

UFRRJ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA
SAÚDE
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOSSANIDADE
E BIOTECNOLOGIA APLICADA

DISSERTAÇÃO

Viabilidade Agronômica de Extrato Húmico de
Lixiviado de Aterro Sanitário como
Fertilizante Agrícola

Roberto Martins Nazareth

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOSSANIDADE E
BIOTECNOLOGIA APLICADA**

**VIABILIDADE AGRONÔMICA DE EXTRATO HÚMICO DE
LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO COMO
FERTILIZANTE AGRÍCOLA**

ROBERTO MARTINS NAZARETH

Sob a orientação do Professor
Nivaldo Schultz

e Co-orientação da Professora
Irene da Silva Coelho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no curso de Pós-Graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada, Área de concentração Biotecnologia Aplicada.

Seropédica, RJ
Outubro de 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N335v Nazareth, Roberto Martins, 1974-
Viabilidade Agronômica de Extrato Húmico de Aterro
Sanitário como Fertilizante Agrícola / Roberto Martins
Nazareth. - Rio de Janeiro, 2024.
39 f.

Orientador: Nivaldo Schultz.
Coorientadora: Irene da Silva Coelho.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em
Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada, 2024.

1. Fertilizantes Alternativos. 2. DNA do Solo. 3.
Microbiota do Solo. I. Schultz, Nivaldo, 25/04/1978
, orient. II. Coelho, Irene da Silva, 06/12/1979-,
coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Programa de Pós Graduação em Fitossanidade e
Biotecnologia Aplicada. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE SOLOS



HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 94/2024 - DeptS (12.28.01.00.00.00.33)

Nº do Protocolo: 23083.064344/2024-55

Seropédica-RJ, 21 de novembro de 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOSSANIDADE E BIOTECNOLOGIA APLICADA

ROBERTO MARTINS NAZARETH

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada, Área de Concentração em Biotecnologia Aplicada.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 21/10/2024.

Nivaldo Schultz. Dr. UFRRJ

(Orientador)

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ

David Vilas Boas de Campos. Dr. EMBRAPA SOLOS

(Assinado digitalmente em 21/11/2024 15:04)

NIVALDO SCHULTZ

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR DeptS (12.28.01.00.00.00.33)

Matrícula: ###366#7

(Assinado digitalmente em 22/11/2024 07:18)

EVERALDO ZONTA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR IA (12.28.01.21)

Matrícula: ###130#5

(Assinado digitalmente em 22/11/2024 11:33)

DAVID VILAS BOAS DE CAMPOS

ASSISTENTE EXTERNO

CPF:###.###.957-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **94**, ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **21/11/2024** e o código de verificação: **6e0b6b38ff**

DEDICATÓRIA

*A minha esposa Amanda e aos meus filhos João Vitor, Thainá e Milena pela paciência, compreensão e amor neste momento tão importante da minha vida.
A todos vocês dedico este Trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, nas suas mais variadas formas de se manifestar, por emanar força, perseverança, luta e principalmente por eu não perder a fé e a confiança em mim.

Agradecer aos meus pais, irmã e afilhados por deixar de participar de momentos importantes, pois estava concentrado em minha pesquisa.

A minha enorme família (sogra, sogro, tios e primos).

Aos meus grandes amigos por me apoiarem e compreenderem a minha ausência de encontros que nos fazem matar saudades da distância.

Aos meus orientadores Nivaldo Schultz e Irene da Silva Coelho, por terem me transmitido conhecimento, motivação, e principalmente por acreditarem em mim e pelo voto de confiança.

Ao programa de Pós-Graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada - PPGFBA, principalmente ao coordenador do programa Prof. Dr. Paulo Sérgio Torres Briosso.

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

A todos que participam do laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água e do laboratório de Relações Solo-Planta, que sempre se dispuseram a me ajudar e pelo conhecimento compartilhado.

A todos os componentes da empresa Ouronitro Efluentes e Serviços LTDA por me apoiar e deixar utilizar dados de relevante importância para a minha pesquisa.

E por fim, agradeço a todas as pessoas que estiveram comigo durante essa etapa da vida e que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

BIOGRAFIA

Roberto Martins Nazareth, nascido no Rio de Janeiro, RJ, é Técnico em Mecânica pela Escola Técnica Estadual Visconde de Mauá, RJ, onde ingressou em 1989 formando-se em 1994. Ingressou na Universidade Estácio de Sá em 2007, onde obteve o Título de Tecnólogo em Gestão Ambiental em 2009. Foi estagiário do laboratório de Análises Ambientais Qualy Lab de 2008 a 2009. Desde 2009 exerce a função de Analista Ambiental em empresas de consultoria ambiental. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico da Universidade Estácio de Sá em 2012 concluindo em 2014. Concluiu o Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada – área de concentração em Biotecnologia Aplicada entre os anos de 2022 e 2024, orientado pelos professores da UFRRJ Nivaldo Schultz e Irene da Silva Coelho.

RESUMO

NAZARETH, Roberto Martins. **Viabilidade Agronômica de Extrato Húmico de Lixiviado de Aterro Sanitário como Fertilizante Agrícola**. 2024. 39f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada, Biotecnologia Aplicada). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Fitopatologia e Entomologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

O lixiviado produzido da decomposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos aterros sanitários demanda o desenvolvimento de pesquisas que busquem o tratamento e descarte e/ou utilização de forma segura, dentre as quais como fertilizante agrícola. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade agronômica de um extrato húmico (EH) extraído de lixiviado de aterro sanitário como fertilizante agrícola. O experimento consistiu no cultivo de nós com gemas de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp - var. RB867515) em vasos, em casa de vegetação. Foram conduzidos dois ensaios, sendo um utilizando amostras da camada de 0-0,20 m de um Argissolo Vermelho-Amarelo e outro em amostras de Latossolo Vermelho. Em ambos foram avaliados 6 tratamentos, com 4 repetições, em delineamento experimental em blocos casualizados. Os tratamentos foram: I. controle com submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora e cultivo sem adubação (CONT.SH₂O); II. submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura (SH₂O+AM); III. submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% com água destilada por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura (SEH+AM); IV. submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída a 80% com água destilada por 1 hora + uma aplicação de 100 mL solução de EH diluída a 90% em água destilada, aos 47 dias após o plantio (DAP) (SEH+EHS); V. submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% em água destilada por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90%, aos 47 DAP (SEH+EHF); VI. submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90% + uma aplicação de 100 mL da solução de EH diluído a 90%, ambas aos 47 DAP (SH₂O+EHF+EHS). Aos 4 meses após o plantio foi realizada avaliação da altura das plantas; aos 10 meses foram analisadas a altura das plantas novamente e o acúmulo de massa seca, o teor de nutrientes e pseudototais de metais nas folhas; o acúmulo de nutrientes e pseudototais na massa seca total, os atributos químicos do solo após o cultivo e a diversidade microbiana do solo somente no controle (CONT.SH₂O) e no tratamento SEH+EHS. O EH promoveu incremento de crescimento e no acúmulo de massa seca da cana-de-açúcar, em relação ao controle, e de forma similar a adubação mineral, especialmente no tratamento SH₂O+EHF+EHS, porém afetou negativamente o desenvolvimento das plantas no tratamento SEH+EHF. Os metais pesados não foram detectados nas análises de tecidos das plantas e no solo. A microbiota do solo não foi influenciada com a aplicação do EH. A influência do EH no crescimento das plantas foi resultante dos elementos químicos nutricionais presentes no mesmo. O EH tem potencial para ser utilizado como fertilizante agrícola sem oferecer riscos de contaminação das plantas e do solo.

Palavras chave: Fertilizantes alternativos, *Saccharum* sp, DNA do solo, microbiota do solo.

ABSTRACT

Nazareth, Roberto Martins. **Agronomic Viability of Humic Extract from Landfill Leachate as Agricultural Fertilizer**. 2024. 39f. Dissertation (Master in Plant Health and Applied Biotechnology, Applied Biotechnology). Institute of Biological and Health Sciences, Department of Phytopathology and Entomology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Leachate produced from the decomposition of urban solid waste (USW) in landfills requires research to treat it, dispose of it and/or use it safely, including as an agricultural input. The objective of this study was to evaluate the agronomic viability of a humic extract (HE) from landfill leachate as an agricultural input. The experiment consisted of cultivating nodes with sugarcane buds (*Saccharum* sp - var. RB867515) in pots in a greenhouse. Two trials were conducted, one using samples from the 0-0.20 m layer of a Ultisol and the other using samples of a Oxissol. In both trials, 6 treatments were evaluated, with 4 replicates, in a randomized block experimental design. The treatments were: I. control with submersion of nodes with buds in distilled water for 1 hour and cultivation without fertilization (CONT.SH₂O); II. submersion of nodes with buds in distilled water for 1 hour + mineral fertilization at planting and top dressing (SH₂O+AM); III. submersion of nodes with buds in an HE solution diluted to 80% with distilled water for 1 hour + mineral fertilization at planting and top dressing (SEH+AM); IV. submersion of nodes with buds in an HE solution diluted to 80% with distilled water for 1 hour + one application of 100 mL of an HE solution diluted to 90% in distilled water at 47 days after planting (DAP) (SEH+EHS); submersion of nodes with buds in an HE solution diluted to 80% in distilled water for 1 hour + one foliar application with 10 mL of an HE solution diluted to 90% at 47 DAP (SEH+EHF); and submersion of the nodes with the buds in distilled water for 1 hour + a foliar application with 10 mL of the HE solution diluted to 90% + an application of 100 mL of the HE solution diluted to 90%, both at 47 DAP (SH₂O+EHF+EHS). The plant heights at 4 months, the accumulation of dry mass of sugarcane, the nutrient content and pseudototals of metals in the leaves of the plants were evaluated; the accumulation of nutrients and pseudototals in the total dry mass of the plants, the chemical attributes of the soil after cultivation and the soil microbial diversity only in the control (CONT.SH₂O) and in the treatment (SEH+EHS). HE promoted increased growth and dry mass accumulation of sugarcane, in relation to the control, and in a similar way to mineral fertilization, especially in the SH₂O+EHF+EHS treatment, but negatively affected plant development in the SEH+EHF treatment. Heavy metals were not detected in the analysis of plant tissues or in the soil. The soil microbiota was not influenced by the application of HE, leading to the inference that the influence of HE on plant growth was a result of the nutritional chemical elements present in it. HE has potential to be used as an agricultural input without posing risks of contamination of plants and soil.

Keywords: Alternative fertilizers, *Saccharum* sp, soil DNA, soil microbiota.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos, carbono orgânico e granulometria dos solos utilizados para o desenvolvimento do experimento em vasos, analisados antes da implantação.	8
Tabela 2. Teores totais dos elementos químicos do extrato húmico concentrado.	9
Tabela 3. Teores de macro e micronutrientes e pseudototais de metais na massa seca de folhas de cana-de-açúcar, em função de diferentes tratamentos com extrato húmico (EH) de lixiviado de aterro sanitário, com e sem fertilização mineral, em dois solos.	18
Tabela 4. Acúmulo de macro e micronutrientes e pseudototais de metais na massa seca total de cana-de-açúcar, em função de diferentes tratamentos com extrato húmico (EH) de lixiviado de aterro sanitário, com e sem fertilização mineral, em dois solos.	20
Tabela 5. Atributos químicos dos solos após o cultivo de cana-de-açúcar nos vasos, em função de diferentes tratamentos com extrato húmico (EH) de lixiviado de aterro sanitário, com e sem fertilização mineral, em dois solos.	22
Tabela 6. Matriz da análise de componentes principais (ACP). A contribuição relativa corresponde a correlação de Pearson (r) entre cada componente principal (PC, eixo) com as variáveis.	24

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Altura das plantas de cana-de-açúcar 4 e 10 meses após o plantio, cultivadas em vasos, em casa de vegetação, com diferentes tratamentos com adubação mineral e EH de chorume de aterro sanitário. 13
- Figura 2.** Massa seca de folhas, colmos, raízes e total de cana-de-açúcar após 10 meses de cultivo em vasos, em casa de vegetação, com diferentes tratamentos com adubação mineral e extrato húmico (EH) de chorume de aterro sanitário. 15
- Figura 3.** Análise de componentes principais integrando as variáveis relacionadas ao experimento no Argissolo Vermelho-Amarelo (A) e Latossolo Vermelho (B). 26
- Figura 4.** Abundância relativa dos filos bacterianos em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, no controle (CONT.SH₂O) e no tratamento com submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída 80% por 1 hora + 100 mL da solução de EH diluída 90% aplicada no solo aos 47 dias após o plantio (DAP) (SEH+EHS). 27
- Figura 5.** Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) em Argissolo (Arg) e Latossolo (Lat), no controle (CONT.SH₂O) e no tratamento com submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída 80% por 1 hora + 100 mL da solução de EH diluída 90% aplicada no solo aos 47 dias após o plantio (DAP) (SEH+EHS). 28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Produção e Disposição Mundial e Brasileira de Resíduos Sólidos Urbanos	3
2.2 Impactos Ambientais Causados pelo Lixiviado de Aterros Sanitários	3
2.3 Legislação sobre o Tratamento e Descarte de Lixiviado de Aterros Sanitários	4
2.4 Produção e Tratamento do Lixiviado de Aterros Sanitários	4
2.5 Potencial de Uso do Lixiviado de Aterros Sanitários como Insumo Agrícola	5
2.6 Produção de Cana-de-açúcar com Insumos Alternativos	6
2.7 Influência do Lixiviado de Aterros Sanitários na Microbiologia do Solo	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1. Informações Gerais e Caracterização dos Solos	8
3.2. Caracterização do Extrato Húmico de Lixiviado de Aterro Sanitário	8
3.3. Delineamento Experimental e Tratamentos	9
3.4. Adubação Utilizada nos Tratamentos	10
3.5. Avaliações Realizadas	10
3.6. Diversidade Bacteriana do Solo	10
3.7. Processamento dos Dados e Análises descritivas do Microbioma	11
3.8. Análises Estatísticas	12
4. RESULTADOS	13
4.1. Desenvolvimento das Plantas	13
4.2. Teores de Nutrientes e Pseudototais de Metais nas Folhas	16
4.3. Acúmulo de Nutrientes e Pseudototais de Metais na Massa Seca Total das Plantas	19
4.4. Atributos Químicos do Solo Após o Cultivo das Plantas	21
4.5. Análise Multivariada de Componentes Principais	23
4.6. Diversidade Bacteriana do Solo	27
5. DISCUSSÃO	29
6. CONCLUSÕES	32
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1. INTRODUÇÃO

Entre os diversos problemas de ordem ambiental que a humanidade vem enfrentando nas últimas décadas, destaca-se a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que já vem sendo produzidos em volume alarmante, com projeção de aumento expressivo nas próximas décadas. No Brasil, a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABNT), que monitora a produção, a coleta e a disposição dos RSU, estima que 93% desses resíduos são atualmente devidamente coletados, entretanto, 7%, algo entorno de 5 milhões de toneladas não são coletados anualmente, e causam inúmeros problemas à saúde pública e ao meio ambiente. Da fração coletada, estima-se que 61% dos RSU são dispostos em aterros sanitários, os quais possuem infraestrutura adequada para a disposição desses resíduos sem oferecer grandes problemas e 39% são dispostos de forma inadequada de diversas formas, principalmente nos 3 mil lixões que ainda existem em nosso país aproximadamente, segundo dados da ABREMA.

A disposição dos RSU em aterros sanitários é um avanço, entretanto, não é garantia de que o problema dos RSU se resolva com a coleta e a disposição adequada. Os aterros sanitários e as demais formas de disposição ainda existentes produzem um lixiviado (chorume) oriundo da decomposição dos resíduos que são de natureza diversa, de difícil tratamento e que ainda é em muitos casos descartado de forma inadequada. Trata-se de um líquido de coloração escura e odor desagradável, de composição química variada com alto potencial de contaminação e poluição do solo e da água.

A agricultura moderna, e a necessidade de produzir a cada ano mais alimentos e matéria prima para a produção de energia demandam grande quantidade de fertilizantes minerais, os quais, exceto o nitrogênio (N) são oriundos de fontes finitas e causam preocupação quanto à segurança alimentar da população mundial. Diante deste cenário, nos últimos anos vem sendo desenvolvidas pesquisas que visam a descoberta de fontes alternativas para o uso como insumos agrícolas, dentre as quais encontra-se o lixiviado de aterros sanitários. Apesar de ainda incipientes, já existem resultados com testes de germinação de diferentes espécies, ensaios com espécies arbóreas e espécies alimentícias que evidenciam que o uso do lixiviado de aterros sanitários, após ser tratado apresenta características favoráveis para o uso como insumo agrícola. Entretanto, por tratar-se de um produto com elevado potencial de contaminação e poluição do solo, da água e de alimentos que possam ser produzidos utilizando o lixiviado como insumo agrícola, mais estudos detalhados são necessários.

Entre as culturas agrícolas atualmente empregadas para a produção de energia, destaca-se a cana-de-açúcar para a produção de etanol e calor para a geração de energia elétrica. Considerando a área plantada e o consumo de fertilizantes no setor sucroenergético brasileiro, e a produção de produtos que não são consumidos diretamente na alimentação humana (etanol e geração de energia) a cana-de-açúcar torna-se uma boa opção para o desenvolvimento de pesquisas com produtos que apresentam riscos de contaminação como é o caso do lixiviado de aterros sanitários. A hipótese deste trabalho é que o EH extraído de lixiviado de aterros sanitários, após ser devidamente tratado pode ser utilizado como fertilizante agrícola.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar quimicamente um EH extraído de lixiviado de aterro sanitário e avaliar sua eficiência agrônômica em uma variedade de cana-de-açúcar, bem como a influência do EH em atributos químicos e biológicos dos solos após o cultivo da cana-de-açúcar em vasos em casa de vegetação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção e Disposição Mundial e Brasileira de Resíduos Sólidos Urbanos

A geração de RSU aumenta ano após ano em todo o planeta causando prejuízos à saúde pública e ao meio ambiente. Segundo o *Global Waste Management Outlook 2024* (GWMO, 2024), o mundo produz atualmente 2,01 bilhões de toneladas de RSU por ano e pode chegar a 3,80 bilhões de toneladas em 2050 se as estratégias de consumo, coleta e disposição não mudarem nesse intervalo. As principais formas de descarte e disposição dos RSU são a reciclagem, a digestão anaeróbica, a incineração, a compostagem, o tratamento em aterros sanitários, o despejo em aterros controlados, o despejo em aterros não controlados e o descarte em lixões a céu aberto, além de outras formas de descarte não especificadas (KAZA et al., 2018).

No Brasil, segundo a ABREMA, em 2022 foram gerados 77,1 milhões de toneladas de RSU. Estima-se que 93% desses resíduos tenham sido coletados, entretanto, os 7% não coletados somam 5 milhões de toneladas, as quais causam inúmeros problemas à saúde pública e ao meio ambiente. Da fração coletada, estima-se que 61% desses RSU foram dispostos em aterros sanitários e 39% dispostos de forma inadequada de diversas formas. Os dados da ABREMA mostram que, apesar de todos os problemas que o Brasil possui com a geração e coleta de RSU, a grande maioria (61%) é disposta em aterros sanitários. Entretanto, este cenário, aparentemente caminhando para números positivos não ameniza o grau de preocupação que a produção de RSU impõem às autoridades públicas e a sociedade como um todo, uma vez que, mesmo a disposição em aterros sanitários pode trazer sérios danos ambientais e de saúde pública, dentre os quais destaca-se a produção de lixiviado tanto quando o aterro se encontra em operação quanto após seu encerramento operacional de disposição dos resíduos (SALEEM et al., 2016).

2.2 Impactos Ambientais Causados pelo Lixiviado de Aterros Sanitários

No passado a principal forma de descarte de resíduos sólidos era em lixões, sem qualquer controle sobre o material depositado, sendo deixados no solo, sem medidas adequadas para proteger a saúde pública e o meio ambiente. Desta forma provocam diversos problemas, como o odor desagradável e a poluição do ar, solo e água, além da disseminação de doenças e pragas por diversos vetores (CAVALARI, 2018).

Atualmente no Brasil há a obrigação de destinar os RSU em aterros sanitários, os quais apresentam a produção de lixiviado como o maior problema de contaminação ambiental (D'ALMEIDA, 2000). Sua composição é altamente poluente, principalmente pela quantidade de metais pesados encontrados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn) oriundos de pilhas, baterias, tintas e outras fontes, pela alta concentração de compostos recalcitrantes, e aos altos teores de matéria orgânica (acima de 2000 mg L⁻¹ de DQO e relação DBO/DQO menores que 0,05) e nitrogênio amoniacal (acima de 1000 mg L⁻¹) (CAMPOS et al., 2013). Um dos potenciais impactos é a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas em decorrência da infiltração e do escoamento do mesmo (BENVENUTO, 2004).

Segundo Abu-Rukah & Al-Kofahi (2001), citado por Borges (2016), os impactos pós-implantação de aterros sanitários ocorrem principalmente nos casos de despejos ou contaminação dos corpos hídricos, uma vez que a água torna-se não potável, devido a elevação da maioria dos parâmetros físicos e químicos a níveis tais que nem mesmo para a irrigação é possível utilizá-la. Ainda segundo os autores há elevação na condutividade

elétrica, reflexo da elevação da salinidade, bem como aumentos das concentrações de cloreto, bicarbonato e nitrato.

2.3 Legislação sobre o Tratamento e Descarte de Lixiviado de Aterros Sanitários

No ano de 1992 foi lançada a ABNT NBR 8419, “Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos”, na qual em seu parágrafo 5.1.6.3 diz que deve estar previsto um sistema de tratamento do lixiviado. As leis foram ficando cada vez mais restritivas e em 2010 foi lançada a lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e tem como principal alvo a erradicação dos lixões e o incentivo à prática da coleta seletiva, o aumento da reciclagem, o emprego de tecnologias para tratamento do lixiviado e o biogás e a logística reversa dos resíduos (FERRI & CHAVES, 2021). Cabe ressaltar, que a Lei Federal nº 14.026/2020, que alterou o marco do saneamento básico, atualizou o prazo original da PNRS, que era 2014, e inseriu prazos que vão de 2020 a 2024.

Como o principal problema de todo o aterro é o lixiviado gerado, no ano de 2019 foi lançado pelo Congresso Nacional o projeto de Lei nº 1516/2019, que estabelece a obrigatoriedade do tratamento do líquido percolado resultante de aterros sanitários. Uma vez que o regulamento esteja firmemente estabelecido, os aterros em funcionamento deverão realizar as adaptações necessárias dentro de um período de dois anos, a fim de estarem em conformidade com as novas diretrizes. No caso de não cumprimento dessa medida, o responsável estará sujeito às sanções especificadas na Lei dos Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/98).

No estado do Rio de Janeiro já existe uma lei em vigor que torna obrigatório o tratamento do líquido percolado. A Lei nº 9.055 promulgada em 08/10/2020 institui a obrigatoriedade do controle e tratamento do chorume nos sistemas de destinação final de resíduos sólidos, vazadouros, aterros controlados e aterros sanitários, bem como a remediação de vazadouros no estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. Com isso, abrindo novas possibilidades tecnológicas para o tratamento do chorume com a finalidade do seu descarte de forma adequada e ainda o aproveitamento do lixiviado para outros fins.

2.4 Produção e Tratamento do Lixiviado de Aterros Sanitários

Entre os diversos problemas oriundos dos aterros sanitários, a produção de lixiviado oriundo da decomposição dos resíduos de natureza muito diversificada é a principal preocupação. Trata-se de um líquido de coloração escura e odor desagradável, perceptível ao ficar confinado por um período prolongado, com alto teor de compostos orgânicos e inorgânicos, incluindo ácido húmico, nitrogênio amoniacal, metais pesados, sais e xenobióticos tóxicos (WISZNIEWSKI et al., 2006). Originado da decomposição biológica da matéria orgânica presente nos resíduos, esse líquido é facilmente identificável pelo seu aspecto e cheiro característicos (MORAIS, 2005).

A composição química do lixiviado varia conforme a idade da área de descarte e também depende das propriedades dos resíduos depositados (FERREIRA et al., 2001). Além disso, essa composição é influenciada pelas condições ambientais, como o volume de chuva e a umidade presente nos resíduos e no local, pela forma como o aterro é operado, principalmente pela atividade dos processos de decomposição que ocorrem nas células de acomodação dos resíduos (EL FADEL et al., 2002), pelas substâncias orgânicas e inorgânicas geradas pela decomposição biológica da massa de resíduos (GOMES, 2009), pelos microrganismos e outros materiais biológicos presentes (MANNARINO et al., 2011).

Por tratar-se de um líquido oriundo da decomposição de matéria orgânica muito diversificada seu uso para qualquer atividade requer tratamentos que minimizem os riscos de contaminação e poluição (WISZNIOWSKI et al., 2006). Essa característica complexa torna desafiadora a implementação de um tratamento eficaz (CAVALARI, 2018). Algumas modalidades de tratamentos já são conhecidas, dentre as quais destacam-se os tratamentos primários, biológicos, oxidativos, processos de separação por membranas (MACRUZ, 2015), e a combinação de tratamentos, como o desenvolvido pela empresa OURONITRO EFLUENTES E SERVIÇOS LTDA.

Dentre os tratamentos biológicos, os mais utilizados são as lagoas, naturais ou artificiais, que são projetadas para receber e tratar efluentes orgânicos. A exposição dos orgânicos é realizada por microrganismos presentes na lagoa, e as reações de manipulação podem ser aeróbias, anaeróbias ou uma mistura dos dois tratamentos. A eficiência das lagoas é fortemente influenciada pela luz solar e pela temperatura, o que torna mais eficazes em climas tropical e subtropical (GOMES, 2009). Já nos processos oxidativos avançados (POA), na qual utilizam como oxidantes peróxido de hidrogênio e ozônio, são gerados água, dióxido de carbono e ânions inorgânicos. Entre as vantagens do processo estão o elevado potencial de oxidação, a remoção de sólidos dissolvidos, dos metais ferro e manganês, além da mineralização completa das impurezas (BAHÉ, 2008). Enquanto na combinação de tratamentos, como o da OURONITRO, é composto por quatro etapas, sendo iniciada por um processo físico-químico, seguido de um processo de tamisação molecular, em seguida por um processo de ozonólise e por fim o processo de amonólise (OURONITRO, 2023). O efluente resultante deste tratamento possui características físico-químicas que o classificam como apto para ser descartado nos corpos hídricos.

2.5 Potencial de Uso do Lixiviado de Aterros Sanitários como Insumo Agrícola

Como todos os aterros sanitários têm o compromisso de tratar o lixiviado para que o mesmo não venha a poluir o solo e os corpos hídricos, pesquisadores vêm realizando grandes avanços com o objetivo de recuperar e reutilizar nutrientes provenientes de possíveis fontes oriundas do saneamento (BENÁ FILHO et al., 2020). As substâncias que fazem do lixiviado um potencial poluente são as mesmas que podem torná-lo um possível insumo para a agricultura (PANCHONI, 2011). Estudo realizado nos atributos químicos do solo, para medir o efeito do aproveitamento de lixiviado de aterro sanitário na cultura de milho e trigo através do ciclo do N e C, demonstraram que a aplicação do resíduo nos indicadores bioquímicos e microbiológicos acarretou pouco efeito negativo na comunidade microbiana do solo, sendo que as enzimas anexas a cadeia de nitrogênio não sofreram influência pela adição do resíduo. Havendo somente um efeito nos atributos químicos do solo, devido ao aumento nos teores de condutividade elétrica, sódio e potássio, podendo vir a ser utilizado pelas plantas por oferecer também nutrientes essenciais para o seu desenvolvimento (KUWANO et al., 2013).

Em estudo desenvolvido por Paixão Filho (2017), com o intuito da criação de métodos que permitam uma significativa redução do amoníaco no chorume antes de seu tratamento nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), surgiram subprodutos como a estruvita e a carnalita, ambos extraídos da precipitação química da amônia, na qual forma um produto sólido com característica de fertilizante, já que é composto por nitrogênio, fósforo e magnésio. O uso futuro da estruvita e sua mistura com carnalita necessita de estudos regulatórios para posicionar esse material como futuro insumo agrícola.

Diversas pesquisas têm sugerido também a aplicação de abordagens de processos combinados (MORAIS, 2005). Estudo realizado no mediterrâneo em um procedimento combinado para tratamento de lixiviado de aterro sanitário consistiu em um efluente tratado e

com baixos teores de nitrogênio e outros constituintes. Foram cultivados em vasos três espécies (*Lycopersicon esculentum*, *Helianthus annuus* e *Medicago sativa*) na qual se submeteram a um teste de irrigação com o lixiviado tratado, fertilizante NPK e água como controle. Análises posteriores indicaram que não houve diferenças significativas entre o lixiviado tratado e o fertilizante mineral, e que ambos obtiveram desempenho superior ao controle e apresentaram alta fertilidade (TURKI & BOULZID, 2017).

No caso deste trabalho, para a obtenção de um produto com potencial de fertilidade extraído do chorume houve também uma combinação de tratamentos a partir da tecnologia de oxiamonólise. Este método consiste primeiro de um processo físico-químico (PFQ), que após o PFQ o composto resultante passa por um processo de tamisação molecular (PTM). Após ser processado no PTM em torno de 16% do efluente do PFQ resulta em um líquido concentrado denominado EH, rico em ácidos húmicos, com características químicas favoráveis para o uso como insumo agrícola (OURONITRO, 2023).

2.6 Produção de Cana-de-açúcar com Insumos Alternativos

A cana-de-açúcar brasileira ocupa atualmente 9,75 milhões de hectares (IBGE, 2023), consumindo somente na região Centro-Sul 11,6% do total de NPK consumido no País e abrangendo aproximadamente 1,5% das áreas cultiváveis em diversos estados, destacando-se São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Paraná (FONTANETTI e BUENO, 2017), sendo o país responsável por aproximadamente 50% das exportações globais de açúcar na safra 2023/24 (UDOP, 2023). A cultura da cana-de-açúcar passou por mudanças notáveis durante os cinco séculos de história do Brasil, destacando-se no campo do melhoramento genético, com constante busca por aprimorar sua eficiência produtiva (SCHULTZ, 2012; LANDELL e BRESSIANI, 2008).

O Brasil tem investido em tecnologias inovadoras desde o plantio até a pós-colheita, buscando aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, desde fertilizantes, a colheita mecanizada e o aproveitamento de resíduos (FONTANETTI e BUENO, 2017). Dentre os mais variados insumos destacam-se fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais, revestidos com polímeros ou micronutrientes e também os bioestimulantes (ZONTA et al., 2021). Porém, na cana-de-açúcar os mais empregados ainda são os fertilizantes minerais, que manuseados de forma inadequada podem contribuir com a degradação do solo, deixando-o cada vez mais improdutivo e em consequência causando impactos ambientais (MENDES et al., 2010).

Perante o panorama em que se encontra atualmente a crescente produção de cana-de-açúcar no Brasil e à necessidade da busca por fontes alternativas de insumos agrícolas, o desenvolvimento de novas tecnologias que contribuam com esse cenário se torna preponderante, assim como a utilização de forma racional desses novos insumos com o foco na sustentabilidade e nos recursos naturais.

2.7 Influência do Lixiviado de Aterros Sanitários na Microbiologia do Solo

Cada parte do solo contém por hectare milhões de microrganismos, compostos por mais de 10.000 espécies, que auxiliam no desenvolvimento das plantas com a ciclagem de nutrientes, melhorando a estrutura do solo, degradando poluentes orgânicos, dentre outros fatores (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Os microrganismos são sensíveis as pequenas alterações que podem ocorrer no solo, e um sistema desequilibrado contribui para a redução da sua biodiversidade (HUNGRIA et al., 1997). A redução da diversidade microbiana nos solos é prejudicial à preservação ambiental, uma vez que os microrganismos, além de serem capazes

de mineralizar compostos, representam um recurso genético valioso que pode ser utilizado na biorremediação ou recuperação de solos contaminados (MATTOS, 2015).

O lixiviado bruto produzido em aterros e lixões contém alta carga orgânica, grande quantidade de metais pesados e é pouco biodegradável (AVANCINI et al., 2019), sendo um dos potenciais impactos a poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas em decorrência da infiltração, drenagem e do escoamento do lixiviado (BENVENUTO, 2004). Entretanto, a maior preocupação quanto ao seu impacto ocorre por conta da possível contaminação devido ao excesso de metais pesados, que proporcionam um extenso espectro de toxicidade que abrange efeitos neurotóxicos, hepato tóxicos, nefrotóxicos, teratogênicos, carcinogênicos ou mutagênicos (SEGURA MUÑOZ, 2002). Esses metais podem adotar várias rotas, seja se fixando no solo, sendo absorvidos pelas plantas e incorporados às cadeias tróficas (NAGALLI, 2005).

Este excesso de metais pesados pode impactar negativamente também a atividade microbiana, e sua toxicidade pode se expressar por meio da modificação destes microrganismos (PANCHONI, 2011). Porém, a toxicidade dos metais depende de sua biodisponibilidade, e um dos fatores que mais contribuem com a presença de metais no solo é o pH (NOGUEIRA, 2010). Em aterros novos, onde os níveis de pH no lixiviado são mais ácidos, a disponibilidade se torna maior e em consequência maior probabilidade de contaminação do solo e dos microrganismos. No entanto, em aterros estabilizados os valores de pH se apresentam neutros ou com leve tendência a alcalinidade, e a disponibilidade de metais no solo diminui (EL FADEL et al., 2000).

Tanto após a desativação de áreas impróprias quanto após o fechamento de aterros sanitários que já atingiram sua capacidade, o fato é que essas vastas regiões continuam apresentando risco de contaminação do solo (MATIAS & MOTA SOBRINHO, 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Informações Gerais e Caracterização dos Solos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com cultivo de cana-de-açúcar (variedade RB867515) utilizando nós com gemas individualizadas, em vasos preenchidos com 5 L de terra peneirada em malha de 10 mm, entre dezembro de 2021 e setembro de 2022. Foram utilizadas amostras de terra da camada de 0,0–0,20 m de profundidade de duas classes de solos, sendo um Latossolo Vermelho sob produção de cana-de-açúcar localizada no município de São João da Boa Vista (SP) e Argissolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura de eucalipto com mais de 20 anos de implantação localizada no município de Sapucaia (RJ). Antes da implantação do experimento os solos foram caracterizados quanto seus atributos químicos (TEIXEIRA et al., 2017), os teores de carbono orgânico (YEOMANS E BREMNER, 1988) e a granulometria (EMBRAPA, 1997). Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos, carbono orgânico e granulometria dos solos utilizados para o desenvolvimento do experimento em vasos, analisados antes da implantação.

Prof.	pH	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	T	V	K	P	COS	Argila	Areia	Silte
cm	H ₂ O	-----cmol _c dm ³ -----					----- % -----			mg dm ⁻³		-----g kg ⁻¹ -----			
Latossolo Vermelho - LV															
0-20	6,5	2,0	1,2	0,0	0,0	1,2	3,3	4,5	74	58	56	11,5	170	680	150
Argissolo Vermelho-Amarelo - AVA															
0-20	5,3	1,4	0,8	0,0	0,4	5,3	2,3	7,6	30	43	3	19,7	360	430	210
pH em água. Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e Al ³⁺ - extrator KCl 1,0 mol L ⁻¹ . Na, K e P – extrator Mehlich 1. H+Al – extrator de acetato de cálcio 0,5 mol L ⁻¹ a pH 7,1 a 7,2. S: soma de bases trocáveis. T: capacidade de troca catiônica em pH 7,0. V: saturação por bases (Teixeira et al., 2017). COS – Carbono orgânico do solo – Yeomas e Bremner, (1988). Granulometria – método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).															

3.2. Caracterização do Extrato Húmico de Lixiviado de Aterro Sanitário

O EH foi extraído e purificado a partir de lixiviado de aterro sanitário, coletado no Centro de Tratamento de Resíduos (CTR Rio – Ciclus), em Seropédica, RJ, pela empresa OURONITRO EFLUENTES E SERVIÇOS LTDA. A extração e purificação do EH envolvem vários processos, sendo o principal o processo físico-químico (PFQ), no qual são removidos sólidos suspensos, óleos e graxas, metais pesados, e grande parte da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), resultando em um líquido clarificado e um lodo classe II-A. O líquido clarificado é então processado em um conjunto de membranas seletivas para a extração e concentração de EH e nutrientes minerais. O lodo resultante deste processo é hidrofóbico e não se solubiliza, gerando imobilização química de compostos perigosos, como metais, microplásticos e orgânicos presentes no chorume. O processo de extração e

purificação do EH é de propriedade da OURONITRO EFLUENTES E SERVIÇOS LTDA, que detém a patente intitulada “Processo de Extração e Purificação de Substâncias Húmicas de Lixiviado de Aterro Sanitário” (Número do Depósito: BR 102017006908-7).

Para a implantação do experimento foi realizada a caracterização química do EH utilizando a digestão pelo método USEPA 3050 (2008). Foram determinados o pH e os teores pseudototais dos elementos Ca, Mg, Na, K, P, Mn, Ni, Fe, Cd, Cr, Cu, Pb e Zn. Foram adicionados em tubo de digestão tipo pyrex com funil de vidro na parte superior para reduzir perda dos vapores 2 mL do EH + 5 mL de HNO₃ 65%, em seguida levados ao bloco digestor à temperatura de 95 ± 5 °C por 10 minutos. Após esse tempo, foram adicionados mais 10 mL de HNO₃ 65%, deixando no bloco por 2 horas a 95 ± 5 °C. Ao término do tempo, as amostras foram retiradas do bloco digestor e após esfriarem adicionou-se 6 mL de H₂O₂, avolumando-os com água destilada para 50 mL após o término da fervura causada pelo H₂O₂, e finalizou-se com a filtragem do extrato com papel filtro e acondicionamento em frascos com capacidade para 70 mL. A cada 40 amostras no bloco digestor foi utilizado o controle por meio de amostras com todos os reagentes utilizados para promover a digestão, porém sem o EH. O P foi determinado por colorimetria e o K e Na foram determinados por fotometria de chamas. Os teores de Ca, Mg, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Fe e Zn foram determinados por espectrometria de absorção atômica. Para as análises de nitrogênio (N) e carbono total (CT), 200 mL do EH foram secados em estufa de circulação forçada a 60 °C e as análises realizadas no resíduo seco pelo método de combustão a seco, em analisador elementar Pekin Elmer 2400 CHN, utilizando $1,1 \pm 0,1$ mg de amostra em micro balança acoplada ao aparelho (SATO et al., 2014). Os resultados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Teores totais dos elementos químicos do extrato húmico concentrado.

pH	N	Na	Ca	Mg	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	Al
				g L ⁻¹				
6,30	16,40	31,17	1,00	0,64	0,35	18,32	105,30	0,47
Zn	Cu	Ni	Mn	Fe	Co	Cr	Pb	Cd
				mg L ⁻¹				
3,18	3,64	17,28	20,26	270,02	ND	0,20	2,08	0,76

ND: não detectado. N - digestão sulfúrica e titulação pelo método de Kjeldhal. Ca, Mg, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Fe e Zn - Digestão USEPA 3050 e espectrometria de absorção atômica. P - Digestão USEPA 3050 e colorimetria. K e Na - Digestão USEPA 3050 e espectrofotometria de chama. C

No EH diluído a 80 e 90% foram determinados antes do uso para a submersão dos nós com as gemas e as aplicações nos vasos e via foliar aos 47 DAP o pH e a condutividade elétrica (CE) utilizando um condutivímetro de bancada da BELL ENGEERING, modelo W12D. Os valores de pH foram 5,86 para a diluição a 80% e 5,74 para a diluição a 90%. A condutividade elétrica foi de 29,20 dS m⁻¹ para a diluição a 80% e 17,46 dS m⁻¹ para a diluição a 90%.

3.3. Delineamento Experimental e Tratamentos

Foram conduzidos dois ensaios, sendo um em cada solo (Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho). Em ambos foram avaliados 6 tratamentos, com 4 repetições, em delineamento experimental em blocos casualizados. Os tratamentos foram: I. controle com submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora e cultivo sem adubação (CONT.SH₂O); II. submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura (SH₂O+AM); III. submersão dos nós com as gemas em solução

de EH diluído 80% por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura (SEH+AM); IV. submersão do nós com as gemas em solução de EH diluída 80% por 1 hora + 100 mL da solução de EH diluída 90% aplicada no solo aos 47 dias após o plantio (DAP) (SEH+EHS); V. submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído 80% por 1 hora + aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído 90%, aos 47 DAP (SEH+EHF); VI. submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído 90% + 100 mL da solução de EH diluído 90% aplicada no solo aos 47 DAP (SH₂O+EHF+EHS).

3.4. Adubação Utilizada nos Tratamentos

A adubação mineral seguiu a recomendação do Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro (FREIRE et al., 2013), sendo em função do resultado da análise de solo aplicado no Argissolo Vermelho-Amarelo as doses equivalentes a 100 kg ha⁻¹ de N, 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O. No Latossolo Vermelho foram aplicadas doses equivalentes a 100 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O. O cálculo da adubação foi realizado com base no diâmetro dos vasos (0,0314 m²). O P₂O₅ e o K₂O foram aplicados no plantio e o N em cobertura aos 47 DAP, sendo incorporados no solo a aproximadamente 3 cm. As fontes foram superfosfato simples, cloreto de potássio e ureia.

3.5. Avaliações Realizadas

Em abril de 2022 foi realizada uma avaliação das alturas das plantas, fazendo-se a medida da base das plantas até a ponta da folha mais comprida. Em setembro de 2022 foi realizada novamente a avaliação das alturas das plantas, seguindo com o corte das plantas rente ao solo nos vasos e a separação nas frações folhas (incluindo o palmito), colmos e as raízes. As raízes foram lavadas em água corrente. Antes da lavagem das raízes foram coletadas amostras de solo para a caracterização química igual a descrita na análise de solo inicial (Item 3.1). As amostras da parte aérea e das raízes foram secadas em estufa de circulação forçada a 65 °C até atingirem peso constante após 3 pesagens em 3 dias consecutivos. Após determinação dos pesos secos, as amostras foram moídas em moinho do tipo Wile (2mm) e analisadas quanto aos teores e acúmulos dos mesmos elementos descritos na caracterização do EH (Item 3.2).

3.6. Diversidade Bacteriana do Solo

A análise da diversidade bacteriana do solo foi analisada no tratamento controle que foi realizada a submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora e cultivo sem adubação (CONT.SH₂O) e no tratamento com submersão do nós com as gemas em solução de EH diluída 80% por 1 hora + 100 mL da solução de EH diluída 90% aplicada no solo aos 47 dias após o plantio (DAP) (SEH+EHS). Para a extração de DNA dos solos foi utilizado o kit de extração DNA PowerSoil (MO Bio Laboratories Inc.) segundo o protocolo do fabricante. Após a extração, as amostras foram armazenadas a -20° C, e a quantidade e a qualidade do DNA obtido foram avaliadas por espectrofotômetro (Nano Drop ND-1000 Spectrophotometer Thermo Fisher Scientific). A integridade do DNA total foi avaliada por eletroforese em gel de agarose 0,8% (ADKINS et al., 2007). O preparo de biblioteca dos amplicons da região variável V3-V4 do gene 16S rDNA foram gerados com a amplificação com os primers Bakt_341F (5'-CCTAYGGGNGGCWGCAG-3') e Bakt_805R (5'-GACTACHVGGGTATCTAATCC-3') e o sequenciamento em um sistema paired-end 2x250

na plataforma NovaSeq (ILLUMINA, EUA) serão realizados na Novogene, Co. (www.novogene.com).

3.7. Processamento dos Dados e Análises descritivas do Microbioma

Para a aferição inicial da qualidade dos dados sequenciados, utilizou-se o programa "FastQC" (v.0.11.9) (ANDREWS, 2020). Adicionalmente, as bibliotecas foram submetidas as funções "fastx_info" e "fastq_eestats2", do programa "USEARCH" (v.11.0.667) (EDGAR, 2010), onde constatou-se a distribuição de qualidades, tamanhos de sequência e erros esperados. Neste mesmo programa, utilizou-se a função "search_oligodb", fornecendo como parâmetros as sequências do par de primers referentes a região V3-V4 do gene 16S rRNA (341F '5-CCTAYGGGNGGCWGCAG-3'; 805R '5-GACTACHVGGGTATCTAATCC-3'), de modo a detectar a presença e posição desses nas leituras. Em seguida, realizou-se a remoção dos primers com o programa "Atropos" (v.1.1.310) (DIDION et al., 2017), filtrando sequências cujos primers não estavam presentes ("--discard-untrimmed"). A porção final das sequências foi podada de modo a assegurar uma melhor qualidade. Para isso, utilizou-se o programa "Fastp" (v.0.23.2) (CHEN et al., 2018) de modo a remover até 20 ("--max_len1 230") e 30 ("--max_len2 220") bases finais de baixa qualidade das bibliotecas *forward* e *reverse*, respectivamente. Além disso, leituras completas cuja média total do Phred Score (Q) fosse inferior a Q20 foram removidas ("--average_qual 20"). Por fim, os pares de bibliotecas foram fundidas por sobreposição, através do programa "Flash" (v.1.2.11) (MAGOČ & SALZBERG, 2011), aceitando uma sobreposição mínima de 10 bases ("--min-overlap 10").

As leituras fundidas com tamanhos entre 390 e 430 bases foram submetidas ao pipeline "DADA2" (CALLAHAN et al., 2016). Para isso foi utilizado o pacote "dada2" (v.1.22.0) do programa estatístico "R" (v.4.1.2) (R CORE TEAM, 2021). Inicialmente, as leituras foram filtradas pela função "filterAndTrim", considerando um erro esperados de 4 ("maxEE = 4"). Em seguida, estimou-se as probabilidades de erros em bases ("learnErrors") e, então, corrigiu-se as sequências com base no modelo obtido ("dada"). Dessa forma, foram designadas as Sequências Variantes de Amplicons (ASVs) presentes em cada amostra, as quais foram investigadas e filtradas quanto a presença de possíveis sequências quiméricas ("removeBimeraDenovo"). As ASVs foram anotadas taxonomicamente contra o banco de dados de sequências-referências SILVA (v.138) (QUAST et al., 2013) com suporte adicional dos bancos RDP (v.18) (COLE et al., 2014) e GTDB (v.202) (PARKS et al., 2022) para detecção de contaminantes. Foram filtradas ASVs não-anotadas como bactérias ou arqueias, bem como aquelas cuja anotação remetia a cloroplastos ou mitocôndrias. Além disso, ASVs prevalentes em apenas uma única réplica, foram desconsideradas.

As contagens e anotações taxonômicas das ASVs foram exportadas no formato "phyloseq" (Pacote R "phyloseq"; v.1.38.0) (MCMURDIE & HOLMES, 2013), o qual foi, posteriormente, transformado em dados composicionais ("method = 'total'") pela função "phyloseq_standardize_otu_abundance" do pacote R "metagMisc" (v.0.040) (MIKRYUKOV, 2019). A análise de beta diversidade foi realizada calculando-se as distâncias de Bray-Curtis com a função "distance" do pacote "phyloseq". As distâncias foram comparadas estatisticamente entre os grupos com a função "adonis" do mesmo pacote, utilizando uma PERMANOVA (Análise Multivariada Permutacional de Variância), considerando um valor de p de 0,05. Além disso, utilizou-se as distâncias para realizar uma Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP), onde os parâmetros físico-químicos medidos foram adicionados às distâncias entre as composições e comparados quanto à sua significância usando a função "ordinate" do "phyloseq", utilizando o mesmo limite de significância (valor

de $p \leq 0,05$). A representação gráfica foi obtida com a função "plot_ordination" do pacote "phyloseq".

3.8. Análises Estatísticas

Os dados de altura das plantas, acúmulo de massa seca de folhas, colmos, raízes e total, teores de nutrientes nas folhas, acúmulo de nutrientes e metais na massa seca total e metais na massa seca total, e os atributos químicos do solo foram submetidos a análises estatísticas, com avaliação da distribuição normal (teste de Shapiro-Wilk), análise de variância e o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) utilizando o programa estatístico R (v.4.1.2) (R CORE TEAM, 2022).

O efeito dos tratamentos sobre as variáveis analisadas foi ainda interpretado por meio da análise multivariada de componentes principais (ACP). Para execução da ACP, os dados originais foram inicialmente padronizados à média zero e variância unitária ($\mu = 0$, $\sigma = 1$). A ACP foi realizada em função da matriz de correlação de Pearson, a partir dos atributos avaliados. Foram utilizadas as duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2), tomando como base as variáveis com valores de correlação de $-0,70 \geq r \geq 0,70$ (elevada correlação) com esses eixos de formação, que somaram uma variância acumulada de aproximadamente 70% (PC1 + PC2). A análise multivariada foi construída no Software R (R CORE TEAM, 2020) por meio do pacote "Ggplot2".

4. RESULTADOS

4.1. Desenvolvimento das Plantas

A altura das plantas aos 4 e 10 meses após o plantio foi influenciada pelos tratamentos com EH e adubação mineral, aplicados de forma isolada e/ou associados (Figura 1).

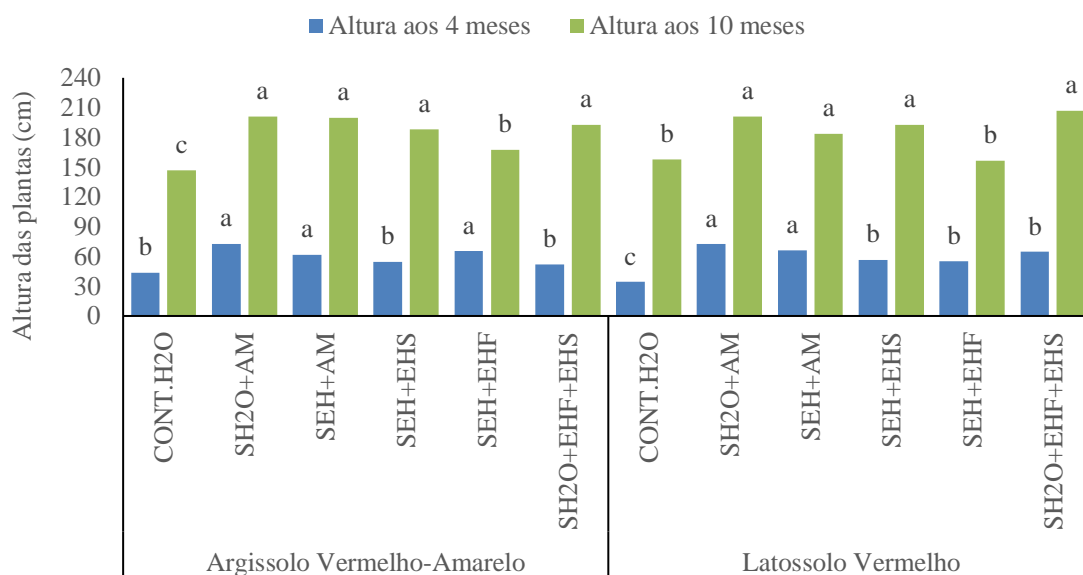


Figura 1. Altura das plantas de cana-de-açúcar 4 e 10 meses após o plantio, cultivadas em vasos, em casa de vegetação, com diferentes tratamentos com adubação mineral e EH de chorume de aterro sanitário.

Médias de 4 repetições. As letras comparam os tratamentos dentro de cada solo. Dados analisados isoladamente para cada solo. Teste Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficientes de variação: Altura aos 4 meses no Argissolo Vermelho-Amarelo: 19,34%. Altura aos 10 meses no Argissolo Vermelho-Amarelo: 6,49%. Altura aos 4 meses no Latossolo Vermelho: 16,30%. Altura aos 10 meses no Latossolo Vermelho: 6,75%. CONT.SH₂O - controle com submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora e cultivo sem adubação. SH₂O+AM - submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+AM - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+EHS - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída a 80% por 1 hora + 100 mL solução de EH diluída a 90% aos 47 dias após o plantio (DAP). SEH+EHF - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP. (SH₂O+EHF+EHS) - submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP + 100 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP.

No Argissolo, aos 4 meses após o plantio, os tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e SEH+EHF foram superiores ao CONT.H₂O e aos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHF+EHS, os quais não diferiram do CONT.SH₂O. As alturas variaram de 0,43m no CONT.H₂O a 0,73m no SH₂O+AM. Aos 10 meses os tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM, SEH+EHS e SH₂O+EHF+EHS foram superiores ao tratamento SEH+EHF e ao CONT.H₂O. As alturas variaram de 1,47m no CONT.H₂O a 2,01m no SH₂O+AM.

No Latossolo, aos 4 meses após o plantio os tratamentos SH₂O+AM e SEH+AM foram superiores aos tratamentos SEH+EHS, SEH+EHF e SH₂O+EHF+EHS, os quais foram superiores ao CONT.H₂O. As alturas das plantas variaram de 0,34m no CONT.H₂O a 0,76m

no SEH+AM. Aos 10 meses após o plantio os tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM, SEH+EHS e SH₂O+EHF+EHS foram superiores ao tratamento SEH+EHF e o CONT.SH₂O, não havendo diferença entre estes dois últimos. As alturas das plantas variaram de 1,56m no tratamento SEH+EHF a 2,07m no tratamento SH₂O+EHF+EHS.

A massa seca das folhas, colmos, raízes e total das plantas, avaliadas aos 10 meses após o plantio também foi influenciada pelos tratamentos avaliados, seguindo de maneira geral a tendência dos resultados observados para as alturas das plantas (Figura 2).

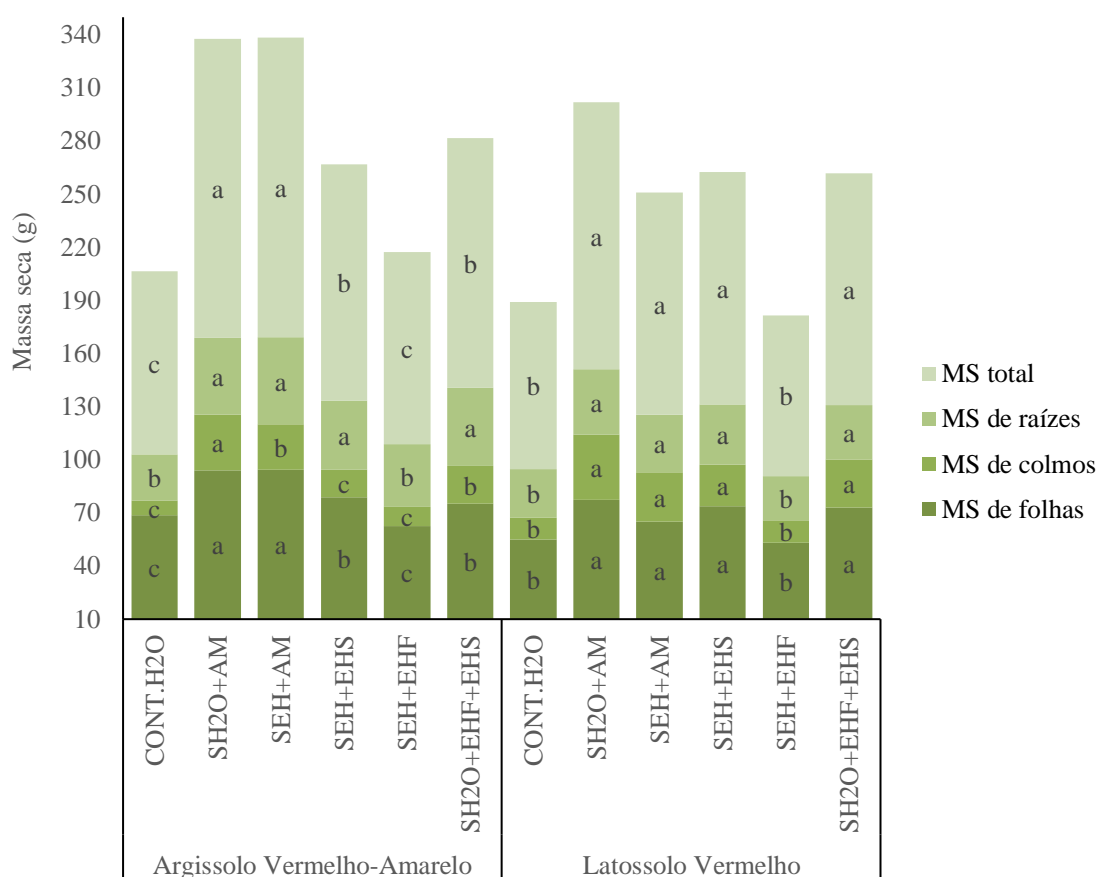


Figura 2. Massa seca de folhas, colmos, raízes e total de cana-de-açúcar após 10 meses de cultivo em vasos, em casa de vegetação, com diferentes tratamentos com adubação mineral e extrato húmico (EH) de chorume de aterro sanitário.

Médias de 4 repetições. As letras comparam os tratamentos dentro de cada solo. Dados analisados isoladamente para cada solo. Teste Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficientes de variação: Massa seca de folhas no Argissolo: 7,90%. Massa seca de colmos no Argissolo: 22,98%. Massa seca de raízes no Argissolo: 16,78%. Massa seca total no Argissolo: 9,31%. Massa seca de folhas no Latossolo: 15,96%. Massa seca de colmos no Latossolo: 35,67%. Massa seca de raízes no Latossolo: 14,67%. Massa seca total no Latossolo: 14,44%. CONT.SH₂O - controle com submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora e cultivo sem adubação. SH₂O+AM - submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+AM - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+EHS - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída a 80% por 1 hora + 100 mL solução de EH diluída a 90% aos 47 dias após o plantio (DAP). SEH+EHF - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90%, aos 47 DAP. (SH₂O+EHF+EHS) - submersão das gemas em água destilada por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP + 100 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP.

No Argissolo, a massa seca das folhas não diferiu entre os tratamentos SH₂O+AM e SEH+AM, porém estes diferiram dos demais tratamentos e do controle, apresentando os maiores valores. Os tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHF+EHS apresentaram massa seca de folhas superiores ao CONT.SH₂O e o SEH+EHF, os quais não diferiram entre si. A massa seca de colmos apresentou os maiores acúmulos nos tratamentos SH₂O+AM, seguido do SEH+AM e SH₂O+EHF+EHS, os quais não diferiram entre si, porém diferiram do CONT.SH₂O, do SEH+EHS e SEH+EHF, não havendo diferença entre estes três últimos, nos foram observados os menores valores de massa seca de colmos. Os maiores acúmulos de

massa seca de raízes foram verificados nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM, SEH+EHS e SH₂O+EHF+EHS, não diferindo entre si, porém diferindo do tratamento SEH+EHF e do CONT.H₂O, entre os quais não houve diferença. A massa seca total apresentou os maiores acúmulos nos tratamentos SH₂O+AM e SEH+AM, seguido dos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHF+EHS, os quais não diferiram entre si. Os menores acúmulos de massa seca total foram observados no CONT.SH₂O e no SEH+EHF.

No Latossolo as três frações (massa seca de folhas, colmos e raízes) e total apresentaram os maiores acúmulos nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM, SEH+EHS e no SH₂O+EHF+EHS, sem diferirem entre si, porém diferindo do CONT.SH₂O e do tratamento SEH+EHF, os quais apresentaram os menores valores e não diferiram entre si.

4.2. Teores de Nutrientes e Pseudototais de Metais nas Folhas

Os teores de N, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn apresentaram variação em função dos tratamentos no Argissolo e N, K, Ca, Cu, Fe, Mn e Zn no Latossolo (Tabela 3). No Argissolo, o teor de N apresentou os maiores teores nas folhas do CONT.SH₂O e dos tratamentos SH₂O+AM e SH₂O+EHS+EHF, não diferindo entre si, porém diferindo dos tratamentos SEH+AM, SEH+EHS e SEH+EHF, os quais apresentaram os menores teores, e também não diferiram entre si. Para o Ca, os maiores teores foram observados nos tratamentos SH₂O+AM e SEH+AM, não diferindo entre si, porém diferindo do CONT.SH₂O, SEH+EHS, SEH+EHF e SH₂O+EHS+EHF, onde foram observados os menores teores sem diferirem entre si. O Mg apresentou o menor teor no tratamento SEH+EHS, diferindo dos demais, os quais não diferiram entre si. O Cu apresentou o maior teor no tratamento SH₂O+AM, seguido do SEH+AM, na sequência do CONT.SH₂O e SH₂O+EHS+EHF e SEH+EHS e SEH+EHF, sendo nestes dois últimos tratamentos observados os menores teores. O Fe apresentou os maiores teores nos tratamentos SEH+EHS e SEH+EHF, seguido do CONT.SH₂O, SH₂O+AM e SH₂O+EHS+EHF, com o menor teor observado para o tratamento SEH+AM. O Mn apresentou os maiores teores nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e SEH+EHF; em contrapartida os menores teores foram observados no CONT.SH₂O, SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF. Para o Zn o maior teor foi observado no tratamento SH₂O+AM, diferindo dos demais tratamentos, entre os quais não foram verificadas diferenças.

No Latossolo o N apresentou os maiores teores no CONT.SH₂O e nos tratamentos SEH+EHF e SH₂O+EHS+EHF não havendo diferenças entre os mesmos, porém diferindo dos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e SEH+EHS, os quais apresentaram os menores teores e não diferiram entre si. O K apresentou os maiores teores nos tratamentos SEH+EHS, SEH+EHF e SH₂O+EHS+EHF, diferindo do tratamento SH₂O+AM e do CONT.SH₂O, os quais não diferiram entre si, porém diferiram do tratamento SH₂O+AM, no qual foi observado o menor teor, diferindo dos demais tratamentos e do CONT.SH₂O. O Ca apresentou os maiores teores no CONT.SH₂O e nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e SH₂O+EHS+EHF, diferindo dos tratamentos SEH+EHS e SEH+EHF, nos quais foram observados os menores teores. O Cu apresentou o maior teor no tratamento SH₂O+AM, seguido do SEH+AM, com os menores valores observados nos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si. O maior teor de Fe foi observado no tratamento SH₂O+EHS+EHF, diferindo dos tratamentos, seguido dos tratamentos SEH+EHS, SEH+AM e SEH+EHF, e por fim os menores teores ocorreram no CONT.SH₂O e SH₂O+AM. O Mn apresentou os maiores teores nos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF sem diferirem entre si, e os menores nos demais tratamentos e o controle, os quais não diferiram entre si. O Zn apresentou os maiores teores nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e SH₂O+EHS+EHF, os quais não diferiram entre si, e os menores nos tratamentos SEH+EHS e SEH+EHF e no CONT.SH₂O, os quais também não diferiram entre

si. O teor de P nos tecidos vegetais não foi influenciado pelos tratamentos nos dois solos; K não apresentou diferenças entre os tratamentos no Argilossolo e o Fe não diferiu entre os tratamentos no Latossolo. Ni, Co, Cr, Cd e Pb não foram detectados nos tecidos das plantas em nenhum tratamento nos dois solos.

Tabela 3. Teores de macro e micronutrientes e pseudototais de metais na massa seca de folhas de cana-de-açúcar, em função de diferentes tratamentos com extrato húmico (EH) de lixiviado de aterro sanitário, com e sem fertilização mineral, em dois solos.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Cd	Pb
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹								
Argissolo Vermelho-Amarelo														
CONT.SH ₂ O	8,00 a	3,50 a	7,62 a	3,73 b	1,80 a	3,65 d	75,79 b	411,70 b	27,80 b	ND	ND	ND	ND	ND
SH ₂ O+AM	7,60 a	2,92 a	6,98 a	4,64 a	1,75 a	7,40 a	68,06 b	507,28 a	47,83 a	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+AM	6,43 b	2,60 a	6,35 a	4,52 a	1,69 a	6,02 b	41,82 c	503,20 a	34,95 b	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+EHS	5,96 b	2,69 a	6,25 a	3,54 b	1,40 b	4,73 c	142,90 a	419,53 b	27,39 b	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+EHF	5,90 b	2,87 a	6,30 a	3,93 b	1,87 a	5,23 c	150,70 a	505,37 a	30,97 b	ND	ND	ND	ND	ND
SH ₂ O+EHS+EHF	7,51 a	3,03 a	6,32 a	3,79 b	1,64 a	3,98 d	64,87 b	425,87 b	26,50 b	ND	ND	ND	ND	ND
C.V.	15,67	15,08	15,16	11,39	9,97	14,21	17,90	13,93	13,97					
Latossolo Vermelho														
CONT.SH ₂ O	11,00 a	2,57 a	7,65 b	3,82 a	1,68 a	2,90 c	91,70 d	125,12 b	21,13 b	ND	ND	ND	ND	ND
SH ₂ O+AM	7,90 b	2,48 a	6,43 c	4,24 a	1,80 a	5,73 a	105,77 d	143,37 b	42,57 a	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+AM	5,07 b	2,89 a	7,35 b	3,72 a	1,68 a	4,57 b	153,27 c	129,70 b	44,79 a	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+EHS	6,51 b	2,58 a	8,23 a	3,22 b	1,52 a	2,59 c	247,18 b	209,87 a	27,08 b	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+EHF	14,03 a	2,73 a	8,34 a	3,21 b	1,75 a	3,48 c	191,04 c	139,45 b	28,56 b	ND	ND	ND	ND	ND
SH ₂ O+EHS+EHF	11,93 a	2,33 a	8,84 a	3,42 a	1,66 a	3,02 c	293,77 a	215,64 a	40,36 a	ND	ND	ND	ND	ND
C.V.	17,12	15,19	6,38	10,45	8,59	16,46	15,21	13,19	17,21					

Médias de 4 repetições. As letras comparam os tratamentos dentro de cada solo. Dados analisados isoladamente para cada solo. Teste Scott-Knott ($p < 0,5$). C.V.: Coeficientes de variação. ND: não detectado. CONT.SH₂O - controle com submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora e cultivo sem adubação. SH₂O+AM - submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+AM - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+EHS - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída a 80% por 1 hora + 100 mL solução de EH diluída a 90% aos 47 dias após o plantio (DAP). SEH+EHF - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90%, aos 47 DAP. (SH₂O+EHF+EHS) - submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP + 100 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP.

4.3. Acúmulo de Nutrientes e Pseudototais de Metais na Massa Seca Total das Plantas

O acúmulo de N, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn na massa seca total das plantas foi influenciado pelos tratamentos no Argissolo, ao passo que no Latossolo foram verificadas variações entre os tratamentos para o acúmulo de N, K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn (Tabela 4).

No Argissolo, os maiores acúmulos de N ocorreram no CONT.SH₂O e nos tratamentos SEH+EHF e SH₂O+EHS+EHF, os quais não diferiram entre si, porém diferiram dos demais tratamentos, nos quais foram observados os menores acúmulos e também não diferiram entre si. O Ca apresentou os maiores acúmulos nos tratamentos SH₂O+AM e SEH+AM não diferindo entre si, no entanto, diferindo do CONT.SH₂O e dos demais tratamentos onde foram observados os menores valores sem diferirem entre si. Para o Mg os maiores acúmulos foram observados no CONT.SH₂O e nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e SEH+EHS, os quais não diferiram entre si, porém diferiram dos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF onde foram encontrados os menores acúmulos e também não diferiram entre si. O maior e o menor acúmulo de Cu foram observados nos tratamentos SEH+EHF e SH₂O+EHS+EHF, respectivamente, diferindo entre si e dos demais tratamentos e do controle. O Fe e Mn apresentaram resultados similares, com os maiores acúmulos no tratamento SEH+EHF e os menores nos demais tratamentos e no controle, os quais não diferiram entre si. Zinco apresentou os maiores acúmulos nos tratamentos SH₂O+AM e SEH+EHF, não diferindo entre si, porém diferindo dos demais tratamentos e do controle, os quais não diferiram entre si. Os acúmulos de P e K não foram influenciados pelos tratamentos, não diferindo entre si nem do controle.

No Latossolo, o N apresentou o maior acúmulo no tratamento SEH+EHF, diferindo dos demais tratamentos e do controle. O menor acúmulo de N foi observado no tratamento SEH+AM, diferindo dos demais tratamentos e do controle. O acúmulo de K apresentou o menor valor no tratamento SH₂O+AM, diferindo dos demais tratamentos e do controle, os quais não diferiram entre si. O acúmulo de Ca apresentou os maiores valores no controle e nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e SH₂O+EHS+EHF, não diferindo entre si, porém diferindo dos tratamentos SEH+EHS e SEH+EHF, os quais apresentaram os menores acúmulos e também não diferiram entre si. O acúmulo de Mg apresentou o menor valor no tratamento SEH+EHS, diferindo dos demais tratamentos e do controle, os quais não diferiram entre si. O acúmulo de Cu apresentou os maiores valores no controle e nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e no SEH+EHF, os quais não diferiram entre si, porém diferiram dos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF, nos quais foram observados os menores valores sem diferirem entre si. O acúmulo de Mn apresentou os maiores valores nos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF sem diferirem entre si, porém diferiram do controle e dos demais tratamentos, nos quais foram os menores acúmulos sem diferirem entre si. O acúmulo de Zn apresentou os maiores valores nos tratamentos SH₂O+AM e SEH+AM, sem diferirem entre si, porém diferindo dos demais tratamentos e do controle, os quais apresentaram os menores acúmulos sem diferirem entre si. Os acúmulos de P e Fe não foram influenciados pelos tratamentos no Latossolo, não diferindo entre si e do controle. Nos dois solos e para todos os tratamentos não foram detectados teores de Ni, Co, Cr, Cd e Pb nas frações analisadas (folhas, colmos e raízes) não possibilitando a quantificação dos elementos na massa seca total das plantas.

Tabela 4. Acúmulo de macro e micronutrientes e pseudototais de metais na massa seca total de cana-de-açúcar, em função de diferentes tratamentos com extrato húmico (EH) de lixiviado de aterro sanitário, com e sem fertilização mineral, em dois solos.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Cd	Pb
	-----g vaso ⁻¹ -----					-----mg vaso ⁻¹ -----								
	Argissolo Vermelho-Amarelo													
CONT.SH ₂ O	0,82 a	0,34 a	0,63 a	0,32 b	0,16 a	1,33 b	91,34 b	39,84 b	3,55 b	ND	ND	ND	ND	ND
SH ₂ O+AM	0,74 b	0,34 a	0,56 a	0,41 a	0,15 a	1,14 c	33,82 b	45,32 b	4,42 a	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+AM	0,71 b	0,32 a	0,52 a	0,41 a	0,15 a	1,09 c	67,41 b	48,01 b	3,36 b	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+EHS	0,63 b	0,30 a	0,54 a	0,30 b	0,13 b	1,07 c	68,26 b	44,57 b	2,98 b	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+EHF	0,90 a	0,30 a	0,54 a	0,35 b	0,18 a	1,75 a	148,18 a	62,29 a	5,84 a	ND	ND	ND	ND	ND
SH ₂ O+EHS+EHF	0,99 a	0,31 a	0,52 a	0,29 b	0,14 b	0,95 d	64,35 b	41,80 b	2,93 b	ND	ND	ND	ND	ND
C.V.	15,32	16,40	12,78	9,83	9,96	7,07	28,53	14,74	32,68					
Latossolo Vermelho														
CONT.SH ₂ O	1,46 b	0,25 a	0,66 a	0,38 a	0,16 a	1,26 a	195,61 a	15,70 b	3,60 b	ND	ND	ND	ND	ND
SH ₂ O+AM	1,01 c	0,26 a	0,53 b	0,41 a	0,17 a	1,51 a	107,73 a	14,17 b	6,02 a	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+AM	0,56 d	0,30 a	0,62 a	0,38 a	0,16 a	1,41 a	158,74 a	15,39 b	5,59 a	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+EHS	0,91 c	0,27 a	0,69 a	0,32 b	0,14 b	0,88 b	286,07 a	21,10 a	3,37 b	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+EHF	1,86 a	0,29 a	0,69 a	0,33 b	0,16 a	1,18 a	156,22 a	17,55 b	3,77 b	ND	ND	ND	ND	ND
SH ₂ O+EHS+EHF	1,32 b	0,29 a	0,72 a	0,38 a	0,15 a	0,91 b	318,33 a	23,39 a	4,52 b	ND	ND	ND	ND	ND
C.V.	17,31	11,80	6,34	7,50	7,50	18,54	43,28	15,92	21,22					

Médias de 4 repetições. As letras comparam os tratamentos dentro de cada solo. Dados analisados isoladamente para cada solo. Teste Scott-Knott ($p < 0,5$). C.V.: Coeficientes de variação. ND: não detectado. CONT.SH₂O - controle com submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora e cultivo sem adubação. SH₂O+AM - submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+AM - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+EHS - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída a 80% por 1 hora + 100 mL solução de EH diluída a 90% aos 47 dias após o plantio (DAP). SEH+EHF - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90%, aos 47 DAP. (SH₂O+EHF+EHS) - submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP + 100 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP.

4.4. Atributos Químicos do Solo Após o Cultivo das Plantas

No Argissolo foram observadas diferenças entre os tratamentos para o pH e os teores de Ca, Mg, Al e P; no Latossolo foram verificadas diferenças para o pH, H+Al e P (Tabela 5). No Argissolo o tratamento SEH+AM apresentou o menor valor de pH diferindo dos demais tratamentos e do controle, os quais não diferiram entre si. Para o Ca os tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e SEH+EHF apresentaram os maiores teores sem diferir do controle, porém diferiram dos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF, os quais apresentaram os menores teores, sem diferir entre si. O Mg apresentou os maiores teores nos tratamentos SEH+EHS, SEH+EHF e SH₂O+EHS+EHF, os quais não diferiram entre si, porém diferiram dos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e do controle, nos quais foram observados os menores valores sem diferirem entre si. Os maiores teores de Al foram observados nos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF sem diferirem entre si, porém diferindo dos demais tratamentos e do controle, que apresentaram valores menores, porém sem diferirem entre si. O maior teor de P foi observado no tratamento SEH+AM, diferindo dos demais tratamentos e do controle, seguido do tratamento SH₂O+AM e dos tratamentos SEH+EHS, SEH+EHF e SH₂O+EHS+EHF, e do controle, estes últimos sem diferirem entre si. Os teores de Na, H+Al e K não foram influenciados pelos tratamentos no Argissolo. No Latossolo, os maiores valores de pH foram observados no controle e nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM e SEH+EHF, os quais não diferiram entre si, porém diferiram dos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF, nos quais foram observados os menores valores sem diferirem entre si. O H+Al apresentou os maiores valores nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF, sem diferirem entre si, porém diferindo dos tratamentos SEH+AM, SEH+EHF e do controle, os quais também não diferiram entre si. Para o P o maior teor foi observado no tratamento SEH+AM, diferindo dos demais tratamentos e do controle, os quais não diferiram entre si. Os teores de Ca, Mg, Na, Al e K não diferiram entre os tratamentos no Latossolo.

Os teores de Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cr., Cd e Pb não foram analisados estatisticamente, sendo analisados somente em valores absolutos nos tratamentos que receberam as aplicações do EH com e sem os fertilizantes minerais para fins de comparação com o controle e constatar ou não a elevação acentuada do teor de algum dos elementos analisados nos tratamentos (SH₂O+AM e SEH+AM) em relação ao controle (CONT.SH₂O).

Tabela 5. Atributos químicos dos solos após o cultivo de cana-de-açúcar nos vasos, em função de diferentes tratamentos com extrato húmico (EH) de lixiviado de aterro sanitário, com e sem fertilização mineral, em dois solos.

Tratamento	pH	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Cd	Pb
	H ₂ O	-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----									
Argissolo Vermelho-Amarelo																	
CONT.SH ₂ O	5,11 a	1,02 a	0,20 b	0,03 a	0,36 b	7,05 a	13,68 a	2,05 c	4,93	24762,08	390,68	24,85	ND	ND	ND	ND	ND
SH ₂ O+AM	4,94 a	1,05 a	0,30 b	0,04 a	0,34 b	6,31 a	16,81 a	5,24 b	5,05	25729,25	406,33	25,30	ND	ND	0,15	ND	ND
SEH+AM	4,60 b	1,17 a	0,30 b	0,03 a	0,41 b	7,30 a	12,51 a	6,20 a	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEH+EHS	5,08 a	0,60 b	0,45 a	0,04 a	0,49 a	7,05 a	14,08 a	2,64 c	4,58	26585,48	420,80	22,88	ND	ND	0,20	ND	ND
SEH+EHF	5,20 a	1,05 a	0,47 a	0,04 a	0,32 b	6,81 a	14,66 a	3,27 c	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SH ₂ O+EHS+EHF	4,97 a	0,70 b	0,62 a	0,04 a	0,51 a	7,18 a	14,47 a	2,39 c	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V.	4,16	26,70	29,73	18,69	14,08	7,10	17,90	23,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Latossolo Vermelho																	
CONT.SH ₂ O	6,25 a	1,42 a	0,62 a	0,02 a	0,00 a	1,94 b	13,49 a	16,10 b	0,60	4617,30	77,00	6,74	ND	ND	0,18	ND	ND
SH ₂ O+AM	6,05 a	1,55 a	0,32 a	0,02 a	0,00 a	2,31 a	12,51 a	20,55 b	ND	4186,88	70,15	5,91	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+AM	6,14 a	1,50 a	0,42 a	0,02 a	0,00 a	2,02 b	15,44 a	28,85 a	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEH+EHS	5,76 b	1,22 a	0,50 a	0,02 a	0,00 a	2,43 a	14,86 a	15,65 b	ND	5127,33	85,40	9,44	ND	ND	ND	ND	ND
SEH+EHF	6,16 a	1,40 a	0,52 a	0,02 a	0,00 a	2,02 b	13,97 a	14,89 b	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SH ₂ O+EHS+EHF	5,86 b	1,15 a	0,50 a	0,02 a	0,00 a	2,43 a	13,68 a	15,83 b	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V.	2,77	16,66	31,78	26,56	0,00	6,62	15,92	18,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Médias de 4 repetições. As letras comparam os tratamentos dentro de cada solo. Dados analisados isoladamente para cada solo. Teste Scott-Knott ($p < 0,5$). C.V.: Coeficientes de variação. ND: não detectado. - tratamentos não analisados. Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cr, Cd e Pb não foram submetidos a tratamento estatístico. CONT.SH₂O - controle com submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora e cultivo sem adubação. SH₂O+AM - submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+AM - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + adubação mineral de plantio e cobertura. SEH+EHS - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída a 80% por 1 hora + 100 mL solução de EH diluída a 90% aos 47 dias após o plantio (DAP). SEH+EHF - submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluído a 80% por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90%, aos 47 DAP. (SH₂O+EHF+EHS) - submersão dos nós com as gemas em água destilada por 1 hora + uma aplicação foliar com 10 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP + 100 mL da solução de EH diluído a 90% aos 47 DAP.

4.5. Análise Multivariada de Componentes Principais

Na Tabela 6 são apresentados os valores de correlação de cada variável com os eixos da componente principal (PC). Os valores de correlação $-0,70 \geq r \geq 0,70$ (elevada correlação) foram seleccionados para compor a análise de componentes principais (ACP). Verificou-se que a multivariada apresentou variância acumulada para as PCs 1 e 2 de 71,5 e 67,5 (Figura 3A e 3B, respectivamente).

Tabela 6. Matriz da análise de componentes principais (ACP). A contribuição relativa corresponde a correlação de Pearson (r) entre cada componente principal (PC, eixo) com as variáveis.

Argissolo Vermelho-Amarelo					
Variáveis	PC1	PC2	Variáveis	PC1	PC2
ALT.04	0,61	0,29	K.MST	-0,13	0,21
ALT.10	0,70	-0,41	Ca.MST	0,87	0,30
MSC	0,70	-0,52	Mg.MST	0,25	0,80
MSR	0,72	-0,21	Cu.MST	-0,19	0,86
MSPA	0,86	-0,43	Fe.MST	-0,47	0,60
MST	0,87	-0,39	Mn.MST	0,21	0,70
Cu.FO	0,81	0,09	Zn.MST	0,24	0,76
Fe.FO	-0,39	0,50	pH.SOLO	-0,54	0,36
Mn.FO	0,56	0,38	Ca.SOLO	0,50	0,47
Zn.FO	0,81	0,14	Mg.SOLO	-0,23	0,19
Ca.FO	0,81	0,28	Al.SOLO	-0,34	-0,70
Mg.FO	0,32	0,71	H+Al.SOLO	-0,29	-0,27
N.FO	-0,06	-0,16	Na.SOLO	0,19	0,40
P.FO	-0,45	-0,06	P.SOLO	0,76	-0,12
K.FO	0,02	0,20	K.SOLO	0,24	0,15
N.MST	-0,09	0,34	COT.SOLO	0,08	-0,12
P.MST	-0,03	-0,24			
Latossolo Vermelho					
Variáveis	PC1	PC2	Variáveis	PC1	PC2
ALT.04	0,63	0,34	P.MST	-0,15	0,12
ALT.10	0,64	0,70	K.MST	-0,73	0,11
MSC	0,77	0,51	Ca.MST	0,70	-0,25
MSR	0,76	0,24	Mg.MST	0,48	-0,62
MSPA	0,78	0,55	Cu.MST	0,30	-0,23
MST	0,80	0,51	Fe.MST	-0,36	0,44
Cu.FO	0,72	-0,04	Mn.MST	-0,43	0,77
Fe.FO	-0,32	0,70	Zn.MST	0,70	0,06
Mn.FO	-0,22	0,88	pH.SOLO	0,15	-0,78
Zn.FO	0,70	0,26	Ca.SOLO	0,56	-0,53
Ca.FO	0,74	-0,20	Mg.SOLO	-0,70	0,08
Mg.FO	0,47	-0,55	H+Al.SOLO	-0,01	0,84
N.FO	-0,57	-0,20	Na.SOLO	0,54	-0,03
P.FO	-0,17	-0,32	P.SOLO	0,55	-0,15
K.FO	-0,70	0,17	K.SOLO	-0,16	0,02
N.MST	-0,60	-0,36	COT.SOLO	-0,30	-0,12

Valores em negrito: Indicam média correlação ($-0,70 \geq r \geq 0,70$). ALT.04: Altura aos 4 meses; ALT.10: Altura aos 10 meses; MSC: Massa seca do colmo; MSR: Massa seca da raiz; MSPA: Massa seca da parte aérea; MST: Massa seca total; Cu.FO: Cobre da folha; Fe.FO: Ferro da folha; Mn.FO: Manganês da folha; Zn.FO: Zinco da folha; Ca.FO: Cálcio da folha; Mg.FO: Magnésio da folha; N.FO: Nitrogênio da folha; P.FO: Fósforo da folha; K.FO: Potássio da folha; N.MST: Nitrogênio da MST; P.MST: Fósforo da MST; K.MST: Potássio da MST; Ca.MST: Cálcio da MST; Mg.MST: Magnésio da MST; Cu.MST: Cobre da MST; Fe.MST: Ferro da MST; Mn.MST: Manganês da MST; Zn.MST: Zinco da MST; pH.SOLO: Acidez ativa do solo; Ca.SOLO: Cálcio trocável do solo; Mg.SOLO: Magnésio trocável do solo; Al.SOLO: Alumínio trocável do solo; H+Al.SOLO: Acidez potencial do solo; Na.SOLO: Sódio trocável do solo; P.SOLO: Fósforo disponível do solo; K.SOLO: Potássio trocável do solo; e COT.SOLO: Carbono orgânico total do solo.

Os tratamentos foram separados e posicionados nos diferentes quadrantes da ACP. No Argissolo, os tratamentos SEH+AM e SH₂O+AM foram agrupados no quadrante direito; os tratamentos SEH+EHF e CONT.SH₂O foram alocados no quadrante superior esquerdo; e os tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF foram posicionados no quadrante inferior esquerdo (Figura 3 A). No Latossolo, os tratamentos SEH+AM e SH₂O+AM foram alocados

no quadrante inferior direito; os tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF foram agrupados no quadrante superior; e tratamentos SEH+EHF e CONT.SH₂O foram posicionados no quadrante inferior esquerdo (Figura 3 A).

Para o Argissolo, o eixo principal (PC1: 42,5%) separou os tratamentos SH₂O+AM e SEH+AM dos demais tratamentos, tendo como variáveis discriminantes a MST (0,87), Ca.MST (0,87), MSPA (0,86), Cu.FO (0,81), o Zn.FO (0,81), Ca.FO (0,81), P.SOLO (0,76), MSR (0,72), ALT.10 (0,70) e MSC (0,70). Indicando maior acúmulo de Ca na massa seca total desses tratamentos, maiores teores de Cu, Zn e Ca nas folhas e maior concentração de P no solo. Em contrapartida o eixo secundário (PC2: 29,0%) não separou os tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM, SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF, porém separou o tratamento SEH+EHF e o CONT.H₂O dos tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF. Confirmando os resultados da análise univariada da Figura 2, onde se observou que os tratamentos SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF apresentaram altura e massa seca das plantas inferiores aos observados nos tratamentos SH₂O+AM, SEH+AM, porém superiores ao tratamento SEH+EHF e o CONT.H₂O. As variáveis discriminantes foram Cu.MST (0,86), Mg.MST (0,80), Zn.MST (0,76), Mg.FO (0,71), Mn.MST (0,70) e Al.SOLO (0,70). No Latossolo, o eixo principal (PC1: 40,8%) separou principalmente os tratamentos SEH+AM e SH₂O+AM de SEH+EHS, SEH+EHF e CONT.SH₂O, tendo como variáveis discriminantes MST (0,80), MSPA (0,78), MSC (0,77), MSR (0,76), Ca.FO (0,74), Cu.FO (0,72), Zn.FO (0,70), Ca.MST (0,70), Zn.MST (0,70), K.FO (-0,70), Mg.SOLO (-0,70) e K.MST (-0,73). Na qual os teores de Ca.FO, Cu.FO, Ca.MST e Zn.MST estão mais associados aos tratamentos SEH+AM e SH₂O+AM. Os atributos Mn.FO (0,88), H+Al.SOLO (0,84), Mn.MST (0,77), ALT.10 (0,70), Fe.FO (0,70) e pH.SOLO (-0,78) foram as variáveis que mais contribuíram à formação do eixo secundário (PC2: 26,7%), e estão mais relacionadas aos tratamentos e SEH+EHS e SH₂O+EHS+EHF, exceto pH.SOLO (Figura 3 B).

4.6. Diversidade Bacteriana do Solo

Os filos mais abundantes nos solos foram Proteobacteria (média de 38%), seguido de Actinobacteriota (média de 30%), Firmicutes (média de 19%) e abaixo de 5% os filos Acidobacteriota (média de 4%), Bacteroidota (média de 3%) e Chloroflexi (média de 2%) (Figura 4). Todos os filos citados com abundância acima de 2% são comumente encontrados nas bibliotecas, sendo que os filos Proteobacteria e Acidobacteriota, as bactérias mais abundantes encontradas nos solos (BONONI, 2015).

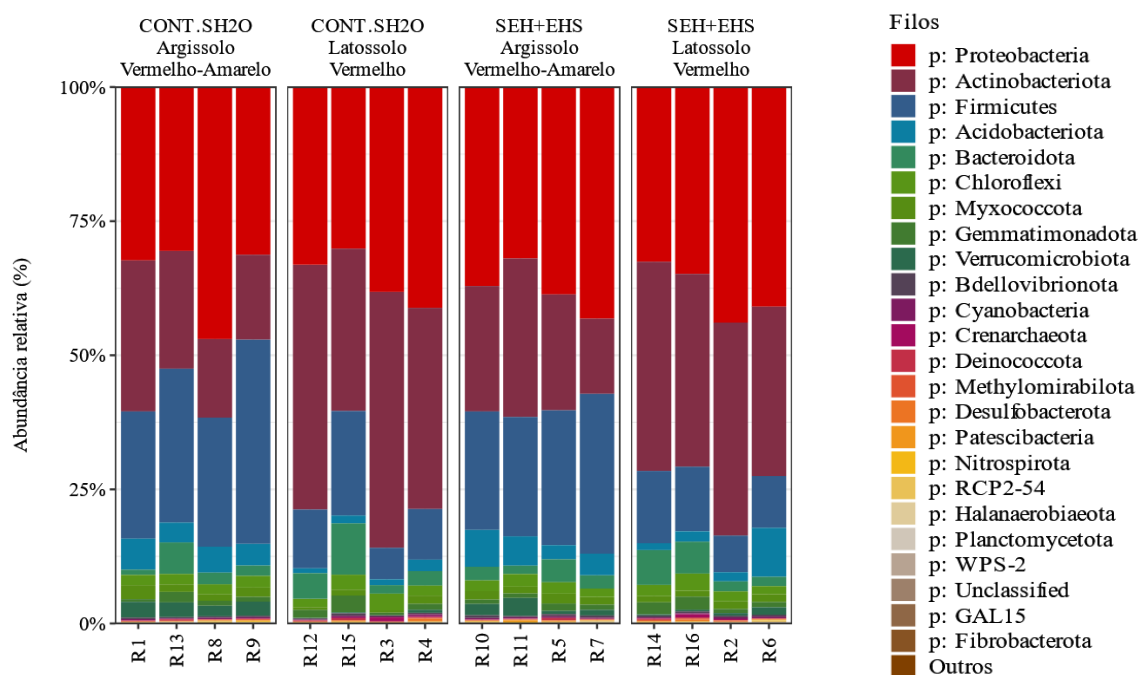


Figura 4. Abundância relativa dos filos bacterianos em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, no controle (CONT.SH₂O) e no tratamento com submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída 80% por 1 hora + 100 mL da solução de EH diluída 90% aplicada no solo aos 47 dias após o plantio (DAP) (SEH+EHS).

De acordo com a Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP), observou-se uma diferenciação da estrutura das comunidades bacterianas em função do tipo de solo (Argissolo Vermelho-Amarelo x Latossolo Vermelho). O Argissolo associou-se com Al, COS, Na e T, enquanto o Latossolo associou-se com o S, pH, V e P. Não foi observada distinção da estrutura das comunidades bacterianas entre o controle (CONT.SH₂O) e o tratamento com submersão do nós com as gemas em solução de EH diluída 80% por 1 hora + 100 mL da solução de EH diluída 90% aplicada no solo aos 47 DAP (SEH+EHS) (Figura 5).

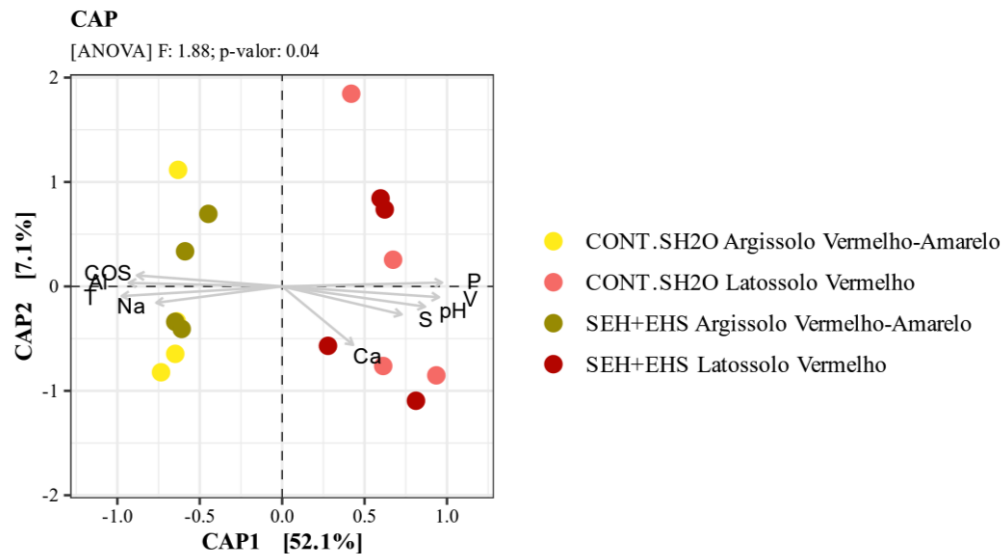


Figura 5. Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) em Argissolo (Arg) e Latossolo (Lat), no controle (CONT.SH₂O) e no tratamento com submersão dos nós com as gemas em solução de EH diluída 80% por 1 hora + 100 mL da solução de EH diluída 90% aplicada no solo aos 47 dias após o plantio (DAP) (SEH+EHS).

5. DISCUSSÃO

O desenvolvimento das plantas, avaliado aos 10 meses após o plantio através da altura e do acúmulo de massa seca mostram que a adubação mineral e a aplicação do EH promoveram incrementos no crescimento das plantas nos dois solos, exceto no tratamento onde os nós com as gemas foram submersos no EH diluído a 80% no momento do plantio com a aplicação do EH diluído a 90% via foliar aos 47 DAP (SEH+EHF). No Latossolo, os incrementos foram mais expressivos que no Argissolo, o que se comprova com o fato da altura das plantas e a massa seca serem semelhantes aos tratamentos que receberam a fertilização mineral; ao passo que no Argissolo os tratamentos que receberam as aplicações do EH sem a associação com fertilização mineral apresentaram massa seca total com valores superiores ao controle, porém inferiores aos tratamentos que receberam a adubação mineral, exceto o tratamento SEH+EHF que foi similar ao controle.

O menor incremento na altura das plantas e na massa seca no tratamento SEH+EHF em relação aos demais tratamentos, nos dois solos, pode ter ocorrido em função de distúrbios fisiológicos oriundo da aplicação do EH via foliar, resultante do elevado teor de sódio presente no EH (31,17 g L⁻¹ - Tabela 1) e da elevada CE ou por deficiência nutricional pela não aplicação do EH no solo aos 47 DAP, ou ainda da associação dos dois efeitos, ou seja, distúrbios pelo excesso de sódio aplicado nas folhas e deficiência nutricional pela não aplicação do EH no solo aos 47 DAP. Em experimento realizado por Mor et al. (2013), avaliando um lixiviado de aterro sanitário que continha 5,21 g L⁻¹ de sódio, diluído 6, 10, 20, 30, 40, 75 e 100%, para o cultivo de trigo em vasos, foram observados sintomas de necrose, descoloração e amarelecimento das folhas das plantas entre 30 e 35 dias de cultivo. Os autores atribuíram os sinais de estresse das plantas à elevada concentração de sais presentes no lixiviado. Apesar dos sintomas observados nas plantas, as diluições de 75 e 100% resultaram em plantas saudáveis aos 45 dias de cultivo, quando o experimento foi finalizado.

O incremento mais expressivo no crescimento das plantas no Latossolo em relação ao Argissolo pode estar relacionado às melhores condições químicas do Latossolo em relação ao Argissolo, principalmente o pH (5,30 no Argissolo e 6,50 no Latossolo). O pH influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes, sendo considerado ideal quando encontra-se entre 6,10 a 6,50 (BURT, 2014; MSIMBIRA & SMITH, 2020), condição do Latossolo.

A análise da diversidade microbiana do solo através da abundância relativa dos filos bacterianos reforça a hipótese de que o incremento de crescimento e consequentemente o aumento de massa seca das plantas nos tratamentos com EH em relação ao controle ocorreu em função da composição química e nutricional do EH, uma vez que os filos bacterianos apresentaram similaridade entre o controle e o tratamento com EH, indicando que a microbiota do solo não foi influenciada pela aplicação do EH. Houve diferença na estrutura da comunidade bacteriana entre os tipos de solos, resultado das características físicas e químicas que os distinguem como a textura, a densidade, porosidade, a matéria orgânica, o pH, entre outros atributos físico-químicos (SHAO et al., 2020; KUMAR et al., 2022). Além disso, o uso dos solos no momento das coletas é outro fator que afeta a microbiota do solo. O Latossolo encontrava-se em fase de preparo para o plantio de cana-de-açúcar, revolvido e exposto à incidência solar direta; em contrapartida o Argissolo encontrava-se sob plantio de Eucalipto por mais de vinte anos, com permanente camada de serapilheira na superfície, protegendo-o da incidência direta do sol, reduzindo a amplitude térmica ao longo dos dias. O uso e ocupação do solo influencia as comunidades bacterianas (STEENWERTH et al., 2002; KUMAR et al., 2022), resultando assim na distinção para as comunidades bacterianas, independentemente da aplicação ou não do EH.

Pesquisas que visam a utilização do lixiviado de aterro sanitário como fertilizante agrícola ainda são incipientes, especialmente no Brasil. Em estudo realizado por Risso et al. (2015), em Londrina, PR, avaliando a aplicação de 32,70, 65,40, 98,10 e 130,80 m³ ha⁻¹ de lixiviado de aterro sanitário, equivalendo a adubação de 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, comparado ao controle sem aplicação e um tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, foi verificado aumento na produtividade e na proteína dos grãos de milho já na menor dose em relação ao controle e similaridade entre a maior dose e 120 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. Apesar do efeito positivo da aplicação do lixiviado na produtividade e na proteína do milho, foi observado aumento dos teores de Mn, Pb e Na nos grãos de milho e Cu, Pb e Mn em folhas de aveia neste mesmo estudo. Ressalta-se que o lixiviado foi aplicado em sua forma bruta coletada no aterro sanitário.

Em estudo desenvolvido na Tunísia, Turki & Boulzid (2017) avaliando o efeito da irrigação de lixiviado de aterro sanitário tratado, na germinação e alongamento de raízes de tomateiro (*Lycopersicon esculentum*), *Lolium perene* (planta semelhante ao azevém), girassol (*Helianthus annuus*) e alfafa (*Medicago sativa*), comparado a tratamentos com aplicação de NPK e irrigação somente com água, foi verificado que as mudas de tomateiro, girassol e alfafa apresentaram incrementos no desenvolvimento similar a adubação com NPK e inferior ao observado na irrigação somente com água. O estudo demonstrou ainda que os tratamentos que receberam a irrigação com o lixiviado de aterro sanitário tratado apresentaram elevação do teor de N no solo em relação ao controle.

No México, Lucero-Sobarzo et al. (2022), avaliaram a produtividade de milho comparando três tratamentos, o controle sem adubação, um tratamento com aplicação de 250 kg ha⁻¹ de N + 115 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e um tratamento com aplicação de 2.144,16 kg ha⁻¹ de estruvita extraída de lixiviado de um aterro sanitário com composição de 3-10-0,9 de N, P e K, respectivamente. Em dois de três ensaios conduzidos a estruvita apresentou aumento na produtividade de milho de 6,36% em relação à adubação mineral e 8,38% em relação ao controle, e 2,16% e 33,80% em relação a adubação mineral e o controle, respectivamente. Os autores relatam ainda que por questões climáticas foi aplicado apenas 26,25% da dose de estruvita calculada inicialmente para que fosse aplicada a mesma quantidade de N que foi aplicada com a adubação mineral. Neste mesmo estudo foram realizadas análises de Pb, As, Cd, coliformes fecais e *Salmonella* sp nos grãos de milho e no solo, não sendo encontrados resultados que demonstrassem contaminação pela aplicação da estruvita.

Os teores de nutrientes nas folhas, o acúmulo de massa seca total dos tecidos das plantas e os atributos químicos do solo apresentaram variabilidade entre os tratamentos e o controle, mostrando-se inconclusivos para afirmar que os incrementos de crescimento e de massa seca das plantas na presença do EH e da adubação mineral, em relação ao controle foram decorrentes de algum elemento nutricional específico. Os resultados levam a inferir que o EH atendeu a demanda nutricional das plantas. Podem ter ocorrido ainda benefícios indiretos de outras substâncias e compostos orgânicos e inorgânicos presentes no EH, no entanto, não é possível afirmar quais seriam essas substâncias, uma vez que não foram realizadas análises que comprovem esta hipótese. Segundo Wyszniowski et al. (2006), o lixiviado de aterros sanitários é um efluente com alto teor de compostos orgânicos e inorgânicos, ácido húmico e nitrogênio amoniacal, os quais possuem efeito direto no desenvolvimento e crescimento das plantas.

De acordo com a matriz de correlação das componentes principais, o primeiro grupo de variáveis altamente ponderadas implica que a PC1 está principalmente associada ao desenvolvimento da cultura (colmo, raiz e parte aérea); as concentrações de Cu e Zn da folha, Ca da folha e massa seca total, e P disponível no Argissolo Vermelho-Amarelo; e aos teores de Cu, Ca e K da folha e massa seca total, e Mg trocável no Latossolo Vermelho. Na PC2, as variáveis altamente ponderadas sugerem que a componente está principalmente relacionada

ao conteúdo de Cu, Mn, Zn e Mg da massa seca total, e acidez trocável (Al^{3+}) no Argissolo Vermelho-Amarelo; e a altura aos 10 meses, aos teores de Fe e Mn foliar, e aos valores de acidez ativa (pH) e potencial ($\text{H}+\text{Al}$) no Latossolo Vermelho.

Do ponto de vista de atributos químicos do solo, os resultados da análise multivariada só fortalecem os efeitos do pH na dinâmica dos nutrientes no solo. Ou seja, os valores mais baixos em Argissolo Vermelho-Amarelo (5,30) afetaram a disponibilidade do P e a presença da espécie fitotóxica de Al; e os valores mais altos no Latossolo Vermelho (6,50) influenciaram o armazenamento de cátions básicos trocáveis.

Os tratamentos $\text{SH}_2\text{O}+\text{AM}$ e $\text{SEH}+\text{AM}$, $\text{SEH}+\text{EHS}$ e $\text{SH}_2\text{O}+\text{EHS}+\text{EHF}$, $\text{CONT.H}_2\text{O}$ e $\text{SEH}+\text{EHF}$ permaneceram nos mesmos quadrantes em ambas as ACPs, reforçando o efeito da adubação mineral e do EH no desenvolvimento e acúmulo de massa seca das plantas independente da classe de solo, com exceção do tratamento $\text{SEH}+\text{EHF}$ que foi alocado com o controle ($\text{CONT.H}_2\text{O}$). Este agrupamento dos tratamentos valida os dados das análises univariadas, mostrando que a aplicação do EH via foliar e/ou a ausência da aplicação no solo aos 47 DAP afetou negativamente o desenvolvimento das plantas, fazendo com que no tratamento $\text{SEH}+\text{EHF}$ as plantas apresentassem altura e massa seca similar ao controle. No presente estudo, as variáveis selecionadas pelas ACPs são consideradas como indicadores mais críticos e eficientes para expressar o potencial agronômico do EH como fertilizante agrícola.

A não detecção de níquel, cobalto, cromo, cádmio e chumbo nos tecidos das plantas, a similaridade para os teores de cobre, ferro, manganês e zinco no solo entre o controle e o tratamento que recebeu aplicação de EH e ausência ou baixos de teores de níquel, cobalto, cromo, cádmio e chumbo no solo após o cultivo da cana-de-açúcar indicam que o processo de extração do EH do lixiviado de aterro sanitário foi eficiente, eliminando os riscos de contaminação/poluição do solo e dos tecidos das plantas. Os resultados deste estudo corroboram com os relatados por Turki & Boulzid (2017), os quais concluíram em seu estudo avaliando lixiviado bruto e tratado, que após tratamento adequado o lixiviado de aterros sanitários possui características que o tornam um potencial fertilizante agrícola.

6. CONCLUSÕES

O EH extraído de lixiviado de aterro sanitário promove incrementos no crescimento e no acúmulo de massa seca das plantas de forma similar a adubação mineral no Latossolo Vermelho.

No Argissolo Vermelho-Amarelo o EH extraído de lixiviado de aterro sanitário promove incrementos no crescimento e no acúmulo de massa seca das plantas superior ao controle, porém inferior à adubação mineral associada ou não ao EH.

A aplicação do EH via foliar reduz o crescimento e o acúmulo de matéria seca da cana-de-açúcar em relação à adubação mineral e a aplicação do EH no solo e para submersão dos nós com as gemas no plantio.

O uso do EH como insumo agrícola para a cana-de-açúcar não provoca o acúmulo dos metais pesados Cr, Cd e Pb nos tecidos das plantas e nem no solo.

A aplicação do EH no solo não altera a abundância relativa dos filos bacterianos do solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREMA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/>. Acesso em 19/09/2024.

ABU-RUKAH, Y.; AL-KOFAHI, O. The assessment of the effect of landfill leachate on ground-water quality—a case study. El-Akader landfill site—north Jordan. *Journal of Arid Environments*, London. v. 49, n. 3, p. 615-630, 2001. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0796>

ADKINS, N. L., HALL, J. A., & GEORGEL, P. T. The use of Quantitative Agarose Gel Electrophoresis for rapid analysis of the integrity of protein-DNA complexes. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 70(5), 721–726. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jbbm.2007.03.006>

ANDREWS, S. Babraham Bioinformatics - FastQC A Quality Control tool for High Throughput Sequence Data. *Soil*, 5(1). 2020

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Apresentação de projetos de aterro sanitários de resíduos sólidos: NBR 8419. Rio de Janeiro, 1992.

AVANCINI, A. R., MATOSO, E. S., CERQUEIRA, V. S., DOS ANJOS E SILVA, S. D. Brotação de mudas de cana-de-açúcar com a utilização de composto líquido proveniente de compostagem. 5ª semana integrada UFPEL, 2019, ENPOS: XXI Encontro de Pós-Graduação. Pelotas, Rio Grande do Sul, 2019.

BAHÉ, F. Estudo da evaporação de lixiviados de aterros sanitários como alternativas tecnológicas de tratamento: testes em bancada. Dissertação (pós graduação em Eng. Civil) – Universidade Federal de Pernambuco - Pernambuco, 2008.

BENÁ FILHO, N. B., SILVA, F. M., CAMPOS, A. F., GONÇALVES, R. F., SALAROLI, L. B. Percepções de riscos e aceitabilidade do uso agrícola da estruvita por agricultores familiares. *Revista Ifes Ciência, [S. l.]*, v. 6, n. 4, p. 140–156, 2020. DOI: 10.36524/ric.v6i4.880. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/880>. Acesso em: 17 ago. 2024.

BENVENUTO, C. Resíduos Sólidos Domiciliares em Pequenas Comunidades: Aspectos Construtivos e Ambientais: Vantagens e Desvantagens. Anais... In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2., 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 2004.

BONONI, L. Impacto da umidade do solo sobre a estrutura das comunidades bacterianas e sobre as atividades enzimáticas em solos da Caatinga e da Mata Atlântica. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo. 78 p. 2015.

BORGES, K., (2016). O estudo do monitoramento dos impactos pós implantação do aterro sanitário de Uberlândia – MG. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil., p. 159, f.: il. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/efu.di.2017.44>

BRASIL, Congresso Federal, Proposta de projeto de Lei nº 1.516, de 14 de março de 2019. Dispõe sobre o tratamento do lixo em aterro sanitário, Brasília, DF: Câmara dos Deputados 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm, acesso em: 02/09/2024.

BRASIL, Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Diário Oficial da União, Brasília, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm, acesso em 28/05/2023.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Diário Oficial da União, Brasília, 2010; Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm, acesso em 28/05/2023.

BRASIL, Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Diário Oficial da União, Brasília, 2020; Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm, acesso em 28/05/2023.

BURT, R. Soil survey staff: soil survey field and laboratory methods manual-soil survey investigations report, VOL. 51. WASHINGTON, DC: US DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 227–234, 2014.

CALLAHAN, B. J., MCMURDIE, P. J., ROSEN, M. J., HAN, A. W., JOHNSON, A. J. A., & HOLMES, S. P. DADA2: High resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nat Methods*, 13(7), 581–583. 2016. <https://doi.org/10.1038/nmeth.3869>

CAMPOS, J. C.; MOURA, D.; COSTA, A. P.; YOKOYAMA, L.; ARAUJO, F. V. F.; CAMMAROTA, M. C. et al. Evaluation of pH, alkalinity and temperature during air stripping process for ammonia removal from landfill leachate. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, v. 48, n. 9, p. 1105-1113, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2013.774658>

CARDOSO, E.J.B.N.; ANDREOTE, F.D. Microbiologia do solo. Portal de Livros Abertos da USP, [S.L.], p. 41-44, 2016. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. <http://dx.doi.org/10.11606/9788586481567>. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/109>. Acesso em: 04 mar. 2024.

CAVALARI, A. Processos de tratamento do chorume de aterro sanitário, métodos tradicionais e novas tecnologias. Trabalho de Conclusão de Graduação em Química – Universidade Pitágoras, UNOPAR, Arapongas, Paraná. 37 p. 2018.

CHEN, S., ZHOU, Y., CHEN, Y., & GU, J. Fastp: An ultra-fast all-in-one FASTQ preprocessor. *Bioinformatics*, 34(17). 2018. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty560>

COLE, J. R., WANG, Q., FISH, J. A., CHAI, B., MCGARRELL, D. M., SUN, Y., BROWN, C. T., PORRAS-ALFARO, A., KUSKE, C. R., & TIEDJE, J. M. Ribosomal Database Project: Data and tools for high throughput rRNA analysis. *Nucleic Acids Research*, 42(D1). 2014. <https://doi.org/10.1093/nar/gkt1244>

D'ALMEIDA, M. L. O. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado, 2ª, ed, São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

DIDION, J. P., MARTIN, M., & COLLINS, F. S. Atropos: Specific, sensitive, and speedy trimming of sequencing reads. *PeerJ*, 2017(8). <https://doi.org/10.7717/peerj.3720>

EDGAR, R. C. Search and clustering orders of magnitude faster than BLAST. *Bioinformatics*, 26(19). 2010. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq461>

EL FADEL, M., KHOURY, R. Modeling Settlement in MSW Landfills: a critical review. *Environmental Science and Technology*. V.30, (3), p.327-361, 2000.

EL FADEL, M; BOU-ZEID, E; CHAHINE, W, ALAYLI, B. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management*, 22, 269–282, 2002.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise do solo. Embrapa Solos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional e Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, RJ, 212p., 1997.

FERREIRA, J. A.; GIORDANO, G.; RITTER, E.; ROSSO, T. C. A.; CAMPOS, J. C.; LIMA, P. Z. M. Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do Estado do Rio de Janeiro. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa. Anais... Rio de Janeiro: ABES, p.26-34., 2001.

FERRI, G. L., & CHAVES, G. de L. D. Eficiência energética dos resíduos sólidos por meio da coleta seletiva e processos de recuperação. *Latin American Journal of Energy Research*, 1(2), 9–18., 2021. <https://doi.org/10.21712/lajer.2014.v1.n2.p9-18>

FONTANETTI, C. S., BUENO, O. C. Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica. Bauru, São Paulo: Canal 6. 275 p., 2017.

FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORRO, J. C. Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ, Universidade Rural, 430 p., 2013.

GOMES, L. P. (coordenadora). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

GWMO - GLOBAL WASTE MANAGEMENT OUTLOOK. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024>. Acesso em 19/09/2024.

HUNGRIA, M., ANDRADE, D. de S., COLOZZI FILHO, A., BALOTA, E. L., “Interação entre microrganismos no solo, feijoeiro e milho em monocultura ou consórcio”. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, nº8, p. 807-818, ago. 1997.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção de cana-de-açúcar 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>. Acesso em: 29 de ago. de 2024.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; WOERDEN, F. V. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank. p. 17-38., 2018. doi:10.1596/978-1-4648 -1329-0

KUMAR, R.; ADHIKARI, S.; DRIVER, E. M.; SMITH, T.; BHATNAGAR, A.; LORKIEWICZ, P. K.; XIE, Z.; HOETKER, J. D.; HALDEN, R. U. Towards a novel application of wastewater-based epidemiology in population-wide assessment of exposure to volatile organic compounds. *Science of The Total Environment*, v. 845, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157008>.

KUWANO, B. H., CEREZINI, P., SANTOS, M. B., TAVARES-FILHO, J., HUNGRIA, M., ANDRADE, D. S., BARBOSA, G. M. C., NOGUEIRA, M. A.. Efeitos da aplicação de lixiviado de aterro sanitário em atributos microbiológicos do solo. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., Londrina. Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a Ciência do Solo: resumos. Londrina: IAPAR, p. 231, 2013.

LANDELL, M. G. A., BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Cana de açúcar, Campinas. Instituto Agrônômico, p.99-156, 2008.

LUCERO-SOBARZO, D.; BELTRAN-VILLAVICENCIO, M.; GONZÁLEZ-ARAGÓN, A.; VÁZQUEZ-MORILLAS, A. Recycling of nutrients from landfill leachate: A case study. *Heliyon*, 8:1-8, 2022.

MACRUZ, P. D. Avaliação do tratamento do chorume de aterro sanitário, por processo de coagulação/floculação com o coagulante tanino e policloreto de alumínio (PAC). 2015. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

MAGOČ, T., & SALZBERG, S. L. FLASH: Fast length adjustment of short reads to improve genome assemblies. *Bioinformatics*, 27(21). 2011. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btr507>

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; MOREIRA, J. C. Tratamento combinado de lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos e esgoto doméstico como alternativa para a solução de um grave problema ambiental e de saúde pública – revisão bibliográfica. *Cad. Saúde Colet.* Rio de Janeiro, 19 (1): 11-9, 2011.

MATIAS, G. A., & MOTTA SOBRINHO, M. A. da. Tratamento e refuncionalização de solo contaminado por lixiviado de aterro sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25(5), 677–689. 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020190108>

MATTOS, M. L.T. Microbiologia do Solo. In: NUNES, R. R., REZENDE, O. O. M. (organizadores). Recurso solo: propriedades e usos. – 1. ed. – São Carlos: Editora Cubo, 2015. Cap. 8, p. 250 – 272. ISBN 978-85-60064-65-6. 2015.

McMURDIE, P. J., & HOLMES, S. Phyloseq: An R Package for Reproducible Interactive Analysis and Graphics of Microbiome Census Data. *PLoS ONE*, 8(4). 2013.

MENDES, A. M. S., OLSZEWSKI, N.; SILVA, F. N. da; MENDES, R. L.; BRITO, L. T. de L. Impactos ambientais causados pelo uso de fertilizantes agrícolas. In: BRITO, L. T. de L., MELO, R. F. de., GIONGO, V. (Ed.). Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. Cap. 3, p. 55-99. ISBN 978-85-7405-014-0.

MIKRYUKOV, V. *metagMisc: Miscellaneous functions for metagenomic analysis* (0.040). 2019.

MOR, S.; RAVINDRA, K.; DAHIYA, R. P. and CHANDRA, A. Leachate characterization and assessment of ground water pollution near municipal solid waste landfill. *Environ. Monit. Assess.*, 118, 435-456, 2006.

MORAIS, J. L. Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2005. Disponível em <http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/handle/1884/3523?mode=ful>. Acessado em 14/07/2023.

MSIMBIRA, L. A. AND SMITH, D. L. The Roles of Plant Growth Promoting Microbes in Enhancing Plant Tolerance to Acidity and Alkalinity Stresses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4:1-14, 2020.

NAGALLI, A. Diagnóstico e avaliação dos impactos ambientais de aterros de disposição de resíduos no Estado do Paraná: Estudo de caso dos Municípios de Jacarezinho e Barra do Jacaré. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2005.

NOGUEIRA, A. V., SILVA FILHO, G. N. Microbiologia. Florianópolis: CED/LANTEC/Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. 211 p.: 111, 124., graf., tabs., plantas ISBN 978-85-61485-26-9

OURONITRO, Tecnologias inovadoras de tratamento de efluentes, Disponível em: <https://www.ouronitro.com/tecnologia/>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.

PAIXÃO FILHO, J. L. da. Lixiviado de aterro sanitário: Alternativas de tratamento para o cenário brasileiro. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, São Paulo. 2017.

PANCHONI, L. C. Potencial de lixiviado de aterro sanitário como fonte de nutrientes e efeitos em propriedades do solo. Dissertação (Mestrado em microbiologia) – Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Microbiologia. Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 52f. 2011.

PARKS, D. H., CHUVOCHINA, M., RINKE, C., MUSSIG, A. J., CHAUMEIL, P. A., & HUGENHOLTZ, P. GTDB: An ongoing census of bacterial and archaeal diversity through a phylogenetically consistent, rank normalized and complete genome-based taxonomy. *Nucleic Acids Research*, 50(D1). 2022. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab776>

QUAST, C., PRUESSE, E., YILMAZ, P., GERKEN, J., SCHWEER, T., YARZA, P., PEPLIES, J., & GLÖCKNER, F. O. The SILVA ribosomal RNA gene database project: Improved data processing and web-based tools. *Nucleic Acids Research*, 41(D1). 2013. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1219>

R CORE TEAM. In R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021. URL <http://www.R-project.org>.

RIO DE JANEIRO, Lei nº 9.055, de 08 de outubro de 2020. Institui a obrigatoriedade do controle e tratamento do chorume nos sistemas de destinação final de resíduos sólidos, vazadouros, aterros controlados e aterros sanitários, bem como a remediação de vazadouros no estado do Rio de Janeiro. Diário Oficial do Estado. Rio de Janeiro, 8 de outubro de 2020. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1111444385/lei-9055-20-rio-de-janeiro-rj>. Acesso em: 02 de setembro de 2024.

RISSO, W. E.; KUROKAWA, S. S. S.; ANDRADE, D. S.; HIROOKA, E. Y. Milho orgânico: impacto da adubação com lixo de aterro sanitário na composição química, produtividade e concentração de metais em grãos. *Semina: Ciências Agrárias*, 36:3101-3112, 2015.

SALEEM, W.; ZULFIQAR, A.; TAHIR, M.; ASIF, F.; YAQUB, G. Latest technologies of municipal solid waste management in developed and developing countries: A review. *International Journal of Advanced Science and Research*, v.1, issue 10, p.22-29, 2016. Disponível em: www.allsciencejournal.com. Acesso em: 12 de agosto de 2023.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C.; MARCHAO, R. L.; MADARI, B. E.; BENEDITO, L. E.C.; BUSATO, J. G.; SOUZA, D. M. Methods of soil carbon determination in Brazilian savannah soil. *Scientia Agrícola, Brasília*, v. 71, n. 4, p. 302-308, 2014.

SCHULTZ, N., Fixação biológica de nitrogênio associada à cultura de cana de açúcar: eficiência e contribuição da inoculação com bactérias diazotróficas. Tese de Doutorado. Universidade de Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, Rio de Janeiro. 126 f. 2012.

SEGURA MUÑOZ, S. I. Impacto ambiental na área do Aterro Sanitário e Incinerador de Resíduos Sólidos de Ribeirão Preto, SP: avaliação dos níveis de metais pesados. Tese (Doutorado em Enfermagem) - Depto de Enfermagem Materno-Infantil e Saúde Pública - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto/Universidade de São Paulo, São Paulo. 131 p., 2002.

SHAO, T.; ZHAO, J.; LIU, A.; LONG, X.; RENGEL, Z. Effects of soil physicochemical properties on microbial communities in different ecological niches in coastal area. *Applied Soil Ecology*, 150, 1-9, 2020.

STEENWERTH, K.L.; JACKSON, L.E.; CALDERÓN, F.J.; STROMBERG, M.R.; SCOW, K.M. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. *Soil Biol. Biochem.* 34, 1599–1611, 2002.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). Manual de métodos de análise de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 573p., 2017.

TURKI, N. AND BOUZID, J. Effects of Landfill Leachate application on Crops growth and Properties of a Mediterranean Sandy Soil. *Journal of Pollution Effects & Control*. 5:1-8, 2017. doi: 10.4176/2375-4397.1000186.

UDOP - União Nacional da Bioenergia. Brasil terá recordes para açúcar em 2023/24. com 50% do comércio global. 2023. Disponível em: <[https://www.udop.com.br/noticia/2023/09/01/brasil-tera-recordes-para-acucar-em-2023-24-com-50-do-comercio-global.html#:~:text=O%20Brasil%20dever%C3%A1%20encerrar%20a.quinta%2Dfeira%20\(31\)%20a>](https://www.udop.com.br/noticia/2023/09/01/brasil-tera-recordes-para-acucar-em-2023-24-com-50-do-comercio-global.html#:~:text=O%20Brasil%20dever%C3%A1%20encerrar%20a.quinta%2Dfeira%20(31)%20a>). Acesso em: 09 novembro 2023.

USEPA. Method 3050 B. 1998a. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>. Acesso em: 06 de março de 2021.

USEPA. Method 3051 A. 1998b. Disponível em: <http://https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>. Acesso em: 06 de março de 2021.

WISZNIOWSKI, J.; D. ROBERT; J. SURMACZ-GOASRKA; K, MIKSCH AND V. J. WEBER. Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ. Chem. Lett.* 4, 51-61, 2006.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications Soil Science and Plant Analysis*, 19:1467–1476, 1988.

ZONTA, E., STAFANATO, J. B., PEREIRA, M. G. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. In: BORGES, A. L., (Ed.). *Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá* – 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, Cap. 14, p. 263-303., 2021. ISBN 978-65-87380-38-4.