns}
200	12,200 ^{ns}	3,343 ^{ns}	0,080 ^{ns}	43,470 ^{ns}	23,803*

* Significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade;

^{ns} Não significativo.

Sundhakar et al. (2016) ressaltaram que a fotossíntese é regulada pelo controle da área foliar e condutância estomática. A condutância estomática está relacionada com a abertura dos estômatos (SILVEIRA et al., 2013). Os estômatos funcionam como um controlador ao transporte de água e dióxido de carbono entre as folhas e a atmosfera (BUCKLEY e MOTT, 2013).

Para que ocorra maiores teores de fotossíntese, é de extrema necessidade a ocorrência de alta condutância estomática para permitir um aumento na fixação de CO_2 por unidade de área foliar (MOURA et al., 2018). Nas tabelas 7 e 8, observou-se para a condutância estomática maiores taxas para os tratamentos 50% - 0,117 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 100% - 0,151 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em relação as testemunhas adicionais PKL - 0,112 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e NPK - 0,095 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Quando ocorre a menor abertura estomática, logo reduz-se as perdas de água por transpiração através dos estômatos (WALTER, et al., 2015). O potencial hídrico da folha determina o fechamento dos estômatos quando ocorre a diminuição de água (TORRES, 2003).

A variável taxa de transpiração obteve maior média para o tratamento 50% - 3,725 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em comparação a PKL - 3,665 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabela 7). Na tabela 8, o NPK - 3,423 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ apresentou média superior aos tratamentos 0%, 100%, 150% e 200%. Conforme Xin et al., (2009) as plantas que apresentam taxa de transpiração alta, requer maior fluxo de água do solo para suprir sua necessidade.

Como as variáveis taxa fotossintética, taxa de transpiração e condutância estomática não apresentaram diferença significativa. Isso implica que as variáveis fisiológicas não foram afetadas pelas diferentes doses de lodo de laticínios. Outro fato que deve ser ressaltado que os tratamentos receberam a mesma condição de irrigação e o sorgo é uma cultura adaptável a ambiente semiáridos.

Tabela 8. Taxa fotossintética, condutância estomática, teores de clorofila A, teores clorofila B em folha de sorgo adubadas com doses de lodo de laticínios e NPK.

Tratamento	Taxa fotossintética (%) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Taxa de transpiração $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Condutância estomática $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Clorofila a $\mu\text{g.cm}^{-2}$	Clorofila b $\mu\text{g.cm}^{-2}$
NPK	9,822	3,423	0,095	30,17	8,56
0	11,271 ^{ns}	3,212 ^{ns}	0,112 ^{ns}	26,613 ^{ns}	8,138 ^{ns}
50	24,711 ^{ns}	3,725 ^{ns}	0,117 ^{ns}	40,392 [*]	19,700 [*]
100	16,152 ^{ns}	3,396 ^{ns}	0,151 ^{ns}	39,575 [*]	18,283 [*]
150	10,504 ^{ns}	2,958 ^{ns}	0,063 ^{ns}	41,008 [*]	19,958 [*]
200	12,200 ^{ns}	3,343 ^{ns}	0,080 ^{ns}	43,470 [*]	23,803 [*]

* Significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade;

^{ns} Não significativo.

4.4 Nitrogênio e carbono

O nitrogênio da folha (Tabela 9) apresentou diferença significativa para as doses 0% (1,503%) e 150% (2,528%) com médias inferiores a testemunha adicional PKL – 2,760%. Entretanto o nitrogênio da panícula para a dose 150% foi superior a testemunha com a média 3,300%. Conforme Boudjabi et al. (2019), o uso do lodo vem sendo utilizado para suprir a necessidade de nitrogênio nas culturas. Sendo uma alternativa eficaz proporcionando o aumento de nitrogênio nos tecidos vegetais, tendo como finalidade sustentar a integridade celular da planta e seu crescimento aéreo.

Em relação ao carbono da folha obteve-se diferença significativa apenas para a dose 150% apresentando média superior a testemunha PKL com o valor de 54,603%. O nitrogênio e carbono são os nutrientes que constituem a biomassa das plantas. Pressuposto a isso, a adição das doses de lodo proporcionou aumento para o N e C da folha e N da panícula, assim como seu uso foi eficiente quando utilizado como complemento mineral. O C é absorvido pela atmosfera durante a fotossíntese. A planta captura o C atmosférico e o incorpora as células das plantas (Lal, 2008; O'BRIEN, 1995).

Tabela 9. Nitrogênio da folha, nitrogênio da panícula, carbono da folha, adubadas com doses de lodo de laticínios e PKL.

Tratamento	N folha	N panícula	C folha
(%)	(%)	(%)	(%)
PKL	2,760	3,160	51,000
0	1,503*	2,550*	52,590 ^{ns}
50	2,643 ^{ns}	3,000*	52,396 ^{ns}
100	2,613 ^{ns}	3,030*	52,859 ^{ns}
150	2,528*	3,300*	54,603*
200	2,645 ^{ns}	2,770*	53,560 ^{ns}

* Significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade;

^{ns} Não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 10, as variáveis nitrogênio da folha e nitrogênio da panícula apresentaram diferença significativa quando comparados com NPK, obtendo-se médias superiores para as doses 50%, 100%, 150% e 200%.

O carbono da folha não apresentou diferença significativa. Deste modo as crescentes doses de lodo proporcionaram resultados eficazes quando em comparação com NPK, podendo ocorrer a substituição da adubação mineral pela a adição do lodo.

Tabela 10. Nitrogênio da folha, nitrogênio da panícula, carbono da folha, adubadas com doses de resíduo de laticínios e NPK.

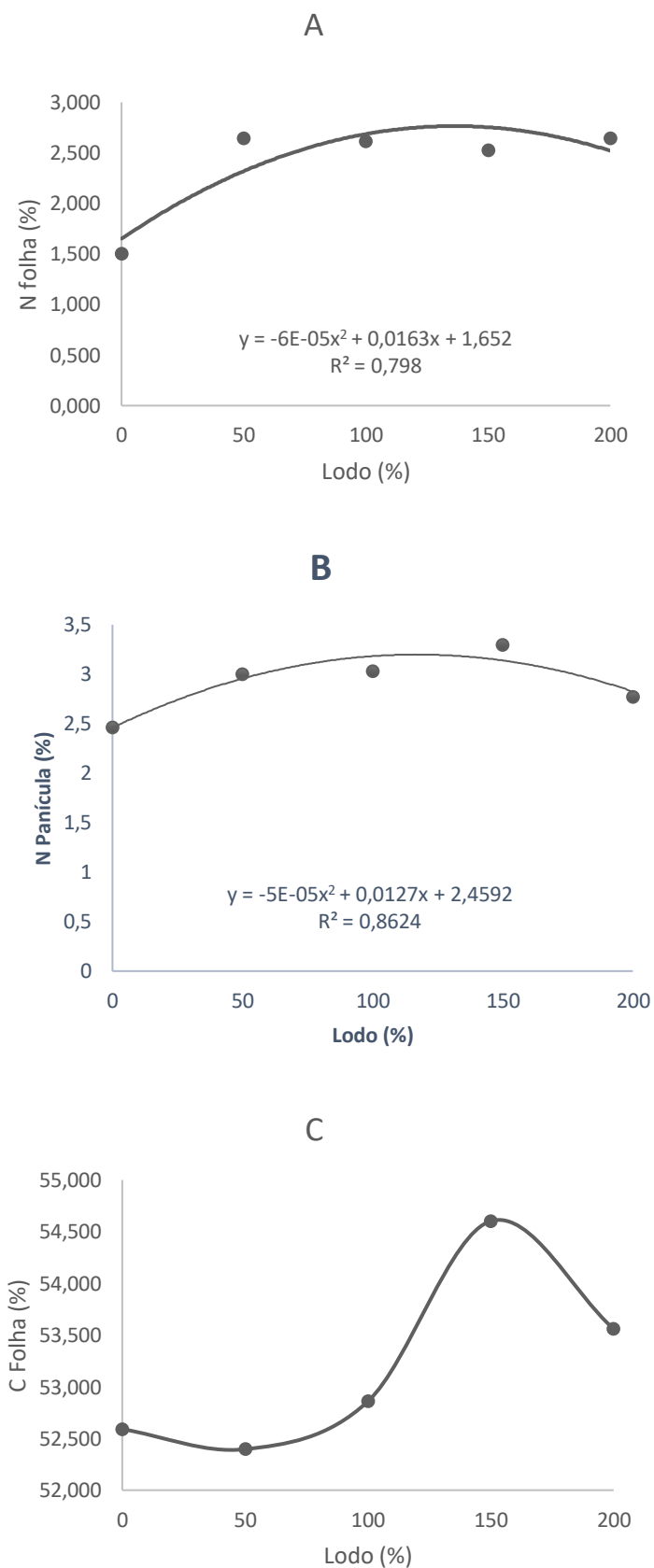
Tratamento	N folha	N panícula	C folha
(%)	(%)	(%)	(%)
NPK	2,090	2,550	51,800
0	1,503*	2,463*	52,590 ^{ns}
50	2,643*	3,000*	52,396 ^{ns}
100	2,613*	3,030*	52,859 ^{ns}
150	2,528*	3,300*	54,603 ^{ns}
200	2,645*	2,770*	53,560 ^{ns}

* Significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade;

^{ns} Não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade.

Ao submeter a análise de regressão o nitrogênio da folha e panícula apresentaram comportamento quadrático (Figuras 6A e 6B), com maiores incrementos para as crescentes doses com lodo. Enquanto o carbono não se adequou ao teste de regressão (Figura 6C).

Figura 6. Nitrogênio da folha (A), Nitrogênio da panícula (B), Carbono da folha (c) submetidas a tratamentos com doses de resíduo de laticínios. Analisado pelo teste de regressão.



Resultados semelhantes foram encontrados por Junio et al., (2013), eles avaliaram a produtividade do milho adubado com lodo, obteve maiores teores de nitrogênio nas folhas com a adição da maior dose de lodo.

Melo, et al., (2018) avaliaram a concentração de nitrogênio nos grãos de milho, obtendo maior aumento com a dose de lodo, melhorando sua qualidade protéica. Lira (2006), avaliou o uso do lodo e fertilização mineral para o cultivo de Eucalipto, obtendo maiores incrementos de carbono na folha com as maiores doses de lodo em combinação com K mineral.

Os menores valores encontrados na dose 0%, pode ser explicado pela ocorrência de estresse, que ocasiona o desequilíbrio entre a produção e a eliminação de espécies reativas de oxigênio, diminuindo a fixação de nitrogênio pela planta. (BECANA et al., 2010).

4.5 Diâmetro, altura, e massa seca do sorgo

O efeito das doses de lodo no diâmetro da planta estatisticamente não apresentou diferença significativa. Entretanto observou-se diferença significativa para a variável altura sobre a dose 0%, apresentando média inferior 0,655cm a testemunha adicional. (Tabela 11).

Tabela 11. Diâmetro, altura, massa seca, em folha de sorgo adubadas com doses de lodo de laticínios e PKL.

Tratamento (%)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa seca (g)
PKL	16,097	0,864	151,250
0	14,085 ^{ns}	0,655 [*]	41,775 [*]
50	16,536 ^{ns}	0,876 ^{ns}	130,000 ^{ns}
100	17,096 ^{ns}	0,861 ^{ns}	146,250 ^{ns}
150	19,284 ^{ns}	0,836 ^{ns}	177,500 ^{ns}
200	20,378 ^{ns}	0,845 ^{ns}	226,250 ^{ns}

* Significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade;

^{ns} Não significativo.

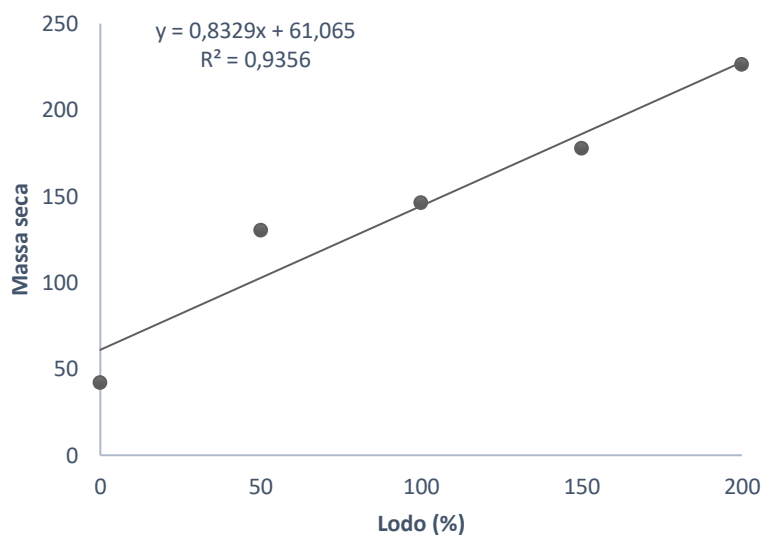
A variável diâmetro do caule possui característica importante, pois proporciona avaliar a resistência da planta. Guimarães et al. (2009), ressaltam que quanto maior o seu

valor, maior o vigor e resistência da planta. Assim como, a variável altura avalia a boa correlação com a produção de massa seca conforme Neto et. al. (2010).

A massa seca apresentou diferença significativa, a média do PKL foi superior a testemunha controle dose 0. As doses 150% - 177,500 g e 200% - 226,250 g apresentaram maiores médias (tabela 11). Logo, as crescentes doses de lodo e a testemunha PKL que receberam a complementação com lodo proporcionaram respostas satisfatórias.

Ao submeter os dados correspondentes a massa seca aos tratamentos com doses de lodo a análise de regressão apresentou comportamento linear (figura 7). Foi possível observar que as crescentes doses de lodo contribuíram com os maiores incrementos para a massa seca.

Figura 7. Massa seca da planta de sorgo, adubadas com lodo de laticínios.



Os autores Oliveira et. al. (1995) explicam que quando ocorre a decomposição do lodo ao solo, libera-se nutrientes as plantas, pressuposto a isso contribuindo para a produção da planta. Silva e Mota (2003) ressaltaram que a cultura do sorgo obteve aumento da massa seca em decorrência da utilização de um fertilizante organomineral com 50% de lodo de esgoto.

Santos et al. (2016) avaliaram a aplicação do resíduo de laticínios, no capim Mombaça promovendo acréscimo no acúmulo de massa seca total, pelo incremento dos componentes lâmina foliar e de colmos.

Oliveira et. al. (1995), verificaram aumento na massa seca do sorgo granífero quando adubado com lodo. Silva et al. (2011) avaliaram o efeito da aplicação do soro de leite e adubação obteve resultados satisfatórios para a formação de biomassa.

Na Tabela 12, foi possível observar as variáveis diâmetro e altura da planta apresentaram diferenças significativas, para o diâmetro a dose 200% apresentou maior média em relação ao NPK. As doses 50%, 100% e 150% apresentaram maiores valores em comparação a testemunha adicional NPK.

As crescentes doses de lodo, apresentaram maiores incrementos para a variável altura. Sendo superior ao NPK. Isso implica que a adubação mineral da cultura poderá ser substituída pela adição do lodo.

Tabela 12 Diâmetro e altura, em plantas de sorgo adubadas com doses de lodo de laticínios e NPK.

Tratamento (%)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)
NPK	14,085	0,655
0	13,472 ^{ns}	0,554 ^{ns}
50	16,536 ^{ns}	0,876*
100	17,096 ^{ns}	0,861*
150	19,284 ^{ns}	0,836*
200	20,378*	0,845*

* Significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade;

^{ns} Não significativo.

Resultados semelhantes corroboram com esse estudo, na pesquisa dos autores Nascimento et. al. (2011) que avaliaram as características biométricas da mamona, foi possível observar que com o incremento das doses de lodo de esgoto aplicadas ao solo houve aumento na altura e diâmetro.

A dose 0% sem adição do lodo tanto para altura e diâmetro apresentaram valores inferiores ao NPK (Tabela 12). Resultando semelhante aos autores Chiaradia et. al. (2009), avaliaram o efeito da aplicação do lodo em mamona, encontraram valores menores para a altura no tratamento sem lodo e maior para o NPK.

O efeito positivo da adubação com lodo de esgoto sobre culturas tem sido destacado na literatura por diversos autores. Cunningham et al. (1975) relataram que o

lodo de esgoto liberou N, P e K ao solo, tendo como resposta o aumento do rendimento de grãos de milho (*Zea mays L.*).

Freitas et. al. (2012) analisando o crescimento do girassol sob doses de nitrogênios e tipos de água de irrigação como esgoto doméstico tratado e água de poço, observaram médias superiores em relação aos parâmetros biométricos (altura e diâmetro) quando irrigados com esgoto doméstico.

5. CONCLUSÕES

As crescentes doses de lodo e a testemunha PKL proporcionou aumento na atividade microbiana do solo;

Os tratamentos 0% e NPK apresentaram maior elevação na atividade da enzima SOD, estando suscetíveis a presença de estresse oxidativo, ocasionado pelo aumento do radical superóxido;

As variáveis taxa fotossintética, taxa de transpiração e condutância estomática não apresentaram diferenças significativas, quando adubadas com diferentes doses do lodo de laticínios;

As crescentes doses de lodo proporcionaram maiores incrementos para clorofila a e b;

A adição das doses de lodo proporcionou aumento para o N e C da folha e N da panícula, assim como, seu uso foi eficiente quando utilizado como complemento mineral;

As crescentes doses de lodo proporcionaram maiores médias para a variável diâmetro, sendo similar ao NPK. A altura das plantas apresentou maiores médias em comparação com NPK e dose 0%.

As crescentes doses de lodo contribuíram com os maiores incrementos para a massa seca.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Procedimento. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Rio de Janeiro, BR, 1987. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.897-Planejamento-de-amostras.pdf>.

ABOUZARI, A., FAKHERI, B.A. Reactive oxygen species: generation, oxidative damage and signal transduction. **International Journal of Life Sciences**, v. 5, p. 3–17, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279204294>.

ADAM, G.; DUNCAN, H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, n 33, p. 943 – 951, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00244-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00244-3).

AFÁZ, D.C.S., BERTOLAZI, K.B., VIANI, R.A.G. & SOUZA, C.F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n 1, p. 1-12, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1965>.

AHMAD, P.; SHARMA, I. Catalase: A versatile antioxidant in plants. **Oxidative damage to plants**, p. 131-148, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799963-0.00004-6>.

ALMEIDA FILHO, E. L.; TARDIN, D. F.; SOUZA, A.; GODINHO, C. P. V.; CARDOSO, C. M. Desempenho agrônômico e estabilidade fenotípica de híbrido de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.1, p. 51-64, 2010. ISSN 1980-6477. Disponível em: <http://www.abms.org.br>.

ALVES, O. F. S. E.; LEITE, M. L. M. V.; AZEVEDO, J. M.; SILVA, J. P. S. S.; NASCIMENTO, G. F.; SIMPLÍCIO, J. B. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de Pernambuco. **Ciência Agrícola**, v.14, n. 1, p. 29-36, 2016. Disponível em: <https://seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola>.

ANDRADE, A.R.S. PAIXÃO, F. J. R.; AZEVEDO, C. A. V.; GOUVEIA, J. P. G.; JÚNIOR, J. A. S. Estudo do comportamento de períodos secos e chuvosos no município Garanhuns, PE, para fins de planejamento agrícola. **Pesquisa Aplicada e**

Agrotecnologica, v. 1, p. 55 - 61, 2008. ISSN: 1983-6325. Disponível em: <http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/viewFile/6/5>.

ARUNA, C.; CHERUKU, D. Cap. 10: Melhoramento Genético do Sorgo Grão.

Woodhead publishing series em ciência, tecnologia e nutrição de alimentos, p. 57 - 173, 2019. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livrorg/sorgo.pdf>.

BAI, Y.; ZANG, C.; GU, M.; SHAO, H.; GUAN, Y.; WANG, X.; ZHOU, X.; SHAN, Y.; FENG, K. Sewage sludge as an initial fertility driver for rapid improvement of mudflat salt-soils. **Science of the Total Environment**, vol. 578, p. 1 - 9, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.083>.

BALAKHNINA, T.; BORKOWSKA, A. Effects of silicon on plant resistance to environmental stress: review. **International Agrophysics**, v. 27, p. 225-232, 2013. Disponível em: <http://www.ejfa.me/index.php/journal>.

BARBOSA, K. B. R.; COSTA, N. M. B.; ALFENAS, R. C. G.; OLIVEIRA DE PAULA, S.; MINIM, V. P. R.; BRESSAN, J. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.4, p. 629-643, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-52732010000400013>.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. de A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n 3, p.453-460, 2014. ISSN: 0103-8478. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/331/33130091011.pdf>.

BEAUCHAMP, C. E FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: Improved assay applicable to acrylamide gels. **Anal Biochem**, v. 44, n 1, p. 276–287. 1971. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8).

BECANA, M., MATAMOROS, M.A., UDVARDI, M., DALTON, D.A. Recent insights into antioxidant defenses of legume root nodules. **New phytologist**, v. 188, n 4, p. 960-976, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03512.x>.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura. **Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, p. 11, 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/14947/lodo-de-esgoto>.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M. Management of agricultural use of sewage sludge: case study of Paraná state, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 1129-1139, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/recycling3040053>.

BOUDJABI, S.; KRIBAA, M. CHENCHOUNI, H. Sewage sludge fertilization alleviates drought stress and improves physiological adaptation and yield performances in Drun Wheat (*Triticum durum*): A double – edged sword. *Journal of King Saud University Science*, v. 31, n. 3, p. 336 – 344, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.12.012>.

BRASIL. Resolução Conama nº 375. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, 2016. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-3752--006_103464.html.

BRUNIUS, G. Technical aspects of 3060 diacetyl fluorescein for vital fluorescent staining of bacteria. **Current Biology**, v. 4, p. 321 - 323, 1980. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.009>.

BUCKLEY, T. N.; MOTT, K. A.; FARQUHAR, G. D. A hydromechanical and biochemical model of stomatal conductance. **Plant, cell & environmet**, v. 26, p. 1767-1785, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01094.x>.

CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. V.; TEIXEIRA, S. B.; SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n 4, p. 752 - 761, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v33n4/17.pdf>.

CEYLAN, H.A., TURKAN, I., SEKMEN, A. H. Effect of coronatine on antioxidant enzyme response of chickpea roots to combination of PEG-induced osmotic stress and heat stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, p. 72 – 82, 2013. Disponível em: <http://doi.org/10.1007/s00344-012-9277-5>.

CHANDRASEKHAR, C.; RAY, J. G. Copper accumulation, localization and antioxidante response in *Eclipta alba* L. in relation to quantitative variation of the metal in soil. **Acta Physiol. Plant**, p. 39, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.1007/s11738-017-2508-4>.

CHEN, W., HOITINIK, A.J., SCHMITTHENNER, A.F., TOUVINEN, O.H. The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Phytopathology**, v. 78, n 3, p 314 - 322, 1988. Disponível em: <http://doi.org/10.1094/Phyto-78-314>.

CHIARADIA, J. J.; CHIBA, M; K.; ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C. LAVORENTI, A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 33 n. 3, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000300022>.

CHIN, D.; KUMAR, R. S.; SUEN, C.; XUHAN, X.; LAI, Z. X.; YEH, K. Plant Cytosolic Ascorbate Peroxidase with Dual Catalytic Activity Modulates Abiotic Stress Tolerances. **Isience**, v. 16, p. 31 - 49, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isci.2019.05.014>.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira.** SAFRA 2018/19- n. 6 – levantamento junho 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.

CUNNINGHAM, I. D.; KEENEY, D. J. A. Yield and metal composition of corn and rye grown on sewage sludge amended soil. **Journal of Environmental Quality**, v.4, p 448 - 454, 1975. Disponível em: <http://dx.doi.org/doi:10.2134/jeq1975.004724250004000005x>. p 448–454, 1975.

DAY, A. D. & TUCKER, T. C. Effects of treated municipal waste water on growth, fiber, protein, and amino acid content of sorghum grain. **Journal of Environmental Quality**, v. 6, p. 325-327, 1977. Disponível em: <https://scialert.net/abstract/?doi=ajps.2009.489.494>.

DAYT, A. D.; THOMPSON, R. K.; SWINGLET, R. S.; Sewage sludge as fertilizer for wheat forage in an arid environment. **Journal of Arid Environments**, v. 15, p. 209-214, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)30994-7](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)30994-7).

DICK, R.P. Soil enzyme assays as indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.L.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, p.107-124, 1994. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.915>.

DRAKE, J. A.; PATTI, A. F.; WHAN, K. A.; JACKSON, W. R.; CAVAGNARO, T. R. Can we maintain productivity on broad acre dairy farms during early transition from

mineral to compost fertilization? Agriculture. **Ecosystems and Environmen**, v. 257, p. 12-19, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.022>.

DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfi eld: **Science Publishers**. Chap.9, p.178-203, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781439854082-10>.

EMBRAPA. Sistemas de produção: cultivo do sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 4 ed., 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/491913/4/plantio.pdf>.

EPA. **Environmental Protection Agency** - Environmental Regulations and Technology – Sludge treatment and disposal: Management approaches and Experiences, p. 53, 1997. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-625-r-92-013.pdf>.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. Revista Ciência Agrônômica, v. 48, n. 1, p. 22 - 31, 2017. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/4183/1489>.

FERREIRA, V. M.; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; PURCINO, A. A. C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural**, v.32, n.1. Santa Maria, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000100003>.

FOYER, C. H.; HARBINSON, J. Oxygen metabolism and the regulation of photosynthetic electron transport, in Causes of Photooxidative Stresses and Amelioration of Defense Systems in Plants. C. H. Foyer and P. **Mullineaux**, **CRC Press**, Boca Raton, Fla, USA, p. 1 - 42, 1994. Disponível em: <https://www.scirp.org>.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, R.; REBEQUI, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36 n. 1, 2013. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871018X20130001000.

FREITAS, C. A. S.; SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; ANDRADE, R. R.; MOTA, A. F. S. B.; AQUINO, B. F. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes

tipos de água e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.16, n.10, p.1031-1039, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012001000001>.

GIANELLO, C. et al. Viabilidade do uso de resíduos da agroindústria coureiro-calçadista no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.2, p.242-245, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/2011nahead/a859cr1055.pdf>.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p 309-314, 1977. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants **Plant Physiol Biochem**, v. 48, p. 909 – 930, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.

GILLER, K.E.; WITTER, E. & MCGNATH, S.P. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agriculture soils: A review. **Soil Biol. Biochem**, v. 30, n. 10/11, p. 1389-1414, 1998. DOI: 0038-0717(97)00270-8. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00270-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00270-8).

GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Soil Science Plant. Anal.**, v 18, p 1111-1116, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103628709367886>.

GRATÃO, P.L., POLLE, A., LEA, P.J., AZEVEDO, R.A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v. 32, p.481–494, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/FP05016>.

GUIMARÃES, A. S. et al. Fontes e doses crescentes de adubos orgânicos e mineral no crescimento inicial de pinhão manso. **Mens agitat**, Boa Vista, v. 04, n. 1, p. 17-22, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php>.

GUIMARÃES, I. R.; GUILHERME, L. R. G. Combining biochar and sewage sludge for immobilization of heavy metals in mining soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 172, p. 326 - 333, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.110>.

GUPTA, S. K., SHARMA, M., DEEBA, F., PANDEY, V. Role of Reactive Oxygen Species in Photophosphorylation and Damage to D1 Protein: Past and Present. **Reactive**

Oxygen Species in Plants: Boon Or Bane-Revisiting the Role of ROS, p. 165, 2017.

Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119324928.ch9>.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and development characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiologic**, v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>.

HOLLER, S.; MEYER, A.; FREI, M. Zinc deficiency differentially affects redox homeostasis of rice genotypes contrasting in ascorbate level. **J. Plant Physiol.** 171 (18), 1748–1756, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.110>.

HUANG, Rui-dong. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, p. 739–746, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61728-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61728-3).

IMPA, S.M.; PERUMAL, I. R.; BEAN, S. R. SUNOJ, J. V. S.; JGADISHI, K. S.V. Water deficit and heat stress induced alterations in grain physico-chemical characteristics and micronutrient composition in field grown grain sorghum. **Journal of Cereal Science**, v. 86, p. 124-131, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.01>.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 5, p. 415-471, 1981. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19820787384>.

JIANG, Y., HUANG, B. Drought and heat stress injury to two cool season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. **Crop Science**, v. 41, p. 436 – 442, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x>.

JONIEC, J. Indication of microbial activity in the assessment of soil condition subjected to several years of reclamation. **Ecological indicators**, v. 98, p. 686-693. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.055>.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; LIMA, N. N.; FERNADES, L. A. Crescimento inicial de mamoneira adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 157 - 163, 2011. ISSN 0100-316X. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2029>.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de lodo

de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n. 7, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000700003>.

KARUPPANAPANDIAN, T.; LUA, J. C.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction and elimination mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v 5, p. 709, 2011, ISSN:1835-2707. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/225029206>.

KIBRIA, M.G., HOSSAIN, M., MURATA, Y., HOQUE, M.A. Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. **Rice Science**. 24, 155–162, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.05.001>.

KOŁODZIEJ, B.; ANTONKIEWICZ, J. STACHYRA, M. BIELYNCA, E.; WISNIEWSKI, J.; LUCHOWSKA, K.; KWIATKOWSKI, C. Use of sewage sludge in bioenergy production – A case study on the effects on sorghum biomass production. **European Journal of Agronomy**, 69, p. 63–74, 2005. ISSN: 1161-0301. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900110978>.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transaction of the Royal Society B**, v 363, p 815 – 830, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185>.

LAL, R. The Role of Residues Management in Sustainable Agricultural Systems. **Journal of sustainable agriculture**, v 5, p. 51-78, 1995. Disponível em: https://doi.org/10.1300/J064v05n04_06.

LARCHER, W.; PRADO, B. C. H. Ecofisiologia vegetal. São Carlos; **Rima**, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php3122201200030001400015&lng=pt>.

LIMMONGKON, A.; NOPPRANG, P.; CHAIKEANDEE, P.; SOMBOON, T.; WONGSHAYA, P.; PILAISANGSUREE, V. LC-MS/MS profiles and interrelationships between the antiinflammatory activity, total phenolic content and antioxidant potential of Kalasin 2 cultivar peanut sprout crude extract. **Food Chemistry**. v. 239, p. 569–578, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.162>.

LIN, Y.; LIN, H.; ZHANG, S.; CHEN, Y.; CHEN, M.; CHEN, Y. The role of active oxygen metabolism in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan

fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 96, p. 42-48, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.05.001>.

LLORET, E.; PASCUAL, J. A. BRODIE, E. L.; BOUSKILL, N. J.; INSAM, H.; FERNANDEZ-DELGADO, J.; GOBERNA, M. Sewages ludge addition modifies soil microbial communities and plant performance depending on the sludge stabilization process. **Applied soil ecology**, v. 01, p. 37-46, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.01.002>.

MACHADO, E. C.; LAGÔA, A. M. M. A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, p. 141 - 149, 1994. ISSN 1678-4499. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S000687051994000200003&script=sci_abstract&tlng=pt.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Fisiologia da Planta de Sorgo. **Embrapa**, CT. 86, 2003. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/484470/fisiologia-da-planta-de-sorgo>.

MAGALHÃES, R. T.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; RODRIGUES, J. A. S.; FONSECA, J. F. Produção e composição bromatológica de vinte e cinco genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n.3, p.747-751, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352010000300034>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba: Potafos – boletim técnico, p. 319, 3. ed. 1997. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140416/1/2005-001.pdf>.

MANTOVANI, J. R.; CARRERA, M.; LANDGRAF, P. R. C.; MIRANDA, J. M. Soro ácido de leite como fonte de nutrientes para o milho. Revista Brasileira de **Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 324 - 329, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p324-329>.

MARKOV, S.A. Nitrogen cycle. **Earth Science. Water & Atmosphere**, Ipswich, p. 347–350, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11608-2>.

MATA-GONZÁLEZ, R.; SOSEBBE, R. E. WAN, C. Physiological impacts of biosolids application in desert grasses. **Environmental and Experimental Botany**, v 48, p. 139 - 48, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00019-9).

MATTHEWS, P. J. Sewage sludge disposal in the UK: A new challenge for the next twenty years. *Journal of the Institution of Water. Environmental Management*, v. 6, p. 551-559, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1992.tb00790.x>.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P. DONHA, R. M. A. DELARICA, D. L. D. Nitrogen Dynamic in Agricultural Soils Amended With Sewage Sludge. *Soil Management and Climate Change*, p. 189-205, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812128-3.00013-6>.

MITLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Science*, v. 7, p. 405-410, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9)

MITRA, S.; MOBARAK, S. H.; KARMAKAR, A. Activities of antioxidant enzymes in three species of Ludwigia weeds on feeding by Altica cyanea. *Journal of King Saud University – Science*, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.04.008>.

MOLLER, I.M., JENSEN, P.E., HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, v. 58, p. 459–481, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.58.032806.103946>.

MOURA, F. B.; VIEIRA, M. S. R.; SIMÕES, A. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; SOUZA, C. A. V.; Physiological effect of kinetin on the photosynthetic apparatus and antioxidant enzymes activities during production of anthurium. *Horticultural Plant Journal*, 4 vol 5, 182-192, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.04.001>.

MUCHATE, N.S., NIKALJE, G.C., RAJURKAR, N.S., SUPRASANNA, P., NIKAM, T.D. Plant salt stress: adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. *The Botanical Review*, v. 82, n. 4, p. 371-406, 2016. Disponível em: DOI <http://dx.doi.org/10.1007/s12229-016-9173-y>.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, v.22, n.5, p.867-880, 1981. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>.

NASCIMENTO, A. L.; SAMAPIO, R. A.; JUNIOR BRANDÃO, D. S.; JUNIO ZUBA, G. R.; FERNANDES, L. A. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 145-151, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2032>.

NETO, R. C. A.; MIRANDA, N. O.; DUDA, G. P.; GÓES, G. B.; LIMA, A. S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.124–130, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n2/v14n02a02.pdf>.

NEUMANN, M.; RESTLE, J. FILHO, D. C. A.; BERNADES, A. C.; ARBOITE, M. Z.; CERDOTES, L.; PEIXOTO, L. A. O. Avaliação de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) quanto aos componentes da planta e silagens produzidas. v. 31, n 1, p 302-312, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982002000200003>.

OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agrícola**, v. 52, p. 360 - 367, 1995. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161995000200026>.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F.; ARILZA, C. P.; Mendes, E.; MILHOMEN, R. L. C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**. Novo Hamburgo, v.11, n.16, p. 89, 2019. Disponível em: http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.

PENIDO, E. S.; MARTINS, G. C.; MENDES, T. B. M.; Melo, L. C. A.; PINHO, R. G. V.; RAMON, C. V.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 235 - 245, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200007>.

PITOMBEIRA, J. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo forrageiro em cinco ambientes do estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 33, n. 01, p. 20-24, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rca/v43n2/a09v43n2.pdf>.

PRADO, A. K.; CUNHA, M. E. T. Efeito da Aplicação de Lodo de Esgoto e Curtume nas Características Físico-Químicas do Solo e na Absorção de Nitrogênio por Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L). **Cientias. Exatas Tecnol**, v. 10, n. 1, p. 37 - 41, 2011. Disponível em: <https://revista.pgskroton.com.br/index.php/exatas/article/viewFile/523/492>.

PRICE, A. H.; HENDRY, A. Iron- catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. **Plant Cell**

Environment, Oxford, v. 14, p. 477-484, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb01517.x>

RASHEED, R.; ASHRAF, M.A.; HUSSAIN, I.; PARVEEN, A.; ALAM, R.; IQBAL, M. Physiological and biochemical markers to optimize sugar mill wastewater for irrigation in maize (*Zea mays* L.) crop. **Brazilian Journal of Botany**, v. 38, p. 51–61, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40415-014-0122-x>.

RIGO, M. M.; RAMOS, R. R.; CERQUEIRA, A. A.; SOUZA, P. S. A.; MARQUES, M. R. C. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Gaia Scientia**, v.8, n.1, p. 174-186, 2014. Disponível em: <http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/index>.

SAIRAM, R. K.; TYAGI, A., 2004. Physiological and molecular biology of salinity stress tolerance in deficient and cultivated genotypes of chickpea. **Plant Growth Regul.** 57, 109 -114. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/288026857>.

SCANDALIOS, J.G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defences. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, p. 995 - 1014, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-879X2005000700003>.

SCHMITT, F. J., KRESLAVKI, V. D., ZHARMUKHAMEDOV, S. K., FRIEDRICH, T., RENGER, G., LOS, D. A., ALLAKHVERDIEV, S. I. The multiple roles of various reactive oxygen species (ROS) in photosynthetic. A new approach to the molecular, cellular and organismal level. **Photosynthesis**, v.84, p. 1-84, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119084150.ch1>.

SCHUNER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied and Environmental Microbiology**, Washigton, v.43, p.1256-1261, 1982. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000500025>.

SEGATTO, M. P.; ANDREAZZA, R.; BORTOLON, L.; SANTOS, V. P.; GIANELLO, C. Decomposição de resíduos industriais no solo. *Ciência e Natura*, v. 34, n.1, p. 49 - 62, 2012. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/4675/467546171009.pdf>.

SHIN, R.; BERG, R.H.; SCHACHTMAN, D.P. Reactive oxygen species and root hairs in root response to nitrogen, phosphorus and potassium deficiency. **Plant Cell Physiology**, v. 46, p. 1350 - 1357, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/pcp/pci145>.

SIEBIELEC, G.; SIEBIELEC, S. LIPSKI, D. Long-term impact of sewage sludge, digestate and mineral fertilizers on plant yield and soil biological activity. **Journal of cleaner production**, v. 187, p. 372 - 379, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.245>.

SILVEIRA, H. M.; FERREIRA, E. A.; SILVA, D. V.; NETO, M. D. C.; CARVALHO, F. P.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. Características fisiológicas de cultivares de mandioca após aplicação do mesotrione. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 403-409, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582013000200018>.

SINGH, R.; RATHORE, D. Oxidative stress defence responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chilli (*Capsicum annum* L.) cultivars grown under textile effluent fertilization. **Science Direct Plant Physiology and Biochemistry**, v. 123, p. 342–358, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.027>.

SIQUEIRA, J.O. Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. Brasília: **EMRAPA-SPI**, p.7-81, 1994. Disponível em: [www.scielo.br > scielo](http://www.scielo.br/scielo).

SU, F.; DONG, L.; LI, H.; WANG, T. Influence of paper mill wastewater on reed chlorophyll content and biomass. **Physics and Chemistry of the Earth**, vol. 108, p. 13–18, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.06.003>.

SUDHAKAR, P.; LATHA, P.; REDDY, P. V. Chapter 4 - Photosynthetic rates. **Phenotyping crop plants for physiological and biochemical traits**, p. 33-39, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804073-7.00004-1>.

SULTANA, N.; IKEDA, T.; ITOH, R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Environmental and Experimental Botany**, v. 42, n. 3, p. 211-220, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(99\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(99)00035-0).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5.ed. Porto Alegre: **Artemed**. p 954, 2004. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&biblioteca>.

TAKANA, A.; TAKANA, R. The biochemistry, physiology, and evolution of the chlorophyll cycle. **Advances in Botanical Research**, v. 90, p. 183-212, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2019.03.005>.

TAVERNE, Y. J., MERKUS, D., BOGERS, A. J., HALLIWELL, B., DUNCKER, D. J., LYONS, T. W. Reactive Oxygen Species: Radical Factors in the Evolution of Animal Life: A molecular timescale from Earth's earliest history to the rise of complex life. **Bioessays**, p. 40, 2018. Disponível em: <https://sci-hub.tw/10.1002/bies.201700158>.

URBANIAK, M.; WYRWICKA, A. TOŁOCZKO, W. SERWECIŃSKA, L. ZIELIŃSKI, M. The effect of sewage sludge application on soil properties and willow (*Salix* sp.) cultivation. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 66 – 75, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.012>.

VACCA, R. A.; de PINTO, M.C.; VALENTI, D.; PASSARELLA, S.; MARRA, E.; De GARA, L., 2004. Production of reactive oxygen species, alteration of cytosolic ascorbate peroxidase, and impairment of mitochondrial metabolism are early events in heat shock-induced programmed cell death in tobacco Bright-Yellow 2 cells. **Plant Physiol**, v. 134, p. 1100 – 1112, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.103.035956>.

VASCONCELOS, A. C. F.; ZANG, X. ERVIN, E. H.; KIEHL, J. Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and soybean subjected to drought. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 395 - 402, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000300015>.

VERDE, V. S.; STOTT, D. E.; DIACK, M. Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 693 –701, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.06.020>.

VRANOVA, E., ATICHARTPONGKUL, S., VILLARROEL, R., VAN MONTAGU, M., INZE, D. Comprehensive analysis of gene expression in *Nicotiana tabacum* leaves acclimated to oxidative stress. **Proceeding of the National Academy of Science**, v. 99, p. 10870 - 10875, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.152337999>.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Mecanismos de aclimação das plantas à elevada concentração de CO₂. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, p.1564-1571, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v50n11/1678-3921-pab-50-11-01087.pdf>.

WANG, S.; CHEN, H.; EHLENFELDT, M. K. Variation in antioxidant enzyme activities and nonenzyme components among cultivars of rabbiteye blueberries (*Vaccinium ashei* Reade) and *V. ashei* derivatives. **Food Chemistry**, v. 129, p. 13-20, 2011. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.126>.

WATER UK. Recycling of Biosolids to Agricultural Land. **Water UK**, London, 2010. Disponível em: <https://assuredbiosolids.co.uk/wp-content/uploads/2018/05/Recycling-Biosolids-to-Agricultural-Land.pdf>.

WILLEKENS H., INZÉ D., VAN MONTAGU M., VAN CAMP W. Catalases in plants. **Molecular Breeding**, v. 1, p. 207 - 228, 1995. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1854/LU-195667>.

WYRWICKA, A.; URBANIAK, M. The biochemical response of willow plants (*Salix viminalis* L.) to the use of sewage sludge from various sizes of wastewater treatment plant. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 882 - 894, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.005>.

XIN, Z.; AIKEN, R.; BURKE, J. Genetic diversity of transpiration efficiency in sorghum. **Field Crops Research**, v. 111, p. 74 - 80, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.010>.

YAMORI, W.; HIKOSAKA, K.; WAY, D.A. Temperature response of photosynthesis in C₃, C₄, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. **Photosynthesis Research**, v. 119, p. 101 - 117, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>.

YAN, S.; WAN, C.; SOSEBEE, E.; WESTER, D. B.; FISH, E. B.; ZARTMAN, R. E. Responses of photosynthesis and water relations to rainfall in the desert shrub creosote bush (*Larrea tridentata*) as influenced by municipal biosolids. **Journal of Arid Environments**, v. 46, p. 397 - 412, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0682>.

YUAN, Z., LIU, H., HAN, J., SUN, J., WU, X., & YAO, J. Monitoring Soil Microbial Activities in Different Cropping Systems Using Combined Methods. **Pedosphere**, v. 27, p. 138–146, 2017. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60100-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60100-X).

ZAHRAN, H.H. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. **Microbiol. Mol. Biol. R.**, v. 63, p. 968 - 989, 1999.

Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/journals/90/>.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D.M.; BEDNARZ, C.W. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. **Photosynthetica**, v. 39, p. 103–109, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60848-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60848-0).

ZHOU, C.; LE, J.; HUA, D.; ELE, T.; MAO, J. Imaging analysis of chlorophyll fluorescence induction for monitoring plant water and nitrogen treatments. **Measurement**, v. 136, p. 478 - 486, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.088>.

ZUO, W.; GU, C.; ZHANG, W.; XU, K.; WANG, Y.; BAI, Y.; SHAN, Y.; DAI, Q. Sewage sludge amendment improved soil properties and sweet sorghum yield and quality in a newly reclaimed mudflat land. **Science of the Total Environment**, v. 654, p. 541 - 549, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.127>.