

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALECKSEY WALEWSKI

COMPOSTAGEM E BIODIGESTÃO ANAERÓBIA NO ENSINO DE MICROBIOLOGIA

CURITIBA

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALECKSEY WALEWSKI

COMPOSTAGEM E BIODIGESTÃO ANAERÓBIA NO ENSINO DE MICROBIOLOGIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional (PROFBIO), Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Orientadora: Profa. Dra. Lucy Ono.

Área de Concentração: Ensino em Biologia

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Walewski, Alecksey

Compostagem e biodigestão anaeróbia no ensino de microbiologia / Alecksey Walewski. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Biologia em Rede Nacional.

Orientadora: Profa. Dra. Lucy Ono.

1. Microbiologia. 2. Biodigestor. 3. Compostagem. 4. Biologia – Estudo e ensino. I. Ono, Lucy, 1976-. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Biologia em Rede Nacional. III. ProfBio. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFBIO ENSINO DE
BIOLOGIA EM REDE NACIONAL - 32001010175P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação PROFBIO ENSINO DE BIOLOGIA EM REDE NACIONAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ALECKSEY WALEWSKI** intitulada: **Compostagem e Biodigestão Anaeróbia no Ensino de Microbiologia**, sob orientação da Profa. Dra. LUCY ONO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 19 de Agosto de 2022.

Assinatura Eletrônica

25/08/2022 17:01:47.0

LUCY ONO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

02/09/2022 14:20:13.0

TAMARA SIMONE VAN KAICK

Avaliador Externo

Assinatura Eletrônica

25/08/2022 10:51:19.0

PATRICIA DO ROCIO DALZOTO

Avaliador Externo

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de conclusão de mestrado (TCM) foi desenvolvido no Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, sob orientação da Profa. Dra. Lucy Ono, e contou com apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Agradeço ainda a equipe do PROFBIO pela oportunidade, em especial à minha orientadora, a Dra. Lucy Ono. Ela esteve sempre presente e teve um profissionalismo exemplar. Ressalto que fiz as atividades da minha melhor forma, onde sob a orientação da Dra. Lucy, ela sempre teve a habilidade de estimular meu crescimento técnico e científico de forma contínua, e sem seus apontamentos e sugestões o trabalho não teria o avanço e a qualidade que teve.

No andamento do curso, eu não teria as reflexões e quebras de paradigma reafirmados pelas experiências de vida e docente que tive, sem as inúmeras conversas com os membros do “grupo 4”, Alair Redede Camati, Leandro Francisco Thomacheski, Marcelo Aparecido Boline, Ronaldy Fernando Puzio e Rubens Munhoz Filho, obrigado pessoal!



RELATO DO MESTRANDO



INSTITUIÇÃO: Universidade Federal do Paraná- UFPR

MESTRANDO: Alecksey Walewski

TÍTULO DO TCM: Compostagem e biodigestão anaeróbia no ensino de microbiologia

DATA DE DEFESA: 19/08/2022

O estudo-reflexão-aprendizado é um processo contínuo, inclusive, se não mais importante, da parte dos professores. Frente às novas descobertas e tecnologias científicas, o professor deve estar atualizado e sempre aprendendo para que o processo de ensino proposto pelo docente seja de relevância e não estanque no espaço e no tempo.

Para mim estar novamente como estudante gerou uma série de reflexões e quebra de paradigmas, onde alguns conhecimentos e experiências acadêmicas dentro da sala de aula foram refletidos e reanalisados. Poder observar as metodologias didáticas de professores do PROFBIO fez com que eu tivesse profundas reflexões de pontos positivos e negativos frente às minhas próprias aulas. Com a volta às aulas presenciais, posso dizer que minhas aulas já tiveram um incremento e que ainda há muito o que acrescentar e, com o devido tempo, apresentarei a minha melhor versão docente aos estudantes. Neste processo, devo acrescentar que as atividades em grupo, onde houve inúmeras observações e debates, acrescentou significativamente ao meu próprio processo de reflexão e ações.

Mesmo com o término das atividades do PROFBIO, penso numa necessidade de aperfeiçoamento, pesquisa e desenvolvimento docente frente às adversidades impostas pelas dificuldades atuais da educação pública brasileira.

RESUMO

A correta destinação de resíduos orgânicos provenientes da merenda escolar constitui uma medida de mitigação de impacto ambiental em escolas. Relacionando o número total de estudantes na escola estudada e a média estimada de resíduos orgânicos aproveitáveis do refugo proveniente da merenda escolar, calculamos que para cada 55 estudantes são gerados 30 litros de matéria orgânica por mês. Para diminuir o impacto desses problemas ambientais de produção de chorume e gases tóxicos em aterros sanitários e envolver estudantes em um laboratório microbiológico ao ar livre, esta pesquisa envolveu a construção de biodigestor anaeróbio anexo a uma composteira, com intuito de gerar biofertilizante em pequenos espaços e a confecção e aplicação de uma sequência didática envolvendo decomposição com estudantes de biologia do ensino médio. Testes empíricos com um protótipo unindo compostagem e biodigestão anaeróbia foram realizados e, em um primeiro momento, não foi possível avaliar a eficiência de compostagem e biodigestão do mesmo, devido a problemas relacionados à composição do material a ser compostado, bem como possíveis problemas de aeração do sistema e de baixa temperatura ambiente. A partir destes resultados foram realizados dois testes pilotos, com o composto inicial e outro com repolho e serragem em garrafas PET, na tentativa de melhorar o processo no protótipo a ser instalado na escola, posteriormente. Ao longo do trabalho, com resultados de pesquisas bibliográficas e testes pilotos em pequena escala, chegamos a uma metodologia utilizando experimentos de fitotoxicidade (germinação de sementes de alface) que indicaram uma proporção adequada de 1 parte de repolho para 0,31 partes de serragem. Proporção que permitiu produzir, ao final de 63 dias, compostos imaturos, semicurados e curados. Esses procedimentos não foram ainda avaliados no protótipo produzido. O protótipo modificado foi usado como objeto de estudo em aulas investigativas de Microbiologia, onde além de realizarem análises investigativas com matéria orgânica em decomposição de forma prática, os estudantes de Ensino Médio elaboram experimentos de compostagem e biodigestão e compararam os modelos de garrafas PET produzidos por eles com o protótipo desenvolvido pelo autor. Essas metodologias auxiliaram na compreensão das características e importâncias dos microrganismos no uso didático, e na proposta de soluções para problemas ambientais reais. A melhoria da motivação intrínseca foi demonstrada a partir de observação da diferença estatisticamente significativa (DES) na análise de variância (ANOVA) nos resultados dos questionários preenchidos pelos estudantes antes e após as atividades práticas. Com relação ao rendimento do conhecimento dos estudantes foi aplicada a análise de variância (ANOVA) nos resultados das notas obtidas pelos estudantes e não observamos diferença estatisticamente significativa (DES) entre as médias de notas dos estudantes, seja depois de aulas teóricas ou após práticas experimentais. Desta forma, as aulas de Biologia tiveram um contexto prático e investigativo, aumentando a motivação intrínseca dos discentes para o aprendizado de Microbiologia. Também foram produzidos, como resultado deste trabalho, um manual de construção do protótipo da composteira associada a biodigestor que ainda precisará ter sua eficiência avaliada por métodos químicos e físico-químicos futuramente, e uma sequência didática investigativa contemplando a biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: Microbiologia; Ensino investigativo; Biodigestor; Compostagem.

ABSTRACT

The correct destination of organic waste from school meals is a measure to mitigate environmental impact in schools. Relating to the total number of students in the school studied and the estimated average of usable organic residues from the refuse from school meals, we calculated that for every 55 students 30 liters of organic matter are generated per month. To reduce the impact of these environmental problems of producing leachate and toxic gases in landfills and involving students in an outdoor microbiological laboratory, this research involved the construction of an anaerobic digester attached to a compost bin, in order to generate biofertilizer in small spaces and the creation and application of a didactic sequence involving decomposition with high school biology students. Empirical tests with a prototype combining composting and anaerobic biodigestion were carried out and, at first, it was not possible to evaluate the efficiency of composting and biodigestion of the same, due to problems related to the composition of the material to be composted, as well as possible aeration problems, system and low ambient temperature. From these results, two pilot tests were carried out, with the initial compound and another with cabbage and sawdust in PET bottles, in an attempt to improve the process in the prototype to be installed in the school, later. Throughout the work, with results of bibliographic research and pilot tests on a small scale, we arrived at a methodology using phytotoxicity experiments (lettuce seed germination) that indicated an adequate proportion of 1 part of cabbage to 0.31 parts of sawdust. Proportion that allowed the production, at the end of 63 days, of immature, semi-cured and cured compounds. These procedures have not been evaluated yet in the produced prototype. The modified prototype was used as an object of study in Microbiology investigative classes, where in addition to carrying out investigative analyzes with decomposing organic matter in a practical way, high school students develop composting and biodigestion experiments and compared the models of PET bottles produced by them with the prototype developed by the author. These methodologies helped in the understanding of the characteristics and importance of microorganisms in didactic use, and in the proposal of solutions to real environmental problems. The improvement of intrinsic motivation was demonstrated from the observation of the statistically significant difference (DES) in the analysis of variance (ANOVA) in the results of the questionnaires completed by the students before and after the practical activities. Regarding the students' knowledge performance, analysis of variance (ANOVA) was applied to the results of the grades obtained by the students and we did not observe a statistically significant difference (DES) between the students' grade averages, either after theoretical classes or after experimental practices. In this way, the Biology classes had a practical and investigative context, increasing the students' intrinsic motivation to learn Microbiology. As a result of this work, a manual for the construction of the prototype of the composter associated with a biodigester was also produced, which will still need to have its efficiency evaluated by chemical and physical-chemical methods in the future, and an investigative didactic sequence contemplating the anaerobic biodigestion of organic waste.

Keywords: Microbiology; Investigative teaching; Biodigester; Compost.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Esquemas de concepções de biodigestores	20
FIGURA 2 - Fases do processo de compostagem relacionando a temperatura e o tempo de compostagem	22
FIGURA 3 - Esquema da digestão anaeróbia da matéria orgânica	24
FIGURA 4 – Fluxograma do trabalho realizado no mestrado e testes	35
FIGURA 5 – Exemplo de oxigenação central em uma composteira caseira	36
FIGURA 6 - Fluxograma contendo as etapas de testes do protótipo e principais objetivos	37
FIGURA 7 - Protótipos de biodigestor e composteira desenvolvidos pelo autor	46
FIGURA 8 - Primeiro protótipo desenvolvido mostrando digestor anaeróbio, parte externa e interna; composteira, com e sem separador das fases sólidas e líquidas	47
FIGURA 9 - Conexão em “s deitado” entre a composteira e o biodigestor, demonstrando o princípio de isolamento quando preenchido por líquidos	49
FIGURA 10 - Esquema do processo de biodigestão anaeróbia	55
FIGURA 11 - Gráfico da altura da leira de matéria orgânica na composteira sem chaminé (em vermelho) e com chaminé (em branco)	57
FIGURA 12 - Gráfico da temperatura média a 30 cm da base sólida da matéria orgânica na composteira sem chaminé (em vermelho) e com chaminé (em branco)	58
FIGURA 13 - Gráfico da temperatura média a 30 cm da base dos biodigestores (azuis) conectados a composteira sem chaminé (em vermelho) e com chaminé (em branco)	58
FIGURA 14 - Gráfico do volume dos líquidos contidos nos biodigestores (azuis) conectados a composteira sem chaminé (em vermelho) e com chaminé (em branco)	59
FIGURA 15 - Fotografias do processo de secagem a sombra	60
FIGURA 16 - Fotografias do processo de secagem com ventilação forçada em área coberta .	60
FIGURA 17 - Demonstração das oscilações de umidade relativa do ar ao longo do dia	61
FIGURA 18 - Processo de retirada de material orgânico da composteira e correção da quantidade de carbono disponível	64
FIGURA 19 - Fotografia do teste piloto	65
FIGURA 20 - Demonstração do frio intenso do inverno de 2021	66
FIGURA 21 - Estufa caseira contendo projeto piloto	67
FIGURA 22 - Garrafas PET para utilização nos experimentos de compostagem com resíduo de repolho e serragem.....	70
FIGURA 23 - Fotografia do experimento A, da esquerda para a direita, A1, A2, A3 E A4	71

FIGURA 24 - Fotografia dos microrganismos eficazes sendo capturados	72
FIGURA 25 - Fotografia do experimento B, da esquerda para a direita, B1, B2, B3 E B4	73
FIGURA 26 - Diferença de temperatura entre o composto e a temperatura ambiental	74
FIGURA 27 - Diminuição da leira de compostagem	75
FIGURA 28 - Formação de lixiviado	77
FIGURA 29 - pH do composto	78
FIGURA 30 - pH do lixiviado	79
FIGURA 31 - Observação de crescimento microbiano	79
FIGURA 32 - Germinação após 31 dias de compostagem	80
FIGURA 33 - Germinação após 63 dias de compostagem	82
FIGURA 34 - Relação entre a temperatura e o tempo de decomposição da matéria orgânica, demonstrando as diferentes fases da compostagem	83
FIGURA 35 - Fases de decomposição da matéria orgânica relacionando a mudança da relação C/N ao passar do tempo	84
FIGURA 36 - Fotografia de evidências de atividade microbiana	85
FIGURA 37 - Fotografia da série de biodigestão anaeróbia em uma diferença de 8 dias	86
FIGURA 38 - Materiais necessários para a construção de uma composteira aeróbia aliada a um biodigestor anaeróbio	89
FIGURA 39 - Locais de furações das bombonas com o serra-copos e adequação de materiais em bombonas de 200 litros para a confecção de tampas teladas para a composteira	90
FIGURA 40 - Detalhe da conexão em “U” invertido	91
FIGURA 41 - Filtro simples para compostos sólidos provenientes da composteira	91
FIGURA 42 - Organização dentro da composteira, à esquerda evidenciando peneira e filtro, à direita chaminé de oxigenação passiva	92
FIGURA 43 - Detalhe da adaptação do calibrador de pneus analógico à tampa do biodigestor	93
FIGURA 44 - Dois protótipos indicando a utilização de válvula de retenção unidirecional como separação eficiente entre composteiras aeróbios e biodigestores anaeróbios	94
FIGURA 45 – Gráfico demonstrando o percentual relacionado ao gênero e à idade de discentes participantes da pesquisa	98
FIGURA 46 – Fotografia dos estudantes participantes do experimento realizando avaliações de motivação e de conhecimento	99
FIGURA 47 – Fotografia dos estudantes participantes do experimento em aula teórica	102

FIGURA 48 – Fotografia dos estudantes participantes do experimento em grupos elaborando hipóteses	105
FIGURA 49 - Fotografia dos estudantes participantes do experimento em grupos construindo experimentos	106
FIGURA 50 – Fotografia dos resultados obtidos da experimentação	108
FIGURA 51 – Fotografia dos estudantes participantes realizando pesquisa	109
FIGURA 52 – Fotografia dos estudantes participantes em análise do protótipo desenvolvido	111
FIGURA 53 – Evolução da média de questões acertadas ao longo da sequência didática.....	115
FIGURA 54 – Médias de acertos dos estudantes nas aplicações pré-teóricas, pós-teóricas e pós-práticas com relação as questões de conhecimento	116
FIGURA 55 – Taxonomia de Bloom revisada	117

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Desafios no processo de compostagem e biodigestão anaeróbia	32
TABELA 2 - Relações entre o índice de germinação (GI), o nível de maturidade do composto e a inibição da germinação por fitoxidade	40
TABELA 3 - Resumo do cálculo da relação de carbono e nitrogênio de 30/1 para uma mistura de serragem e esterco bovino como fontes de material orgânico	51
TABELA 4 - Resumo do volume seco estimado de cada material orgânico da mistura utilizada, para uma relação de carbono e nitrogênio de 30/1	53
TABELA 5 - Composição média do biogás	54
TABELA 6 - Itens necessários para construção de uma composteira unida a um biodigestor anaeróbio	87
TABELA 7 - Média e desvio padrão nos itens da escala de motivação para aprender dos estudantes antes das aulas teóricas	100
TABELA 8 - Média e desvio padrão nos itens da escala de motivação para aprender dos estudantes após as aulas teóricas	102
TABELA 9 – Resumo da metodologia idealizada por cada grupo de discentes	106
TABELA 10 - Graus de liberdade referentes ao professor (P) e estudantes (E) em atividades experimentais	111
TABELA 11 - Média e desvio padrão nos itens da escala de motivação para aprender dos estudantes após práticas experimentais	112

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 O PROCESSO DE COMPOSTAGEM	21
2.2 O PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA	23
2.3 O ENSINO DE MICROBIOLOGIA NO ENSINO MÉDIO	26
2.3.1 Ensino de Biologia por investigação	27
2.3.2 Motivação intrínseca e extrínseca para aprender Biologia no Ensino Médio	28
2.3.3 Atividades de ensino com biodigestores e protótipos realizados por outros autores	30
2.3.4 Biotecnologia de compostagem e biodigestão anaeróbia	31
3. OBJETIVOS	34
3.1 OBJETIVO GERAL	34
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
4. METODOLOGIA	35
4.1 MODIFICAÇÕES DO PROTÓTIPO EXISTENTE	35
4.2 TESTES PARA VERIFICAÇÃO DE DECOMPOSIÇÕES EM DIFERENTES CONDIÇÕES	38
4.2.1 Compostagem aeróbia	38
4.2.2 Biodigestão anaeróbia	40
4.3 MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE COMPOSTEIRA INTEGRADA A BIODIGESTOR ANAERÓBIO	41
4.4 ROTINA DE DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS	42
4.5 PROPOSTAS PEDAGÓGICAS	42
4.5.1 Planos de aplicação de Temas	42
4.5.2 Compostagem e biodigestão na escola	43
4.5.3 Avaliação dos discentes	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 MODIFICAÇÕES DO PROTÓTIPO EXISTENTE	45
5.2 TESTES PARA VERIFICAÇÃO DE DECOMPOSIÇÕES EM DIFERENTES CONDIÇÕES	69
5.2.1 Compostagem aeróbia	71
5.2.2 Biodigestão anaeróbia	84

5.3 MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE COMPOSTEIRA INTEGRADA A BIODIGESTOR ANAERÓBIO	86
5.4 ROTINA DE DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS	95
5.5 PROPOSTAS PEDAGÓGICAS	96
5.5.1 Planos de aplicação de Temas	97
5.5.2 Compostagem e biodigestão na escola	97
6. CONCLUSÕES	121
REFERÊNCIAS	123
APÊNDICES	137

1. INTRODUÇÃO

A utilização de biodigestores como instrumento educativo é uma ferramenta interessante pois proporciona aplicações didáticas no ensino de Microbiologia no Ensino Médio. Os biodigestores também proporcionam uma solução ecológica, sustentável e de baixo custo para diminuir o volume e gastos na destinação dos resíduos sólidos orgânicos de origem escolar, permitindo produzir biofertilizante ao final do processo (SCARPA; CAMPOS, 2018).

A partir do trabalho em sala de aula com biodigestores, as aulas de Biologia podem ser bem exemplificadas no que diz respeito às características, importância e reprodução de microrganismos, relações ecológicas e aplicações práticas do conhecimento de Biologia na biotecnologia. Para os estudantes, o ensino por investigação estará a sua disposição, inclusive para ser repetido, aperfeiçoado e investigado na escola. Segundo Kretzer *et al.* (2015), menos de 5% dos estudantes conhecem ou ouviram falar em biodigestores.

O ensino por investigação é uma perspectiva de ensino, uma técnica pedagógica e didática que favorece a autonomia, a descoberta e o senso crítico, em contraposição ao ensino de Ciências dogmático e/ou reprodutor de experiências, favorecendo a alfabetização científica e preceitos de fomento de uma sociedade mais democrática (RODRIGUES; BORGUES, 2008; SCARPA; CAMPOS, 2018). A educação por investigação pode ser definida por:

...estratégias didáticas que buscam envolver ativamente os alunos em sua aprendizagem, por meio da geração de questões e problemas nos quais a investigação é condição para resolvê-los, com coleta, análise e interpretação de dados que levem a formulação e comunicação de conclusões baseadas em evidências e reflexão sobre o processo.

Melville *et al.*, 2008 apud Scarpa; Campos, 2018, p.30.

A educação ambiental permeia o ensino de Biologia, sendo a abordagem desse conteúdo essencial no cenário contemporâneo, onde efeitos de aquecimento global são intensos, recursos naturais são desperdiçados, solos perdidos e o processo de desertificação por ações antrópicas ampliados (NOVAES, 2000; HESS, 2002). Estes e outros fatores poderiam ser mitigados com a ampla educação e utilização de biodigestores em escolas e em residências. Para os estudantes, ter aulas práticas sobre o conteúdo, ainda mais com aplicações observáveis, tornaria as aulas estimulantes e interessantes, saindo da rotina escolar. Com a aplicação de uma metodologia pedagógica de ensino por investigação, seria estimulada a comunicação e a reflexão por parte dos estudantes, a problemática dos resíduos sólidos residenciais/escolares seria posta como objeto de conhecimento permitindo o surgimento de conceitos, fomentando

uma cultura científica escolar, sendo o educador mediador na integração entre os estudantes e o saber (SCARPA; CAMPOS, 2018).

Uma prática de ensino de Biologia de qualidade possui uma gama de empecilhos e dificuldades, entre elas, as práticas laboratoriais são limitadas no ambiente de escolas públicas brasileiras. Tal fato tem inúmeras razões, entre elas, o tempo necessário para preparação das atividades, falta de protocolos e modelos de fácil acesso e até falta de conhecimento laboratorial de alguns docentes. Para os estudantes, a escassez de exemplos visuais e práticos põe em xeque a importância dos microrganismos e suas relações ecológicas, inclusive aplicações ambientais, sociais e econômicas. Sem referências de qualidade, a maioria dos exemplos dos estudantes ficam limitados a imagens de livros didáticos e explicações abstratas dos educadores, assim muitos estudantes acham distantes e desinteressantes os microrganismos e assim perdem interesse pelo mundo microscópico.

Segundo Barbosa e Oliveira (2015) e Cassanti *et al.* (2008), falar de Microbiologia traz uma associação negativa entre os estudantes, principalmente relacionada a doenças. Ovigli e Silva (2009) citam ainda que muitas relações benéficas dos microrganismos como funções ecológicas essenciais ou os benefícios para a saúde humana ficam mascaradas por esta visão dos discentes. A dificuldade do ensino de Microbiologia é ainda potencializada frente à falta de infraestrutura, materiais e equipamentos (KIMURA *et al.* 2013). Segundo Cândido *et al.* (2015) o educador pode alterar este ponto de vista dos estudantes, demonstrando o lado benéfico dos microrganismos. Esta afirmação é corroborada por Lima e Garcia (2011) que demonstraram aumento do interesse dos educandos em estudos com microrganismos após terem aulas práticas e investigativas. Segundo Gitti (2014) as aulas práticas são essenciais no processo de aprendizagem envolvendo microrganismos, pois ajudam a compreender, construir e assimilar melhor este mundo microscópico. Possuir um objeto de estudo científico é de grande valia no processo de pesquisa e aprendizagem dos estudantes (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012), e no caso da proposta deste trabalho, uma composteira anexa a um biodigestor anaeróbio poderia constituir uma valiosa ferramenta de ensino-aprendizagem, especialmente voltada ao ensino de Microbiologia.

Uma educação de qualidade deve ser fornecida para a população como uma forma libertadora e humanista, para tanto deve haver a superação da educação “bancária”, com a superação de paradigmas e tendo uma dialógica entre educador e educando, uma educação gnosiológica e problematizadora (FREIRE, 1970). Sob este aspecto, Scarpa e Campos (2018) citam que para viabilizar tal proposta é necessário ter uma nova concepção de educação, sob consenso construtivista, onde o processo de ensino e aprendizagem tenha como foco o

estudante. Como método de ensino deve-se valorizar o conhecimento prévio dos estudantes, importância das interações entre indivíduos e objeto de conhecimento e a necessidade de interações sociais na construção do conhecimento. Scarpa e Campos (op. cit.) ainda citam que tais interações devem valorizar e respeitar valores culturais, sociais e históricos no processo de construção do conhecimento.

Com a atual proposta, busca-se galgar tal qualidade educacional, utilizando problemas reais, em específico o lixo orgânico.

O Brasil produz 241.614 toneladas de lixo por dia, onde 76% são depositados a céu aberto, em lixões, 13% são depositados em aterros controlados, 10% em usinas de reciclagem e 0,1% são incinerados. Do total do lixo urbano, 60% são formados por resíduos orgânicos que podem se transformar em excelentes fontes de nutrientes para as plantas.

Oliveira *et al.*, 2005, p. 1.

Com o crescimento populacional e da economia, observamos o aumento de geração de resíduos sólidos urbanos. Segundo Abrelpe (2021), a geração de resíduos sólidos urbanos saltou de 66,7 milhões de toneladas em 2010 para 79 milhões de toneladas em 2019, um incremento de 18,44 % em menos de uma década.

A problemática dos resíduos sólidos orgânicos provenientes da merenda escolar poderia ser minimizada com o depósito deste material em composteiras e biodigestores. Esta prática abre a possibilidade das escolas serem exemplos práticos, sociais e educacionais na busca da humanidade por soluções sustentáveis.

Ainda sobre os resíduos orgânicos humanos, estes podem ser provenientes das mais diversas atividades, sendo um problema social, econômico e ambiental (VALENTE, 2009). Tais resíduos acabam contaminando reservas de água como rios, lagos, aquíferos e lençóis freáticos. Este fato é problemático, já que considerando que a população mundial está em 7,7 bilhões de pessoas e, dessas, 2,2 bilhões ou 28,57% de toda a população mundial não tem acesso a água potável, além de 4,2 bilhões ou 54,54% sem tratamento de esgoto (WHO, 2019). Estes números somente têm piorado nas últimas décadas, onde considerando dados de 19 anos atrás (WHO, 2000), 18% não tinham acesso à água potável e 40% não utilizavam sistemas de tratamento de esgoto. Estas informações refletem, em parte, a falta de destinação e tratamento dos resíduos orgânicos, inclusive os resíduos sólidos de origem doméstica.

Segundo Galbiati (2005), a retirada de compostos orgânicos dos resíduos sólidos residenciais pode reduzir em até 50% os resíduos destinados aos aterros sanitários, já que os resíduos sólidos domésticos são compostos por 65% de resíduos orgânicos, 25% papel, 4%

metal, 3% plástico e 3% vidro. A diminuição de material orgânico que é jogado no lixo tem impacto relevante no aumento de vida útil de aterros sanitários, além de uma economia para os municípios devido à diminuição do volume dos resíduos residenciais. Esta forma de uso de recursos naturais, reutilizando nutrientes dos compostos orgânicos, viabiliza a reciclagem dos outros resíduos sólidos gerados em residências, pois não estará contaminado por matéria orgânica, fomentando um processo de sustentabilidade mais produtivo e econômico.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, 2,6 bilhões de pessoas no mundo ainda utilizam carvão vegetal, lenha e outros, como fontes de energia. A cada ano aproximadamente 4 milhões de pessoas morrem prematuramente de doenças atribuídas por inalar poluentes oriundos do cozimento em fogões poluentes (WHO, 2021). No Brasil 8,7 % da energia utilizada é de origem de carvão vegetal e lenha (MME, 2020). Observamos que o biogás pode ser uma alternativa viável de substituição de combustíveis poluentes.

O uso de tecnologias de biodigestão anaeróbia na forma de destinação e ciclagem energética de resíduos sólidos orgânicos é uma opção renovável, ainda mais quando observamos a alta escalonada de preços e o esgotamento de combustíveis fósseis, as consequências ambientais de seu uso e as mudanças dos processos naturais que sustentam a vida planetária (GIJZEN, 2002, LI *et al.*, 2007, LI *et al.*, 2009, IPCC, 2021). Usado adequadamente, o gás gerado de processos biológicos é sustentável e renovável, sem impactos negativos ao meio ambiente ou à saúde das pessoas (GREEN; SIBISI, 2002, HALL; MOSS, 1983). Apesar de inúmeras vantagens, o aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos e de biogás no Brasil ainda é prematura, principalmente devido às limitações econômicas e culturais (LIMA JR, 2015).

Atualmente a reciclagem e reutilização de resíduos de origem antrópica como plásticos, vidros e metais são questões chaves para um pleno processo sustentável da sociedade (NOVAES, 2000; HESS, 2002). O processo de reciclagem pode ser totalmente inviabilizado com a contaminação do lixo sólido, pelos restos de alimentos. Nas escolas, por exemplo, não costuma haver uma política e/ou utilização sustentável acerca o descarte dos resíduos sólidos orgânicos provenientes da merenda escolar, que poderiam ser descartados em composteiras e biodigestores.

Quando se é calculado o total de emissões indesejáveis de aterros sanitários ou plantas de compostagem centralizadas, observa-se que, com um manejo adequado, a compostagem em pequena escala e de forma descentralizada é uma alternativa sustentável e economicamente viável para a destinação final de resíduos sólidos urbanos, sendo estes transformados em fertilizante orgânico e biogás (INACIO *et al.*, 2009). Esta ação mais ecológica está

intrinsecamente relacionada a uma consciência ambiental ao estimular o processo de educação ambiental posto em prática (LIMA JR, 2015).

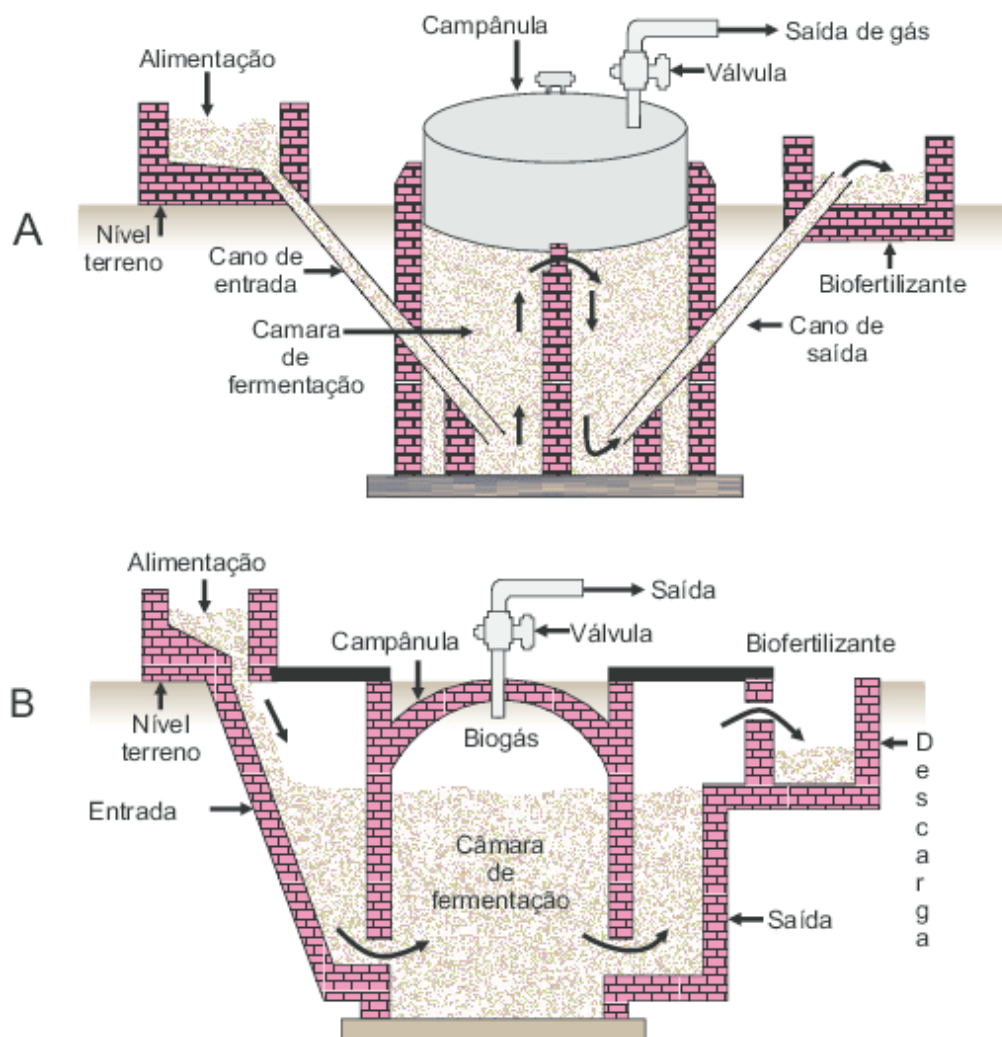
Este trabalho envolveu em uma primeira etapa a tentativa de construção de uma composteira aeróbia anexa a um biodigestor anaeróbio, de baixo custo, onde a trituração inicial dos resíduos orgânicos é realizada por compostagem, simulando em pequena escala o processo de decomposição que acontece naturalmente. Construir equipamentos de baixo custo, de fácil manipulação e manutenção, para o depósito de resíduos orgânicos provenientes da merenda escolar, cria um laboratório permanente, ao ar livre. Em uma segunda etapa, uma sequência didática investigativa sobre decomposição da matéria orgânica foi desenvolvida e aplicada a 20 estudantes do primeiro ano do ensino médio atendidos pelo mestrando, avaliando-se o aprendizado e a motivação para aprender.

Sendo assim, este trabalho visa fomentar uma educação de excelência, que poderá ser alcançada, em parte, por meio da implementação prática do ensino de Biologia pela metodologia investigativa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Silva *et al.* (2012) os estudos e uso de biodigestores no Brasil são comuns no tratamento de efluentes, na produção e uso energético de biogás e com menos intensidade na produção de biofertilizantes. Tais afirmações são corroboradas pelos trabalhos de Coelho *et al.* (2006), Gaspar (2003), Neto *et al.* (2010) e Sagula (2012). De acordo com Deganutti *et al.* (2002) e Neto *et al.* (2010) os modelos de biodigestores de mais baixos custos, alto rendimento e de fácil manuseio são os modelos indianos e chinês (Figura 1), além de serem de operação contínua, ou seja, são abastecidos diariamente de matéria orgânica e esta se movimenta por meio hidráulico dentro do biodigestor. O protótipo em desenvolvimento neste trabalho se assemelha mais ao modelo indiano, entretanto com adaptações consideráveis, incluindo toda a parte de movimentação de gás e efluentes de origem orgânica, que ocorre em um sistema vertical.

FIGURA 1 – Esquemas de concepções de biodigestores



FONTE: Cassini *et al.* (2014).

Os restos orgânicos *in natura* quando deixados para serem decompostos em condições naturais são utilizados por membros microscópicos do domínio Eukarya, com relevância aos grupos euglenozoários, ciliados, amebas e fungos; do domínio Archaea, destacando-se as metanogênicas; do domínio Bacteria, com ênfase nas proteobactérias, bactérias Gram-positivas em especial actinomicetos (REECE *et al.*, 2015), além de larvas e diversos artrópodes, na busca de energia e matéria. Em certas condições de umidade e temperatura, esses organismos realizam diferentes processos metabólicos, ocorrendo a ciclagem de diversos nutrientes essenciais, entre eles, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Aquino *et al.* (2005) citam que este processo natural de reciclagem proporciona que elementos antes estagnados na forma orgânica, sejam transformados em nutrientes minerais (mineralização), acessíveis para organismos vegetais. Usando a biotecnologia podemos chegar em uma sincronia de relações ecológicas positivas e equilibradas, nutrindo as plantas à medida que os biofertilizantes são produzidos (BÜNEMANN *et al.*, 2004).

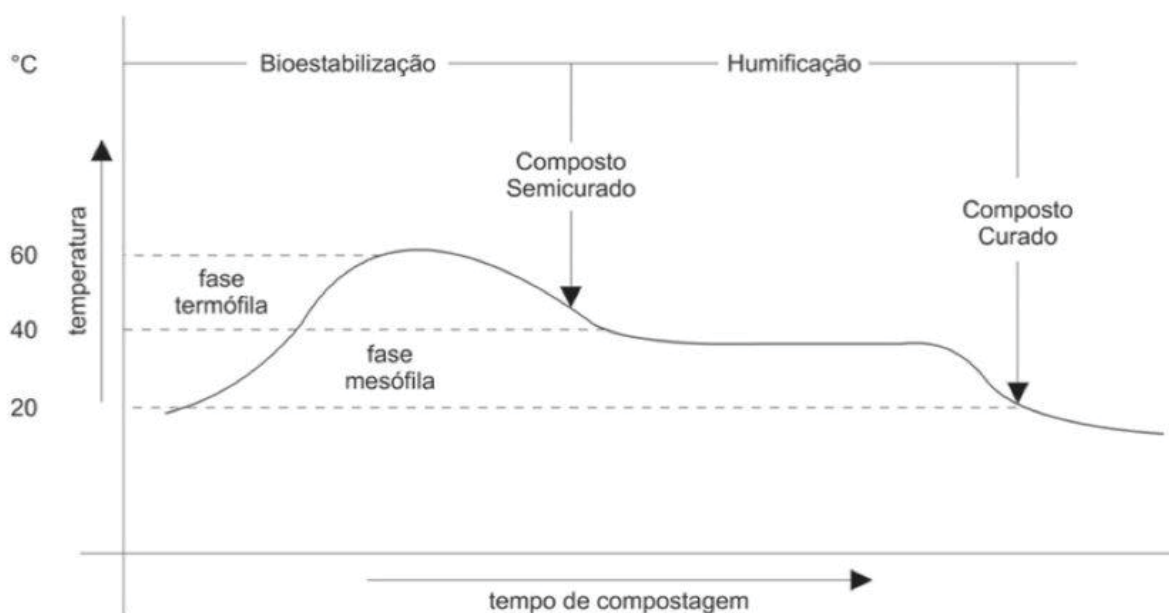
2.1 O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

O processo de decomposição aeróbia da matéria orgânica é realizado em duas etapas: digestão e maturação ou humificação.

A etapa inicial é a de digestão, onde ocorre a multiplicação de microrganismos mesofílicos e a colonização de toda a matéria orgânica. Dependendo do tipo de matéria a ser decomposta, condições e metodologia, em 24 horas pode-se observar a elevação da temperatura para cerca de 45°C e pode estender-se por até 15 dias. O estágio seguinte é quando a temperatura chega entre 50°C a 70°C, caracterizando o estágio termofílico (Figura 2) pode durar até dois meses, onde forma-se grande quantidade de água metabólica, vapor d'água, acentuada decomposição e grande fluxo de ar, podendo inclusive ocorrer diminuição do oxigênio, principalmente devido ao colapso da estrutura orgânica a ser decomposta. Quando as temperaturas voltam a baixar, chega-se novamente ao estágio mesofílico (35°C a 45°C), mas neste estágio há a proliferação de actinomicetos e fungos. Naturalmente este processo demora entre 60 e 90 dias, entretanto dependendo das condições ambientais, clima, processos e técnicas operacionais (revolvimento, oxigenação forçada/passiva, inoculação de cepas) o tempo pode ser diminuído (CASTALDI *et al.*, 2005; KIEHL, 2012). Ao fim da etapa de digestão a matéria orgânica é bioestabilizada, não sendo mais tóxica, entretanto, ainda a matéria orgânica não foi mineralizada, processo realizado pela seguinte etapa.

Na etapa final de maturação ou humificação os nutrientes serão transformados de sua forma orgânica para mineral, mais humificada e coloidal, sendo assimilados pelas raízes dos vegetais. O processo de mineralização faz com que a matéria orgânica seja decomposta em sais inorgânicos, gás carbônico e água, já o processo de humificação é a alteração da matéria orgânica em húmus, composto este predominante em materiais orgânicos de alto peso molecular como ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, substâncias estas que conferem a estabilização da matéria orgânica (GUPTA; SATYA (2006). É característico desta etapa as temperaturas menores que 35°C, transcorrendo entre 30 e 60 dias (KIEHL, 2012).

FIGURA 2 - Fases do processo de compostagem relacionando a temperatura e o tempo de compostagem



FONTE: D'almeida & Vilhena (2000).

Em um processo eficiente de compostagem os microrganismos absorvem de forma diferente os elementos químicos. É recomendado utilizar uma parte (em peso) de nitrogênio para trinta partes de carbono, pois o consumo de nitrogênio pelos microrganismos é 15 a 30 vezes maior que o de carbono, desta forma, na prática recomenda-se utilizar relações de C/N entre 35 e 25 (BATISTA; BATISTA, 2007; EPSTEIN, 2011; KIEHL, 2012).

A compostagem envolve processos metabólicos aeróbicos controlados, sob temperatura ambiente que estabiliza e sanitiza compostos orgânicos por decomposição, gerando compostos mineralizados, utilizados na nutrição por vegetais, gerando calor por atividade microbiana. É um processo biológico complexo que de forma ideal resulta na interdependência e inter-relacionamento dos seguintes fatores: umidade variar entre 50% e 60%, aeração acima

de 10%, relação de 25 a 35 partes de carbono para 1 de nitrogênio, pH entre 5,5 e 8,5, granulometria entre 10 e 50 milímetros e altura da leira entre 1,5 e 1,8 metros (VALENTE, 2009). Miller (1992) cita que a compostagem é um processo de sucessão microbiológica, sendo quase impossível a identificação de todas as espécies devido às constantes mudanças das condições do ambiente onde ocorre o processo.

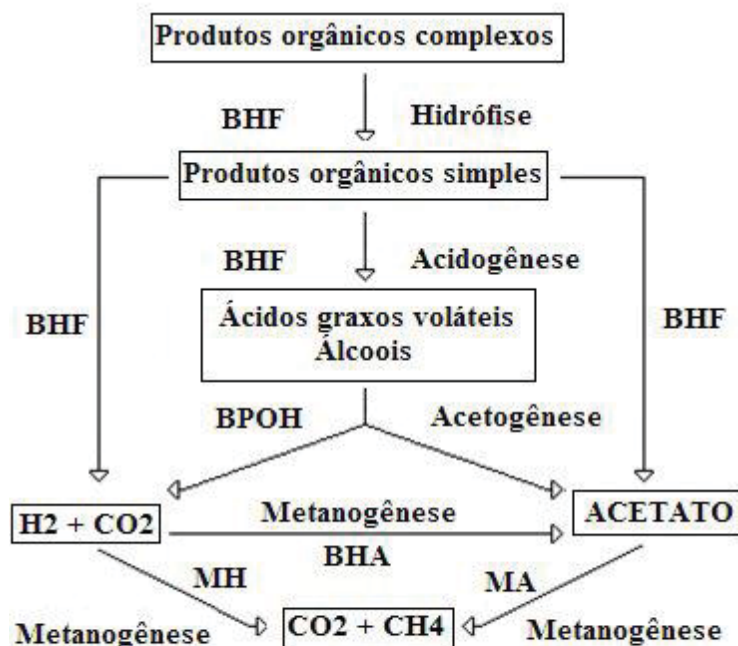
2.2 O PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

O processo de digestão anaeróbia ocorre quando microrganismos realizam fermentação na ausência de oxigênio molecular livre, transformando compostos orgânicos complexos em metano, gás carbônico, amônia, gás nitrogênio, sulfeto de hidrogênio e outros gases de baixo peso molecular. A capacidade ideal do processo de biodigestão anaeróbia é diretamente proporcional a certas variáveis como, por exemplo, a concentração e tipo de matéria orgânica, pH e temperatura do meio, tempo de retenção. A seguinte equação representa resumidamente o processo de biodigestão anaeróbia (CRAVEIRO *et al.*, 1982):



O processo de biodigestão anaeróbia segue quatro etapas, cada uma com suas peculiaridades: hidrolítica, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Figura 3).

FIGURA 3 - Esquema da digestão anaeróbia da matéria orgânica



Onde:

BHF - Bactérias Hidrofílicas Fermentativas

BPOH - Bactérias produtoras obrigatórias de Hidrogênio

BHA - Bactérias Homocetanogênicas

MH - Matanogêneas Hidrogenotróficas

MA - Metanogêneas Acetotróficas

FONTE: Maunoir (1991).

Na fase hidrofílica o material orgânico complexo é metabolizado por microrganismos hidrolíticos em compostos dissolvidos ou simples, solúveis e de menor peso molecular, a partir de exoenzimas excretadas por bactérias fermentativas (MARTIN, 1985, apud BELLI FILHO, 1995; VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994; OLIVEIRA, 2004; SOUZA, 2005).

O segundo passo do processo de biodigestão anaeróbia é a fase de fermentação ou acidogênese. Neste momento bactérias fermentativas convertem os produtos da hidrólise em álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos graxos de cadeia curta, gás carbônico e gás hidrogênio. Nesta fase, se eventualmente há a presença de gás oxigênio, este é metabolizado por bactérias anaeróbicas facultativas (BELLI FILHO, *op. cit.*; VAN HAANDEL; LETTINGA, *op. cit.*; OLIVEIRA, *op. cit.*; SOUZA, *op. cit.*).

A terceira fase, a acetogênese, envolve transformação de ácidos graxos e álcoois, por bactérias produtoras de hidrogênio, de dióxido de carbono, gás hidrogênio, acetato e ácidos de cadeia curta, principalmente o ácido acético (BELLI FILHO, *op. cit.*; VAN HAANDEL & LETTINGA, *op. cit.*; SOUZA, *op. cit.*).

A quarta e última etapa é a fase metanogênica. Bactérias acetotróficas convertem metano a partir do ácido acético e bactérias hidrogenotróficas produzem metano a partir do dióxido de carbono e hidrogênio. Em tese, pelo menos 67% do gás metano pode ser originado a partir do ácido acético e 33% da redução de gás carbônico (MAH *et al.*, 1977). Neves *et al.* (2009) citam o potencial energético de 1 m³ de biogás purificado igual a 1,1 litros de gasolina, 1,7 litros de bioetanol ou 0,97 m³ de gás natural.

De grande complexidade e realizada por diversos microrganismos, a fermentação anaeróbia ou digestão anaeróbia pode resultar em uma grande variedade de compostos (COELHO *et al.*, 2006). Participam desse processo bactérias dos gêneros *Clostridium*, *Eubacterium*, *Acetivibrio*, *Bacteroides*, *Selenomonas*, *Ruminococcus* e *Fibrobacter*; fungos dos gêneros *Neocallimastix*, *Orpimomyces*, *Anaeromyces*, *Piromyces* e *Caecomyces*; da comunidade de metanogênicos há diversas espécies pertencentes as ordens Methanobacteriales, Methanomicrobiales e Methanosarcinales (ALVARADO *et al.*, 2014). Neste processo metabólico atuam diversos microrganismos que, na ausência de ar, transformam moléculas orgânicas mais complexas para estruturas mais simples e estabilizadas de forma química e microbiológica, retirando a energia para sua sobrevivência no processo (SILVA *et al.*, 2012). No interesse de diminuir a quantidade de resíduo orgânico, há várias vantagens utilizando o processo anaeróbio pois pode produzir metano (e ser utilizado) e formação de biofertilizante. Além disso, há grande diminuição da poluição das fontes geradoras de resíduos orgânicos e minimização de problemas sanitários (SAGULA, 2012). O auxílio do saneamento residencial realizando a construção de biodigestores possui baixos custos e manutenção, retira cheiros e pontos de contaminação por resíduos orgânicos e realiza a ciclagem de dejetos orgânicos sólidos originários na própria propriedade, originando biofertilizante. Tal composto proporciona economia e sustentabilidade, sendo vantajoso na incorporação de matéria orgânica no solo, pois possui excelentes propriedades químicas e físicas, em comparação com os adubos químicos (GASPAR, 2003; KELLEHER *et al.*, 2002). Silva *et al.* (2012) analisando o uso de biodigestor na decomposição de excrementos humanos e suínos concluem a eficácia do processo na redução das taxas de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) em 96-97% e coliformes fecais em 99,9%. Em termos de fertilidade, há formação de vários elementos solúveis em água, que são nutrientes de fácil absorção pelas plantas, principalmente o nitrogênio amoniacal e o fósforo. Por análise espectrográfica as substâncias orgânicas formadas no processo de biodigestão aproximam-se dos ácidos húmicos extraídos do solo.

2.3 O ENSINO DE MICROBIOLOGIA NO ENSINO MÉDIO

Desde tenra idade, a sociedade tem colocado os microrganismos em segundo plano, Bernardi *et al.* (2019) citam que crianças em fases iniciais percebem o tema de forma abstrata, reducionista, sem correlação com o cotidiano. Esses autores analisaram 87 questionários aplicados a estudantes do segundo ao quinto ano de uma escola pública do município de Palmeira das Missões do Estado do Rio Grande do Sul. As crianças participantes da pesquisa não conseguiram relacionar os microrganismos com seu dia a dia e ainda os descreveram como sendo feios, encontrados principalmente em locais insalubres, trazendo principalmente malefícios ao ser humano. Carneiro *et al.* (2012) falam que essa percepção pouco muda no ensino fundamental, mesmo utilizando conhecimentos envolvendo microrganismos no cotidiano, os estudantes não conseguem associar os efeitos benéficos aos seres microscópicos. Os autores trabalharam com questionários de 314 estudantes do sexto ao sétimo ano do ensino fundamental de três escolas públicas estaduais do município de Aracaju Estado de Sergipe. Os estudantes correlacionaram os microrganismos apenas a doenças, o que os autores apontam como falha na construção do currículo do ensino fundamental. Outro aspecto interessante é a percepção do estudo de Microbiologia e interesse em aulas utilizando o microscópio.

Relacionado a visão de estudantes concluintes do ensino médio específica sobre fungos, Silva (2019) cita a percepção dos discentes que fungos são organismos decompositores, mas pouco sabem sobre os usos biotecnológicos e alimentares, além de grande associação de que fungos são um tipo de bactéria e que provocam prejuízos sanitários, materiais e econômicos. Silva (*op. cit.*) trabalhou com questionários abertos e fechados, 305 discentes e 6 docentes da rede de ensino público e privada na cidade de Diadema, Estado de São Paulo. A visão dos estudantes é distorcida e até pejorativa a respeito dos fungos, sem perceber sua relação na homeostase dos ecossistemas, na preservação e conservação da vida. Complementando essas percepções, Mendes (2016) realizando uma revisão bibliográfica sobre o ensino de microbiologia no ensino fundamental e médio cita que é necessário utilizar metodologias que estimulem a visão crítica e científica no processo de ensino e aprendizagem, onde as atividades práticas e com novas mídias educacionais são essenciais. Resende, Silva e Battirola (2021) analisando questionários de 47 estudantes de ensino médio de uma escola pública estadual do município de Nova Ubiratã, Mato Grosso, citam que mesmo que a maioria dos estudantes não tenha observado microrganismos ao microscópio óptico, atividades envolvendo estes seres vivos capacitam a ligação dos discentes com o mundo microscópico, com seu dia a dia e a sua relevância para a sociedade. Ainda Dantas e Ramalho (2020) fazendo uma revisão de diferentes

metodologias de ensino de microbiologia, pesquisando nas bases de dados Google Acadêmico e Scielo, descrevem que o ensino de microbiologia é abstrato e complexo, sendo que atividades práticas são essenciais, sendo que o docente se utilizando de metodologias inovadoras tem papel essencial nesse processo.

Sobre o estado da arte, Santos e Prudêncio (2020) revisando trabalhos em periódicos e eventos nacionais no período de 2009 a 2019, analisaram as tendências em sequências didáticas em Microbiologia. As autoras analisaram nas sequências didáticas quanto a duração, termos, conteúdos, referenciais teórico-metodológicos, estratégia didática e processo avaliativo. Concluíram que os as sequencias didáticas utilizando Microbiologia ainda são incipientes, heterogêneas quanto ao referencial teórico-metodológico e aos planejamentos aplicados.

2.3.1 Ensino de Biologia por investigação

O ensino por investigação pode ser definido como o ensino em que conteúdos construídos pelo docente em que os estudantes pensem sobre a estrutura do conhecimento, dialoguem com argumentos e conhecimentos construídos, lêem de forma crítica e escrevem de forma autônoma suas ideias, de forma clara (DE CARVALHO, 2018). Ainda a autora cita que um grande problema é a forma como o rumo da atividade investigativa é construída pelo professor levando dois aspectos vitais para o ensino investigativo, o grau de liberdade intelectual dada ao estudante e com relação à construção do problema. O problema inicial irá estimular a lógica dos alunos e sem liberdade os mesmos não conseguirão expor suas ideias. Um aspecto essencial nesse processo é a participação dos estudantes para a construção do conhecimento, já que é pela utilização da linguagem argumentativa que os fatos são transformados em evidência (LATOURET; WOOLGAR, 1997; LEMKE, 1998A, 1998B, 2000; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2005 *in* DE CARVALHO, 2018). Sobre as características de problema, para que seja inovador e estimulante, De Carvalho (op. cit.) diz que ele deve fornecer condições para os estudantes resolverem e explicarem o acontecimento, que as hipóteses devem ser construídas a partir de variáveis, que tenha contextualização com a realidade discente, que seja interdisciplinar, que o conteúdo do problema forme hipóteses de forma espontânea e que a experimentação possa, da prática, atingir ações intelectuais e fomenta a construção de conceitos e leis.

Com relação aos eixos organizadores no ensino por investigação em Biologia, Trivelato e Tonidandel (2015) e Mayr (2005) citam que deve ser levado em consideração que

as atividades experimentais em Biologia possuem diversas características peculiares, sendo não aplicáveis à Biologia o essencialismo, o determinismo e o reducionismo, sendo característicos da Biologia a complexidade, biopopulação, diferentes propriedades e níveis de integração, além da reprodução, regulação, adaptação e organização hierárquica sendo um sistema aberto do ponto de vista energético. Os seres vivos estão submetidos a uma casualidade dual, do programa genético e as teorias/conceitos naturais. Como eixos norteadores Trivelato e Tonidandel (*op. cit.*) descrevem como etapas essenciais no ensino investigativo em Biologia, a proposição de um problema, trabalho com dados e o tipo de dados iniciais, elaboração de hipóteses, afirmações sobre o conhecimento estabelecido ou construído e as metodologias de investigação.

Sobre o estado da arte do ensino de Biologia pela metodologia investigativa, Santana *et al.* (2022) fizeram uma revisão bibliográfica e revisaram informações encontradas em anais do Encontro Nacional de Ensino de Biologia (ENEBIO), no período entre 2010 e 2018, e do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), entre 2011 e 2019. Com este trabalho tiveram um panorama do atual status do ensino por investigação aplicado a Biologia e concluíram que essa metodologia investigativa ainda é pouco representativa no ensino de Biologia, que mais conhecimentos epistemológicos são necessários para uma eficaz aplicação da metodologia investigativa no ensino de Biologia e sua contextualização para a realidade discente, e a importância do planejamento de ações e estratégias docentes. Santana e Mota (2022) analisando as sequências didáticas relacionadas ao ensino de Biologia com o método investigativo de trabalhos publicados no Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), no Encontro Nacional de Ensino de Biologia (ENEBIO) e no Encontro de Ensino por Investigação (ENECI) observaram as características das aulas investigativas em Biologia, as metodologias para investigar fenômenos biológicos, a experimentação e os recursos utilizados, sendo essa metodologia eficaz para a alfabetização científica, desde que o processo consiga envolver os estudantes e a realidade local. Ressaltam ainda a importância da formação de professores voltada ao conhecimento prático e pedagógico direcionado ao ensino investigativo.

2.3.2 Motivação intrínseca e extrínseca para aprender Biologia no Ensino Médio

Sobre a motivação, ela é intrínseca quando o estudante tem interesse em fazer a atividade pelo prazer em realizá-la, pelo interesse pessoal e por sua curiosidade. Já a motivação extrínseca é quando o estudante almeja recompensas externas, sociais ou materiais (NEVES; BORUCHOVITCH, 2007). Essas autoras entrevistaram 771 estudantes de 2ª a 8ª séries do

ensino fundamental de escolas públicas de Campinas, São Paulo, onde estudo teve a intenção de demonstrar as etapas de construção de uma escala para avaliar a motivação em aprender de estudantes brasileiros, a escala da motivação para aprender (EMA). Sobre as formas de motivação as autoras descrevem como:

Um aluno é intrinsecamente motivado quando se mantém na tarefa pela atividade em si, por esta ser interessante, envolvente e geradora de satisfação. Por outro lado, pode-se dizer que um aluno é extrinsecamente motivado quando o seu objetivo em realizar uma dada tarefa é o de obter recompensas externas, materiais ou sociais.

Neves, Boruchovitch, 2007, página 406.

Bzuneck (2004a), Tapia e Fita (2004) e Ruiz (2003) descrevem a motivação como uma associação de variantes que iniciam o comportamento de investigação, seleção e assiduidade do comportamento, essencial para o processo de aprendizagem. A motivação pode ser intrínseca, quando o estudante é muito curioso, interessado, atencioso, concentrado e persistente no desempenho das mais variadas atividades e, extrínseca, quando o estudante busca demonstrar suas potencialidades, almejando aprovação familiar e social (GUIMARÃES, 2001).

Com relação à motivação intrínseca e extrínseca para aprender Biologia no ensino médio, Ribeiro *et al.* (2016) descrevem que os estudantes vêem o ambiente escolar como sendo relevante, mas alguns componentes curriculares não. Esses autores analisaram 28 questões objetivas respondendo o porquê de os discentes irem à escola e 5 questões descritivas do que os estudantes pensavam sobre o ambiente escolar de 39 estudantes do terceiro ano do ensino médio de uma escola estadual no município de São Leopoldo, Rio Grande do Sul. Como motivação intrínseca esses autores citam o prazer do estudante pelo conhecimento que se apropriam e pela possibilidade de se tornarem indivíduos melhores. Sobre o aspecto extrínseco foi citado que os discentes apenas estudam para superar avaliações internas e externas a escola. Os autores notaram pelas respostas descritivas o interesse dos estudantes em discutir sobre o currículo escolar e o que eles gostariam de estudar, como forma de motivação intrínseca, o que não foi analisado em detalhes.

Scheley *et al.* (2014) citam a desmotivação dos estudantes, apesar dos mesmos demonstrarem interesse em Biologia. Fatores pessoais, subjetivos e a aprendizagem pouco se destacam como fatores motivacionais. Já atividades práticas e experimentais, pertinentes à metodologia utilizada para ensinar do professor são fatores motivacionais de grande relevância (SCHLEY *et al.*, *op. cit.*). As autoras fizeram 5 questões descritivas com 416 alunos de ensino

médio de 11 escolas públicas do município de Botucatu, Estado de São Paulo, analisando a inferência, descrição e interpretação das respostas. Nesse estudo concluíram que os estudantes gostavam das aulas de Biologia, mas gostariam ainda mais se fossem oportunizadas aulas práticas e experimentais na disciplina. Ainda observaram que fatores como o conteúdo, atividades e recursos utilizados pelo docente têm fator vital na motivação discente, colocando o professor como peça-chave na motivação em aprender pelos estudantes.

Para fomentar a motivação é necessário tornar os estudantes mais ativos, críticos e pensantes, com objetivos educacionais claros, para isso devem-se utilizar novas alternativas educacionais, com adaptação do planejamento das práticas docentes (FAZENDA, 2015). Integrando novas tecnologias de informação e comunicação com elaboração discente de vídeo nas aulas de genética para o 3º ano do ensino médio, cita que o planejamento docente é essencial para que os estudantes possam tomar uma postura ativa e fomenta a aprendizagem, contextualizando com sua realidade e motivando-os.

2.3.3 Atividades de ensino com biodigestores e protótipos realizados por outros autores

Paixão *et al.* (2019) utilizaram a temática acerca dos biodigestores nas aulas de Química para 36 estudantes do ensino médio do município de Nossa Senhora da Glória, Sergipe. Como equipamento para biodigestor utilizaram duas bombonas, uma para o processo anaeróbio e outra bombona como coletora de gás. O intuito de utilizar biodigestores foi trabalhar a pesquisa e ação dos conteúdos conversão de energia, reações bioquímicas, fermentação anaeróbia, conceitos de cinética (temperatura), estudo sobre o pH, funções inorgânicas (ácidos e bases) e reação de neutralização. Esses autores separaram a atividade didática em três momentos, investigativo, formativo e avaliativo ao longo de dez aulas. Com a construção de um biodigestor os estudantes conseguiram contextualizar o conhecimento, articular e refletir acerca de conhecimentos básicos, construir hipóteses, formando estudantes críticos que conseguiram utilizar seus conhecimentos sobre biodigestores em contextos sociais, econômicos e ambientais.

Também utilizando o processo de digestores anaeróbios e aulas de Química no ensino médio, Reis *et al.* (2009) com alunos do segundo ano em duas aulas de 50 minutos, conseguiram trabalhar de forma prática um assunto em específico, o comportamento dos gases. Como equipamento para biodigestor utilizaram canos de PVC de diâmetros 150, 100 e 75 milímetros. Sobre a construção de biodigestores no processo educativo, Paixão *et al.* (*op. cit.*) e Reis *et al.*

(*op. cit.*) concluíram que os estudantes conseguiram pesquisar, interpretar e dar significado ao conhecimento de forma crítica e criativa.

Oliveira *et al.* (2018) trabalhando com duas estudantes de ensino médio técnico integrado em automação industrial e segurança do trabalho reuniram o conhecimento prévio das alunas e as mesmas motivadas propuseram a construção de um biodigestor anaeróbio unido a microcontrolador Arduino UNO (uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto em hardware e software) e sensores de gás metano (CH₄) no intuito de medir a produção de gás metano. Como equipamento para biodigestor utilizaram garrafas PET de 2 litros ou galão de água de 5 litros de polycarbonato. A proposta de trabalho dos autores reuniu de forma interdisciplinar Química, Física, Biologia e Geografia sendo “eficaz na estruturação das dinâmicas e ações didático-pedagógicas” segundo os autores.

Cartaxo *et al.* (2020) trabalharam com 30 estudantes do segundo ano do ensino médio de uma escola particular da cidade de Campina Grande, Estado da Paraíba. Como equipamento para biodigestor utilizaram um galão de 20 litros de água mineral e como armazenamento de biogás utilizaram uma câmara de pneu de carrinho de mão. Os autores trabalharam a temática da educação ambiental em sete momentos: 1- questionário diagnóstico; 2 – pesquisa bibliográfica sobre biodigestores e biodigestão; 3 – cinco palestras sobre assuntos relacionado ao tema de biodigestores; 4 – construção do biodigestor anaeróbio; 5 – produção de biofertilizante; 6 – divulgação para a comunidade; 7 – reaplicação de questionário diagnóstico. Tal metodologia segundo os autores fomentou a educação ambiental crítica e dialógica, contextualizando com problemas significativos e de diversas disciplinas de ensino médio. Assim como Paixão *et al.* (*op. cit.*), Cartaxo *et al.* (*op. cit.*) concordam com a possibilidade de discussão acerca de temas sociais, econômicos e ambientais utilizando-se biodigestores como ferramenta educacional.

Cartaxo *et al.* (*op. cit.*), Oliveira *et al.* (*op. cit.*) e Reis *et al.* (*op. cit.*) concordam que utilizando digestores anaeróbios na educação, os estudantes conseguem identificar fenômenos físicos, químicos e biológicos, tornando-se assim uma excelente ferramenta inter e multidisciplinar.

2.3.4 Biotecnologia de compostagem e biodigestão anaeróbia

Unir o processo de biodigestão anaeróbia com a compostagem é uma vertente biotecnológica, ainda sendo desenvolvida e implementada, sendo assim um campo frutífero para o ensino por investigação. Nos trabalhos pesquisados e apresentados a seguir, o processo

de biodigestão anaeróbia é inicial e o de compostagem final, devido ao interesse em obter o máximo de biogás do material orgânico. Analisando a aplicação das técnicas de compostagem e biodigestão anaeróbia em ambientes universitários no tratamento de resíduos alimentares e lodo de esgoto Yaser *et al.* (2022) apresentam diversas dificuldades (Tabela 01).

TABELA 1 – Desafios no processo de compostagem e biodigestão anaeróbia

ECONOMICO	AMBIENTAL	POLÍTICO/SOCIEDADE
Relação custo/benefício de reator de biodigestão anaeróbio;	Odor e poluição de gases; Gestão e segurança das instalações;	Promoção e educação; Sustentabilidade;
Otimização do processo para capacidade em grande escala.	Dificuldades da classificação dos resíduos alimentares.	Participação e implementação.

FONTE: Yaser *et al.* (2022).

Kraemer e Gamble (2014) citam que na escolha de qual processo seria mais vantajoso, não seria uma escolha entre compostagem ou biodigestão anaeróbia, mas a integração de ambos seria interessante e dependeria do tipo da matéria orgânica a ser processada. Esses autores realizaram um projeto piloto denominado “The Hengelo”, na Holanda, onde resíduos agropastoris são decompostos. Citam que é o tipo de matéria prima que irá conduzir o processo. Utilizando a técnica de compostagem após o processo de biodigestão apresentaram como vantagens a diminuição e até eliminação do tratamento de efluentes do biodigestor; as altas temperaturas da compostagem eliminariam possíveis patógenos da fase mesofílica da biodigestão; possível utilização direta da energia proveniente do biogás na compostagem (quando aquecido); manter os nutrientes do lixiviado da biodigestão anaeróbia; facilidade da área reduzida, documentação e equipamentos próximos na mesma instalação; redução do odor; otimização de processamento em diferentes materiais orgânicos; complementação logística da integração entre os processos.

Kraemer e Gamble (*op. cit.*) ainda citam outros casos de integração de compostagem e biodigestão anaeróbia em “Harvest Power’s Energy Garden and Composting Facility” na cidade de Richmond, Região de British Columbia no Canadá que iniciou suas atividades em 2012 e tem o potencial de compostagem de 220.500 toneladas/ano e o biodigestor de 22.000 toneladas/ano de resíduos alimentares. Na cidade estadunidense de Eugene no Estado do Oregon a “JC Biomethane” iniciou suas atividades em 2013 e tem o potencial de tratamento de 12.000 toneladas/ano de restos de alimentos. Em outra cidade estadunidense o “Zero Waste Energy Development’s HSAD” na cidade de San Jose, Estado da Califórnia teriam o potencial de decompor 90.000 toneladas/ano de dejetos orgânicos. Na Europa além do “The Hengelo”,

na Bélgica, na cidade Tenneville a iniciativa "OWS plant" consegue decompor 47.400 toneladas/ano de resíduos alimentares.

Buscando soluções para os resíduos orgânicos agropastoril de fazendas na China Li *et al.* (2018) analisando de forma isolada compostagem, biodigestão anaeróbia e unindo biodigestão anaeróbia seguida de compostagem. Neste sistema integrado é realizada a biodigestão anaeróbia e depois de retirado o biogás, os resíduos líquido e sólido foram misturados com palha de milho e realizada a compostagem. Com essa metodologia Li *et al.* (*op. cit.*) demonstraram que o impacto ambiental de gases que provocam o aquecimento global nos processos que integram compostagem e digestão anaeróbia é 14,8 vezes menor que quando se é utilizado apenas um processo (compostagem ou digestão anaeróbia). Esses autores ainda citam que unindo biodigestão anaeróbia e compostagem há potencial redução na acidificação, eutrofização, ecotoxicidade e esgotamento de recursos. Complementando esses autores Bortone (2009) citam que unindo tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios podem reduzir os custos em até 60% com a produção energética.

Le Pera *et al.* (2022) analisando uma instalação, em Rende na Itália, construída especificamente com a finalidade de realizar biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos e subsequentemente a compostagem dos dejetos não decompostos na primeira etapa, cita que o procedimento adotado é válido, mas há possibilidades de melhorar o desempenho dos processos envolvidos além de limitar e aprimorar os resíduos do processo de decomposição.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Propor um modelo de biodigestor anaeróbio, ativado por microrganismos decompositores de celulose, com trituração inicial por compostagem, para serem utilizados como método de ensino por investigação nas aulas envolvendo Microbiologia na disciplina de Biologia do Ensino Médio.

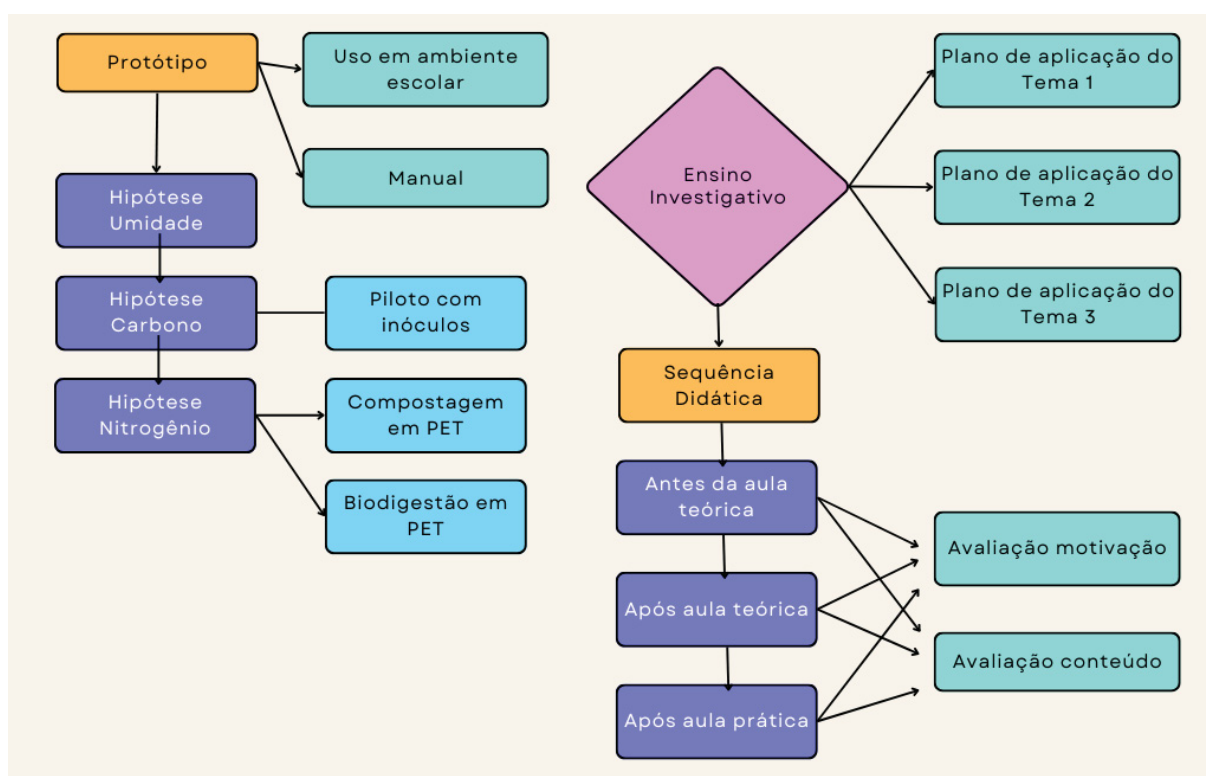
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Propor soluções didáticas, com base no ensino por investigação, para as aulas de Biologia, utilizando a biodigestão anaeróbia e compostagem aeróbia como referenciais;
- Avaliar a motivação dos estudantes frente ao método proposto de ensino investigativo em Microbiologia;
- Confeccionar um manual de composteira integrada a biodigestor anaeróbio, ativado por microrganismos decompositores de celulose, com trituração inicial por compostagem, para usar em ambiente escolar/residencial;
- Organizar a rotina de descarte de resíduos sólidos orgânicos, provenientes do refugo da merenda escolar, em biodigestores e composteiras, agregados ou não.

4. METODOLOGIA

Para a realização desta proposta, trabalhou-se em duas vertentes: construção de um protótipo unindo compostagem e biodigestão anaeróbia para uso em pequenos espaços, inclusive em ambiente escolar; utilização da metodologia de ensino por investigação para ensino de Microbiologia no ensino médio, tendo como meta utilizar as ferramentas biotecnológicas de compostagem e biodigestão anaeróbia. A figura 4 mostra a organização do trabalho realizado e ao longo dos seguintes capítulos são detalhadas as nuances de cada etapa.

FIGURA 4 – Fluxograma do trabalho realizado no mestrado e testes



FONTE: O autor (2022).

4.1 MODIFICAÇÕES DO PROTÓTIPO EXISTENTE

O autor já havia construído (entre 2012 e 2020) e testado de forma empírica composteiras unidas a biodigestores e, apesar de seu uso corriqueiro em ambiente residencial, nunca havia realizado testes físico-químicos, tampouco comparado o modelo anteriormente construído com os dados da literatura científica. Inicialmente era apenas uma bombona de 80 litros fechada, porém com o uso residencial, problemas começaram a aparecer com o uso cotidiano e modificações foram sendo realizadas a fim de sanar a falta de eficácia e/ou

problemas observados no uso. Os principais desafios das adequações realizadas foram contornar vazamentos em emendas sob pressão, formas de melhor fragmentação das partículas sólidas para o biodigestor, maneiras de isolamento da fase aeróbia para a anaeróbia mesmo sob conexão intermitente, formação e destino de líquidos oriundos do processo, separador de fase líquida e sólida da composteira, filtragem do lixiviado para passar da composteira ao biodigestor, proliferação de insetos, odor e destino do gás. Esses ensaios e testes cotidianos empíricos fomentaram um conhecimento prático e de possíveis problemas do uso doméstico de composteiras e biodigestores, que ao longo dos anos foi sendo aprimorado. Com o conhecimento empírico adquirido, foi construído um primeiro protótipo (a partir do modelo que havia sido anteriormente construído) que após revisões bibliográficas específicas sobre compostagem e biodigestão anaeróbia, foi reelaborada na forma de uma segunda versão para ser submetida a testes e análises.

As modificações realizadas do primeiro protótipo, construído no início do mestrado para o segundo, foram: aumentar o compartimento da composteira, colocar um cano de PVC longitudinal e perfurado no centro da composteira (Figura 5) para aumentar a oxigenação de forma passiva (efeito chaminé), inserir uma válvula unidirecional de lixiviado da composteira para o biodigestor anaeróbio e anexar uma câmara de pneu automotivo para armazenar gases produzidos pelo biodigestor.

FIGURA 5 – Exemplo de oxigenação central em uma composteira caseira



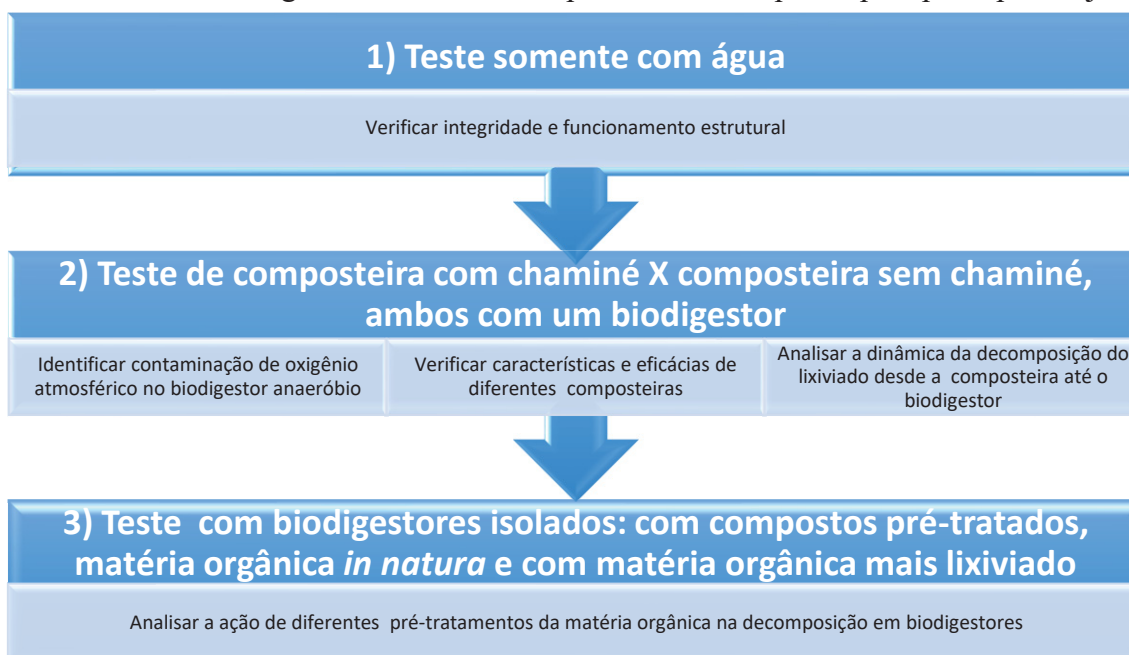
Exemplo de composteira caseira com oxigenação passiva tipo chaminé.

FONTE: Benevides, L. Horta e Jardim Pinterest. Acesso em: 13/07/2022, em
<<https://br.pinterest.com/pin/362258363751393838/>>

Como protocolo para análise desse novo modelo (protótipo 2), as baterias de testes foram planejadas para ocorrer em 3 etapas: teste estrutural e de resistência somente com água, teste de composteira com chaminé comparada com uma composteira sem chaminé (ambos ligados a um biodigestor) e a última etapa, três biodigestores isolados contendo resíduos pré-tratados com compostagens com e sem chaminé (da segunda etapa), e somente matéria orgânica *in natura* sem quaisquer pré-tratamentos.

Os protótipos foram desenvolvidos para funcionar com acréscimo contínuo de matéria orgânica, minimizando os sólidos residuais. Entretanto para ter parâmetros padronizados de testes, foi realizado o preenchimento de cada composteira em uma única batelada. Na terceira etapa os biodigestores seriam enchidos em um único momento, com aproximadamente 8% de matéria sólida. As etapas do processo podem ser visualizadas no fluxograma a seguir (Figura 6).

FIGURA 6 - Fluxograma contendo as etapas de testes do protótipo e principais objetivos



FONTE: O autor (2021).

Foram tomadas medidas referentes a mudança do volume da matéria orgânica nas composteiras. Para tal observação, foi medida a diminuição da leira na composteira colocando uma trena dentro da bombona, em posição vertical.

O volume de líquidos nos compartimentos foi observado mediante mangueiras transparentes posicionadas na vertical no lado externo. Os compartimentos foram inicialmente

preenchidos com água, com uma bacia com marcadores em litros e marcados os valores de referência na mangueira externa para as medições.

Na composteira foi feito um buraco para se ter acesso a 60 cm da base para as inferências diárias de temperatura.

Pela tampa superior, na área de aporte de matéria orgânica, foram obtidos os dados diários de diminuição da leira. Para a coleta de matéria orgânica para testes laboratoriais foi escavado, com cuidado até 60 cm da base, e coletada matéria orgânica desta região.

A medida de pH, quando realizada, foi feita com fitas indicadoras de pH 0-14. Os valores da temperatura ambiente foram obtidos de termômetros instalados devidamente para este fim, assim como da temperatura interna das composteiras e do interior dos biodigestores.

Das três etapas de testes, a análise inicial apenas com água visou testar a estrutura do biodigestor, procurando por vazamentos e testado o valor de pressão interna do biodigestor, sem outro local para escoamento de gás, para o ar ser eliminado pela composteira.

Como medida de referência foram enchidas cada bombona com 206 L de composto orgânico, onde a bombona vermelha iniciou com 76,5 cm de altura conectado a um biodigestor de 81 litros e a bombona preta também com 206 litros de composto com altura de 71,5 cm com uma chaminé central também conectada a um biodigestor de 81 litros.

Após testar o protótipo de uma composteira com um biodigestor, a análise seguinte era a comparação dos resultados observados na segunda etapa com a próxima fase, somente biodigestores.

Nessa terceira e última etapa de testes, a intenção de testes era com biodigestores isolados e com compostos orgânicos com diferentes pré-tratamentos. Para este teste o intuito era disponibilizar três biodigestores: um grupo controle apenas com matéria orgânica, um com material orgânico proveniente da composteira com chaminé, outro com material da composteira sem chaminé. Após este período, era esperado retirar o biofertilizante totalmente decomposto e comparar com as etapas anteriores na busca da melhor eficácia do processo de descarte de matéria orgânica para uma escola e residências.

4.2 TESTES PARA VERIFICAÇÃO DE DECOMPOSIÇÕES EM DIFERENTES CONDIÇÕES

4.2.1 Compostagem aeróbia

Para os experimentos em pequena escala com compostagem foram utilizadas garrafas PET de 2 litros, onde foi colocada matéria orgânica para testar a estrutura do recipiente e sua influência na compostagem, sem quaisquer inóculos aceleradores de compostagem.

- A1. Garrafa PET fechada;
- A2. Garrafa PET com furos laterais;
- A3. Garrafa PET fechada com chaminé central;
- A4. Garrafa PET furada com chaminé central.

Concomitantemente, foi realizada outra sequência com materiais orgânicos a serem decompostos, mas com inóculos a 10% no seguinte esquema estrutural:

- B1. Garrafa PET fechada;
- B2. Garrafa PET com furos laterais;
- B3. Garrafa PET fechada com chaminé central;
- B4. Garrafa PET furada com chaminé central.

Os inóculos para compostagem foram produzidos de acordo com a metodologia de Máximo (2018), onde foram capturados microrganismos do ar do ambiente e acrescentados à matéria orgânica a ser decomposta (arroz cozido, Experimento B).

A matéria orgânica foi acrescentada de forma padronizada, sendo 4 copos de 250 ml em cada garrafa PET. A matéria orgânica foi triturada para se chegar a uma granulometria recomendada entre 10 e 75 mm (MÁXIMO, 2018). Quando foi observado ressecamento do composto, foi acrescentada água e revolvida toda a leira.

Com intuito de otimizar o processo de compostagem foi acertada a relação de carbono e nitrogênio, misturando folhas e talos de repolho *Brassica oleracea*, rica em nitrogênio, com serragem de madeira, rica em carbono.

Quando sabemos a composição química do material para realizar uma mistura de diferentes materiais ricos em carbono e nitrogênio seguimos a equação citada por GOMES *et al.* (2001) onde obtêm-se uma mistura com a relação carbono e nitrogênio de 30/1:

$$\text{PMRC} = \frac{(30 \times \text{Nn}) - \text{Cn}}{\text{Cc} - (30 \times \text{Nc})}$$

onde:

PMRC = partes de material rico em carbono;

Nn = teor de N do material rico em nitrogênio;

Cn = teor de carbono (C) do material rico em N;

Cc = teor de carbono do material rico em C;

Nc = teor de N do material rico em C.

Para determinar o grau de maturação e fitotoxicidade do composto, foi utilizado como parâmetro o grau de germinação de sementes de alface mimosa (*Lactuca sativa*) por ser uma espécie amplamente utilizada neste tipo de procedimento, possuir alta sensibilidade e ser facilmente encontrada (MÁXIMO, 2018; TIQUIA, 2010 e 2000). Para o grupo controle foi escolhida terra fértil da região do experimento, da cidade de Piraquara, bairro Recreio da Serra. Após colocar as sementes, foi esperada a germinação e crescimento das raízes segundo Tiquia (2010), e conseguimos calcular o índice de germinação (GI), que demonstra o nível de maturidade e fitoxidade do composto (Tabela 2).

TABELA 2 - Relações entre o índice de germinação (GI), o nível de maturidade do composto e a inibição da germinação por fitoxidade

GI	≤ 40%	< 40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Fitoxidade	Severa	Moderada		Leve		Nenhuma		
Maturidade	Imaturo					Semicurado		Curado

FONTE: Adaptado de TRAUTMANN e KRASNY (1997); BRINTON (2000).

Do experimento proposto foram coletadas as seguintes informações:

- Temperatura ambiente no momento das observações, com auxílio de um termômetro químico -10 °C a 110 °C;
- Temperatura do composto, com o auxílio de um termômetro químico -10 °C a 110 °C;
- pH do composto, com o auxílio de uma fita de teste de pH 0-14,0 Merck;
- pH do lixiviado, com o auxílio de uma fita de teste de pH 0-14,0 Merck;
- Formação de lixiviado, com o auxílio de uma régua escolar;
- Leira de compostagem, com o auxílio de uma régua escolar;
- Quantidade de sementes germinadas.

4.2.2 Biodigestão anaeróbia

Para verificar o processo de decomposição anaeróbia e testar diferentes condições, foi colocado o mesmo tipo de material orgânico utilizado no processo de compostagem (repolho + serragem), mas submetido a condições anaeróbias. Em garrafas PET foi acrescentado 8% ou

160 ml de material sólido (MATA-ALVAREZ, 2003; USEPA, 1991) e o restante completado com água não tratada.

Foram preparadas cinco garrafas PET, que depois de acrescentar a matéria orgânica a ser decomposta, foram fechadas com bexigas de látex (Experimento C).

1. Garrafa PET contendo apenas matéria orgânica sólida, não triturada 160g;
2. Garrafa PET contendo apenas matéria orgânica triturada 160g;
3. Garrafa PET contendo apenas esterco bovino fresco 160g;
4. Garrafa PET contendo matéria orgânica sólida, não triturada, 160g e esterco bovino 15g;
5. Garrafa PET contendo matéria orgânica triturada 160g e esterco bovino 15g;

De um copo comum, estilo americano (200 ml), foi completado com matéria orgânica e retiradas duas colheres de sopa (15 ml) mais duas colheres de chá (5 ml), para mensurar 160 ml de matéria orgânica. Este processo de medição foi repetido no experimento C3, mas apenas com o esterco bovino fresco. Nos experimentos C4 e C5 foi utilizada uma colher de sopa (15 ml) para acrescentar esterco bovino na amostra.

Foi proposto obter as seguintes informações:

- A temperatura ambiente no momento das medições, com auxílio de um termômetro químico -10 °C a 110 °C;
- pH inicial e final da matéria orgânica + água do recipiente, com o auxílio de uma fita de teste de pH 0-14,0 Merck;
- Formação de gás, mensurando o diâmetro da bexiga com o auxílio de uma régua escolar.

4.3 MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE COMPOSTEIRA INTEGRADA A BIODIGESTOR ANAERÓBIO

Para a confecção do manual de construção foi necessário planejar a estrutura do protótipo, contabilizar que itens seriam necessários e fotografar todas as etapas da construção. Para a construção da composteira integrada ao biodigestor anaeróbio foi pensado em materiais de baixo custo e facilmente encontrados em comércios locais.

Foram adquiridos em lojas de materiais de construção: a abraçadeira para mangueira $\frac{3}{4}$, adaptador com rosca externa $\frac{3}{4}$ pol. para mangueiras, adaptador de anel pvc 25 mm $\frac{3}{4}$ “Flange”, arame liso galvanizado 1,24 mm, anel de vedação de borracha o’ring $\frac{1}{4}$, arruela lisa zincada $\frac{1}{4}$, cano pvc 25 mm $\frac{3}{4}$, cola epóxi, cola para pvc 30 g, fita veda rosca, joelho com um lado com rosca pvc 25 mm $\frac{3}{4}$, joelho pvc 25 mm $\frac{3}{4}$, luva pvc soldável 25 mm $\frac{3}{4}$, mangueira transparente flexível $\frac{3}{4}$, massa adesiva epóxi 250g, peneira para areia aro 55, porca sextavada

de vedação $\frac{1}{4}$, registro pvc esfera soldável 25 mm $\frac{3}{4}$, telha fibrocimento 4 mm, tijolos, torneira plástica com rosca $\frac{3}{4}$, válvula de retenção soldável 25 mm $\frac{3}{4}$. O calibrador de pneus analógico com manômetro e câmara de pneu automotivo foram obtidos em loja de peças automotivas. A garrafa PET 2 litros foi reutilizada a partir de recipientes de refrigerantes. Já a bombona plástica de 200 L e a bombona plástica de 80 L foram adquiridas em lojas de produtos agropecuários. Para a construção do protótipo foi necessária uma furadeira e kit de serra copo para pvc e serra de aço.

4.4 ROTINA DE DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Para compreender como os resíduos são destinados foram entrevistadas as merendeiras do colégio onde a proposta foi aplicada. As perguntas de interesse são que materiais e em que quantidades são gerados resíduos orgânicos, qual sua destinação corriqueira e quais seriam as recomendações da mantenedora.

Para complementar estas informações foi procurada a responsável pela merenda escolar na Secretaria de Estado da Educação do Paraná e entrevistada sobre as recomendações e procedimentos de descarte de resíduos orgânicos de alimentos nas instituições de ensino.

Programas e propostas de governo referentes a merenda escolar e seu descarte também foram analisados.

4.5 PROPOSTAS PEDAGÓGICAS

4.5.1 Planos de aplicação de Temas

Paralelamente, à medida que as disciplinas do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional (PROFBIO) foram oferecidas, a cada semestre foi solicitado aos mestrandos que fossem propostas atividades investigativas na forma de um plano de aplicação para aulas de Biologia. Aproveitando o ensejo, foram realizadas atividades de redação de sequências didáticas correlacionadas com esta proposta de pesquisa. As atividades sempre foram construídas com um viés de ensino por investigação, de preferência práticas e com atividades em grupo.

4.5.2 Compostagem e biodigestão na escola

Em 30/06/2021 a atual proposta foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UNICESUMAR e pelo Comitê de Ética e Pesquisa da UFPR com os números CAAE 44428221.2.3001.5539 e 44428221.2.0000.0102, respectivamente. Os recursos humanos necessários nesta proposta foram a consulta e aulas investigativas com estudantes de uma turma de 1º ano de uma escola estadual na região metropolitana de Curitiba, em um total de 20 estudantes com média de idade de 14-17 anos.

A abordagem foi realizada com estudantes do 1.º ano do Ensino Médio, de 1 turma atendida pelo Prof. Alecksey Walewski (cujas participações tiveram consentimento pelos responsáveis e assentimento pelos discentes). Após o início do 1º semestre letivo, em fevereiro de 2022, durante o intervalo de aulas da disciplina de Biologia, o projeto foi explicado e os alunos foram convidados a participar de forma voluntária e não-obrigatória, com a leitura do termo de assentimento. Explicou-se que não haveria prejuízo na disciplina àqueles que não quisessem participar e a possibilidade de se retirarem da pesquisa a qualquer momento e sem necessidade de justificativa para tanto.

As aulas teóricas aplicadas para todos os grupos consistiram em 2 aulas de 50 min abrangendo “Morfologia e importância ecológica do Domínio Bactéria”, que são tópicos relacionados aos conteúdos estruturantes de “Organização dos seres vivos e biodiversidade” das Diretrizes Curriculares Estaduais (DCE) da disciplina de Biologia:

- Aula teórica 1: Morfologia geral do Domínio Bactéria.
- Aula teórica 2: Importância ecológica e econômica do Domínio Bactéria.

As aulas práticas consistiram em 4 aulas de 50 minutos abrangendo aspectos práticos do trabalho experimental com bactérias, relacionados à compostagem e biodigestão pelos estudantes. Foram propostas práticas envolvendo compostagem e biodigestão para utilizar nas aulas de Biologia, como ferramenta didática. A proposta para a aplicação junto aos estudantes do 1º ano teve por objetivo identificar o metabolismo celular, com a decomposição da matéria orgânica por microrganismos. Para tanto, foram apresentadas questões de interesse para que os estudantes refletissem sobre a ação de microrganismos no ambiente e seus efeitos no cotidiano. Depois de levantar o conhecimento prévio dos discentes, foram apresentadas questões problematizadoras a fim de que eles levantassem hipóteses e elaborassem experimentos testáveis, sempre com a mediação do professor. Ao final do processo, os estudantes foram apresentados ao protótipo elaborado pelo autor e comparações com experimentos realizados

foram refletidos e analisados, discutindo em grupos sobre como ações de biotecnologia podem ser aplicados no cotidiano a fim de solucionar problemas ambientais.

4.5.3 Avaliação dos discentes

Para a avaliação, foram aplicados questionários com questões objetivas de Microbiologia de vestibulares de universidades (Apêndice V, p. 172), visando observar como os estudantes se relacionam com os assuntos estudados em 3 momentos distintos: antes das aulas teóricas, depois das aulas teóricas e após a aplicação das aulas práticas laboratoriais investigativas. Também foram aplicados questionários de avaliação da motivação (Apêndice IV, p. 170) para aprender nesses mesmos 3 momentos, com o intuito de ver a real modificação e interesse por parte dos estudantes. As perguntas que constam no questionário foram modificadas a partir do trabalho de Marchiore e Alencar (2009), adaptado para as aulas de Biologia do Ensino Médio envolvendo Microbiologia, para avaliar o nível de motivação dos estudantes em relação à Ciência e em especial à Microbiologia.

Acerca dos questionários motivacionais os estudantes puderam escolher entre as alternativas, nunca, às vezes e sempre. Para as análises estatísticas utilizamos o programa Excel para Windows, onde os dados qualitativos foram pontuados, sendo quando o estudante respondia “nunca” era dado o valor de 1, quando responderam “às vezes” era dado o valor de 2 e para “sempre” era dado o valor de 3. Após a tabulação dos dados qualitativos em quantitativos, foi calculada a média para cada resposta e seu desvio padrão. Foram consideradas diferenças estatisticamente significativas os valores de $p \leq 0,05$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas últimas décadas tem-se discutido sobre os atuais processos econômicos tradicionais, onde a cadeia produtiva é linear num processo de extração, transformação e descarte. Este planejamento produtivo não leva em consideração os efeitos negativos de cada etapa produtiva, gerando inúmeros impactos de longo prazo. Se o processo otimizar o lucro rápido e externalizar custos, os resultados são insustentáveis e danosos ao meio ambiente, a grupos sociais, setores econômicos etc. Um conceito tem vindo à tona com intuito de minimizar e até anular os efeitos negativos de processos produtivos lineares, a economia circular. Esta proposta tem a meta de valorizar a manutenção dos recursos extraídos e produzidos em circulação, numa cadeia produtiva integrada, mais eficiente e sustentável a longo prazo (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

O protótipo e proposta de trabalho desenvolvidos pretendem ir ao encontro com as premissas de economia circular onde os resíduos orgânicos da merenda escolar que seriam destinados ao sistema de coleta e descarte de resíduos urbanos, seriam reutilizados pelo futuro uso do protótipo. Já os procedimentos da rotina de descarte propostos, tiveram o intuito da otimização de uso dos recursos naturais num fluxo cíclico, tendo por objetivo aumentar a sustentabilidade pela integração harmônica entre fatores econômicos e ambientais, o que traria benefícios diretos para a sociedade. Nos biodigestores, o “lixo orgânico” transforma-se em biofertilizante, um recurso muito valorizado em sistemas produtivos orgânicos. Para que este fluxo circular de recursos aconteça, é necessária uma mudança visão de mundo e ideias, precisando mudar as leis e regulamentos que regem as instituições (OLIVEIRA *et.al.*, *op. cit.*).

5.1 MODIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO EXISTENTE

Até setembro de 2021 as atividades realizadas foram focadas nas modificações e testes com o protótipo 1 de composteira unida a um biodigestor anaeróbio, construído a partir de modelo caseiro previamente desenvolvido pelo autor (2012 a 2020). As etapas de testes do protótipo 1 já com matéria orgânica foram iniciadas no dia 27 de março de 2021 e encerradas no dia 13 de setembro de 2021, transcorrendo 177 dias de experimentação.

No protótipo de composteira integrada a um biodigestor anaeróbio o intuito é que o processo de decomposição inicie com a matéria orgânica passando por um processo de compostagem aeróbia para realizar a degradação inicial dos compostos orgânicos, diminuindo o tamanho e aumentando a velocidade de reações químicas no biodigestor. Esta proposta

metodológica visa remediar um problema do processo de digestão anaeróbia apontada por Appels *et al.* (2011), a baixa eficiência de biodigestores com partículas sólidas. Assim conduzimos o pré-tratamento da matéria orgânica por meio da ação enzimática microbiana e com calor, resultantes do processo de compostagem. A formação de lixiviado do processo de compostagem doméstica é um problema citado por Andersen *et al.* (2011), e o protótipo 1 tentaria sanar esse impasse sendo os resíduos metabólicos líquidos produzidos na composteira aeróbia levados a um segundo tratamento, agora anaeróbia no biodigestor. Além disso nessa proposta de integração, unindo compostagem e biodigestão anaeróbia, teria como meta buscar soluções de baixo custo para um dos gargalos técnicos da digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos, relativo à dificuldade de degradação de lignina, celulose e gorduras na etapa de hidrólise (FDÉZ-GUELFO *et al.*, 2011a).

A partir de uma série de modelos desenvolvidos pelo autor anteriormente à entrada no mestrado (e avaliados empiricamente, apenas por meio de diminuição da altura da leira), foi construído um primeiro protótipo construído no início de 2020 (Figura 7a). A partir do funcionamento deste protótipo 1, de análise empírica preliminar (sem realização de análises químicas e físico-químicas) e revisão de literatura, compreendeu-se mais sobre o funcionamento de composteiras e biodigestores descritos na literatura científica e elaborado um segundo protótipo (Figura 7b), sendo este segundo protótipo utilizado na bateria de testes proposto nesse trabalho.

FIGURA 7 - Protótipos de biodigestor e composteira desenvolvidos pelo autor



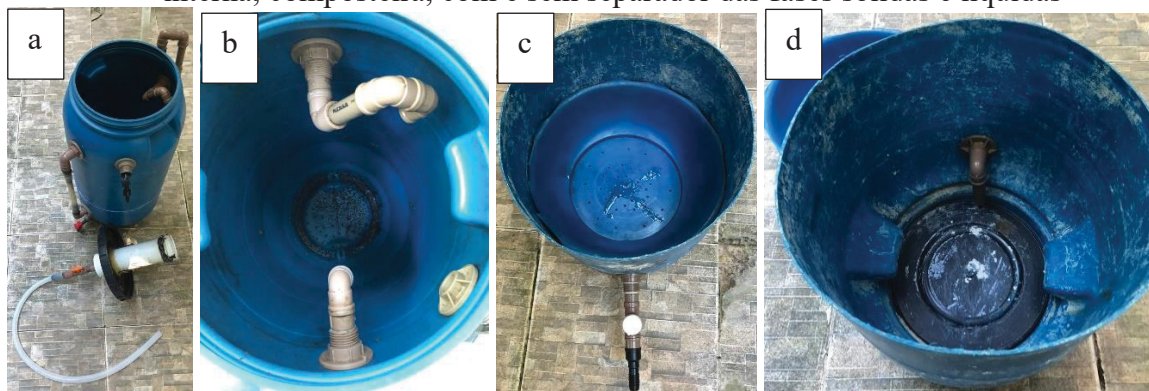
À esquerda em “a” primeiro protótipo desenvolvido e a direita em “b” segundo protótipo desenvolvido.

FONTE: O autor (2020).

A segunda versão do protótipo foi construída entre os dias 08 e 18 de março de 2021. Foram construídos dois protótipos de segunda geração, ambos com uma composteira interligada a um biodigestor (Figura 7b). As bombonas azuis para biodigestão anaeróbia possuem 86 litros no total, sendo 75 litros o limite para a torneira superior. As bombonas grandes (preta e vermelha) possuem volumes totais de 268 e 241 litros, sendo que o limite líquido para o lixiviado da bombona preta em 30 litros e da bombona vermelha 35 litros, esta diferença se deve ao tamanho e formatos diferentes de ambas. O volume de composto, para ambas bombonas foi padronizado em 206 litros.

Na fase da composteira há dois ambientes, um seco e aeróbio, onde os compostos são depositados do exterior e outra líquida, aeróbia e parcialmente decomposta com lixiviado oriundo da fase seca (Figura 8). Seguimos a proposta de Lima Jr (2015) que propôs o termo de lixiviado para denominar os líquidos originados da umectação de composteiras, por reações de decomposição e pelo acréscimo de água de forma artificial ou pluvial.

FIGURA 8 - Primeiro protótipo desenvolvido mostrando digestor anaeróbio, parte externa e interna; composteira, com e sem separador das fases sólidas e líquidas



Da esquerda para a direita, “a” biodigestor visão externa, “b” biodigestor visão interna. Em “c” interior da composteira mostrando a localização do depósito da fase sólida e em “d” removendo o separador de fases da composteira pode-se observar a localização do depósito da fase líquida.

FONTE: O autor (2022).

Martinez-Blanco *et al.* (2010) compararam o processo de compostagens caseiras, dito descentralizadas, e compostagens comerciais, dito centralizadas. Estes autores mostraram vantagens da compostagem descentralizada devido que o composto não precisa ser transportado para uma compostagem comercial. Fora este aspecto, o processo de compostagem descentralizado, com revolvimento, possui considerável de emissão de gases de efeito estufa, comparados a compostagem comercial (ANDERSEN *et al.*, 2012). Quando há menos revolvimento no processo de compostagem, foi observado menores emissões de gases do efeito

estufa (ANDERSEN *et al.*, 2012; AHN *et al.* 2011). Tais observações vão de encontro com os trabalhos de JACKEL *et al.* (2005) e INÁCIO; MULLER (2009) que citam que até a quarta semana de compostagem, ocorrem bactérias metanotróficas que oxidam até 98% do metano formado. Assim para o uso residencial e escolar, é mais interessante o uso de composteiras estáticas, com grande aeração. De acordo com Andersen *et al.* (2010a e 2010b) a compostagem pode emitir gases de efeito estufa, sendo os principais, gás carbônico (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e monóxido de carbono (CO). De acordo com Andersen *et al.* (2011) o problema de se realizar compostagem a nível doméstico é a grande emissão de gases do efeito estufa. Como demonstrado por Lima Jr. (2015) e proposto por Andersen (2011) a compostagem devidamente aerada e com controle de umidade, em torno de 65%, inibi processos de digestão anaeróbia, sendo que são minimizados a formação de gases do efeito estufa, como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). O processo de aeração realizado em nossa experiência é de forma passiva por convecção térmica denominado como efeito chaminé, descrito por ANDERSEN *et al.* (2010a). Andersen *et al.* (2010a) descreve o efeito chaminé como processo de convecção térmico passivo de fluxo do ar, que pela diferença de temperatura interna e externa da composteira, dinamiza a aeração espontânea maximizando o processo de biodigestão aeróbia. De forma natural, o fluxo de ar é ocasionado pelas diferenças de temperaturas entre o meio interno, nos resíduos em processo de compostagem (podendo chegar até a 70°C), e o ambiente externo. Como descrito por Lima Jr. (2015) composteiras com chaminés potencializam o processo aeróbio, entretanto há perda de umidade e diminuição de temperaturas máximas.

Sobre o processo de compostagem, Valente (2009) cita que a altura ideal da leira para o processo varia entre 1,5 e 1,8 metros e não menos que 0,80 metros. Infelizmente o primeiro protótipo construído no início de 2020 tinha altura máxima de 0,43 m. Essa característica não deve ter contribuído para formar condições adequadas para o processo de compostagem ocorrer no primeiro protótipo, tal fato é evidenciado pela demora da decomposição de estruturas vegetais esclerosadas e pela câmara de compostagem estar sempre a temperatura ambiente ao toque, fato este destoante da literatura, já que temperaturas de até 70°C são observados em condições ideais (VALENTE, 2009). A fim de sanar tal problema, impedindo a perda de calor, umidade e a mesmo tempo contribuindo para uma circulação de ar adequada (RODRIGUES *et al.*, 2006) o segundo protótipo de composteira teve alturas máximas da leira de 1,20 metros. A fase líquida da composteira, contendo o lixiviado, possui saída na região inferior da composteira em direção ao biodigestor, onde há um encanamento com formato de “U” invertido, que impede que o ar externo contendo gás oxigênio chegue ao biodigestor. Este impedimento não tinha sido

medido anteriormente no primeiro protótipo. À medida que é acondicionado matéria orgânica na composteira (num uso cotidiano) e/ou formação de líquidos decompostos nesta área, por gravidade, pressão hidrostática e seguindo a física de vasos comunicantes, é pressionada parte da fase líquida da composteira para o biodigestor.

Num primeiro momento os protótipos foram testados apenas com água, verificando possíveis vazamentos em emendas e depois aumentando a pressão na fase gasosa do biodigestor com um compressor de ar, observando a saída ou não de ar pela composteira sob pressões normais e qual o limite para isso ocorrer sob maiores pressões. No primeiro protótipo havia um cano flexível, unindo a composteira ao biodigestor, sempre preenchido por um líquido que fazia a função de separar o lixiviado provenientes da composteira para o biodigestor e para evitar que os gases do biodigestor escapassem para a composteira (Figura 9). Esta forma de isolamento estava prevista para persistir no segundo protótipo, entretanto com o teste de pressão, quando comprimido a valores abaixo de 1 atm, foi observado o retorno de gás do biodigestor para a composteira, o que poderia tornar o processo de captura de gases provenientes do biodigestor pouco eficientes.

FIGURA 9 - Conexão em “s deitado” entre a composteira e o biodigestor, demonstrando o princípio de isolamento quando preenchido por líquidos



FONTE: O autor (2022).

Com a bateria de testes com água e sob pressão ficou claro que esse sistema proposto mantinha isolamento entre a composteira e o biodigestor em pressões baixíssimas e pouco

eficientes. Surgiram dúvidas plausíveis de que poderia ser possível contaminação do biodigestor com oxigênio atmosférico. O teste de pressão encerrou quaisquer dúvidas a respeito, se fosse colocado uma coluna de água de 2 metros, a pressão seria em torno de 2,58% da pressão atmosférica, valor este muito baixo considerando que o biodigestor irá formar gases e aumentar a pressão interna. Foi pensado em um instrumento que impedisse a volta do gás do biodigestor para a composteira e direcionasse em apenas uma direção o escoamento de líquidos da composteira para o biodigestor. A solução foi instalar uma válvula unidirecional (válvula de retenção soldável 25 mm $\frac{3}{4}$) que passou pelo teste, onde a saída de ar ocorreu apenas pela mangueira que liga o biodigestor à câmara de pneu automotivo, como pretendido. Ao longo do experimento prático posterior com matéria orgânica e seu uso em ambiente escolar, não foi observado quaisquer vazamentos, assim os testes com água e pressão foram um sucesso, sem voltar ar do biodigestor para a composteira ou vazar para o ambiente. Após essa fase de testes a próxima etapa de testes foi observar e analisar o funcionamento das composteiras (segunda etapa de testes) com matéria orgânica.

Um aspecto de grande relevância no processo de compostagem é a relação de carbono e nitrogênio. A intenção é manter uma relação de 30:1 C/N (VALENTE, 2009, p.63). Comumente a quantidade de carbono e nitrogênio dos resíduos orgânicos residenciais encontra-se na faixa de 30/1 (IPT/CEMPRE, 2000), dependendo da sua composição. Se não for o caso é necessária montar esta relação de forma artificial. Para atingir esta proporção para resíduos orgânicos domésticos, deve-se misturar 1 parte para 3 partes de material marrom (folhas secas por exemplo), acrescentando ainda 10% de material inoculante, que é o composto orgânico previamente decomposto, já em estágios avançados (USCOUNCIL, 1999, USEPA, 2003). Como parâmetro de compostagem completa, espera-se uma correlação de C/N abaixo de 20/1 (BRASIL, 2009) ou de acordo com exigências internacionais entre 10 e 15/1 (USEPA, 2003). A proporção destes elementos químicos é fator limitante no processo de compostagem, pois toda uma diversidade de microrganismos depende desta relação, sendo essenciais as matérias orgânicas com diferentes momentos de compostagem, fornecendo continuamente nutrientes à microbiota (JIANG *et al.*, 2011).

Nosso intuito inicial era trabalhar com resíduos orgânicos da merenda escolar, entretanto pelos efeitos do isolamento social devido a pandemia de COVID-19, com as escolas fechadas e muitos restaurantes trabalhando de forma mínima, houve dificuldade de encontrar resíduos orgânicos e em quantidades suficientes para iniciar o experimento na região. Portanto, foi buscada uma alternativa com esterco bovino e com serragem para testar o protótipo 2 construído. Como a quantidade de esterco era muito grande, foi buscado esterco bovino

depositado no campo, dando preferência ao fresco. A serragem foi retirada de uma serralheria das proximidades, onde buscou-se por madeiras não tratadas.

No começo do trabalho não tínhamos acesso ao cálculo de partes de material rico com carbono (PMRC, Metodologia, p. 39) proposto por GOMES *et al.* (2001) então, inicialmente foi pensado um cálculo matemático para obtermos as quantidades necessárias de esterco e de serragem resultando em um material com proporção C/N de 30/1 para um volume aproximado de 185 litros (Tabela 3), mais 21 litros de inóculo da composteira caseira para uma umidade final de 65%. Para isso, tinham-se os seguintes parâmetros:

- Segundo Teixeira *et al.* (2004) a serragem possui proporção C/N de 131/1 = 132 total C+N: a serragem sozinha teria $131/132 = 99,2\%$ de carbono e $1/132 = 0,8\%$ de nitrogênio;
- Segundo Ricci *et al.* (2006) o esterco sozinho por ter proporção de C/N 18/1, sozinho teria $18/19 = 94,7\%$ de carbono e $1/19 = 5,3\%$ de nitrogênio;

Desta forma o material para entrar na composteira precisaria ter relação C/N de 30/1, ou seja, teria que ter 30/31 que seria de 96,8% de carbono e 1/31 sendo 3,2% de nitrogênio. O primeiro cálculo feito visou determinar qual seria a proporção de massa seca (supondo 0% de umidade), de esterco e de massa seca de serragem precisariam ser misturados para obter um valor hipotético de massa para composteira.

TABELA 3 - Resumo do cálculo da relação de carbono e nitrogênio de 30/1 para uma mistura de serragem e esterco bovino como fontes de material orgânico

	SERRAGEM ¹	ESTERCO BOVINO ²	TOTAL DA MISTURA PRETENDIDA
Porcentagem de carbono	99,2%	94,7%	96,8%
Porcentagem de nitrogênio	0,8%	5,3%	3,2%

Observação: Cálculos sem considerar relações de C/N de inóculo; 1 - Material rico em carbono; 2 - Material rico em nitrogênio;

FONTE: O autor (2022).

Por tentativa e erro tentamos descobrir qual seria a proporção C/N obtida se ao todo fossem inseridos 3,2 kg de nitrogênio oriundos do esterco, partindo do princípio de que a concentração de nitrogênio da serragem é baixa. Usando uma regra de 3, se 100 kg de esterco têm 5,3 kg de N, 3,2 kg de N estariam contidas em X, ou seja $3,2/5,3 =$ equivalendo a 60,4% de 100 kg, ou seja, 3,2 kg de N + 57,2 kg de C. Como a massa para a composteira precisaria ter 96,8 kg de C, ainda faltariam $96,8 \text{ kg} - 57,2 \text{ kg} = 39,6 \text{ kg}$ de C que seria oriundo da serragem.

39,6 kg de C equivaleriam a $39,6/99,2 = 39,9\%$ da massa de 100 kg de serragem, ou seja, 0,32 kg de N e 39,6 kg de C. De modo que, nesse exemplo, misturando 60,4 kg de esterco + 39,9 kg de serragem, teríamos 3,2 kg de N do esterco + 0,32 kg de N da serragem = 3,52 kg de nitrogênio e 57,2 kg de C do esterco + 39,6 kg de C da serragem = 96,8 kg de C, com total de 3,52 kg de N + 96,8 kg de C = 100,32 kg (3,5% de N e 96,5% de C; $96,5/3,5 = C/N = 27,6/1$). Como precisaríamos de C/N 30/1, significa que precisaríamos aumentar a proporção de serragem e diminuir a proporção de esterco.

Na 2ª tentativa e erro, calculamos quantas vezes mais carbono teria na proporção 30/1 em relação à proporção 27/1 = $30/27 = 1,11$ x mais serragem. Ao invés de 0,32 kg de N da serragem, adicionaríamos nesse exemplo $0,32 \text{ kg} \times 1,11 = 0,36$ kg de N da serragem. Isso daria $1,11 \times 39,6 \text{ kg de C da serragem} = 44 \text{ kg de C da serragem}$ ou massa total da serragem de $0,36 \text{ kg} + 44 \text{ kg} = 44,4 \text{ kg}$, ou seja $0,36 \text{ kg de N da serragem} + 2,84 \text{ kg de N do esterco}$ (para dar total de 3,2) = 3,2 kg de N total e $44 \text{ kg de C da serragem} + 51,1 \text{ kg de C do esterco}$, $(2,84/3,2) \times 57,2 \text{ C} = 50,8 \text{ kg de C do esterco}$ (ou massa total do esterco de $2,84 \text{ kg} + 50,8 \text{ kg} = 53,6 \text{ kg}$) = 94,8 kg de C total; $94,8/3,2 = 29,6/1$, ou seja, $\sim 30/1$.

Sabendo-se qual é a proporção em massa seca de cada um dos componentes da massa para composteira (esterco e serragem), pensou-se ser necessário, com base no valor de umidade dos componentes, calcular qual a massa úmida que precisaria ser colocada de cada um dos componentes. Desse modo, supondo-se que o esterco tivesse 86% de umidade (TEIXEIRA *et al.*, 2004) e a serragem tivesse 12% de umidade (RICCI *et al.*, 2006) e que fosse necessário produzir aproximadamente 100 kg de massa seca. A proporção de massa seca para obter C/N 30/1 seria de 44,4 kg de serragem + 53,6 kg de esterco, para uma serragem com 12% de umidade, se considerarmos que 44,4 kg equivaleria à parte seca dela, 44,4 kg corresponderia a 88% da massa, logo, 100% da massa úmida (seca mais a água da umidade) seria 50,4 kg (serragem úmida com 12% de umidade), por regra de 3 (ou dividindo $44,4 \text{ kg}/0,88$). Para um esterco com 86% de umidade, se considerarmos que 53,6 kg equivaleria à parte seca dela, 53,6 kg corresponderia a 14% da massa, logo, 100% da massa úmida (seca mais a água da umidade) seria 382,9 kg (esterco úmido com 86% de umidade), por regra de 3 (ou dividindo $53,6 \text{ kg}/0,14$). Portanto, nesse exemplo hipotético, para produzir aproximadamente 100 kg de massa seca para a composteira, precisaria de, para obter C/N 30/1: 50,4 kg de serragem úmida a 12% de umidade mais 382,9 kg de esterco úmido a 86% de umidade.

Conhecendo a proporção em massa úmida de cada um dos componentes da massa hipotética a ser preparada para a composteira (esterco e serragem), foi preciso converter essa massa úmida em volume (de acordo com a densidade de cada componente, medida por meio de

uso de recipiente com volume conhecido e balança), nesse exemplo, a serragem pesaria 3,2 kg/10 L e o esterco 0,93 kg/10 L). Para a serragem foi feita uma regra de 3, se 10 L pesam 3,2 kg, quantos litros medem 50,4 kg? O que corresponderia a $(50,4/3,2) \times 10 = 157,5$ L de serragem. Para o esterco também foi realizada uma regra de 3, se 10 L pesam 9,3 kg, quantos litros medem 382,9 kg? Isso corresponderia a $(382,9/9,3) \times 10 = 411,7$ L de serragem. Portanto, nesse exemplo hipotético, para produzir aproximadamente 100 kg de massa seca para a composteira, precisaria de, para obter C/N 30/1: 157,5 L de serragem úmida a densidade de 3,2 kg/10 L + 411,7 L de esterco úmido a densidade de 0,93 kg/ L = 569,2 L total.

TABELA 4 - Resumo do volume seco estimado de cada material orgânico da mistura utilizada, para uma relação de carbono e nitrogênio de 30/1

	SERRAGEM ¹	ESTERCO BOVINO ²	TOTAL
Volume em litros	50,8	132,8	183,6

Observação: Cálculos sem considerar relações de C/N de inóculo; 1 - Material rico em carbono; 2 - Material rico em nitrogênio;

FONTE: O autor (2022).

Conhecendo as proporções necessárias em volume (litros) de esterco e serragem, foi diminuído o volume final para 185 L e proporcionalmente diminuído o volume de cada um dos componentes (esterco e serragem). Para descobrirmos o volume total a ser produzido foi dividido o volume total do exemplo hipotético pelo volume total que queríamos produzir: $569,2 \text{ L} / 185 \text{ L} = 3,1$ x menos. Também diminuimos 3,1 x menos o volume de esterco ($411,7 \text{ L} / 3,1 = 132,8 \text{ L}$) e de serragem ($157,5 \text{ L} / 3,1 = 50,8 \text{ L}$). Desta forma, a proporção final para 185 L ficou em 132,8 L de esterco mais 50,8 L de serragem = 184 L (aproximadamente 185 L), isso se a densidade for de 3,2 kg/10 L para serragem e 9,3 kg/10 L para o esterco e a umidade for de 12% para serragem e 86% para o esterco. A umidade teórica ficou: para 98 kg de massa seca ou aproximadamente 100 kg de massa seca $/ 3,1 \times = 31,6$ kg de massa seca (para preparar 184 L ou ~185 L de volume para entrar na composteira), oriundos de $(132,8 \text{ L} / 10 \text{ L}) \times 9,3 \text{ kg} = 123,5 \text{ kg}$ de massa úmida e de $(50,8 \text{ L} / 10 \text{ L}) \times 3,2 \text{ kg} = 16,3 \text{ kg}$ de massa úmida, total de massa úmida de $123,5 \text{ kg} + 16,3 \text{ kg} = 139,8 \text{ kg}$ de massa úmida. A umidade teórica seria (nesse exemplo) de $139,8 \text{ kg} - 31,6 \text{ kg} = 108,2 \text{ kg}$ de água. Isso corresponderia, em teoria a $108,2 / 139,8 = 77\%$ de umidade, variável que não pôde, portanto, ser controlada dentro de uma faixa ideal. Para diminuir a umidade, o esterco ou a serragem precisariam estar mais secos.

Na região do biodigestor, totalmente anaeróbio, há duas fases: uma líquida e outra gasosa. Existem vários modelos de biodigestores, desde os alimentados continuamente, até os alimentados por batelada, onde o recipiente é carregado apenas uma vez e descarregado quando a produção de gás encerrar ou for mínima (NOGUEIRA, 1986). A biodigestão anaeróbia depende de outros fatores além da ausência de oxigênio externo. O pH, temperatura, taxa de mistura, relação de carbono e nitrogênio, tempo de retenção hidráulica, teor de sólidos totais e sólidos voláteis e tamanho das partículas são fatores essenciais para a manutenção das condições ótimas para o desenvolvimento da microbiota anaeróbia (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008). A biodigestão anaeróbia, degradando a matéria orgânica em biogás (Tabela 5) pode ser usado como uma fonte valiosa de energia (APPELS *et al.*, 2008). No segundo protótipo desenvolvido o gás produzido no biodigestor é conduzido, por pressões internas, para armazenamento numa câmara de pneu automotivo. Mantendo as condições ideais, no final do processo anaeróbio, é formado principalmente metano e gás carbônico, onde representam 95% de todo o biogás. A formação de metano e sua concentração são diagnósticos da etapa final da decomposição anaeróbia da matéria orgânica (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

TABELA 5 - Composição média do biogás

TIPO DE SUBSTÂNCIA	COMPOSIÇÃO (%)
Metano	50 – 75
Dióxido de carbono	25 – 45
Hidrogênio	0 – 1
Sulfeto de Hidrogênio	0 – 3
Oxigênio	0 – 2
Amônia	0 – 1
Outros	1 – 5

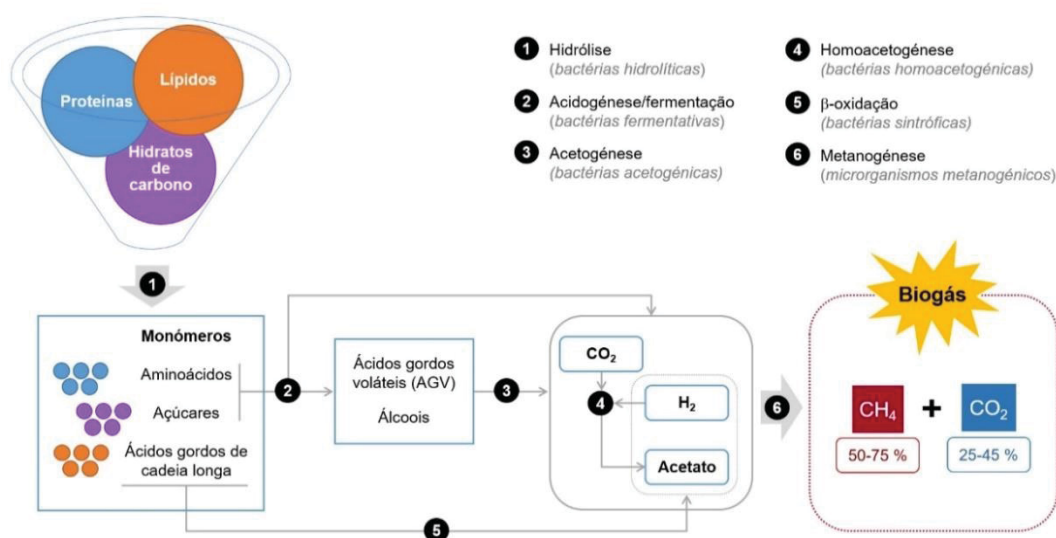
FONTE: Adaptado de CAVALEIRO; ALVES (2020).

Ao longo do processo de biodigestão anaeróbia a temperatura muda em etapas consecutivas: termofílica (50-70°C), mesofílica (20-45°C) e psicofílica (abaixo de 20°C), de acordo com Craveiro *et al.* (1982). Nas fases termofílica e mesofílica há a grande proliferação de archeas metanogênicas. Estes organismos são muito sensíveis a temperatura, sendo mais favorável na fase termofílica devido a demanda de nutrientes e pela competição da microbiota (MAO *et al.*, 2015). Entre bactérias hidrogenotróficas, que produzem acetato, e bactérias hidrogenotróficas metanogênicas há sintrofia. Estas crescem num pH ideal entre 6.7 e 7.5. Com relação a temperatura as bactérias acidogênicas se desenvolvem melhor em condições mesofílicas, enquanto as metanogênicas preferem termofílicas, mas sobrevivendo em condições mesofílicas (DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2008). Vale ressaltar que as bactérias

metanogênicas têm lento desenvolvimento, somente depois de 15 dias (aproximadamente) conseguem duplicar sua população. Tal fato reflete na operação de biodigestores, em que o tempo de retenção hidráulico não deve ser inferior a 15 dias (Lima Jr, 2015). Na biodigestão anaeróbia a relação de carbono e nitrogênio sugerido como ideal oscila entre 16/1 e 30/1 (DEUBLEIN; STEINHAUSER, *op. cit.*, LI *et al.*, 2011). Os sólidos totais podem variar entre 5% e 15%, sendo os valores ideais entre 7% e 9% (DEUBLEIN; STEINHAUSER, *op. cit.*; MATA-ALVAREZ, 2003; PROSAB, 2003), onde o tamanho ideal de partículas gira em torno de 0,71 mm, sendo que uma grande redução no tamanho das partículas libera uma grande quantidade de ácidos voláteis, diminuindo o pH, interferindo na homeostase microbiana (IZUMI *et al.*, 2010). As etapas e relações microbianas podem ser visualizados na figura 10.

No nosso experimento para o biodigestor, foi pensado que para preparar suspensão de esterco com 8 g de massa orgânica em 100 mL de água (8%), precisaria de 80 g de massa seca orgânica/litro, ou, em 21,5 L (que é 1/4 do volume máximo de 86 L), 1,7 kg de massa seca em 21,5 L. Para um esterco com 86% de umidade, se considerarmos que 1,7 kg equivaleria à parte seca dela, 1,7 kg corresponderia a 14% da massa, logo, 100% da massa úmida (seca mais a água da umidade) seria 12,1 kg (esterco úmido com 86% de umidade), por regra de 3 (ou dividindo 1,7 kg/0,14); Para um esterco com densidade de 9,3 kg/10L, 12,1 kg equivaleriam a 13 L. Então seriam inseridos 13 L de esterco + o volume que resta para completar 21,5 L de água, que seria de 8,5 L de água, porém essas proporções só valem para um esterco com 86% de umidade e densidade de 9,3 kg/10 L.

FIGURA 10 - Esquema do processo de biodigestão anaeróbia



FONTE: Cavaleiro e Alves (2020).

O teste com resíduos orgânicos residenciais proposto inicialmente abrangeria um período total de 240 dias, sendo 120 dias para a segunda etapa de testes focado nas composteiras mais 120 dias para a terceira etapa focada nos biodigestores. Foram estipulados 120 dias como tempo máximo de decomposição, em condições normais, descrito por Oliveira (2005). A primeira de três fases de testes no protótipo foi testar possíveis vazamentos que ocorreram em uma emenda e facilmente solucionada, além de solucionado o retorno de ar do biodigestor para a composteira com a inclusão de uma válvula unidirecional no protótipo. A segunda e terceira etapas de testes visavam a efetiva utilização do protótipo.

Na segunda fase de testes, foi analisado o processo de decomposição de duas composteiras com e sem chaminé para verificar de forma empírica (com base apenas nas medidas de temperatura, pH e alterações na altura da leira) o processo de compostagem em bombonas. Essa fase de testes apresentou três questionamentos. Primeiramente, o oxigênio atmosférico de livre entrada no módulo de composteira acabaria passando para o biodigestor anaeróbio por meio do lixiviado coletado nele, prejudicando o processo de biodigestão anaeróbia? Em segundo lugar, a adição de um sistema de chaminé para permitir maior circulação de ar no centro do material a ser compostado melhoraria o processo de compostagem? Andersen *et al.* (2011) relatam que um dos problemas associados à compostagem doméstica é a formação de lixiviado. Nosso trabalho teve a proposta de pensar em uma possível solução para este problema fazendo que o lixiviado produzido seja conduzido a um biodigestor anexo ao sistema de compostagem, além de constantemente carrear composto parcialmente decomposto da composteira para o biodigestor. Em terceiro lugar, na passagem do lixiviado da composteira para o biodigestor, haveria mistura homogênea desse com a suspensão de esterco bovino previamente colocada no biodigestor, apesar da bombona não possuir sistema de agitação? Por esta razão a câmara de biodigestão teve uma torneira na parte inferior, na região medial e outra na parte superior para coletas e análises químicas futuras (que não puderam ser realizadas ainda). Haveria a hipótese, não testada neste trabalho, de que os resíduos de menor densidade flutuariam, e os de maior densidade e possivelmente menos decompostos afundariam na fase líquida, indo de encontro a microbiota decantada no biodigestor.

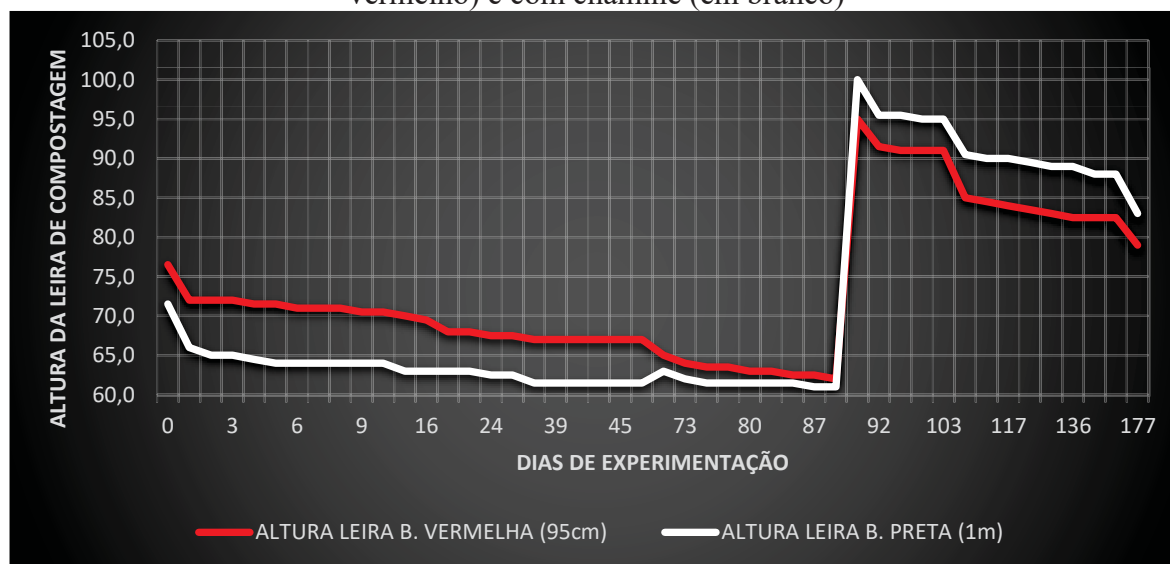
Estes resíduos orgânicos oriundos das composteiras na segunda etapa de testes, que não seriam ainda compostos curados, seriam reaproveitados, adicionando-os a compartimento de biodigestão anaeróbia do protótipo.

Nesta terceira e última etapa, portanto, foram adicionados resíduos orgânicos oriundos das composteiras com diferentes tratamentos em biodigestores isolados. Mata-Alvarez (2003)

e Fdez-Guelfo *et al.*, (2011a) citam a eficácia de diferentes pré-tratamentos, térmico e biológico na otimização do processo de biodigestão. Para este teste o intuito foi disponibilizar três biodigestores: um grupo controle apenas com matéria orgânica, um com material orgânico proveniente da composteira com chaminé, outro com material da composteira sem chaminé. Após este período, era esperado retirar o biofertilizante totalmente decomposto e comparar com as etapas anteriores na busca da melhor eficácia do processo de descarte de matéria orgânica para uma escola e residências. No entanto, a avaliação da eficiência da biodigestão anaeróbia do composto não curado (material orgânico oriundo das composteiras) ainda não pôde ser verificada por meio de testes químicos e físico-químicos, como descrito a seguir.

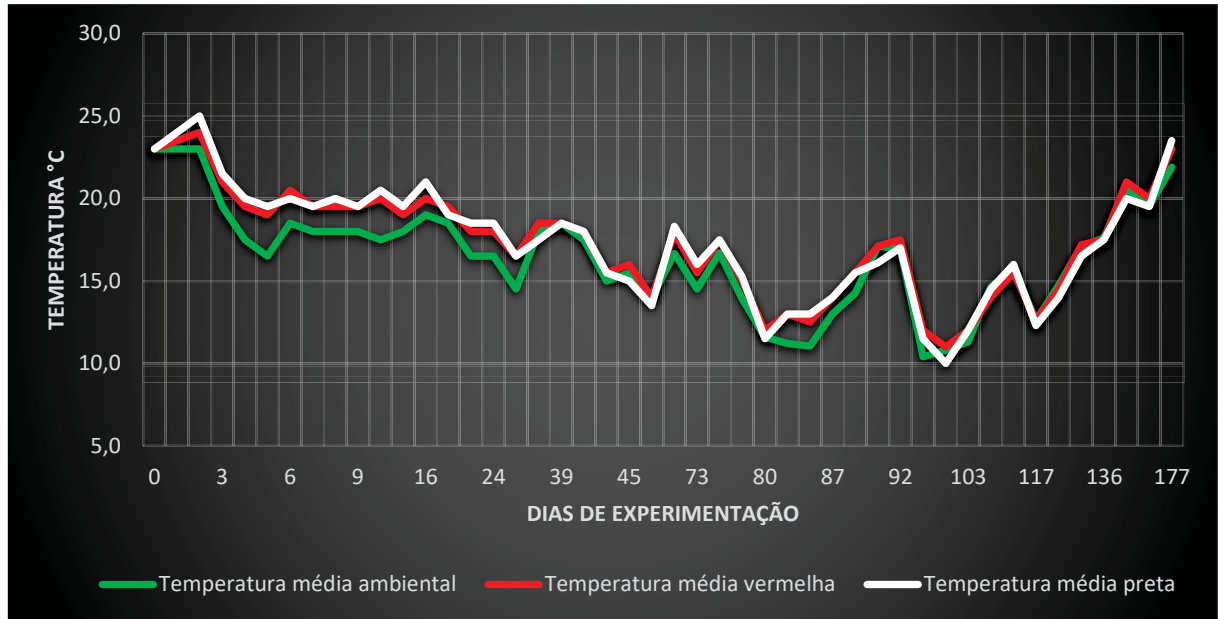
A experimentação com resíduos orgânicos iniciou de fato, com dois protótipos da segunda versão, no dia 27 de março de 2021 e encerrada no dia 13 de setembro de 2021, transcorrendo 177 dias de experimentação. Os dados obtidos do experimento com o protótipo desenvolvido podem ser visualizados nas figuras 11 a 14. Ressalta-se que no dia 05/06/2021 foi recolocada a matéria orgânica após procedimentos de secagem, no 70º dia de experimentação. Já a correção da relação de C/N, colocando mais serragem no experimento, ocorreu no dia 26/06/2021 no 91º dia de experimentação.

FIGURA 11 - Gráfico da altura da leira de matéria orgânica na composteira sem chaminé (em vermelho) e com chaminé (em branco)



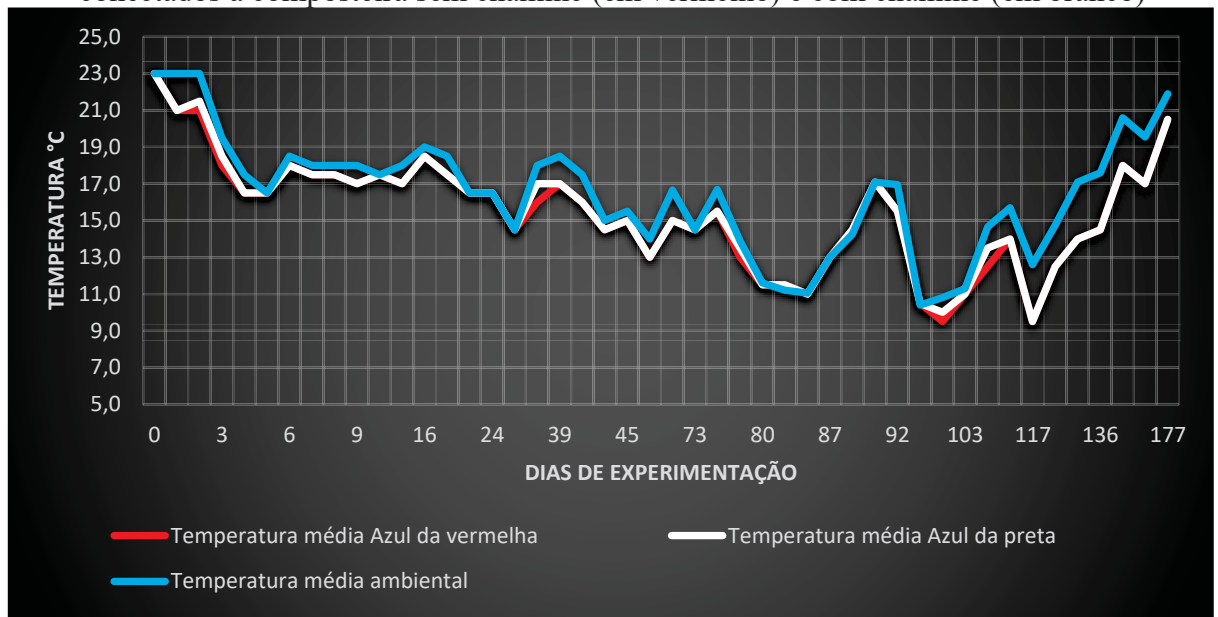
FONTE: O autor (2021).

FIGURA 12 - Gráfico da temperatura média a 30 cm da base sólida da matéria orgânica na composteira sem chaminé (em vermelho) e com chaminé (em branco)



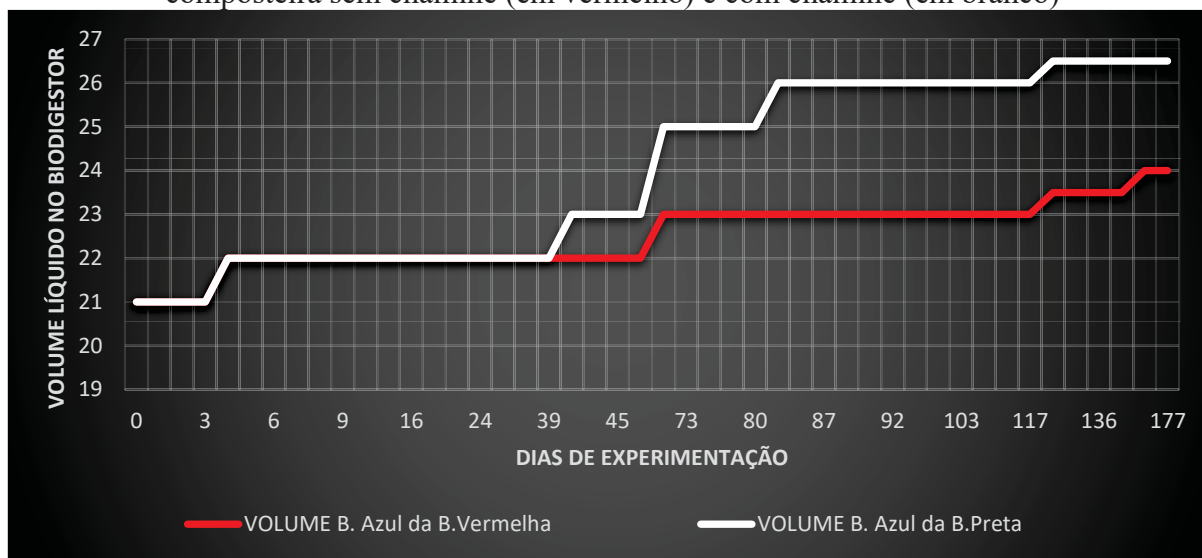
FONTE: O autor (2021).

FIGURA 13 - Gráfico da temperatura média a 30 cm da base dos biodigestores (azuis) conectados a composteira sem chaminé (em vermelho) e com chaminé (em branco)



FONTE: O autor (2021).

FIGURA 14 - Gráfico do volume dos líquidos contidos nos biodigestores (azuis) conectados a composteira sem chaminé (em vermelho) e com chaminé (em branco)



FONTE: O autor (2021).

A experimentação foi encerrada antes do proposto devido a divergências nos resultados encontrados comparados as referências bibliográficas, a compostagem estava sendo muito lenta e sem temperaturas mesofílicas e termofílicas, temperaturas que indicavam ausência de processo microbiano termofílico e, portanto, ausência de compostagem eficiente, de acordo com os dados coletados. Diversos fatores poderiam estar influenciando nos resultados e com alguns fatos observados no experimento em andamento, a seguir descrevemos uma sequência de hipóteses e ações a fim de sanar a ausência do processo de compostagem observada por meio dos dados das figuras 11 a 14.

1) Hipótese de umidade elevada e baixa oxigenação: a primeira hipótese seria a de que, devido à elevada umidade da amostra, o ar não estaria circulando e as reações metabólicas estariam letárgicas. Para sanar este possível problema, toda a matéria orgânica foi retirada no dia 17/05/2021, e progressivamente secada à sombra (Figura 15), depois com ventilação forçada (Figura 16) e depois aquecida e com ventilação forçada numa estufa improvisada, sempre revirando no mínimo duas vezes ao dia.

FIGURA 15 - Fotografias do processo de secagem a sombra



Etapas do processo de secagem, mostrando os 206 litros de conteúdo de cada composteira secadas individualmente.

FONTE: O autor (2021).

FIGURA 16 - Fotografias do processo de secagem com ventilação forçada em área coberta

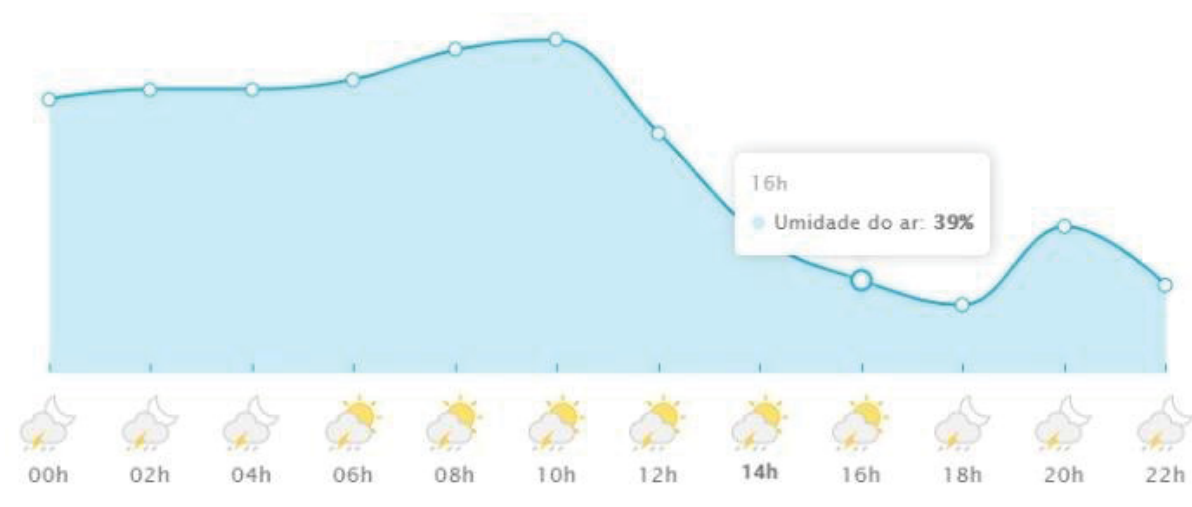


FONTE: O autor (2021).

Inicialmente o composto foi colocado para secar à sombra e fechado à noite com lona impermeabilizante. Se chuviscos eram previstos, o material era arrastado para uma área protegida e coberta. No dia 23/05/2021 pensou-se em otimizar este processo de secagem deixando o material todo o momento em um local protegido de eventuais chuviscos e incorporando um ventilador, maximizando a circulação de ar nos momentos de menor umidade relativa do ar.

Houve a otimização dos momentos de secagem, ventilando com mais intensidade nos momentos de menor umidade relativa do ar e isolando o material sempre quando a umidade relativa do ar estava prevista a ser superior a 80% (Figura 17). O acompanhamento da umidade relativa do ar e previsão das rotinas diárias seguiu de acordo com os dados fornecidos pelo site climatempo.com.br e conferidas com um medidor de umidade e temperatura do ar marca Smart Sensor, modelo ST9617.

FIGURA 17 - Demonstração das oscilações de umidade relativa do ar ao longo do dia



Previsão para Piraquara/PR para o dia 23/05/2021.

FONTE: CLIMATEMPO (2021).

Após colocar o material para secar na sombra por aproximadamente três semanas, inclusive sendo aquecida e com ventilação forçada, a matéria orgânica foi recolocada nas composteiras no dia 05/06/2021 no 70º dia de experimentação. Entretanto houve sutil modificação dos resultados nas composteiras, com leve incremento na temperatura e material mais seco, entretanto, sem temperaturas mesofílicas e termofílicas, significando que outra variável estava interferindo no processo de compostagem, sendo assim, elaboramos uma segunda hipótese e plano de ação.

2) Hipótese de carbono insuficiente. Foi construída a hipótese de que a inércia do processo poderia ser devido a erros da relação de carbono e nitrogênio. Como era possível observar esterco bovino praticamente intacto na amostra e não a serragem, além de não formar lixiviado na composteira, foi deduzido que estava faltando carbono na mistura. Um dos fatores limitantes do processo de compostagem é a relação de C/N, onde a proporção 30/1 é buscada. Durante a compostagem 10 partes do carbono e 1 parte de nitrogênio são transformados em biomassa microbiana, as 20 partes de carbono restantes da relação são metabolizadas por microrganismos e liberadas na forma de gás carbônico (KIEHL, 2004). No começo da nossa experimentação seguimos a referência de Teixeira *et al.* (2004), onde estes autores descrevem a serragem possuindo uma proporção C/N de 131/1. Após a inércia inicial foi procurado sanar o problema com pesquisas bibliográficas mais aprofundadas. Conseguimos outras referências, que descrevem uma proporção de C/N para a serragem de 865/1 (DADONAS, 1989; PASCHOAL, 1994; PENTEADO, 2019). Essa diferença poderia estar refletindo em uma relação C/N desinteressante, que poderia justificar os dados obtidos experimentalmente, onde a ação microbiana foi sempre letárgica. Segundo Kiehl (2004) uma relação de C/N abaixo de 10/1 pode ter perdas de nitrogênio para o ambiente por volatilização na forma de amônia, reduzindo o tempo de maturação do composto. Para sanar esta possível deficiência foi acrescentada serragem seca, que iria conjuntamente baixar a umidade da amostra para valores ideais. Pensamos que a indisponibilidade de carbono aliada à umidade natural, poderia explicar os resultados observados. Para corrigir tal disparidade foi novamente retirada toda a matéria orgânica das composteiras (248,8 kg) e corrigida sua relação de C/N com as novas informações obtidas.

Inicialmente para cada composteira foram calculados 120 L de esterco, 65 L de serragem, mais 21 L de inóculo. Em 120 L de esterco pesava em média 106,8 kg. Este dado foi obtido seguindo uma média de pesagem em triplicata de: 10 L: 9,6 kg, 8,1 e 9,0, média de 8,9 kg/10 L (sempre descontado o valor do balde de 200 g). Já em 65 L de serragem pesavam 17,6 kg. A triplicata apresentou os valores de 2,9; 2,8 e 2,5 kg, média de 2,7 kg/10 L.

Usando os valores de carbono e nitrogênio de Zago (2021) e o cálculo de PMRC de GOMES *et al.* (2001), temos para o esterco bovino: 2,8% de nitrogênio e 48% de carbono, já para a serragem de madeira temos 0,06% de nitrogênio para 52% de carbono, portanto o esterco teria relação C/N de 17,7 e a serragem teria C/N de 866,7. Extrapolando estes dados para nossas informações experimentais iniciais: 106,8 kg de esterco, com 2,99 kg de nitrogênio e 51,3 kg de carbono; 17,6 kg de serragem, com 0,01kg de nitrogênio e 9,15 kg de carbono.

Ao total, a mistura de serragem e esterco bovino teria 3,0 kg de nitrogênio e 60,4 kg de carbono em 124,4 kg de composto (lembrando que não consideramos os 21 L de inóculo para esse cálculo). Com base nestes dados, o experimento começou com uma relação C/N de $60,4/3 = 20/1$. Este valor inicial explicaria os resultados até então observados. Aplicando a fórmula de PMRC para conseguir alcançar relação C/N de 30/1 e considerando que a massa que estava na composteira tem alto teor de nitrogênio (com 3,0 kg de nitrogênio e 60,4 kg de carbono em 124,4 kg de composto), com 2,4% de nitrogênio e 48,6% de carbono, foi obtido um índice de partes de material rico em carbono de 0,47, onde 1 parte para material rico em nitrogênio para 0,51 partes de material rico em carbono. Isso significa que para cada 1 kg da massa original na composteira, seriam necessários 0,47 kg de serragem para equilibrar a relação pretendida de C/N 30/1. A massa da composteira inicialmente tinha volume de 120 L de esterco mais 65 L de serragem (185 L) e pesava 106,8 kg de esterco mais 17,6 kg de serragem, totalizando 124,4 kg. Desta forma para 1kg teria um volume de 1,49 L, então 0,47 kg tinha um volume de 1,74 L.

Em termos de volume, para preparar 185 L desse novo composto e alcançar a proporção C/N de 30/1, foi utilizada a seguinte relação: volume do composto atual = $(1,49 \times 185 \text{ L}) / (1,49 + 1,74) = 85,3 \text{ L}$ do composto atual; volume da serragem = $(1,74 \times 185) / (1,49 + 1,74) = 99,7 \text{ L}$ de serragem.

Na figura 18 pode-se observar a execução deste processo, em que na fotografia (a) ressaltam-se a diferença em volume da amostra prévia à direita e a quantidade de carbono acrescentada com a serragem, à esquerda. Nas fotografias (b) e (c) a diferença entre o volume dos dois compostos é evidenciado. Em segundo plano na fotografia (c) pode-se ver o excedente de material orgânico oriundo das composteiras originais. Quando misturado o composto prévio com a serragem, obteve-se uma matéria orgânica homogênea como se vê na fotografia “d” da figura 18.

FIGURA 18 - Processo de retirada de material orgânico da composteira e correção da quantidade de carbono disponível



Em (a) volume de composto e serragem iniciais; (b) material unido, sem mistura; (c) altura da leira, com material excedente em segundo plano; (d) Homogeneização de composto inicial e serragem.

FONTE: O autor (2022).

Como fator positivo desta intervenção, a umidade, que estava originalmente elevada, ou seja, ao apertar o composto escorria líquido, após a intervenção ao apertar não escorria mais. Antes da intervenção o pH na superfície da composteira estava em média no valor de 8,0, valor de referência de final do processo de decomposição (entre 7,0 e 8,0). Após o acréscimo de carbono com a serragem extra, os valores de pH estavam se mantendo ao redor de 6,0, o que poderia indicar um processo ativo de decomposição ou, mais provavelmente, apenas a alteração de pH por causa da adição de serragem, uma vez que não houve demonstração de fase termofílica pela medição de temperatura. Depois da intervenção da correção da relação C/N acrescentando serragem, as temperaturas ambientais e dos experimentos estavam abaixo dos 20° C, o que gerou outros questionamentos. A temperatura ambiental externa estaria

influenciando no metabolismo microbiano ou outro fator estaria influenciando nos resultados obtidos?

Para testar a primeira proposta foi elaborado um teste piloto simples (Figura 19) para verificar dois aspectos: se o carbono disponível na amostra, na forma de celulose, hemicelulose e lignina (da serragem) não estaria disponível aos microrganismos e assim a microbiota não estava conseguindo se desenvolver com eficiência. Quando foi tentado corrigir a relação de C/N das composteiras houve sobra de material orgânico original que, corrigido com mais serragem, foi utilizado para testar a hipótese da disponibilidade de C. Como o processo de decomposição é uma sequência de sobreposição de microrganismos, testamos o material orgânico com concentração de açúcar mascavo similar ao caldo BHI para estimular crescimento bacteriano. Já para o crescimento fúngico foi utilizada uma proporção de açúcar similar ao caldo Sabourad. Outro ponto analisado no teste piloto foi a utilização de diversos inóculos de ambientes ricos em organismos decompositores de celulose. Foram utilizados como inóculos água de bromeliáceas, serrapilheira florestal, lodo de lago e madeira em decomposição.

FIGURA 19 - Fotografia do teste piloto



Da esquerda para a direita, 1- controle; 2 – Caldo BHI (2g de açúcar por litro); 3 - Caldo Sabourad (20g de açúcar por litro); 4 - Inóculo de água de bromeliáceas; 5 - Inóculo de serrapilheira florestal; 6 - Inóculo de lodo de lago; 7 - Inóculo de madeira em decomposição.

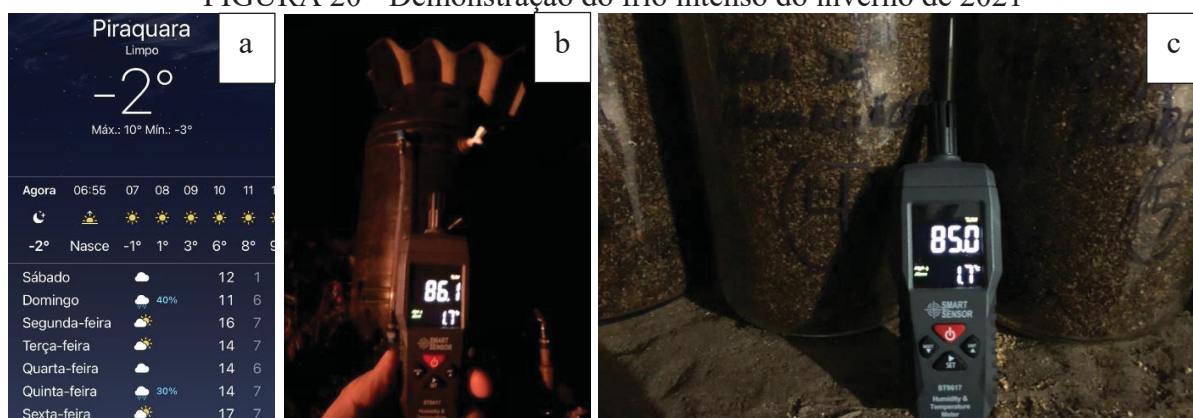
FONTE: O autor (2022).

Foram utilizados potes de conserva de vidro 3L e preenchidos igualmente com uma mistura equilibrada de serragem e esterco bovino. Foram adicionados 300 ml (10%) de inóculo em 3 litros de material. Ao longo do processo foi procurada a formação de lixiviado, o que indicaria um processo ativo de compostagem, mas isto não ocorreu. A temperatura se manteve constantemente similar à temperatura ambiental. O volume, após sedimentação inicial, sempre

se manteve estagnada. Com relação a formação de colônias fúngicas, foi inexistente ao olho nu. A temperatura no primeiro dia foi de 28°C, chegou a 31°C e finalizamos esse teste piloto com uma temperatura de 24°C (todos em estufa). Para a medida da leira foi colocado uma régua e anotado a distância do composto até a borda. O pote “controle” iniciou com o composto a uma distância de 6 cm da borda e finalizou com 8 cm, o pote “Caldo BHI” iniciou com 6 cm e finalizou com 6,5 cm, o pote “Caldo Sabourad” iniciou com 5,5 cm e finalizou com 6,5 cm, o pote “Inóculo de água de bromeliáceas” iniciou com 6 cm e finalizou com 7 cm, o pote “Inóculo de serrapilheira florestal” iniciou com 5 cm e finalizou com 6,5 cm, o pote “Inóculo de lodo de lago” iniciou com 6 cm e finalizou com 7 cm, o pote “Inóculo de madeira em decomposição” iniciou e finalizou estagnado em 3 cm. Observa-se que o pote controle mostrou maior diminuição da leira (2 cm), sendo o acréscimo de outros inóculos ou até acréscimo de açúcar, serem propostas sem melhorias no processo de decomposição do composto orgânico que estava nos protótipos. Como não houve demonstração de fase termofílica nem de formação de lixiviado, concluímos que pode não ter ocorrido compostagem, mesmo com uma relação adequada C/N neste teste piloto. A diminuição da altura da leira pode, no caso de ausência de compostagem, ter ocorrido em função da compactação do resíduo orgânico ao longo do tempo, uma vez que eles não foram revolvidos mecanicamente de tempos em tempos.

Como os testes de decomposição do composto (inclusive na composteira) não tinham demonstrado nenhum valor significativo de mudança de temperatura após 2 dias, foi refletido que o frio intenso (Figura 20) poderia estar impedindo o início do processo de decomposição, já que até as amostras com açúcar se mostraram sem resultados.

FIGURA 20 - Demonstração do frio intenso do inverno de 2021



Da esquerda à direita, “a” Widget Tempo para Iphone; “b” Medida de umidade e temperatura do ar nos protótipos de composteira e biodigestor; “c” projeto piloto e momento que os valores demonstrados no aparelho da foto referem-se à umidade relativa do ar (85.0 na fotografia) e temperatura (-1,7°C na fotografia) do dia 30/07/2021 às 06:13.

FONTE: O autor (2021).

Como contramedida a estas condições foi idealizada e construída uma estufa caseira com uma caixa de papelão, onde foi acoplada uma lâmpada halógena para incubar os frascos de vidro e avaliar se o composto aquecido mostraria alguma oscilação de parâmetros (Figura 21).

As fotografias no canto superior à esquerda e a direita, mostram os sete potes dentro da estufa caseira, um termômetro químico ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$) anexado no meio da parede esquerda da estufa (círculo vermelho) e uma lâmpada halógena fixada no teto da estufa. Em uso, as tampas frontais eram fechadas para efetivar o uso da estufa, sendo que esta atitude mantinha uma temperatura interna em média de 10 graus mais elevado que o exterior. A fotografia no canto inferior da figura 21 mostra os potes no final do processo, no dia 13/09/2021 após dias 80 de observação.

FIGURA 21 - Estufa caseira contendo projeto piloto



Acima a direita e esquerda, projeto piloto em estufa com detalhe ao termômetro acoplado, abaixo material após 80 dias de teste, da esquerda para a direita 1- controle; 2 – Caldo BHI (2g de açúcar por litro); 3 - Caldo Sabourad (20g de açúcar por litro); 4 - Inóculo de água de

bromeliáceas; 5 - Inóculo de serrapilheira florestal; 6 - Inóculo de lodo de lago; 7 - Inóculo de madeira em decomposição.

FONTE: O autor (2022).

A temperatura média no interior da estufa ficou em 24,1 °C, com máxima em 31°C e mínima em 18°C (n= 11), sempre medido no mesmo horário, às 12h00.

Apesar do esforço de corrigir a relação de C/N da matéria orgânica nas composteiras, quando foi recolocada a matéria orgânica no experimento no 91º dia de experimentação, as condições se mantinham inalteradas, sem temperaturas acima dos 30 °C e sem formação de lixiviado. Voltando à revisão bibliográfica, elaboramos uma última hipótese, a relação de C/N estava desigual de 30/1, mas não era o carbono que estaria faltando e sim o nitrogênio, pois diferentes autores relatam diferentes proporções C/N para o esterco bovino em literatura. Esta premissa explicaria todos os aspectos observados, sendo que, quando a mistura de resíduos apresenta relação C/N muito alta, falta nitrogênio para os microrganismos realizarem a síntese de proteínas, limitando o seu desenvolvimento. O carbono vai sendo consumido e eliminado, enquanto o nitrogênio vai sendo reciclado, na medida em que os microrganismos morrem, até reduzir a proporção elevada de carbono em relação ao nitrogênio, o que torna o processo mais demorado (KIEHL, 1985).

3) Hipótese de pouco nitrogênio. Iniciou-se o experimento seguindo Ricci *et al.* (2006) que citam que o esterco bovino tem proporção de C/N 18/1. No processo de correção da concentração de C seguimos Zago (2021) que cita proporção C/N para o esterco bovino de 21/1. Com um aprofundamento das revisões bibliográficas, outros autores citavam concentrações diferentes como Paschoal (1994) e Penteado (2019) descrevendo esta relação em 32/1 e Oporum (2020) cita em 37/1. Estas novas informações foram obtidas no segundo semestre de 2021. Analisando o tempo necessário para realizar um novo experimento (240 dias) e as outras etapas propostas e ainda não realizadas neste trabalho, concluímos ser inviável refazer o experimento pelos prazos que possuíamos, de modo que, até a redação da dissertação, não foi possível produzir nem o composto curado nem o biofertilizante por meio de biodigestão anaeróbia. Para testar a validade das últimas conclusões foi conduzido um novo projeto piloto, um experimento de compostagem com repolho e serragem, com intuito de verificar se os processos de compostagem aeróbia e biodigestão anaeróbia seriam efetivados acertando as relações de carbono e nitrogênio com as novas informações obtidas em literatura. Esta

experimentação está descrita em “testes para verificação de decomposições em diferentes condições”, subcapítulos desta proposta.

Seguindo uma relação de C/N 37/1 para o esterco bovino, onde 55,8% é carbono e 1,5% é nitrogênio (OPURUM, 2020) e para a serragem C/N de 865/1, onde 51,9% é carbono e 0,06% é nitrogênio (DADONAS, 1989; PASCHOAL, 1994; PENTEADO, 2019), recalculamos as relações de C/N que fizemos ao longo do experimento.

Inicialmente foram misturados 106,8 kg de esterco com 17,6 kg de serragem (124,4 kg) em cada composteira, resultando em 68,72 kg (55,24%) de carbono para 1,61 kg (1,29%) de nitrogênio, gerando uma proporção de C/N de 42,68. Com a hipótese de defasagem de carbono, foi acrescentada serragem à mistura inicial, onde cada 1 kg da massa original na composteira foi misturada com 0,47 kg de serragem, resultando em um composto final contendo 54,17% de carbono e 0,89% de nitrogênio ou uma relação de C/N de 60,86.

Para analisar os resíduos sólidos utilizados e os sólidos, líquidos e gases gerados, compreendendo melhor o funcionamento do protótipo, será necessária a análise futura de alguns parâmetros bioquímicos, inclusive como comparativo com os resultados de publicações de outros autores: N total, C, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Umidade a 65°C, pH (em CaCl₂), Gás metano e Gás carbônico. Porém, a avaliação empírica, possível de ser realizada até este momento (observando parâmetros de temperatura, altura da leira e formação de lixiviado) indicam que os processos de compostagem e biodigestão anaeróbia não foram eficientes com o protótipo 2 utilizando o material orgânico esterco e serragem, indicando que serão necessárias modificações na composição do resíduo orgânico a ser adicionado dentro das composteiras.

5.2 TESTES PARA VERIFICAÇÃO DE DECOMPOSIÇÕES EM DIFERENTES CONDIÇÕES

Para mitigar a letargia do processo de decomposição utilizando o protótipo 2 desenvolvido e testar a hipótese que o esterco bovino é mais rico em carbono do que o inicialmente previsto, acertando a relação de C/N com as novas informações bibliográficas, foi elaborado um teste rápido de compostagem, verificando o grau de maturidade do composto e fitotoxicidade.

Após seccionar a garrafa PET, a parte do gargalo com a rosca foi direcionada para o solo (Figura 22). Para separar a parte sólida da líquida foi utilizada um filtro de tecido TNT (polipropileno) preso com arame liso. A base da garrafa PET serviu como coletor de lixiviado.

No começo do nosso experimento seguimos a referência de Teixeira *et al.* (2004), onde estes autores descrevem a serragem possuindo uma proporção C/N de 131/1. Outra referência mais utilizada e citada, descreve uma proporção de C/N para a serragem de 865/1 (DADONAS, 1989; PASCHOAL, 1994; PENTEADO, 2019). Depois da tentativa de acertar esta relação, não obtivemos sucesso, o que estimulou na busca de outro aspecto, que o composto deveria ter pouco nitrogênio. Segundo Ricci *et al.* (2006) o esterco bovino tem proporção de C/N 18/1. Entretanto Paschoal (1994) cita esta relação em 32/1 e Opurum (2020) cita em 37/1. Para testar a validade das últimas observações foi elaborado um processo experimental de compostagem com repolho e serragem, com as proporções de C/N de acordo com as últimas referências.

FIGURA 22 - Garrafas PET para utilização nos experimentos de compostagem com resíduo de repolho e serragem



À esquerda posição de secção de garrafa PET para aproveitamento da base como coletora de lixiviado da composteira e parte da garrafa PET como recipiente para compostagem. À direita encaixe do conjunto, mostrando detalhe do espaço entre a composteira e o recipiente para evitar entupimentos.

FONTE: O autor (2021).

5.2.1 Compostagem aeróbia

Para se chegar à proporção ideal de carbono e nitrogênio de 30/1, sabendo que o repolho (*Brassica oleracea*) possui uma relação de 22/1, onde possui N = 2% C = 44,2% (OPURUM, 2020) e a serragem de 866/1, onde possui N = 0,06% e C = 52% (DADONAS, 1989; PASCHOAL, 1994; PENTEADO, 2019), foi calculado o índice de PMRC (partes de material rico em carbono) de 0,314741036. Desta forma misturou-se 1 parte de repolho para 0,31 partes de serragem. Como foram utilizados 8 litros de material para a compostagem aeróbia e 800 ml de material para a biodigestão anaeróbia. Foram preparados 9 litros de repolho para 2,79 litros de serragem. Ressaltamos que, para facilitar as medições, acabamos considerando o peso da serragem igual ao peso do repolho. Pela ausência de tempo disponível para finalizar o projeto, não foi possível realizar diferentes repetições do mesmo experimento, portanto não conseguimos calcular média, desvio padrão e aplicar um teste estatístico nesse experimento proposto.

Com relação ao tipo de recipientes, este experimento de compostagem foi separado em duas séries, denominadas A (Figura 23) e B (Figura 25), onde A1/B1 Garrafa PET fechada nas laterais e sem uma chaminé central, A2/B2 com furos laterais para aumentar a oxigenação lateral, A3/B3 foi com uma garrafa PET sem furos laterais, mas com chaminé central e A4/B4, com o máximo de circulação de ar garrafa PET furada nas laterais e com chaminé central. A pretensão de testar diferentes formatos foi de estudar se diferentes formas de aeração iriam influenciar no processo de compostagem, mesmo em pequena escala.

FIGURA 23 - Fotografia do experimento A, da esquerda para a direita, A1, A2, A3 E A4



Onde A1 tem a garrafa PET fechada, A2 tem a garrafa PET com furos laterais, A3 tem a garrafa PET fechada com chaminé central e A4 tem a garrafa PET furada com chaminé central.

FONTE: O autor (2022).

Na série A foi colocada matéria orgânica sem nenhum aditivo de microrganismos, já a série B foi acrescentado inóculo. O inóculo de microrganismos foi baseado no método de captura de microrganismos eficazes (MÁXIMO, 2018), sendo o substrato de captura arroz cozido (3 quilos) em água sem sal e deixado por 15 dias na mata (Figura 24).

FIGURA 24 - Fotografia dos microrganismos eficazes sendo capturados



À esquerda, arroz recém cozido; à direita arroz cozido após 15 dias na mata.

FONTE: O autor (2022).

Depois de homogeneizado o arroz com microrganismos, foi acrescentado 10% do volume total, ou seja, 100 ml de inóculo no experimento da série B (Figura 25).

FIGURA 25 - Fotografia do experimento B, da esquerda para a direita, B1, B2, B3 E B4



Onde B1 tem a garrafa PET fechada, B2 tem a garrafa PET com furos laterais, B3 tem a garrafa PET fechada com chaminé central e B4 tem a garrafa PET furada com chaminé central.

FONTE: O autor (2022).

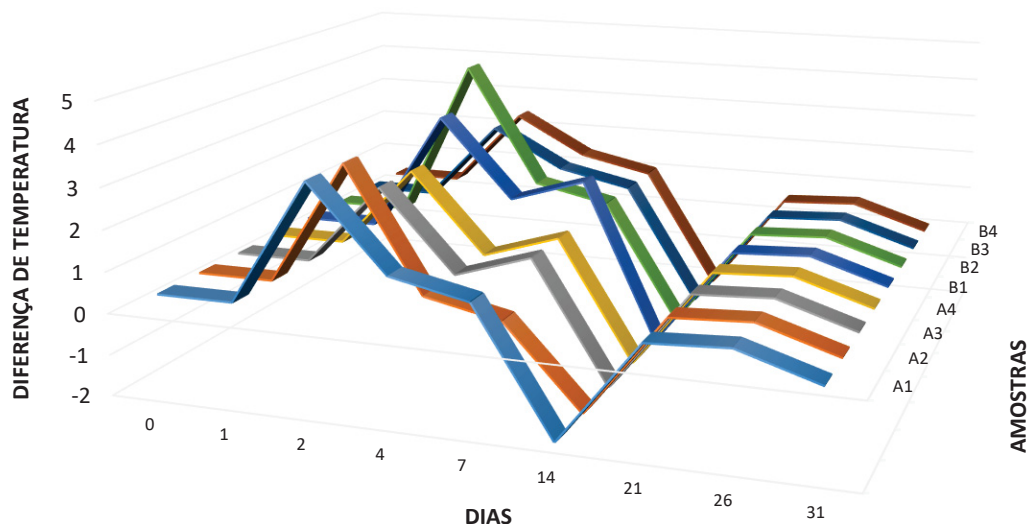
A proposta de realizar esse experimento foi testar hipóteses referentes à relação de carbono e nitrogênio, formas de aeração passiva, influência do inóculo na compostagem e tempo de maturação do composto. As hipóteses a serem testadas foram:

- 1) As últimas referências bibliográficas utilizadas estariam precisas e as relações de C/N em torno de 30/1;
- 2) Quanto maior a oxigenação mais rápida seria a maturação do composto;
- 3) Quanto maior a oxigenação menor seria a temperatura do composto devido a perdas para o ambiente;
- 4) Os compostos inoculados apresentariam o composto maturado de forma mais rápida.

A seguir estão os resultados da experimentação obtidos com relação a variações de temperatura, diminuição da leira de compostagem, volume de lixiviado produzido, pH do composto, pH do lixiviado, taxas de germinação após 30 dias e após 63 dias.

Como os recipientes eram pequenos (garrafas PET 2L modificadas) muito do calor produzido provavelmente era perdido para o ambiente. Mas pode-se observar na figura 26 um aumento de até 5°C da temperatura da amostra com relação à temperatura ambiente na amostra B2, garrafa PET com furos laterais e inoculada.

FIGURA 26 - Diferença de temperatura entre o composto e a temperatura ambiental



As amostras A são sem inóculo e B com inóculo, onde “1” o composto foi produzido a partir de uma garrafa PET fechada, “2” com garrafa PET com furos laterais, “3” com garrafa PET fechada com chaminé central e “4” com garrafa PET furada com chaminé central.

FONTE: O autor (2022).

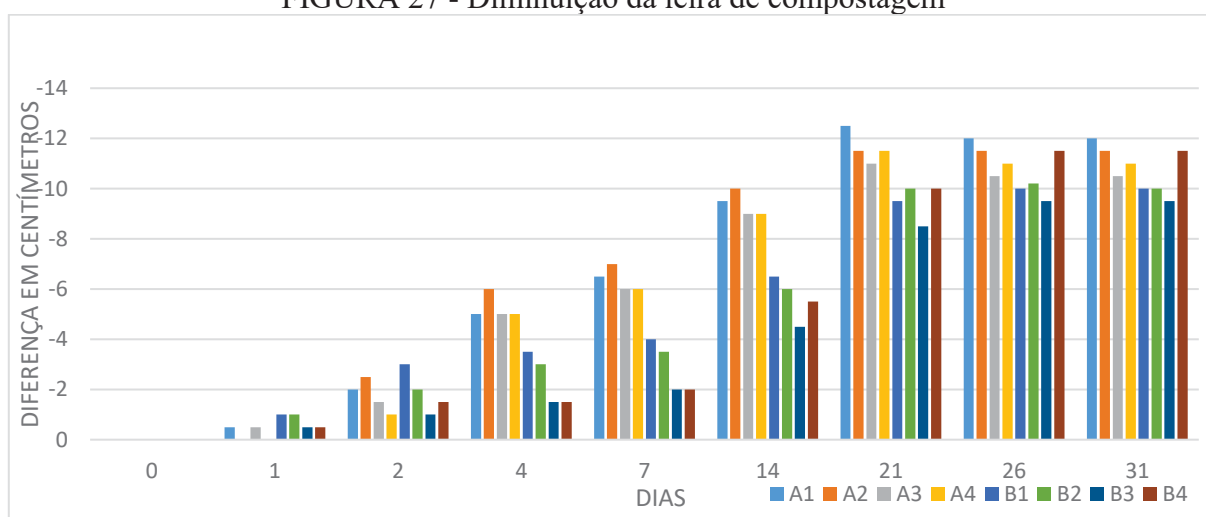
Outro aspecto observado foi nos experimentos com garrafas PET sem chaminés centrais onde foram observados os maiores picos de temperaturas, fato este que justificamos pela menor aeração. Resultado similar foi obtido por Lima Jr. (2015) onde composteiras sem chaminé central resultaram em maiores temperaturas, fato esse que leva o referido autor desaconselhar o uso de chaminés centrais por baixar a temperatura de forma desnecessária. Por outro lado, é conhecida a necessidade de aeração da matéria orgânica no processo de compostagem para a eficiência do processo, que é aeróbio. Ressaltamos que não foi possível evidenciar diferenças na temperatura do protótipo 2 desenvolvido com e sem chaminé, processo que possivelmente tenha sido dificultado pelo tamanho maior da leira e da falta de aeração proporcionada pelas bombonas, já que o processo de compostagem de Lima Jr. (*op. cit.*) envolvia uma manta porosa que envolvia o composto desde a parte inferior até a região lateral da leira de compostagem. Ainda nos experimentos com garrafas PET sem chaminés centrais, as amostras com inóculo apresentaram resultados superiores ao seu correspondente sem inóculo, fato similar ao apontado por Lima Jr. (2015) e Máximo (2018). No entanto, pela ausência de repetições de nosso experimento, não é possível afirmar que as diferenças de temperatura observadas são estatisticamente significativas.

No 14º dia a temperatura ambiental foi muito fria de madrugada e ao longo do dia o aquecimento foi lento, resultando na única observação em que a temperatura das amostras estava abaixo da temperatura ambiental (Figura 25). Sem elencar outros parâmetros a amostra

com inóculo e sem chaminé central obteve os melhores resultados referente a geração de calor no composto. Esse resultado seguiu nossas hipóteses iniciais de que nas garrafas PET com maior oxigenação (eventualmente uma aeração que pode ter sido excessiva para o pequeno tamanho da garrafa, pois a aeração é uma condição necessária para a compostagem), menor seria a temperatura do composto devido a perdas para o ambiente, além de que os compostos inoculados apresentariam o composto decomposto de forma mais rápida. Entretanto estes resultados isolados (sem repetições) não mostram qual o processo de compostagem mais eficiente. Este processo pode ser mais bem compreendido com outros fatores, como a diminuição da leira ao longo do tempo.

Na Figura 27 podemos observar o efeito da decomposição da matéria orgânica ao longo do tempo. Foi medido o tamanho da leira no início do processo e seu processo de decomposição. Nossas hipóteses iniciais eram que os compostos inoculados e com maior aeração teriam diminuição de leira mais rápida, entretanto não foi o que observamos. Este processo foi mais rápido nos experimentos sem inóculos e menor oxigenação, porém, novamente é necessário pontuar que, pela ausência de repetições, não necessariamente podemos considerar essas diferenças como sendo estatisticamente significativas. No aspecto de redução de matéria orgânica, o experimento B4, com garrafa PET furada, com chaminé central e com inóculo mostrou valores superiores a todos os experimentos com inóculos e igualando-se ao segundo mais eficiente de todo o processo.

FIGURA 27 - Diminuição da leira de compostagem



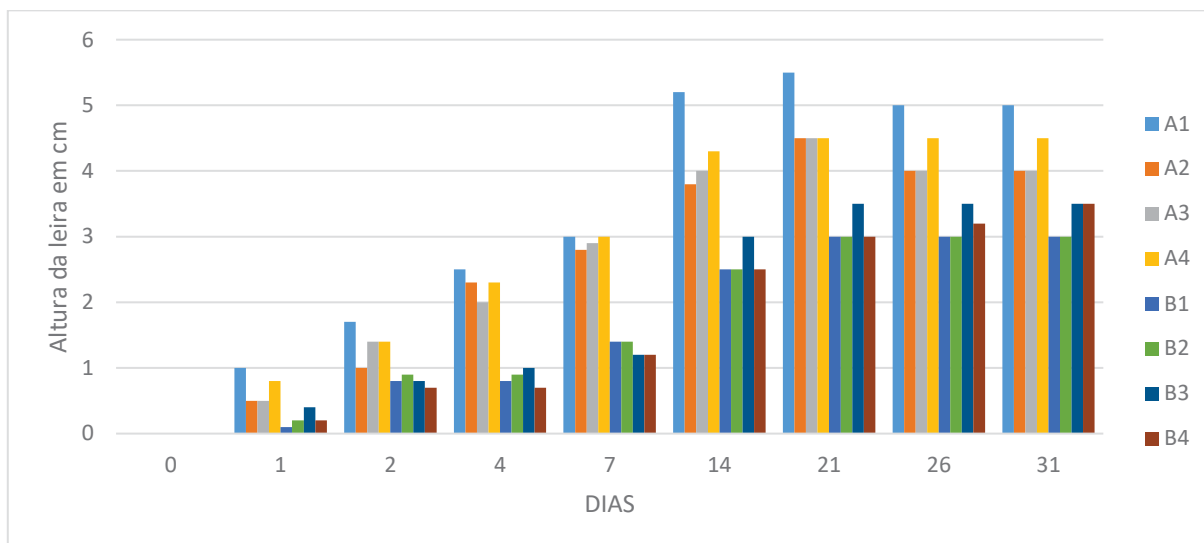
As amostras A são sem inóculo e B com inóculo, onde “1” o composto foi produzido a partir de uma garrafa PET fechada, “2” com garrafa PET com furos laterais, “3” com garrafa PET fechada com chaminé central e “4” com garrafa PET furada com chaminé central.

FONTE: O autor (2022).

Os dados referentes à diminuição da leira de compostagem parecem indicar que acrescentar inóculo altera a forma e a dinâmica de sucessão microbiana que aliados à temperatura, possuiria influência positiva no processo de compostagem. Com esses dados não estava claro o benefício das técnicas de aeração e decomposição a curto, médio e longo prazo, já que o processo de compostagem é complexo e depende de uma grande sucessão de microrganismos para a ciclagem de nutrientes e dinâmica da matéria orgânica (VALENTE *et al.*, 2009). Como os valores finais de diminuição da leira foram muito próximos e os fatores que realmente indicam a efetiva maturação do composto analisados por este trabalho e trabalhos similares são a temperatura e pH (VALENTE *et al.*, 2009; LIMA JR., 2015; MÁXIMO, 2018; PENTEADO, 2019) além de fatores físico-químicos que não tivemos a oportunidade de avaliar, aliados a germinação de sementes (MÁXIMO, 2018), o peso destas informações precisaria ser complementada com mais testes futuros para interpretação de todo o processo. Outras informações poderiam auxiliar a entender em maiores detalhes do processo de decomposição, como os resíduos metabólicos líquidos (lixiviado).

A formação de lixiviado proveniente da composteira nesse experimento com garrafas PET foi outro fator de interesse. Pensamos originalmente que o processo com inóculo e com maior oxigenação formaria maiores quantidades de lixiviado, entretanto, os experimentos sem inóculo tiveram a maior e mais rápida quantidade de formação de lixiviado, onde o recipiente A1, sem inóculo e garrafa PET fechada apresentou os maiores valores e em menor tempo. Este fato pode ser explicado pela menor circulação de ar no recipiente e maior compactação do resíduo orgânico ao longo do tempo. Na série B, com inóculo, o sistema sem chaminés, que apresentaram as maiores temperaturas, mostrou as menores quantidades de líquidos metabólicos, como podemos observar na Figura 28, porém, não é possível avaliar se houve diferença estatisticamente significativa nessa produção de lixiviado.

FIGURA 28 - Formação de lixiviado



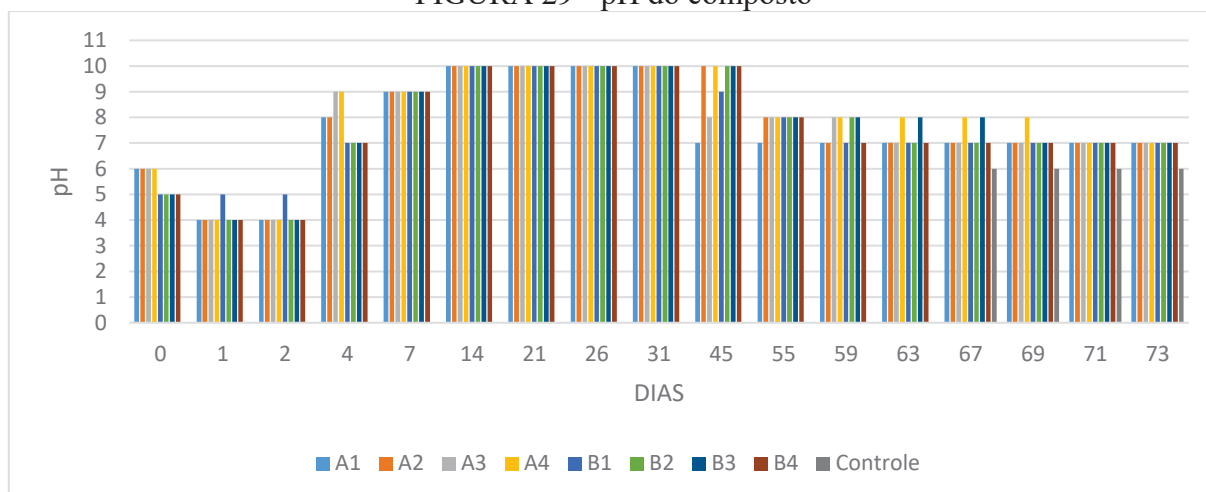
As amostras A são sem inóculo e B com inóculo, onde “1” o composto foi produzido a partir de uma garrafa PET fechada, “2” com garrafa PET com furos laterais, “3” com garrafa PET fechada com chaminé central e “4” com garrafa PET furada com chaminé central.

FONTE: O autor (2022).

Tais discrepâncias poderiam ser explicadas pelas diferentes dinâmicas microbianas, mas quais influências esses aspectos teriam no processo de maturação, não está claro com os dados até aqui apresentados. Seguimos avaliando um fator descrito na literatura relevante para a compostagem que é a acidez ou basicidade do composto a fim de compreender os dados obtidos até então.

O pH da matéria orgânica foi analisado ao longo de 73 dias e mostrou uma variação ao longo do processo (Figura 29). As amostras iniciaram com pH 6 e após 24 horas já eram obtidas leituras de pH 4. Este dado é corroborado pela formação de ácidos orgânicos e incorporação de carbono orgânico ao citoplasma microbiano (VALENTE *et al.*, 2009; LIMA JR., 2015; PENTEADO, 2019). Após 4 dias, as amostras chegaram ao ápice, chegando ao pH 10. Kiehl (2012) cita que o pH do composto se eleva com o desenvolvimento do processo, chegando a níveis superiores a 8,0. Esse fato também foi visualizado por LIMA JR. (2015) e MÁXIMO (2018). Após cerca de um mês mantendo-se em pH 10, o mesmo foi baixando, estabilizando em 7 no final do experimento. O controle para germinação de sementes, com terra local, manteve o pH constante em 6. O pH da matéria orgânica nos forneceu evidências que o processo de compostagem ocorreu de maneira satisfatória, além de fornecer parâmetros comparáveis a outras referências.

FIGURA 29 - pH do composto



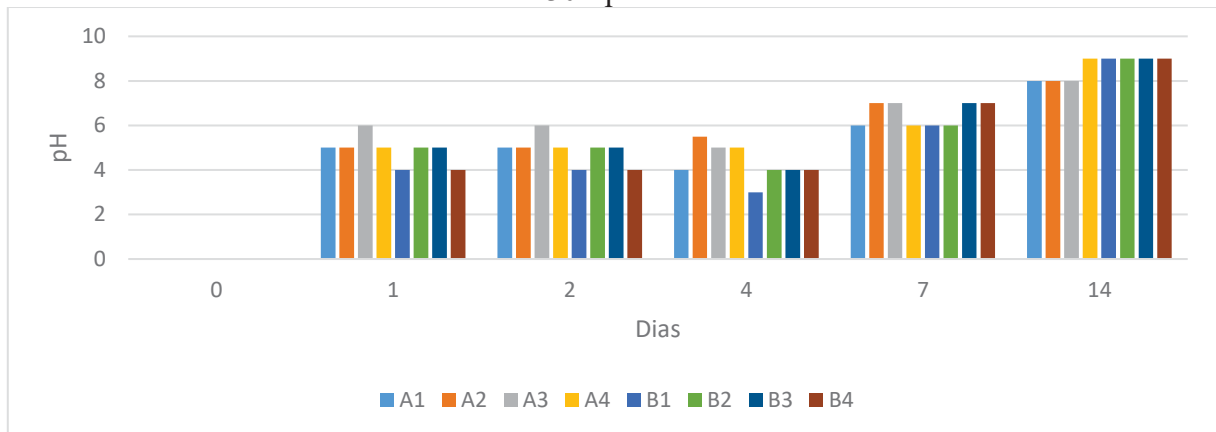
As amostras A são sem inóculo e B com inóculo, onde “1” o composto foi produzido a partir de uma garrafa PET fechada, “2” com garrafa PET com furos laterais, “3” com garrafa PET fechada com chaminé central e “4” com garrafa PET furada com chaminé central.

FONTE: O autor (2022).

Um dado interessante é referente ao pH do lixiviado, que pode mostrar indícios de toxicidade ao ambiente e/ou repensado técnicas de compostagem e de uso ou descarte do mesmo. Observando a figura 30 pode-se perceber que lixiviado formado iniciou com pH baixo entre 4-5 e no 14º dia de experimentação chegou a valores entre pH 8 e 9 e que se manteve até o 30º dia. Ressalta-se que o cheiro exalado pelo lixiviado era muito intenso e atraía muitos insetos, o que não era observado no composto. Provavelmente o processo de decomposição do lixiviado ainda não estava completo, mas como não era nosso enfoque inicial analisar o desenvolvimento desse resíduo, não analisamos com maiores detalhes, fato este que deve ser analisado em trabalhos futuros.

O formato dos recipientes para compostagem também influenciou o processo, em que recipientes com chaminé e furos laterais tiveram as menores temperaturas, onde o recipiente apenas com furos laterais e inóculo registrou as maiores temperaturas. A diminuição da leira de compostagem foi maior nos recipientes sem inóculos e estes também tiveram maiores volumes de lixiviados. O pH das amostras teve distribuição normal, sendo que o material sem inóculo iniciou com pH neutro e com inóculo levemente ácido. Após 31 dias, os pH que chegaram ao pico do valor 10 começaram a decair e chegar a neutralidade após 45 dias. Pinto *et al.* (2019) explicam os valores elevados de pH como necessários para que bolores, leveduras oxidativas e bactérias deterioradoras (*Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, entre outras) tenham potencial de oxirredução para se desenvolverem em ambiente aeróbio. O crescimento microbiano foi marcante entre o composto com inóculo, como podemos observar na figura 31.

FIGURA 30 - pH do lixiviado



As amostras A são sem inóculo e B com inóculo, onde “1” o composto foi produzido a partir de uma garrafa PET fechada, “2” com garrafa PET com furos laterais, “3” com garrafa PET fechada com chaminé central e “4” com garrafa PET furada com chaminé central.

FONTE: O autor (2022).

FIGURA 31 - Observação de crescimento microbiano



Evidências do crescimento microbiano no experimento de serragem e repolho. A direita observamos estrutura similar a micelial no composto. Na imagem a esquerda, há crescimento microbiano no lixiviado.

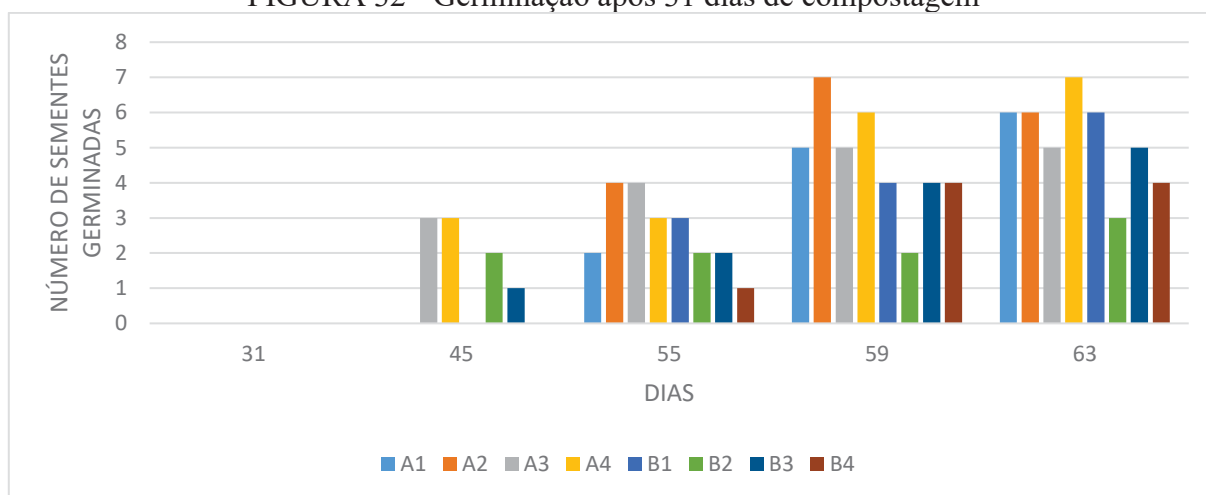
FONTE: O autor (2022).

Nas amostras com inóculo, em apenas 4 dias de experimentação foi possível observar colônias microbianas tanto no composto como na superfície do lixiviado. Nas amostras sem inóculo não foram observadas colônias no composto, apenas no lixiviado, mas em menor proporção que o grupo inoculado.

Os dados de temperatura (embora não tenha evidenciado claramente uma fase termofílica), altura da leira de compostagem, volume de lixiviado e pH do composto são indícios que a compostagem ocorreu. Mas como não conseguimos realizar uma análise bioquímica, uma análise de maturação e fitotoxicidade foi realizada.

Para verificar a maturação do resíduo e sua toxicidade na germinação foram utilizadas sementes de alface mimosa (*Lactuca sativa*). O experimento de compostagem e biodigestão iniciou no dia 07 de novembro de 2021 e no 30º dia de experimentação, em 08 de dezembro de 2021, foram plantadas 10 sementes de alface mimosa. Essas foram colocadas em cima do composto (adaptado de TIQUIA, 2010) e o conjunto mantido levemente umedecido (Figura 32).

FIGURA 32 - Germinação após 31 dias de compostagem



As amostras A são sem inóculo e B com inóculo, onde “1” o composto foi produzido a partir de uma garrafa PET fechada, “2” com garrafa PET com furos laterais, “3” com garrafa PET fechada com chaminé central e “4” com garrafa PET furada com chaminé central.

FONTE: O autor (2022).

Com base nas relações entre o índice de germinação, o nível de maturidade do composto e a inibição da germinação por fitotoxicidade (TRAUTMANN; KRASNY, 1997; BRINTON, 2000) podemos inferir que após 30 dias de compostagem, os valores obtidos mostraram que o composto está imaturo, levando a uma fitotoxicidade de nível severo até aos 55 dias para todos os modelos a leve aos 63 dias.

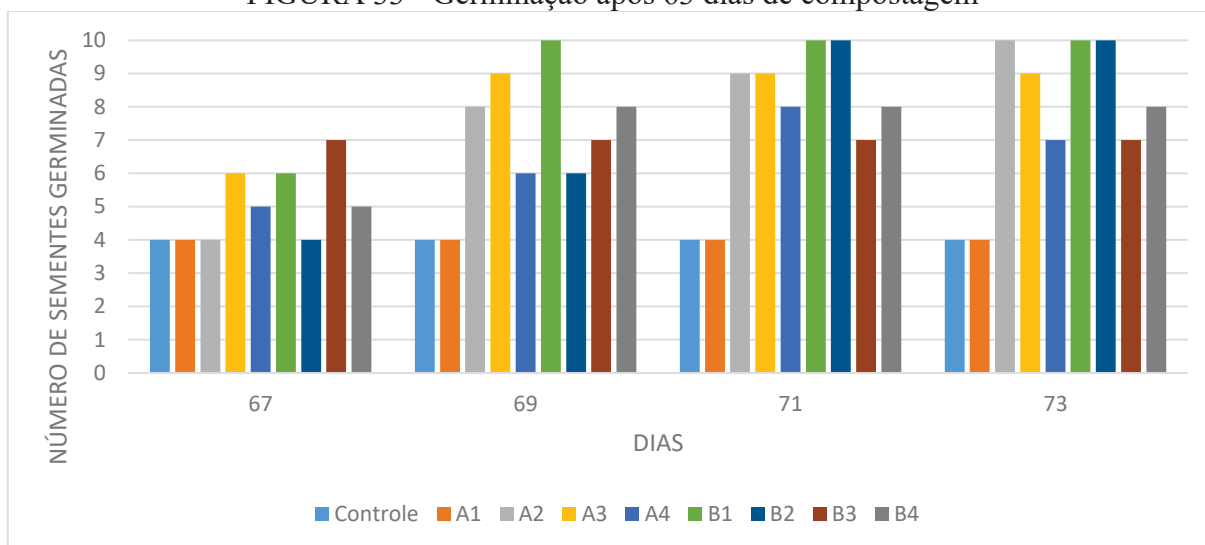
Nas sementes plantadas aos 30 dias e deixadas até 63 dias, o melhor resultado de índice de germinação (GI) foi de 7, indicando que até aquele momento todos compostos estavam imaturos, sendo o melhor resultado a amostra A4 - garrafa PET furada com chaminé central sem inóculo, onde a fitotoxicidade chegou a leve (TRAUTMANN; KRASNY, *op. cit.*; BRINTON, *op. cit.*). Podemos interpretar este resultado de menor toxicidade correlacionado com os resultados de temperatura e diminuição da leira da seguinte maneira. O processo de

decomposição aeróbica de fato aconteceu em todas as amostras, mas naqueles com maior aeração (possivelmente aeração excessiva, devido ao pequeno tamanho das garrafas) o calor foi perdido para o ambiente junto com parte da umidade que formaria o lixiviado. O excesso de oxigênio pode ter acelerado as etapas iniciais de compostagem em algumas amostras como podemos ver resultados melhores na semeadura em matéria orgânica decomposta sem inóculo. Entretanto, sabemos que o processo de compostagem é uma sucessão de microrganismos que realizam diversas etapas de decomposição da matéria orgânica (VALENTE *et al.*, 2009; KIEHL, 2012; LIMA JR., 2015; PENTEADO, 2019), o processo poderia ser acelerado em uma etapa e prejudicar a etapa seguinte devido à dinâmica dos microrganismos ou disponibilidade de nutrientes. Novamente, como não conseguimos realizar análises bioquímicas, não podemos ter maiores detalhes nessas informações. Entretanto, quando repetimos o processo de germinação de sementes, mas com o composto mais tardio, os resultados foram diferentes dos observados até então.

Após 63 dias as sementes germinadas e não germinadas foram retiradas das amostras e uma nova semeadura foi realizada com novas sementes. Sem quaisquer alterações no experimento, a não ser a ação microbiana ao longo do tempo, a segunda semeadura, com 63 dias, obteve resultados contrastantes com relação ao primeiro teste (Figura 33).

Em apenas 4 dias da 2ª semeadura, houve expressiva germinação, onde os resultados já se mostravam diferentes dos observados na primeira semeadura. Após dez dias da segunda repetição de plantio de sementes de alface, não foi detectada fitotoxicidade em $\frac{3}{4}$ das amostras inoculadas inicialmente e o $\frac{1}{4}$ restante, o experimento B3 - garrafa PET fechada com chaminé central e com inóculo, demonstrou fitotoxicidade leve (Figura 31). Já nas amostras não inoculadas (série A) 50% não mostraram fitotoxicidade (A2 e A3), 25% (A4) mostraram fitotoxicidade leve e 25% (A1) mostrou fitotoxicidade moderada. Com relação a maturação do composto após 63 dias, A1 e A4 ficaram imaturos, A2 e A3 curados. Com relação a série B, B1 e B2 curados, B3 imaturo e B4 semicurado.

FIGURA 33 - Germinação após 63 dias de compostagem



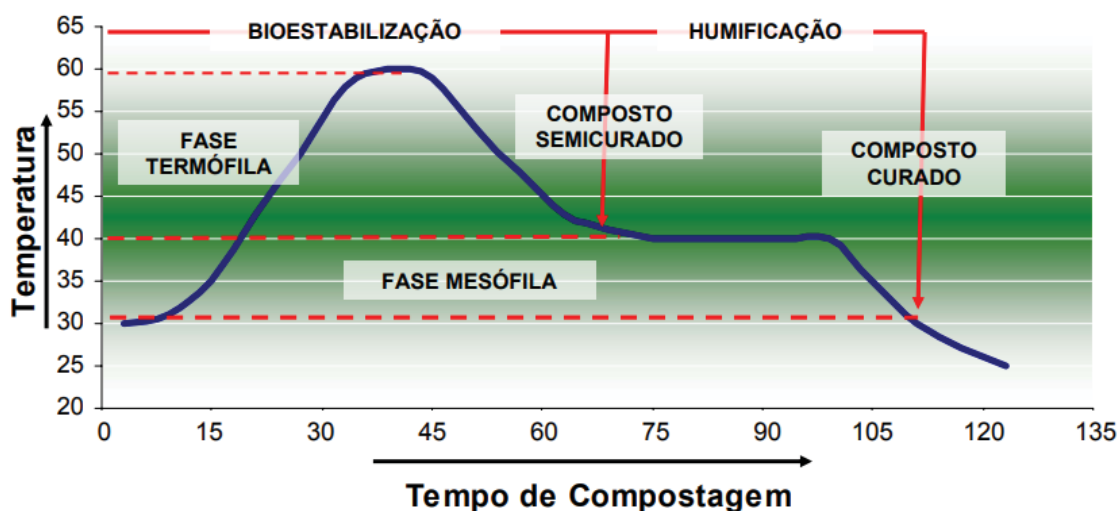
As amostras A são sem inóculo e B com inóculo, onde “1” o composto foi produzido a partir de uma garrafa PET fechada, “2” com garrafa PET com furos laterais, “3” com garrafa PET fechada com chaminé central e “4” com garrafa PET furada com chaminé central.

FONTE: O autor (2022).

Esses resultados demonstram que parecem haver diferenças, mas sem avaliação da significância estatística desses resultados, entre compostagem sem inóculo (Série A) e com inóculo (Série B), onde os inóculos aceleraram o processo de decomposição e diminuíram a fitotoxicidade em comparação ao composto sem microrganismos eficazes (MÁXIMO, 2018).

Com relação ao tempo de decomposição e a fitotoxicidade, foram semeadas sementes de alface no composto orgânico em dois momentos distintos, após 31 e 63 dias de compostagem. Aos 31 dias, apesar da massa de composto ter diminuído de volume, chegando ao seu volume final, o composto apresentou características de fitotoxicidade elevada. Observando a figura 34 podemos correlacionar a fitotoxicidade elevada ao processo de bioestabilização do composto ainda em andamento. Utilizando inóculos, o tempo deste processo diminuiu de 105 dias (CARVALHO; GUERRA, 2018) para 69 dias, otimizando o processo de decomposição aeróbia por compostagem. Já Gregório *et al.* (2004) usando microrganismos eficazes e Bokashi conseguiram reduzir o período de compostagem de 120 para 75 dias.

FIGURA 34 - Relação entre a temperatura e o tempo de decomposição da matéria orgânica, demonstrando as diferentes fases da compostagem

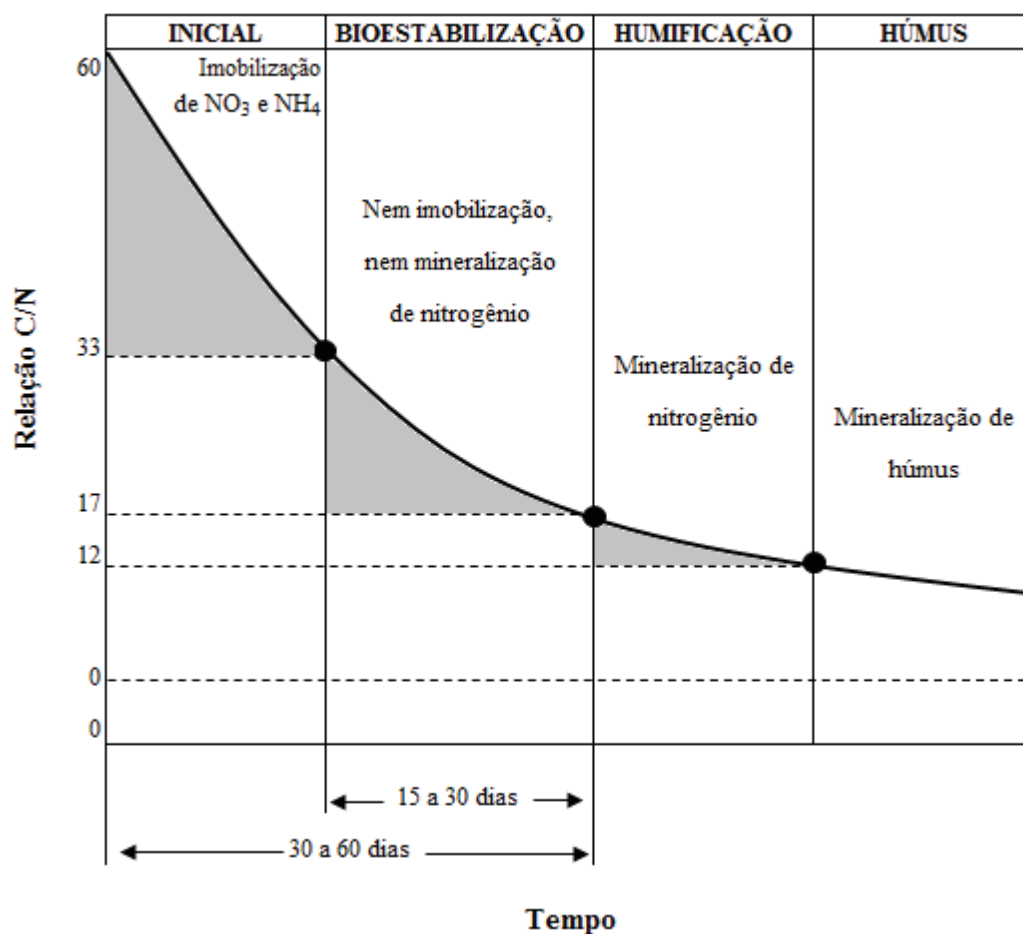


FONTE: Carvalho; Guerra (2018).

Com relação ao tempo de decomposição, podemos concluir que as amostras com inóculo já aos 69 dias mostraram sinais de imobilização completa de nitrato e amônia, compostos bioestabilizados (curados) e sem fitotoxidade (KIEHL, 1985; TRAUTMANN; KRASNY, 1997; BRINTON, 2000). Os processos metabólicos que ocorreram e a diminuição da relação de C/N podem ser visualizados em linhas gerais na figura 35.

Os dados experimentais obtidos parecem indicar que a correta proporção de C/N, aliada à incorporação de inóculo, ocasiona uma melhor decomposição da matéria orgânica. As diferenças entre os trabalhos publicados geraram problemas que fomos corrigindo na medida em que o trabalho avançava. O uso de chaminés em alguns casos pode ser prejudicial ao processo de compostagem devido a perdas de calor necessário para a dinâmica microbiana e a disponibilidade de nutrientes. Pesquisas iniciais mais aprofundadas sobre a relação de C/N dos compostos não foram realizadas inicialmente na utilização de serragem e esterco bovino (uma adaptação do tipo de material orgânico devido às escolas estarem fechadas nesse período da pandemia de COVID-19), o que acabaram prejudicando a compostagem nos experimentos iniciais. Apesar destas dificuldades, o teste com repolho e serragem nos experimentos com garrafas PET foi satisfatório. A reprodutibilidade do processo usando o mesmo material orgânico no protótipo 2 ainda precisará ser testada.

FIGURA 35 - Fases de decomposição da matéria orgânica relacionando a mudança da relação C/N ao passar do tempo



FONTE: Kiehl (1985).

5.2.2 Biodigestão anaeróbia

O esterco bovino tem uma composição que varia de carbono e nitrogênio na literatura de 37/1 (OPURUM, 2021) sendo descrito até uma proporção de C/N 18/1 (RICCI *et al.*, 2006). Para efeitos de padronização utilizamos neste experimento a proporção de 37/1 de C/N para esterco bovino. O experimento foi montado na seguinte configuração C1 garrafa PET contendo apenas matéria orgânica sólida, não triturada 160 g; C2 garrafa PET contendo apenas matéria orgânica triturada 160 g; C3 garrafa PET contendo apenas esterco bovino 160 g; C4 garrafa PET contendo matéria orgânica sólida, não triturada, 160 g e esterco bovino 15 g; C5 garrafa PET contendo matéria orgânica triturada 160 g e esterco bovino 15 g.

Nossa hipótese para esta série de testes era de que o processo de biodigestão anaeróbia seria influenciada pelo tamanho das partículas sólidas e pelos inóculos acrescentados ao processo.

Inicialmente os recipientes sem esterco bovino (C1 e C2) tiveram pH 6 e os recipientes com esterco (C3,4,5) tiveram em pH 7.

Após 4 dias (11/11/2021) da atividade, foi observado que a bexiga murchou nos recipientes C3, C4 e C5, todos contendo inóculo de esterco bovino. Sabíamos que as etapas iniciais da biodigestão anaeróbia consumiam o oxigênio atmosférico, mas não nessa magnitude (Figura 36 “b” e “c”; figura 37, imagem a direita C3 após 8 dias), chegando a bexiga a ser sugada para o interior do recipiente. Neste dia também foi possível observar a evidência de atividade microbiana exotérmica pela transpiração (Figura 36 “a”).

FIGURA 36 - Fotografia de evidências de atividade microbiana



FONTE: O autor (2021).

Essas observações são devidas às bactérias anaeróbias facultativas da fase fermentativa ou acidogênicas metabolizarem o oxigênio disponível, fato observado neste período. Já aos 7 dias de experimentação, foi observado enchimento de algumas bexigas (Figura 37), o que indica que o processo metabólico fermentativo foi iniciado. Nesta fase há formação de álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos graxos de cadeia curta, gás carbônico e gás hidrogênio (BELLI FILHO, 1995; VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; OLIVEIRA, 2004; SOUZA, 2005).

Após 8 dias (15/11) a garrafa apenas com esterco bovino (C3) chegou ao ponto de amassar, aspecto observado na foto a esquerda da figura 37 (seta vermelha). Outro aspecto que podemos ver na mesma fotografia (círculo vermelho) é a formação de gás metabólico, fato facilmente observado no experimento com repolho triturado, serragem e esterco bovino (C5). Entretanto, desde 7 dias de experimentação (14/11) já era observado pequeno enchimento das bexigas C1 e C4, e grande enchimento da bexiga C5.

FIGURA 37 - Fotografia da série de biodigestão anaeróbia em uma diferença de 8 dias



A imagem a esquerda mostra o início do processo e da direita após 8 dias. Em cada imagem, segue a sequência da esquerda para a direita C1 - Garrafa PET contendo apenas matéria orgânica sólida, não triturada 160g; C2 - Garrafa PET contendo apenas matéria orgânica triturada 160g; C3 - Garrafa PET contendo apenas esterco bovino 160g; C4 - Garrafa PET contendo matéria orgânica sólida, não triturada, 160g e esterco bovino 15g; C5 - Garrafa PET contendo matéria orgânica triturada 160g e esterco bovino 15g.

FONTE: O autor (2021).

Com as observações de apenas 8 dias, podemos dizer que nossa hipótese inicial provavelmente estava correta, o tamanho das partículas sólidas e os inóculos influenciam o processo de biodigestão anaeróbia, devido ao experimento C5 contendo repolho triturado, serragem e esterco bovino ser o primeiro a consumir oxigênio do meio e o primeiro a encher a bexiga.

Entretanto após estas observações as bexigas começaram a rasgar e não foi possível medir o volume das bexigas pelo enchimento de gases metabólicos, inviabilizando o prosseguimento do experimento anaeróbio devido à contaminação com oxigênio atmosférico. Com o rompimento inesperado e precoce das bexigas, provavelmente gases produzidos no processo fermentativo reagiram com o látex das bexigas e romperam o isolamento anaeróbio, inviabilizando maiores análises.

5.3 MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE COMPOSTEIRA INTEGRADA A BIODIGESTOR ANAERÓBIO

Além da funcionalidade e eficiência do equipamento (que ainda não puderam ser comprovadas neste trabalho, necessitando de mais testes futuros), nosso intuito central foi de equipamentos baratos e acessíveis, onde qualquer escola poderia construir e sanar questões referentes ao correto descarte de resíduos orgânicos. Houve algumas adaptações com relação às fotos ilustrativas, pois o protótipo 2 passou por adequações depois de testes de pressão e de hidráulica, além do protótipo construído pelo autor ter sido idealizado para a possibilidade de

coleta de dados referente a temperatura, pressão e de material biológico, o que não é necessário num equipamento de uso cotidiano. O protótipo 2 sofreu adaptações nesse sentido. Uma modificação significativa da proposta inicial foi a mudança da coleta de lixiviado dependente do efeito da gravidade entre o biodigestor anaeróbio e a composteira aeróbia, para uma válvula de retenção unidirecional, que nos testes de pressão e hidrostática se mostrou uma adaptação eficiente, ao contrário do projeto inicial do protótipo 2. No material proposto para o protótipo a ser instalado na escola, principalmente para o biodigestor anaeróbio, foi dada prioridade para polímeros sintéticos buscando evitar que gases corrosivos para metais, como o H_2S produzido na biodigestão anaeróbia, reagissem com o material (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Todo o processo de construção dos protótipos de segunda geração (ao longo dos dias 08 e 18 de março de 2021) foi fotografado. Essas imagens e processos ilustram um manual prático para construção de um modelo de composteira e biodigestor, que poderia ser reproduzido e aperfeiçoado em ambientes escolares e residenciais (ver Apêndice VI, p. 178). É importante ressaltar que ainda não foram realizados experimentos de análises químicas e físico-químicas que comprovem a eficiência de compostagem e de biodigestão pelos protótipos 1, 2 e pelo modelo modificado para este manual.

Para a construção de uma composteira de 200 litros anexada a um biodigestor de 80 litros, serão necessários os itens que constam na Tabela 6.

TABELA 6 – Itens necessários para construção de uma composteira unida a um biodigestor anaeróbio

ITEM	QUANTIDADE	PREÇO TOTAL R\$
Abraçadeira para mangueira $\frac{3}{4}$	6	57,00
Adaptador com Rosca Externa $\frac{3}{4}$ Pol. para Mangueiras	7	39,06
Adaptador de anel pvc 25mm $\frac{3}{4}$ “Flange”	8	68,4
Arame liso galvanizado 1,24 mm por metro	2	0,93
Anel de vedação de borracha O’Ring $\frac{1}{4}$	2	5,54
Arruela lisa zincada $\frac{1}{4}$	2	0,36
Bombona plástica de 200 litros	1	215,00
Bombona plástica de 80 litros	1	155,85
Calibrador de pneus analógico com manômetro	1	39,90
Câmara de pneu	1	21,28
Cano pvc 25mm $\frac{3}{4}$ por metro	2	19,98
Cola Epóxi	2	37,80
Cola para pvc 30g	1	14,80
Fita veda rosca	1	2,57
Furadeira	1	199,90
Garrafa PET 2 litros	1	1,66
Joelho com um lado com rosca pvc 25mm $\frac{3}{4}$	5	12,45
Joelho pvc 25mm $\frac{3}{4}$	2	2,38
Kit serra copo para pvc	1	23,47
Luva pvc soldável 25mm $\frac{3}{4}$	1	1,49
Mangueira transparente flexível $\frac{3}{4}$ por metro	3	40,77
Massa adesiva epóxi 250g.	2	70,40

Peneira para areia aro 55	1	17,99
Porca sextavada de vedação $\frac{1}{4}$	1	0,50
Registro pvc esfera soldável 25mm $\frac{3}{4}$	2	29,2
Serra de aço	1	10,58
Telha fibrocimento 4 mm	1	16,59
Tijolo	2	3,7
Torneira plástica com rosca $\frac{3}{4}$	2	10,0
Válvula de retenção soldável 25 mm $\frac{3}{4}$	1	32,98
VALOR TOTAL*		R\$ 1.152,47

*Itens cotados em 19/07/2022

FONTE: O autor (2022).

Após a separação e organização dos materiais a serem utilizados, a próxima etapa é realizar as furações nas bombonas, com o auxílio de uma furadeira e um kit serra copos. Será necessário o serra-copo 25mm ou $\frac{3}{4}$.

Na bombona de 80 litros (azul na figura 38) que dará origem ao biodigestor anaeróbio, serão necessárias 5 furações, uma no meio da tampa superior, duas a aproximadamente 30 cm da base e uma a 30 cm do topo, esta última perpendicular a uma furação da base. Na tampa superior do biodigestor, mediano entre a lateral e o furo central, deve-se realizar um furo de $\frac{1}{4}$ para o acoplamento do calibrador de pneus analógico com manômetro. Na composteira serão necessários 4 furos, três a 30 cm da base e a última a 30 cm do topo, perpendicular a uma furação da base.

As bombonas de 200 litros vêm com um suporte para depósito interno e tampa superior removível, que podem ser adequados e reutilizados para fazer uma tampa com ventilação, mas telada evitando a entrada de insetos e pequenos roedores conforme a seguinte foto demonstrativa.

Em seguida, em todos os locais furados com serra-copo 25mm ou $\frac{3}{4}$ devem ser colocados adaptadores de anel pvc 25mm $\frac{3}{4}$ “Flange”, recomenda-se o uso de cola Epóxi para melhorar a vedação e fixação. Na parte interna poderá ser reforçado com massa adesiva epóxi.

Para a confecção de mecanismos para realizar a leitura de líquidos dentro dos recipientes, foram utilizados os furos realizados de forma perpendicular, tanto da composteira como do biodigestor. Depois da conexão do “flange”, deve-se cortar aproximadamente 5 cm de cano $\frac{3}{4}$ e unir com joelho com um lado com rosca pvc 25mm $\frac{3}{4}$ (voltados para o centro). Depois de passar fita veda-rosca e com cola para pvc, deve-se unir adaptadores com rosca externa $\frac{3}{4}$ polegadas para mangueiras ao joelho com rosca. Depois deve-se conectar ambos os adaptadores com mangueiras transparentes flexíveis $\frac{3}{4}$, fixados com abraçadeiras para mangueiras. Em um furo da base deve ser conectado, depois de passar fita veda-rosca e com cola para pvc, uma torneira, contendo a base com rosca.

FIGURA 38 - Materiais necessários para a construção de uma composteira aeróbia aliada a um biodigestor anaeróbio



Ferramentas e materiais necessários para construção de uma composteira unida a um biodigestor anaeróbio.
FONTE: O autor (2022).

FIGURA 39 - Locais de furações das bombonas com o serra-copos e adequação de materiais em bombonas de 200 litros para a confecção de tampas teladas para a composteira



FONTE: O autor (2022).

Uma forma de isolar os líquidos da composteira de um possível retorno de ar do biodigestor, é a confecção de uma estrutura em forma de “U” invertido, que podemos visualizar maiores detalhes na seguinte imagem (Fig. 40).

Esta conexão quando colocada na base da composteira, isola o ar à medida que o material for decomposto, há formação de líquido oriundo da decomposição, o que ajuda na separação de fases. Para a fabricação desta peça, deve-se cortar 4 pedaços de aproximadamente 5 cm de cano $\frac{3}{4}$. Dois joelhos devem ser unidos em zigue-zague com a flange, em seguida com um registro pvc esfera soldável 25mm $\frac{3}{4}$ e depois com um joelho apontando para a base. Este joelho com um lado com rosca pvc 25mm $\frac{3}{4}$ deve conectado a um adaptador com rosca externa $\frac{3}{4}$ polegadas para mangueiras.

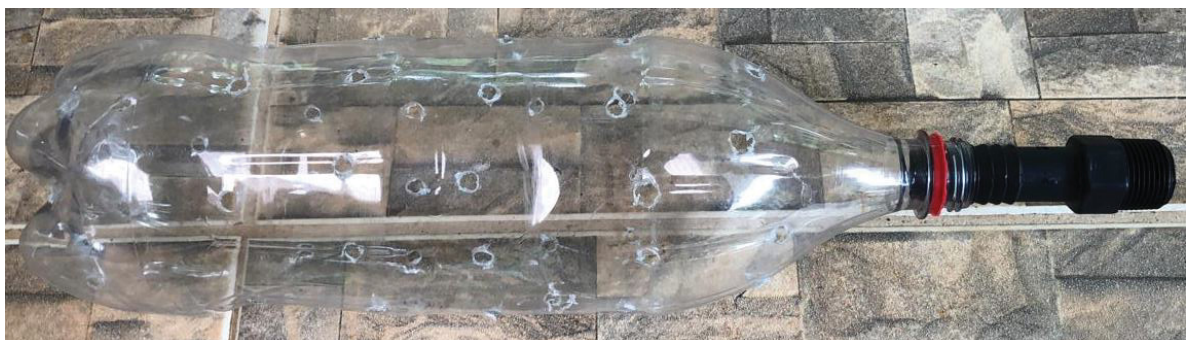
FIGURA 40 - Detalhe da conexão em “u” invertido



FONTE: O autor (2022).

Dentro da composteira, algumas adaptações se fazem necessárias. Com intuito de evitar que sólidos não decompostos passem da composteira para o biodigestor, um filtro simples deve ser confeccionado com uma garrafa PET de dois litros com furos e um adaptador com rosca externa $\frac{3}{4}$ polegadas para mangueiras a ser conectado no “flange” ligada a conexão de “U” invertido.

FIGURA 41 - Filtro simples para compostos sólidos provenientes da composteira



FONTE: O autor (2022).

Com o peso da matéria orgânica, o filtro de garrafa PET seria amassado, assim para isolar o lixiviado da matéria em decomposição e dar sustentação a um segundo elemento filtrante, uma peneira para areia aro 55, no mínimo dois tijolos devem ser posicionados em extremos da base interna da composteira. A fim de aumentar a maleabilidade da madeira da peneira, recomenda-se a imersão em água por algumas horas para deixar mais maleável a madeira e não rachar no momento de posicionar a peneira dentro da composteira. Um cano de pvc, furado com o auxílio de uma furadeira, pode ser posicionado na região central da composteira com intuito de formar uma chaminé para maximizar a oxigenação em toda a extensão da composteira.

Quando for utilizar a composteira, deve-se retirar a telha de fibrocimento (50cm) e retirar a tampa telada. Depois de depositado o material deve-se tampar e proteger da entrada de água pluvial.

FIGURA 42 - Organização dentro da composteira, à esquerda evidenciando peneira e filtro, à direita chaminé de oxigenação passiva



FONTE: o autor (2022).

Com a composteira pronta, o passo seguinte é construir o biodigestor anaeróbio. No calibrador de pneus analógico com manômetro deve-se realizar uma adaptação, onde uma arruela lisa zincada $\frac{1}{4}$ deve ser colocada até o topo da rosca do calibrador. Para vedar e dar estabilidade a peça, será modelada um suporte com massa adesiva epóxi (Figura 43). A rosca deverá ser preenchida com fita veda rosca e a união com a tampa do biodigestor deve ser feita com um anel de vedação de borracha o'ring $\frac{1}{4}$ na parte externa, já na parte interna da tampa do biodigestor deve ser selado com uma porca sextavada de vedação $\frac{1}{4}$, arruela lisa zincada $\frac{1}{4}$ e um anel de vedação de borracha o'ring $\frac{1}{4}$.

FIGURA 43 - Detalhe da adaptação do calibrador de pneus analógico à tampa do biodigestor



FONTE: O autor (2022).

Para o furo central na tampa do biodigestor deve-se cortar aproximadamente 5 cm de cano $\frac{3}{4}$ e unir ao anel pvc 25mm $\frac{3}{4}$ “flange” com um registro pvc esfera soldável 25mm $\frac{3}{4}$, depois mais 5 cm de cano $\frac{3}{4}$, ligar a uma válvula de retenção soldável 25 mm $\frac{3}{4}$ e em sequência a uma luva pvc soldável 25mm $\frac{3}{4}$ e um adaptador com rosca externa $\frac{3}{4}$ polegadas para mangueiras, todas estas uniões devem ser seladas com cola para pvc. No último furo da base do biodigestor deve ser unida uma torneira com rosca, depois de passar fita veda-rosca e com cola para pvc. Para o constante fluxo de gás do biodigestor para a câmara de pneu, deve-se anexar a câmara ao calibrador de pneus e com o gatilho apertado, prender com arame liso galvanizado.

Com duas abraçadeiras deve ser unida aos adaptadores para mangueira da composteira ao biodigestor 1 metro de mangueira transparente flexível $\frac{3}{4}$, conforme pode ser observada na figura 44.

FIGURA 44 - Dois protótipos indicando a utilização de válvula de retenção unidirecional como separação eficiente entre composteiras aeróbios e biodigestores anaeróbios



FONTE: O autor (2022).

Ressalta-se que na foto anterior as câmaras de pneu acopladas nos biodigestores estão ausentes e que a telha que protege contra a entrada de água pluvial estava temporariamente removida.

Depois de montada a estrutura, recomenda-se a instalação do equipamento em local ensolarado e de fácil manutenção. Observa-se que a base da composteira deve estar acima do nível de entrada de lixiviado do biodigestor para que os resíduos fluam por gravidade da composteira para o biodigestor. Para testar eventuais vazamentos hidráulicos, antes do uso recomenda-se encher ambas bombonas com água e observar possíveis vazamentos.

5.4 ROTINA DE DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

O material orgânico proveniente do refugo da merenda escolar advém da preparação dos alimentos e os resíduos alimentares não consumidos. Pesquisando nos programas e propostas de governo referentes a merenda escolar (PARANÁ, 2021; BRASIL, 2022). As escolas estaduais do Paraná estão enquadradas no programa estadual de alimentação escolar (PEAE) que está vinculado ao programa nacional de alimentação escolar (PNAE). Há diversas iniciativas interligadas ao programa estadual e federal como incentivo de utilizar na merenda escolar produtos oriundos da agricultura familiar, programas de avaliação nutricional dos estudantes, recomendações de cardápios, boas práticas de manipulação de alimentos, sugestão de horta escolar, supervisão de um conselho próprio, entre outros (PARANÁ, 2021). Entretanto há sugestão, mas não normativas, a respeito do descarte de resíduos orgânicos a ser realizado na escola (BRAMBILLA & MATSUSHITA, 2014), o que deveria ser norma.

No dia 08/02/2022 foi procurado o responsável pela merenda e alimentação escolar na Secretaria de Estado da Educação e por telefone, confirmando nossa pesquisa documental de que não há uma diretiva na rotina de separação e destinação de resíduos orgânicos em ambientes escolares. Entretanto, descreveu que há diversas recomendações de separar o orgânico e encaminhar para a coleta de lixo ou de realizar compostagem na escola e utilizar os resíduos em hortas escolares, apesar deste aspecto ser recomendado, mas não uma norma.

Em entrevistas com as merendeiras do colégio estudado, os dias 15 e 16 de dezembro de 2021, foi relatado que não há qualquer recomendação por parte da mantenedora sobre o que fazer com os resíduos orgânicos, mas que elas separam os resíduos orgânicos em recipientes que são utilizados por um morador do município como forma suplementar de alimentação animal. Ressaltam que realizavam o processo de compostagem no passado, usando os resíduos

que não eram utilizados pela alimentação animal. Citam ainda que em média, por semana, são gerados cerca de 30 litros de resíduos orgânicos proveniente de descarte e produção da merenda escolar. Pesquisando no site do dia a dia da SEED (PARANÁ, 2022) encontramos que no ano de 2022 havia 1632 estudantes matriculados no referido colégio. Então podemos dizer que para cada 55 estudantes é gerado 1 litro de matéria orgânica por semana, material este que pode ser aproveitado no processo de compostagem.

Com a atual implementação do uso rotineiro do protótipo 2 modificado na escola, seu uso e manutenção têm sido simples e sem maiores problemas. A bombona da composteira foi enchida totalmente 4 vezes até o presente momento, sendo o material aparentemente decomposto (pela diminuição constante da altura da leira) e o volume reduzido a fim de ser utilizado novamente. Quando havia algum odor desagradável, foi orientado a acrescentar material fibroso ao composto, o que sanou quaisquer inconvenientes. Inicialmente foi imaginado que para o porte da escola em que foi aplicado o experimento, seriam necessárias até 4 composteiras de 200 litros cada, mas com observações empíricas, apenas duas têm suprido a necessidade de compostagem de resíduos orgânicos de 1632 estudantes. Assim, recomenda-se que a cada ano seja feita a manutenção das composteiras, retirando o composto decomposto e utilizando em horta (que poderiam ser avaliados por testes simples de fitotoxicidade com sementes de alface), junto com o lixiviado decomposto do biodigestor (cuja fitotoxicidade também deve ser avaliada). Pela organização escolar, recomenda-se que esta etapa de manutenção ocorra antes do início do período letivo, no período de verão, onde quaisquer materiais teriam tempo suficiente para serem degradados e estabilizados no período de férias de verão.

5.5 PROPOSTAS PEDAGÓGICAS

Com o conhecimento apropriado do processo de compostagem e biodigestão anaeróbia, aliada a construção e uso dos protótipos no ambiente escolar pode-se ter um laboratório vivo para diversas práticas educativas onde o ensino investigativo tem um universo de aplicações dentro da disciplina de Biologia, mas que pode ser extrapolada concomitantemente com as disciplinas de Química, Física e Matemática (como nos cálculos relacionados que foram apresentados neste trabalho). A seguir há três propostas de aplicação de ensino investigativo relacionado a microrganismos, no tópico “5.5.1 Planos de aplicação de Temas” e uma sequência didática detalhada focando no processo de decomposição que culmina

na comparação dos experimentos realizados pelos estudantes e a comparação com o protótipo em pleno funcionamento no ambiente escolar “5.5.2 Compostagem e biodigestão na escola”.

5.5.1 Planos de aplicação de Temas

Com as propostas de aplicação de Temas referentes ao programa PROFBIO voltadas ao ensino de Microbiologia, foram fomentados instrumentos e ferramentas pedagógicas que instigassem o processo de ensino.

No ano de 2020 foi construída uma proposta investigativa “Conhecendo melhor os microrganismos – proposta de sequência didática para o Ensino Médio” (APÊNDICE I, pág.137). Para o primeiro semestre de 2021 foi uma proposta envolvendo compostagem e fatores abióticos “pH, biomoléculas e compostagem – proposta de sequência didática para o Ensino Médio” (APÊNDICE II, pág.144) e no segundo semestre de 2021 foi utilizada gamificação para compreender os processos químicos, físicos e biológicos utilizando microrganismos e mudanças planetárias, na proposta denominada “Processo de terraformação utilizando microrganismos – proposta de sequência didática para o Ensino Médio” (APÊNDICE III, pág.153).

Desde análises de charges, gráficos e gamificação foram abordados, processos estes que se enquadram em metodologias ativas de construção do conhecimento. As propostas também tiveram um viés de estimular o ensino multidisciplinar, unindo conhecimentos de biologia, língua portuguesa, matemática, química e física o que maximiza o processo de ensino e aprendizagem.

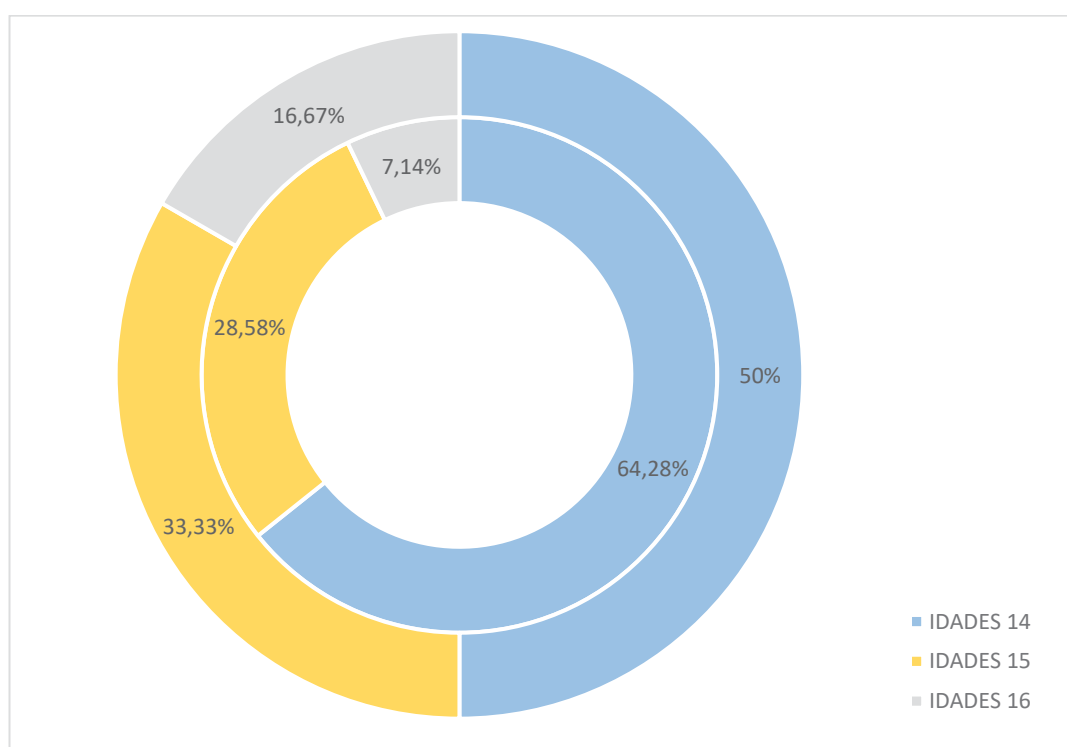
5.5.2 Compostagem e biodigestão na escola

A Secretaria de Estado da Educação aprovou nossa proposta de pesquisa com os estudantes de ensino médio. Os Comitês de Ética e Pesquisa da UFPR (CAAE: 44428221.2.0000.0102) e da UNICESUMAR (CAAE: 44428221.2.3001.5539) forneceram as aprovações finais de pesquisa com seres humanos. A data de início prevista da atividade com os estudantes era 01/07/2021, mas devido às dificuldades de volta às aulas por causa da pandemia de Covid-19 e a suspensão das aulas presenciais, não aplicamos esta proposta em 2021. Estendemos as aprovações da SEED e CEP (em cronograma substitutivo previamente aprovado) e a aplicação com estudantes, na forma presencial, em 2022, encerrando as atividades em 04/05/2022.

Os alunos foram informados sobre a segurança necessária em um laboratório, a correta higienização das mãos, não comer ou beber no laboratório e a adequada higienização dos locais de trabalho no final das atividades no laboratório.

Para aplicar este projeto, seria necessário apresentar a proposta aos pais e estudantes. Entretanto, como a escola não faria reunião com os pais dos estudantes do primeiro ano, foi passada a proposta de pesquisa para os estudantes e marcada reunião no dia 17/02/2022, às 19h00 no espaço do auditório do referido colégio. Como não apareceram pais com dúvidas, a coleta do TCLE dos responsáveis foi realizada via encaminhamento pelos discentes. A coleta de TCLE e TALE aconteceram até o dia 17/03/2022, completando 20 estudantes de uma turma do primeiro ano do ensino médio.

FIGURA 45 – Gráfico demonstrando o percentual relacionado ao gênero e à idade de discentes participantes da pesquisa



Rosca externa reflete os dados do grupo masculino e a rosca interna grupo feminino.

FONTE: o autor (2022).

Quanto à proporção de meninos e meninas, nos formulários TCLE e TALE foram identificados inicialmente 13 meninas e 7 meninos, mas nos questionários cegos de avaliação de motivação e conhecimentos auto identificados foram encontrados 14 meninas e 6 meninos. Não sabemos se foi o gênero como o qual o (a) discente se identifica ou se ocorreu um erro de

preenchimento, sendo que utilizamos como referência as informações preenchidas nos formulários de motivação e conhecimento. Dos 20 estudantes, 70% foram compostos do gênero feminino ($n = 14$) e 30% do gênero masculino ($n = 6$). Com relação à faixa etária do sexo masculino, 50% tinham 14 anos, 33,3% 15 anos e 16,7% tinham 16 anos completos no início do experimento. O grupo do sexo feminino 64,3% tinham 14 anos, 28,6% 15 anos e 7,1% tinham 16 anos (Figura 45).

Em prosseguimento ao estudo foram aplicadas questões para avaliar a motivação e o conhecimento dos estudantes antes do início das atividades teóricas e práticas investigativas, etapa essa realizada no dia 21/03/2022 conforme pode ser observado ver na Figura 46. Ao total foram 3 aplicações de questionários de conhecimento e de motivação para aprender, antes da aula teórica, depois da aula teórica e depois da aula prática.

FIGURA 46 – Fotografia dos estudantes participantes do experimento realizando avaliações de motivação e de conhecimento



Momento de concentração nas avaliações de motivação e de conhecimento específico em Microbiologia.

FONTE: o autor (2022).

Neste momento, as avaliações antes das aulas teóricas e práticas serviram como controle e referência para medir o ganho ou perda na motivação e conhecimentos.

Nos questionários motivacionais os discentes responderam entre as alternativas, nunca, às vezes e sempre. Utilizando o programa Excel para Windows as questões foram

pontuadas, sendo quando o estudante respondia “nunca” era dado o valor de 1, quando “às vezes” era dado o valor de 2 e para “sempre” era dado o valor de 3. Após a tabulação dos dados qualitativos em quantitativos, foi calculada a média para cada resposta e seu desvio padrão.

Com relação à motivação inicial, aplicada antes das aulas práticas, as questões foram tabuladas e calculados a média e o desvio padrão com base nos trabalhos de Marchiore e Alencar (2009) e Neves e Boruchovitch (2007). Com relação à motivação, 17 itens são de motivação intrínseca, referentes às questões 1, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 21, 23, 25, 27, 29 e 31 e 14 itens de motivação extrínseca, as questões 2, 4, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 22, 24, 26, 28 e 30.

TABELA 7 - Média e desvio padrão nos itens da escala de motivação para aprender dos estudantes antes das aulas teóricas

QUESTÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
1 - Eu estudo os microrganismos porque estudar é importante para mim	2,04	0,67
2 - Eu estudo por medo dos meus pais brigarem comigo	1,65	0,75
3 - Eu tenho vontade de conhecer e aprender assuntos novos sobre os microrganismos	2,55	0,50
4 - Eu faço os deveres de casa sobre microrganismos por obrigação	1,9	0,72
5 - Eu gosto de estudar assuntos desafiantes sobre microrganismos	2,05	0,67
6 - Eu gosto de estudar assuntos difíceis sobre microrganismos	1,63	0,58
7 - Eu estudo porque meus pais prometem me dar presentes se as minhas notas forem boas	1,4	0,75
8 - Eu me esforço bastante nos trabalhos de casa de microbiologia, mesmo sabendo que não vão valer como nota	2,06	0,74
9 - Eu estudo sobre os microrganismos porque meus professores acham importante	2,2	0,62
10 - Eu estudo sobre os microrganismos mesmo sem os meus pais pedirem	2,00	0,77
11 - Eu estudo porque fico preocupado (a) que as pessoas não me achem inteligente	1,8	0,77
12 - Eu me esforço bastante nos trabalhos sobre os microrganismos em sala de aula, mesmo sabendo que não vai valer como nota	2,40	0,49
13 - Eu estudo por medo dos meus pais me punirem	1,75	0,85
14 - Eu estudo os microrganismos porque estudar essa matéria me dá prazer e alegria	2,15	0,65
15 - Eu só estudo sobre os microrganismos para não me sair mal na escola	2,3	0,80
16 - Eu fico tentando resolver uma tarefa sobre os microrganismos mesmo quando ela é difícil para mim	2,50	0,50
17 - Eu estudo sobre os microrganismos para os meus pais deixarem eu me divertir com os meus amigos ou fazer as coisas que eu gosto	1,55	0,76
18 - Eu prefiro aprender na escola assuntos sobre os microrganismos que aumentem minhas habilidades ou meus conhecimentos	2,65	0,57
19 - Eu só estudo os microrganismos para agradar meus professores	1,6	0,68
20 - Eu faço minhas lições de casa sobre microrganismos mesmo que meus pais não me peçam	2,76	0,43
21 - Eu estudo sobre os microrganismos porque gosto de ganhar novos conhecimentos nessa área	2,26	0,62
22 - Eu estudo nos assuntos relacionadas aos microrganismos apenas aquilo que os professores avisam que vai cair na prova	2,15	0,81
23 - Eu gosto de estudar sobre os microrganismos	2,30	0,56
24 - Eu só faço meus deveres de casa sobre os microrganismos porque meus pais acham importante	1,45	0,69
25 - Eu procuro saber mais sobre os assuntos que gosto relacionados aos microrganismos, mesmo sem meus professores pedirem	1,66	0,65
26 - Eu só estudo sobre os microrganismos porque quero tirar notas altas	2,25	0,72
27 - Eu gosto de ir para a escola porque aprendo assuntos interessantes lá	2,70	0,46
28 - Eu só estudo porque meus pais mandam	1,9	0,79
29 - Eu estudo sobre os microrganismos porque quero aprender cada vez mais	2,45	0,50
30 - Eu estudo sobre os microrganismos por obrigação	1,45	0,69

31 - Eu fico interessado (a) sobre os microrganismos quando os professores começam um conteúdo novo sobre eles	2,60	0,49
--	------	------

FONTE: o autor (2022), utilizando instrumento adaptado de Marchiore e Alencar (2009) e Neves e Boruchovitch (2007).

Antes das aulas teóricas (Tab. 7), o grupo de estudantes citou como maiores fontes de motivação intrínseca “20 - Eu faço minhas lições de casa sobre microrganismos mesmo que meus pais não me peçam” ($2,76 \pm 0,43$), “27 - Eu gosto de ir para a escola porque aprendo assuntos interessantes lá” ($2,70 \pm 0,46$) e “18 - Eu prefiro aprender na escola assuntos sobre os microrganismos que aumentem minhas habilidades ou meus conhecimentos” ($2,65 \pm 0,57$). Já a motivação extrínseca teve como fatores externos mais pontuados “15 - Eu só estudo sobre os microrganismos para não me sair mal na escola” ($2,3 \pm 0,80$), “26 - Eu só estudo sobre os microrganismos porque quero tirar notas altas” ($2,25 \pm 0,72$), “9 - Eu estudo sobre os microrganismos porque meus professores acham importante” ($2,2 \pm 0,62$).

Comparando nossos resultados com Marchiore e Alencar (2009) percebemos uma similaridade na motivação intrínseca em um dos itens de maior média dos estudantes “Eu estudo somente aquilo que os professores avisam que vai cair na prova” onde as autoras encontraram uma média de 2,25 e desvio padrão de 0,70, já no nosso trabalho para o mesmo item encontramos $2,15 \pm 0,81$. Isroff e Soldato (2004) observaram que o fator que leva estudantes a estudarem mais são as notas baixas. Tais resultados remetem a Tapia (2003) que descreve que pouca atenção na escola e grande foco apenas na aprovação é demonstrado pelos discentes. Essa forma de estudo visa resultados imediatos, afasta da aprendizagem significativa, sendo, portanto, inadequada (TAPIA, 2003; MARCHIORE E ALENCAR, 2009).

Nessa etapa o resultado dos conhecimentos alcançou, entre 20 questões objetivas, uma média de 4,6 acertos, com um desvio padrão de 1,3 para os estudantes.

As aulas teóricas (Figura 47) foram apresentadas na forma de slides digitais no auditório do colégio, entre os dias 22/03/2022 e 05/04/2022. Inicialmente foram propostas 2 aulas teóricas acerca do domínio Bacteria, entretanto o domínio Archaea e o grupo Fungi também foram abordados totalizando 5 aulas teóricas, apresentando desta forma alguns conceitos básicos de Microbiologia relacionados ao processo de compostagem e biodigestão anaeróbia. Após estas aulas, foi aplicado novamente o teste de conhecimentos específicos.

FIGURA 47 – Fotografia dos estudantes participantes do experimento em aula teórica



Aula teórica expositiva em auditório. Observar o detalhe da organização linear das cadeiras.

FONTE: o autor (2022).

Nessa etapa, após a aula teórica, o resultado da avaliação de conhecimentos para os estudantes foi uma média de 5,1 acertos, com um desvio padrão de 1,7.

TABELA 8 - Média e desvio padrão nos itens da escala de motivação para aprender dos estudantes após as aulas teóricas

QUESTÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
1 - Eu estudo os microrganismos porque estudar é importante para mim	2,72	0,46
2 - Eu estudo por medo dos meus pais brigarem comigo	1,39	0,61
3 - Eu tenho vontade de conhecer e aprender assuntos novos sobre os microrganismos	2,39	0,50
4 - Eu faço os deveres de casa sobre microrganismos por obrigação	1,50	0,51
5 - Eu gosto de estudar assuntos desafiantes sobre microrganismos	2,11	0,68
6 - Eu gosto de estudar assuntos difíceis sobre microrganismos	1,81	0,75
7 - Eu estudo porque meus pais prometem me dar presentes se as minhas notas forem boas	1,22	0,43
8 - Eu me esforço bastante nos trabalhos de casa de microbiologia, mesmo sabendo que não vão valer como nota	2,50	0,62
9 - Eu estudo sobre os microrganismos porque meus professores acham importante	1,89	0,76
10 - Eu estudo sobre os microrganismos mesmo sem os meus pais pedirem	2,72	0,46
11 - Eu estudo porque fico preocupado (a) que as pessoas não me achem inteligente	1,33	0,59

12 - Eu me esforço bastante nos trabalhos sobre os microrganismos em sala de aula, mesmo sabendo que não vai valer como nota	2,56	0,62
13 - Eu estudo por medo dos meus pais me punirem	1,33	0,49
14 - Eu estudo os microrganismos porque estudar essa matéria me dá prazer e alegria	2,18	0,73
15 - Eu só estudo sobre os microrganismos para não me sair mal na escola	2,06	0,73
16 - Eu fico tentando resolver uma tarefa sobre os microrganismos mesmo quando ela é difícil para mim	2,56	0,62
17 - Eu estudo sobre os microrganismos para os meus pais deixarem eu me divertir com os meus amigos ou fazer as coisas que eu gosto	1,33	0,49
18 - Eu prefiro aprender na escola assuntos sobre os microrganismos que aumentem minhas habilidades ou meus conhecimentos	2,72	0,46
19 - Eu só estudo os microrganismos para agradar meus professores	1,22	0,43
20 - Eu faço minhas lições de casa sobre microrganismos mesmo que meus pais não me peçam	2,67	0,49
21 - Eu estudo sobre os microrganismos porque gosto de ganhar novos conhecimentos nessa área	2,39	0,61
22 - Eu estudo nos assuntos relacionadas aos microrganismos apenas aquilo que os professores avisam que vai cair na prova	2,12	0,78
23 - Eu gosto de estudar sobre os microrganismos	2,29	0,47
24 - Eu só faço meus deveres de casa sobre os microrganismos porque meus pais acham importante	1,28	0,46
25 - Eu procuro saber mais sobre os assuntos que gosto relacionados aos microrganismos, mesmo sem meus professores pedirem	1,83	0,79
26 - Eu só estudo sobre os microrganismos porque quero tirar notas altas	2,17	0,71
27 - Eu gosto de ir para a escola porque aprendo assuntos interessantes lá	2,59	0,62
28 - Eu só estudo porque meus pais mandam	1,33	0,59
29 - Eu estudo sobre os microrganismos porque quero aprender cada vez mais	2,41	0,62
30 - Eu estudo sobre os microrganismos por obrigação	1,33	0,59
31 - Eu fico interessado (a) sobre os microrganismos quando os professores começam um conteúdo novo sobre eles	2,67	0,49

FONTE: o autor (2022), utilizando instrumento adaptado de Marchiore e Alencar (2009) e Neves e Boruchovitch (2007).

Depois das aulas teóricas (Tab. 8), o grupo de estudantes citou como maiores fontes de motivação intrínseca “1 - Eu estudo os microrganismos porque estudar é importante para mim” ($2,72 \pm 0,46$), “10 - Eu estudo sobre os microrganismos mesmo sem os meus pais pedirem” ($2,72 \pm 0,46$) e “18 - Eu prefiro aprender na escola assuntos sobre os microrganismos que aumentem minhas habilidades ou meus conhecimentos” ($2,72 \pm 0,46$). Já a motivação extrínseca teve como fatores externos mais pontuados novamente os mesmos itens melhor pontuados antes da aplicação teórica “26 - Eu só estudo sobre os microrganismos porque quero tirar notas altas” ($2,17 \pm 0,71$), “22 - Eu estudo nos assuntos relacionados aos microrganismos apenas aquilo que os professores avisam que vai cair na prova” ($2,12 \pm 0,78$) e “15 - Eu só estudo sobre os microrganismos para não me sair mal na escola” ($2,06 \pm 0,73$).

Após as aulas teóricas sobre introdução à Microbiologia, o professor iniciou o processo de atividades investigativas práticas questionando os estudantes se já tomaram leite fermentado ou se gostam de comer queijo. Se eles sabem como a uva se transforma em vinho ou como a cerveja é feita. Foi indagado se eles conhecem como são fabricados estes alimentos e quais os processos envolvidos, se eles já sentiram o mal cheiro de comida estragada ou de uma carcaça apodrecendo. Em outros momentos sentiram cheiros parecidos? Imagens foram apresentadas para estimular a curiosidade dos estudantes. Com uma breve discussão, o professor mediu o

processo investigativo com uma questão problematizadora para levantar o que os estudantes já conheciam previamente sobre o assunto: “O que acontece para um alimento estragar e quais processos são necessários para isso ocorrer?”. Após trabalhar com o conhecimento prévio dos estudantes foi lançada a problemática a ser estudada, que processos ocorrem para se ter a mudança química dos compostos? Isso ocorre tanto com substâncias orgânicas como inorgânicas? São apenas reações químicas ou há organismos que participam do processo?

Após um *brainstorming* coletivo, os estudantes foram separados em grupos (Figura 48) onde o debate de ideias continuou até a elaboração de hipóteses para explicar a questão problematizadora, etapa essa que ocorreu no dia 11/04/2022.

Os estudantes poderiam ter formado uma gama de hipóteses para explicar o processo de decomposição. Foram formados 6 grupos. O Grupo 1 formou a hipótese de que “Os fungos se alimentam e se reproduzem nos alimentos devido a temperatura e movimento do ar”, o grupo 2 que “Depende da temperatura, fungos e bactérias”, o grupo 3 disse que “Depende da umidade, calor e oxigênio”, já o grupo 4 “A matéria orgânica se decompõe devido à temperatura e às bactérias e aos fungos”, o grupo 5 elaborou a ideia que “O alimento se decompõe devido à temperatura e as bactérias começam a ficar mais ativas” e finalizando o grupo 6 disse que “Os fungos se alimentam, se reproduzem com matéria orgânica”. Como não houve interferência do professor, apenas mediação, os estudantes não citaram pH, relações de nutrientes como o carbono e o nitrogênio.

FIGURA 48 – Fotografia dos estudantes participantes do experimento em grupos elaborando hipóteses



Grupos de estudantes elaborando hipóteses. Observar o detalhe da organização em grupo das carteiras.

FONTE: o autor (2022).

Para que fosse possível que os discentes investigassem e testassem suas hipóteses, foi proposto que eles construíssem, em grupos, processos controlados de decomposição da matéria orgânica com garrafas PET a fim de experimentação e avaliar fatores físicos, químicos e biológicos relacionados ao processo de decomposição. O professor mediou a construção do conhecimento, instigando e auxiliando-os em todas as etapas. Foram realizados testes de acordo com as hipóteses levantadas pelos estudantes, onde a elaboração do experimento foi balizada pelo professor. Para a isolamento do ar e detecção de formação ou consumo de ar/gás foram colocados preservativos masculinos de látex ao bocal das garrafas PET. Empregar os preservativos masculinos de látex foi uma substituição às bexigas de látex que romperam facilmente quando utilizadas nos testes para verificação de decomposições em diferentes condições – biodigestão anaeróbia. As mudanças de temperatura foram controladas no

processo, colocando as amostras em geladeira e em uma estufa improvisada. Esta etapa ocorreu no dia 20 de abril de 2022, conforme registro fotográfico contido na figura 49.

FIGURA 49 – Fotografia dos estudantes participantes do experimento em grupos construindo experimentos



Em “A” grupo 1 elaborando experimento com pão e fermento biológico, detalhe do enchimento rápido do preservativo masculino de látex, demonstrando produção de gás. Em “B” grupo 2 com substrato de bananas.

FONTE: o autor (2022).

TABELA 9 – Resumo da metodologia idealizada por cada grupo de discentes

GRUPO	MATERIAL ORGÂNICO	TESTES
1	Pão	- com fermento biológico em meio anaeróbio; - com fermento biológico em meio aeróbio; - sem fermento biológico em meio anaeróbio; - sem fermento biológico em meio aeróbio; - com fermento biológico, na estufa, em meio aeróbio; - sem fermento biológico, na estufa, em meio anaeróbio.
2	Banana	- com esterco; - com fermento biológico; - em estufa; - exposta a baixa temperatura; - com fermento biológico e esterco.
3	Uvas	- hidratado e em meio aeróbio; - em meio anaeróbio; - em meio aeróbio; - em meio aeróbio e resfriado; - em meio aeróbio em estufa; - em meio aeróbio e matéria orgânica desidratada.
4	Leite de pacote	- em meio aeróbio; - em meio anaeróbio; - na estufa em meio aeróbio; - com água;

		- com água sanitária; - com vinagre; - com sal.
5	Maçã	- em temperatura ambiente com substância antifúngica; - em ambiente resfriado com substância antifúngica;
6	Pão	- com fermento e em meio anaeróbio; - com fermento e em meio aeróbio; - apenas pão e em meio aeróbio; - pão e em meio anaeróbio;

FONTE: o autor (2022).

Como descrito na Tabela 9, o grupo 1 utilizou como matéria orgânica pedaços de pão, que foram separados em garrafas PET com seis variações, com fermento biológico sem ar (preservativo masculino de látex), com fermento biológico com ar, sem fermento biológico sem ar (preservativo masculino de látex), sem fermento biológico com ar, com fermento biológico, alta temperatura e com ar, sem fermento biológico, alta temperatura, sem ar (preservativo masculino de látex). O grupo 2 escolheu trabalhar com banana e garrafas PET, realizando 5 experimentos banana com esterco, banana com fermento biológico, banana exposto a alta temperatura, banana exposta a baixa temperatura e banana com fermento biológico e esterco. O grupo não conseguiu a tempo esterco bovino, inviabilizando essa etapa da experimentação e pensando nas bactérias contidas no ambiente. O grupo 3 preferiu utilizar uvas como material a ser decomposto, em garrafas PET em 6 variações, com pouco de água e aberta, com garrafa PET fechada (rosqueada e amassada), na garrafa PET aberta, na geladeira (aberta), na estufa (aberta), temperatura ambiente sem de água. No dia da confecção dos experimentos uma integrante que iria trazer parte dos itens faltou e dois testes, uva na temperatura ambiente e aberta e na garrafa PET fechada (rosqueada e amassada) foram decididos pelo grupo de serem suprimidos a fim de continuar com o experimento. O grupo 4 escolheu trabalhar com leite de pacote, onde previram 7 variações, apenas exposto ao ar (controle), isolado do ar (com preservativo masculino de látex), em temperatura elevada (estufa), com água, com água sanitária, com vinagre, com sal. Apenas um integrante trouxe o material (sal e vinagre), que impossibilitou a confecção de todos os testes. Mesmo com o professor solicitando que os estudantes dos grupos 4 e 6 trouxessem pronto o experimento na próxima aula, os mesmos não elaboraram. Como queriam continuar participando do experimento, o professor solicitou que os estudantes dos grupos 4 e 6 fizessem análises teóricas do que poderia acontecer, observando os resultados dos outros grupos. O grupo 5 trabalhou com maçã e alta temperatura, em temperatura ambiente e baixa temperatura (geladeira). Na tentativa de eliminar fungos do processo, polvilharam talco antifúngico nas amostras. O grupo 6 previu trabalhar com pão como matéria orgânica e 4 variações, com fermento e sem ar (com preservativo masculino de látex),

com fermento e ar, apenas pão e ar, por último pão sem ar (com preservativo masculino de látex). Assim como o grupo 4, não trouxeram materiais no dia ou experimentos prontos de casa, que com interesse em continuar, foi solicitado conjecturas teóricas a partir dos pressupostos do grupo e acompanhamento dos resultados dos outros grupos.

FIGURA 50 – Fotografia dos resultados obtidos da experimentação



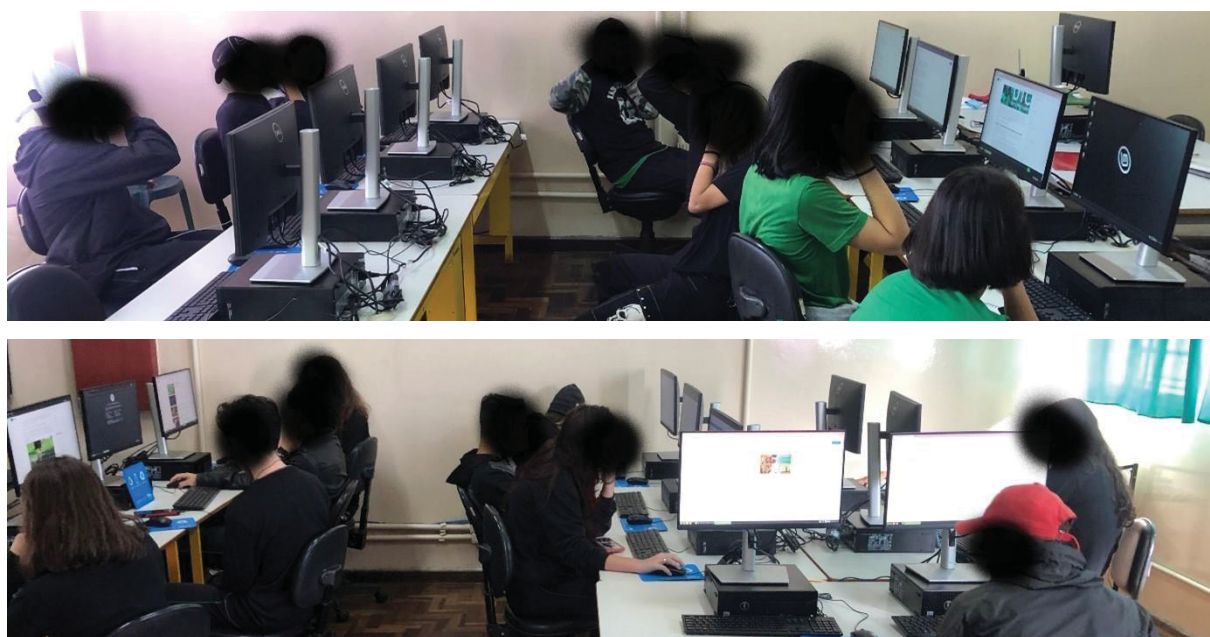
Em “A” demonstração de formação de gás. Em “B” diferentes resultados em diferentes condições, desde a formação de uva passa na estufa, a uva túrgida em água. Em “C” água condensada devido a intensa atividade microbiana. Em “D” na garrafa à esquerda e abaixo a preservativo masculino de látex foi sugada para dentro da garrafa devido ao consumo de gás oxigênio. Em “E” diferentes estágios de decomposição, no frio e na estufa, este com formação de fungos escuros.

FONTE: o autor (2022).

A análise da experimentação (Figura 50) ocorreu no dia 25/04/2022 e estendido para verificação de possíveis alterações até o dia 02/05/2022. A seguir segue o relato dos estudantes sobre os resultados observados. O grupo 1 observou que o experimento na estufa com preservativo masculino de látex, a mesma foi danificada e depois de remendada, chegou a amassar a garrafa PET devido ao consumo de ar. Na garrafa lacrada observou-se a presença de

umidade e fungos. O grupo 2 descreveu que na garrafa com fungo/fermento biológico apareceram colônias, “apodreceu”, não houve alteração de tamanho, “soltou um líquido”, leve mudança na coloração e muito odor. Já o material levado a estufa apresentou mudança extrema de coloração, alteração do tamanho, umidade no recipiente, “saiu líquido”, ocorreu a decomposição, pouco odor e formação de colônia de “bactéria”. O material deixado na geladeira teve leve mudança na coloração, pouca diminuição de tamanho e pouco odor. O material sem fermento biológico e na temperatura ambiente houve “pouca formação de fungo”, “liberação de líquido” e mudança na coloração. Já o grupo 3 percebeu que a uva na estufa secou, a da geladeira manteve-se conservada. A que estava a temperatura ambiente aberta produziu mal cheiro e a fechada estava consumindo e produzindo gás. As uvas na água absorveram água e estufou, já a sem água ficou normal. O grupo 4 e 6 idealizaram resultados a partir dos resultados dos colegas. O grupo 5 determinou que “a alta temperatura ajudou a maçã a se decompor mais rápido” e que “maçãs que estavam nas temperaturas ambiente e fria não houve nenhuma (alteração)”.

FIGURA 51 – Fotografia dos estudantes participantes realizando pesquisa



Momento de pesquisa no laboratório de informática sobre os resultados observados e aprofundamento de conhecimentos acerca de compostagem e biodigestão anaeróbia.

FONTE: o autor (2022).

Para complementar as observações realizadas pelos estudantes e aprofundar conhecimentos relativos a compostagem e biodigestão anaeróbia, termos e técnicas que os mesmos não tinham conhecimento prévio, os estudantes foram levados ao laboratório de

informática no dia 28/04/2022 (Figura 51). Com a busca por respostas as observações realizadas, os estudantes ficaram empolgados com a descoberta de como fabricar vinho, como desidratar alimentos e as particularidades e fatores da decomposição de cada matéria orgânica. Muitos estudantes falaram em continuar a experimentação, seja na escola, seja e casa.

O professor apresentou no dia 02/05/2022, no final do processo investigativo dos estudantes, o protótipo otimizado pelos pesquisadores, funcionando com os resíduos orgânicos escolares (Figura 52). Os estudantes compararam todo o processo entre os biodigestores de garrafa PET produzidos em sala e o protótipo otimizado, trocando ideias e novamente reiterando pedidos de mais atividades neste modelo. No mesmo dia, anteriormente em sala de aula, os resultados obtidos pelos grupos foram socializados e comparados entre diferentes experimentos.

O grupo 1 concluiu que o oxigênio presente no ar atmosférico alterou o processo, porque o experimento que estava sem ar consumiu o oxigênio, como no experimento sem ar e na estufa. Já o grupo 2 encerrou dizendo que o processo com fermento biológico acelerou o processo. A hipótese inicial estava correta. Ficaram em dúvida sobre o crescimento de um fungo de coloração escura. O grupo 3 entendeu que a temperatura fez com que perdesse água e desacelerou o processo de decomposição. Na água o processo aconteceu mais rápido. Concluíram que a decomposição depende do calor e da umidade, além de que o experimento fechado consumiu ar. O grupo 4 e o 6 auxiliaram os colegas. O grupo 5 disse que a maçã se decompõe de dentro para fora, sendo o material e o método utilizados inadequados para a experimentação.

Em sala, depois dos grupos apresentarem seus resultados e conclusões, foi iniciado um rápido debate acerca dos resultados obtidos, até que chegaram a um resultado que julgaram satisfatórios. A conclusão final, de todos os membros participantes deste experimento foi que bactérias e fungos apresentam fatores e condições diferentes para decomposição, influenciados por temperatura, umidade, oxigênio.

FIGURA 52 – Fotografia dos estudantes participantes em análise do protótipo desenvolvido



Os estudantes conseguiram comparar seus experimentos ao protótipo desenvolvido, onde o mesmo pode ser visualizado como uma bombona preta da composteira entre os discentes. Ressalta-se que nesse momento os estudantes apenas para foram ver o protótipo e discutir com base em suas próprias experimentações.

FONTE: o autor (2022).

Com relação a metodologia investigativa, analisando nossa proposta de sequência didática com relação aos graus de liberdade intelectual oferecida pelo professor aos estudantes segundo De Carvalho (2018) e análise sintetizada na Tabela 10, tínhamos uma proposta inicial de liberdade intelectual de grau 4, já que o professor apresentou o problema inicial e esperou a formulação de hipóteses, experimentação, obtenção de dados e conclusões por parte dos discentes.

TABELA 10 - Graus de liberdade referentes ao professor (P) e estudantes (E) em atividades experimentais

		GRAU 1	GRAU 2	GRAU 3	GRAU 4	GRAU 5
PROBLEMA INICIAL	P		P	P	P	E
HIPÓTESES	P		P/E	P/E	E	E
EXPERIMENTAÇÃO	P		P/E	E/P	E	E
OBTENÇÃO DOS DADOS	E		E	E	E	E
CONCLUSÕES	P		E/P/Classe	E/P/Classe	E/P/Classe	E/P/Classe

FONTE: Modificado de De Carvalho, Ricardo, Sasseron, Abib, Pietrocola, (2010 *in* De Carvalho, 2018).

Entretanto como os estudantes nunca haviam realizado atividade semelhante, tão pouco realizado práticas experimentais com tamanha liberdade, foi uma quebra de paradigmas em que eles se sentiram um pouco desorientados e sem saber quais ações tomar, de que forma poderiam realizar os experimentos, que materiais utilizar, o que poderiam testar, ou se o que estavam observando era significativo. O professor teve que balizar estas atitudes para incentivar a execução das atividades, sempre com a intenção de intervenção a mínima possível. De Carvalho (*op. cit.*) cita nos grupos 3 e 4, que a parte ativa da produção intelectual é realizada pelo estudante, como por exemplo, os problemas observados durante a formulação de hipóteses, experimentação e conclusões foram corrigidos pelos próprios estudantes. Apesar do plano de aula investigativo pretender estar no grau 4 de ensino investigativo, na prática chegamos ao grau 3 devido às condições citadas por De Carvalho (*op. cit.*):

Grau 4 de liberdade, representa uma classe mais madura, já acostumada com o ensino por investigação, na qual os alunos estão acostumados a trabalhar em grupo e a tomar decisões para resolver os problemas.

De Carvalho, 2018, página 769.

Segundo Trivelato e Tonidandel (2015) conseguimos alcançar um equilíbrio entre a liberdade dos discentes em serem agentes da elaboração do seu conhecimento e a intervenção do professor mediando esta construção, de acordo com a afinidade dos estudantes com o processo de ensino por investigação.

TABELA 11 - Média e desvio padrão nos itens da escala de motivação para aprender dos estudantes após práticas experimentais

QUESTÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
1 - Eu estudo os microrganismos porque estudar é importante para mim	2,64	0,63
2 - Eu estudo por medo dos meus pais brigarem comigo	1,29	0,47
3 - Eu tenho vontade de conhecer e aprender assuntos novos sobre os microrganismos	2,64	0,50
4 - Eu faço os deveres de casa sobre microrganismos por obrigação	1,57	0,76
5 - Eu gosto de estudar assuntos desafiantes sobre microrganismos	2,43	0,51
6 - Eu gosto de estudar assuntos difíceis sobre microrganismos	2,33	0,49
7 - Eu estudo porque meus pais prometem me dar presentes se as minhas notas forem boas	1,14	0,36
8 - Eu me esforço bastante nos trabalhos de casa de microbiologia, mesmo sabendo que não vão valer como nota	2,54	0,52
9 - Eu estudo sobre os microrganismos porque meus professores acham importante	1,86	0,66
10 - Eu estudo sobre os microrganismos mesmo sem os meus pais pedirem	2,62	0,51
11 - Eu estudo porque fico preocupado (a) que as pessoas não me achem inteligente	1,14	0,36
12 - Eu me esforço bastante nos trabalhos sobre os microrganismos em sala de aula, mesmo sabendo que não vai valer como nota	2,69	0,48
13 - Eu estudo por medo dos meus pais me punirem	1,46	0,66
14 - Eu estudo os microrganismos porque estudar essa matéria me dá prazer e alegria	2,43	0,51
15 - Eu só estudo sobre os microrganismos para não me sair mal na escola	2,07	0,83
16 - Eu fico tentando resolver uma tarefa sobre os microrganismos mesmo quando ela é difícil para mim	2,50	0,65

17 - Eu estudo sobre os microrganismos para os meus pais deixarem eu me divertir com os meus amigos ou fazer as coisas que eu gosto	1,21	0,43
18 - Eu prefiro aprender na escola assuntos sobre os microrganismos que aumentem minhas habilidades ou meus conhecimentos	2,86	0,36
19 - Eu só estudo os microrganismos para agradar meus professores	1,14	0,36
20 - Eu faço minhas lições de casa sobre microrganismos mesmo que meus pais não me peçam	2,79	0,43
21 - Eu estudo sobre os microrganismos porque gosto de ganhar novos conhecimentos nessa área	2,50	0,52
22 - Eu estudo nos assuntos relacionadas aos microrganismos apenas aquilo que os professores avisam que vai cair na prova	2,00	0,68
23 - Eu gosto de estudar sobre os microrganismos	2,86	0,36
24 - Eu só faço meus deveres de casa sobre os microrganismos porque meus pais acham importante	1,21	0,43
25 - Eu procuro saber mais sobre os assuntos que gosto relacionados aos microrganismos, mesmo sem meus professores pedirem	2,43	0,51
26 - Eu só estudo sobre os microrganismos porque quero tirar notas altas	2,21	0,70
27 - Eu gosto de ir para a escola porque aprendo assuntos interessantes lá	2,50	0,65
28 - Eu só estudo porque meus pais mandam	1,50	0,65
29 - Eu estudo sobre os microrganismos porque quero aprender cada vez mais	2,64	0,50
30 - Eu estudo sobre os microrganismos por obrigação	1,43	0,65
31 - Eu fico interessado (a) sobre os microrganismos quando os professores começam um conteúdo novo sobre eles	2,64	0,63

FONTE: o autor (2022), utilizando instrumento adaptado de Marchiore e Alencar (2009) e Neves e Boruchovitch (2007).

Após a experimentação (Tabela 11), os estudantes citaram como motivação intrínseca com médias empatadas “18 - Eu prefiro aprender na escola assuntos sobre os microrganismos que aumentem minhas habilidades ou meus conhecimentos” ($2,86 \pm 0,36$) e “23 - Eu gosto de estudar sobre os microrganismos” ($2,86 \pm 0,36$) e em terceiro lugar “20 - Eu faço minhas lições de casa sobre microrganismos mesmo que meus pais não me peçam” ($2,79 \pm 0,43$), sendo que o item 18 já havia pontuado mais alto nos momentos pré e pós aula teórica, além do item 20 ter pontuado bem antes das aulas teóricas. Já como motivação extrínseca citaram com maior pontuação o mesmo item citado nos 2 momentos anteriores “26 - Eu só estudo sobre os microrganismos porque quero tirar notas altas” ($2,21 \pm 0,70$). O item a seguir apareceu como um dos três melhor pontuados após as aulas teóricas “22 - Eu estudo nos assuntos relacionados aos microrganismos apenas aquilo que os professores avisam que vai cair na prova” ($2,00 \pm 0,68$) e o item a seguir tinha se destacado anteriormente antes das aulas teóricas “15 - Eu só estudo sobre os microrganismos para não me sair mal na escola” ($2,07 \pm 0,83$).

Para saber se a motivação intrínseca aumentou após as aulas teóricas e aulas práticas, foi feito o teste de ANOVA. Encontramos diferenças estatisticamente significativas (DES) entre as médias obtidas nos 3 momentos de avaliação, com $p = 0,007404$ (ANOVA), sendo que esse aumento com DES ocorreu somente após a aula prática investigativa ($p = 0,0025$). Isso foi observado comparando-se as médias de pontuações dos grupos pré-aulas teóricas com as médias dos grupos pós-aulas teóricas e pós-aulas práticas pelo teste t de Student, que é precedido pelo teste F de Fischer para saber se as variâncias dos grupos são iguais ou não. Para

saber se a motivação extrínseca dos estudantes alterou após as aulas teóricas e aulas práticas, foi feito o teste de ANOVA e não foram observadas diferenças estatisticamente significativas (DES), com $p = 0,055618$ (ANOVA). Os quadros com os detalhes das análises estatísticas relacionadas a motivação intrínseca e extrínseca dos grupos estão em Apêndice VII “Análises estatísticas realizadas na etapa de compostagem e biodigestão na escola” (pág. 192).

As análises estatísticas realizadas com os resultados dos estudantes mostram que a proposta didática foi positiva em vários aspectos para aumentar a motivação intrínseca para aprender Microbiologia.

Estes resultados são corroborados com Ribeiro *et al.* (2016) que em seu trabalho descreve que os estudantes gostam de comparecer e do ambiente escolar, sendo a maior motivação intrínseca o prazer pelo conhecimento, de aperfeiçoamento pessoal e o processo de socialização interpessoal. Concordando com essa afirmação, outro item que teve melhor média após as práticas investigativas foi “12 - Eu me esforço bastante nos trabalhos sobre os microrganismos em sala de aula, mesmo sabendo que não vai valer como nota” ($2,69 \pm 0,48$).

Com relação à percepção do mestrando sobre a motivação os estudantes *in loco*, estes mostraram-se entusiasmados e com grande interesse pela proposta. Antes das aulas teóricas e práticas os estudantes estavam preocupados, no que se refere aos itens de motivação extrínseca, com a relação com os pais e professores, sendo o rendimento escolar a maior preocupação entre essas. Depois das aulas práticas, ambos os grupos pontuaram acima da média na motivação intrínseca “31 - Eu fico interessado (a) sobre os microrganismos quando os professores começam um conteúdo novo sobre eles” ($2,64 \pm 0,63$). Este resultado é relevante, demonstrando o potencial motivacional do professor em sala de aula, ainda mais quando observamos que ao longo do processo, desde o início até depois das aulas práticas, a motivação extrínseca não mostrou alterações significativas. Esses dados são corroborados com Scheley *et al.* (2014) que observaram que conteúdos, atividades e recursos utilizados na metodologia docente são essenciais na motivação dos estudantes.

Sobre este aspecto Sasseron (2015) descreve que a participação dos estudantes a partir da proposta do professor supera a atividade burocrática em aprendizado, o que conseguimos perceber *in loco* na nossa atividade e observamos como resultado das avaliações motivacionais. Este resultado é corroborado com as observações de De Carvalho (2018):

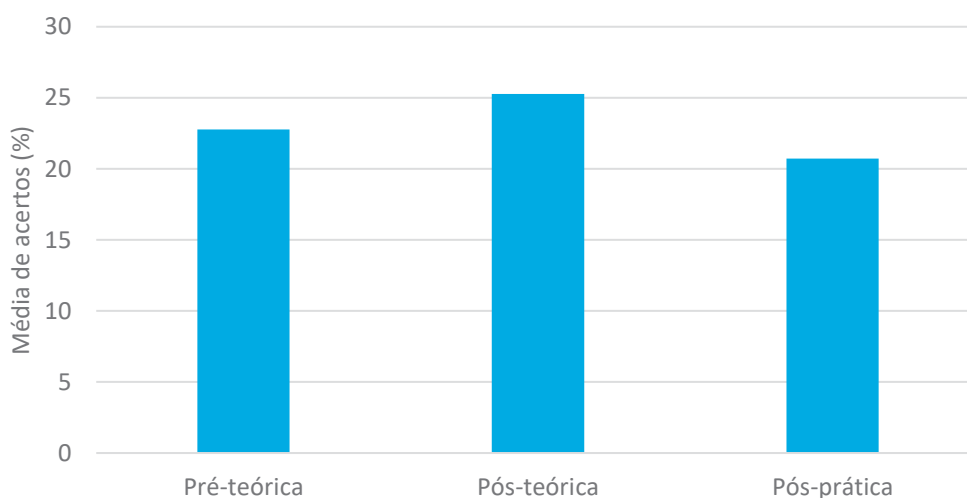
A interação professor/aluno, que é base para a liberdade intelectual do aluno, também não é facilitada para a maioria de nossos professores que, com poucas aulas por semana em cada turma e com grande número de estudantes por turma, têm poucas chances de conhecer cada um de seus alunos.

De Carvalho, 2018, página 789.

Mendes (2016) fala ainda que é papel do professor escolher a melhor estratégia didático-pedagógica de acordo com o perfil dos estudantes, que não há receita pronta e que essa sensibilidade docente é obtida com a experiência. Resende, Silva e Battirola (2021) a relevância da metodologia docente, pois mesmo que estudantes nunca tenham observado microrganismos ao microscópio, atividades práticas sobre o tema auxiliaram no processo de aprendizagem sobre microrganismos. Dantas e Ramalho (2020) reforça essa visão, que quando o docente se utiliza de metodologias inovadoras, tem papel crucial no processo de ensino de microbiologia. Complementando estas informações, Oliveira, *et al.* (2018) apontam como papel do docente como mediador da construção dos conhecimentos dos discentes, utilizando-se para esse fim uma visão interdisciplinar e a contextualização dos conteúdos.

Finalizando o processo a avaliação de conhecimentos para os estudantes a média foi de 4,1 acertos, com um desvio padrão de 1,1. Comparando-se o rendimento ao longo do processo temos a figura 53.

FIGURA 53 - Evolução da média de questões acertadas ao longo da sequência didática



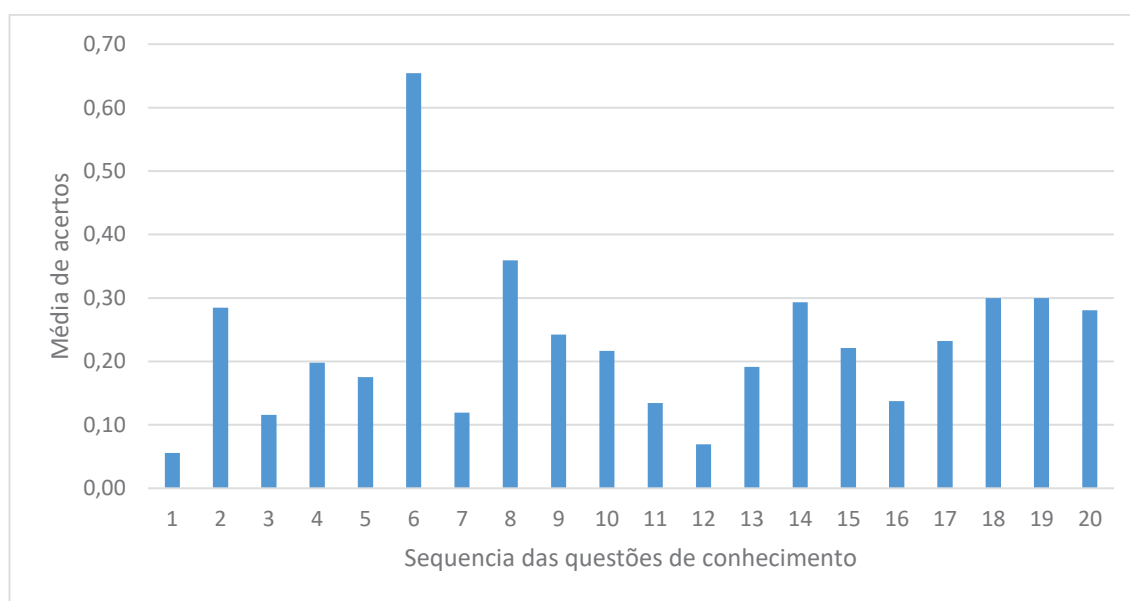
FONTE: o autor (2022).

Com intuito de verificar se houve diferença estatisticamente significativa (DES) entre as médias de acertos foi aplicada uma análise de variância (ANOVA). A análise foi feita com a média das notas dos estudantes nos 3 momentos de aplicação distintos e o resultado foi que não houve DES em relação às notas antes das teóricas, depois das teóricas e depois das práticas dentro de qualquer um dos grupos ($p = 0,203009023$).

Os resultados demonstrados na figura 54 mostram que a questão 6 (Apêndice V, p. 171) teve o maior percentual de acertos (65%). A questão 6 é uma questão curta e objetiva, sem

aspectos de interpretação e análise, onde é perguntado em duas linhas sobre o processo metabólico responsável pela formação de álcool combustível a partir do açúcar da cana e as respostas são apenas nomes de processos metabólicos. A menor média de acertos na questão número 1 (6%) onde era solicitado que os estudantes identificassem três representantes de seres vivos e nos domínios Archaea, Bacteria e Eukarya. Para analisar esses resultados utilizamos a taxonomia de Bloom. Essa taxonomia relaciona o crescimento educacional dos estudantes, onde pode-se entender o nível de compreensão dos discentes relacionado a um assunto em específico. Krathwohl (2002) cita que a premissa dessa classificação é que os estudantes realizam o processo de aprendizagem de forma contínua e hierárquica, percorrendo sucessivamente níveis de menor complexidade para níveis de maior complexidade, onde o estudante deve ter domínio do nível anterior para conseguir se apropriar do próximo nível (Figura 55).

FIGURA 54 – Médias de acertos dos estudantes nas aplicações pré-teóricas, pós-teóricas e pós-práticas com relação as questões de conhecimento



Notar maior taxa de acertos médios na questão número 6 e menor média de acertos na questão número 1.

FONTE: o autor (2022).

FIGURA 55 – Taxonomia de Bloom revisada



FONTE: Tauroco, L. (2020)

Disponível em: < <http://penta3.ufrgs.br/Flipped/oficina/Taxonomia%20de%20Bloom-apresentacao-resumo.pdf> >. Acesso em: 22 jul. 2022.

Analizando os resultados dos testes de conhecimento e as referidas questões pela taxonomia de Bloom, baseando-se na revisão de Krathwohl (*op. cit*), podemos dizer que o maior acerto dos estudantes foi devido a uma atividade de relembrar fatos citados no cotidiano (álcool combustível a partir do açúcar da cana) com um conhecimento científico inicial (processo de fermentação). Ressaltamos que relembrar está na base da taxonomia de Bloom revisada. Já a questão 1, que teve a menor média de acertos, envolvia a aplicação de fatos, ideias, regras e conceitos de sistemas de classificação dos seres vivos, que pela taxonomia de Bloom revisada está num terceiro nível hierárquico superior a apenas reconhecer fatos.

Era esperado que após as aulas experimentais, os estudantes tivessem se apropriado mais dos conteúdos específicos. Após a aula teórica houve um aumento de 2,5% de aprendizado (em valores absolutos, mas sem diferença estatisticamente significativa). Após as atividades práticas o rendimento dos estudantes voltou praticamente ao patamar inicial, o que não era esperado (ou, não avançou, pois não houve DES). Podemos interpretar este resultado devido à relação da carga horária (sexta aula) nos primeiros anos e a quantidade de atividades especificamente no dia em que fizemos a avaliação. Podemos inferir ainda que aumentar a quantidade de aulas, sem investir na qualidade das mesmas é prejudicial no desempenho estudantil que, aliado a grande quantidade de avaliações externas (Prova Paraná, Prova Brasil, Redação Paraná, Olimpíada de Matemática), poderia eventualmente sobrecarregar os alunos, como comentado por alguns deles. Ribeiro *et al.* (2016) citam como fatores de motivação extrínseca as avaliações internas ao ambiente escolar e externas. Os autores ainda descrevem apontamentos dos discentes com relação à gestão escolar e ao currículo como relevantes nesse

processo motivacional. Como o ano de 2022 foi o primeiro ano de aumento da sexta aula, os estudantes estão em período de adaptação com a nova carga horária, além disso, estamos voltando de um período de pandemia por COVID-19 e das aulas à distância, e essas aulas remotas foram, de acordo com relato dos estudantes, ineficientes, desestimulantes e muitos discentes não assistiam as aulas, apenas fizeram as atividades avaliativas, podendo esses fatores explicar, em parte, os resultados baixos de conhecimento que observamos. Outro fator que embasa esses argumentos é a quantidade de faltas dos discentes.

Um aspecto interessante e potencialmente relevante é que os estudantes faltaram com relativa frequência, então foi inviável no prazo estabelecido, fazer as avaliações de conhecimento e de motivação de forma homogênea com todos os 20 estudantes. Outro aspecto foi a transferência ou remanejamento de 22% ($n = 7$) dos estudantes desta turma em particular ao longo do trimestre, o que acarretou a diminuição dos participantes. Ao final do processo no grupo eram 18 indivíduos, sendo 12 do gênero feminino e 6 do gênero masculino. No dia 04/05/2022 foi realizado o teste motivacional e de conteúdos, na 5ª aula, onde excepcionalmente os estudantes terminaram rapidamente a avaliação e relataram cansaço devido terem realizado avaliações externas (Prova Paraná) no mesmo dia.

Observando aspectos como disciplina de interesse, metodologias, grupo de estudo, conteúdos específicos e formas didáticas, consideramos que nossa proposta está focada na disciplina de Biologia, para estudantes do ensino médio, com uma sequência didática (Apêndice VIII, p. 195) baseada no ensino investigativo, utilizando a decomposição da matéria orgânica como problema inicial, tendo como compostagem e biodigestão como instrumentos de ensino por investigação, avaliando a motivação discente, com materiais de baixo custo. Em especial, levando-se em consideração a avaliação da motivação para aprender, utilizando a escala de Marchiore e Alencar (2009) modificada para o Ensino de Microbiologia, nossa proposta possuiu caráter inédito. Esses aspectos todos juntos não foram encontrados em trabalhos similares, onde, por exemplo, o processo da biodigestão é tratado rotineiramente na disciplina de química. Cartaxo *et al.* (*op. cit.*), Oliveira *et al.* (*op. cit.*) e Reis *et al.* (*op. cit.*) correlacionam a interdisciplinaridade ao usar biodigestores como metodologia de ensino, por isso observamos a maior parte de trabalhos relacionados a biodigestores voltados ao ensino de Química (PEREIRA *et al.* 2022; PEREIRA *et al.*, 2014; NARDOTTO, 2021; SILVA, 2019; MACEDO, 2015; PAIXÃO, BATISTA, CRUZ, 2019; SILVA, BATINGA, 2018; NERI *et al.*, 2020). Quanto à metodologia, o método investigativo no ensino de biologia no Brasil ainda é incipiente (SANTANA *et al.*, *op. cit.*), por isso a representatividade ainda é baixa, esse fator quando aliado aos aspectos da nossa proposta de pesquisa, tornaria essa pesquisa relevante ao

cenário educativo no Brasil. A seguir temos uma síntese de trabalhos que analisamos como referências, comparando-as com nosso trabalho nos aspectos disciplina de interesse, metodologias, grupo de estudo, conteúdos específicos e formas didáticas.

Pereira *et al.* (2022) utilizaram biodigestores na forma de sequência didática para estudantes do segundo ano do ensino médio na disciplina de química. O biodigestor utilizado pelos autores era composto por canos de PVC. Com essa ferramenta pedagógica, foi percebido que os discentes tiveram postura reflexiva e questionadora. Pereira *et al.* (2014) com a formação de docentes da disciplina de Química, utilizaram a temática de biodigestão com intuito de abranger a reação de combustão, reação de decomposição, entalpia, cinética química e gases. Nardotto (2021) construiu uma sequência didática para a disciplina de Química no ensino médio, com enfoque na química verde. Para tanto utilizou como recipientes baldes de 20 litros como composteiras e garrafas PET como biodigestores. Silva (2019) elaborou uma sequência de ensino e aprendizagem, baseado na resolução de problemas e aspectos da teoria da assimilação das ações por etapas de Galperin, para ensinar licenciados em química sobre biogás. Construiu um biodigestor acoplado a uma câmara de pneu de bicicleta e os estudantes testaram a produção de biogás com diferentes compostos orgânicos. Silva (2015) utilizou biodigestores construídos com garrafas PET de 5 litros como modelo interdisciplinar entre Química, Biologia e Física, aplicado a estudantes do terceiro ano do ensino médio. O assunto de enfoque foi energia, permeado nos assuntos de Ecologia. Macedo (2015) utilizando biodigestores na disciplina de Química com estudantes do segundo ano do ensino médio, construiu uma sequência didática envolvendo as interfaces de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) como tema o biogás. Utilizando a pesquisa e ação, Paixão, Batista e Cruz (2019) utilizaram biodigestores de bombonas nas aulas de Química do ensino médio relacionando ciência, tecnologia e sociedade. Silva e Batinga (2018) elaboraram uma sequência didática sobre a temática biogás para a formação em licenciatura em química. Neri *et al.* (2020) utilizaram a metodologia investigativa numa sequência didática com estudantes do nono ano ensino fundamental com enfoque ao ensino de química.

Ressaltamos que para futuros trabalhos no mesmo escopo seria interessante que os próprios estudantes, de forma integrada com as disciplinas de química, física e matemática, pudessem realizar práticas investigativas de compostagem e biodigestão anaeróbia em que os mesmos pudessem realizar os cálculos de relação entre carbono e nitrogênio ideais para a decomposição e que fosse incentivado e estimulado o pensar nos estudantes na formação de hipóteses. Se essa proposta fosse utilizada pode-se chegar ao máximo de graus de liberdade

dados aos estudantes em atividades experimentais, fomentando além do ensino investigativo e da interdisciplinaridade, uma robusta alfabetização científica.

7. CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado podemos concluir que:

- a) A obtenção de produtos de uso didático a partir dessa proposta foi alcançada: um manual didático para implementar um laboratório vivo com a união de compostagem com biodigestão anaeróbia e uma sequência didática utilizando microrganismos e o processo de decomposição para ensino investigativo de biologia no ensino médio;
- b) O modelo de protótipo construído unindo compostagem e biodigestão anaeróbia para buscar soluções de baixo custo para a destinação de resíduos orgânicos da merenda escolar precisará ter sua eficiência avaliada em um momento posterior à defesa, pois retornadas as atividades presenciais, está instalado na escola e está recebendo os resíduos orgânicos; devido a dificuldades técnicas e temporais apresentadas no percurso do trabalho, a compostagem utilizando o protótipo não pôde ser evidenciada por medidas empíricas (como alteração de temperatura e pH) e análises químicas e físico-químicas não puderam ser realizadas; mais estudos são necessários para aperfeiçoar a integração destas duas tecnologias;
- c) Todas as etapas de construção do protótipo foram registradas por meio de fotografias e o manual de construção de composteira integrada a biodigestor anaeróbio foi redigido. Essas etapas são essenciais para comparações com futuros trabalhos e até mesmo o aperfeiçoamento de composteiras e/ou biodigestores anaeróbios para o descarte de resíduos orgânicos em pequenos espaços;
- d) Ter um laboratório vivo no ambiente escolar favorece a curiosidade, o ensino por investigação e a contextualização de diversos temas das disciplinas de ciências, biologia, química e física, sendo um terreno fértil para práticas interdisciplinares e de educação ambiental.
- e) Os dados de motivação intrínseca demonstraram a importância de políticas públicas voltadas a formação de professores, sua qualificação e valorização como investimento na motivação discente, mostrando aumento significativo estatisticamente após a realização de práticas investigativas em sala de aula. Essas afirmações são respaldadas pelo resultado estatístico da comparação (ANOVA) das médias de pontuações dos estudantes pré-aulas teóricas com as médias dos grupos pós-aulas teóricas e pós-aulas práticas, sendo observada diferença estatisticamente significativa (DES) entre as médias obtidas nos 3 momentos de avaliação, com $p = 0,007404$ (ANOVA), sendo que esse aumento com DES ocorreu somente após a aula prática investigativa ($p = 0,0025$).

- f) O ensino por investigação motiva os estudantes a quererem aprender mais, tirando um pouco do foco de aprender apenas na busca de notas em avaliações.
- g) Quanto à complexidade do conhecimento aprendido os estudantes conseguiram reconhecer e relembrar fatos, mas ainda faltariam etapas para a habilidade de combinar partes para criar um novo todo, fato esse percebido quando foram pontuadas as questões avaliativas de conhecimento e relacionados os resultados baixos com a taxonomia de Bloom revisada.
- h) Novas metodologias, como o ensino por investigação, são cruciais para alavancar a qualidade da educação brasileira, onde este nicho é um vasto campo para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2021. Disponível em: < abrelpe.org.br>. Acesso em: [06 de dez. 2021].
- AHN, H.K., MULBRY, W., WHITE, J.W., *et al.*, Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. **Bioresource Technology**, 2011, v. 102, pp. 2904–2909.
- ANDERSEN, J.K.; BOLDRIN, A.; CHRISTENSEN, T.H.; SCHEUTZ, C., Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. **Waste Management**, 2010a, v. 30, pp 2475–2482.
- ANDERSEN, J.K., BOLDRIN, A., CHRISTENSEN, T.H., *et al.* Quantification of greenhouse gas emission from windrow composting of garden waste. **Journal of environmental Quality**, 2010b, v 39, pp. 713 – 724.
- ANDERSEN, J.K., BOLDRIN, A., CHRISTENSEN, T.H., SCHEUTZ, C., Mass balance and life cycle inventory of home composting of organic waste. **Waste Management**. 2011, v. 31, pp. 1934 - 1943.
- ANDERSEN, J.K., BOLDRIN, A., CHRISTENSEN, T.H., *et al.* Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: An environmental assessment using life cycle assessment-modelling. **Waste Management**, 2012, v 32, pp. 31–40.
- APPELS, L., DEWIL, R., BAEYENS, J., & SEVILLE, J. Biogas purification and methane-enrichment using gas-membranes. In **U21 International Conference on Energy Technologies and Policy**. 2008, Birmingham-United Kingdom.
- APPELS L, LAUWERS J, GINS G, DEGRÈVE J, VAN IMPE J, DEWIL R. Parameter identification and modeling of the biochemical methane potential of waste activated sludge. **Environ Sci Technol**. 2011;45(9):4173-4178.
- AQUINO, A.M.; OLIVEIRA, A.G.; LOUREIRO, D.C. Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos. **Circular Técnica Embrapa Agrobiologia**. Seropédica: Embrapa, 2005. 4p.
- ALBUQUERQUE, G. G.; BRAGA, R. P. S.; GOMES, V. Conhecimento dos alunos sobre microrganismos e seu uso no cotidiano. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 58-68, 2012. Disponível em: <<http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/recm/article/view/1913/941>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- ALMEIDA, C.; TEIXEIRA, F.; SILVA, M. - Centro de demonstração de compostagem: educação para o tratamento de resíduos orgânicos in loco. In **Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente**, 7, Lisboa, Portugal, 6-7 novembro, 2003 - Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente: actas. [Lisboa: APEA, 2003]. 3p.

ALVARADO, A.; MONTAÑEZ-HERNÁNDEZ, L. E.; PALACIO-MOLINA, S. L.; OROPEZA-NAVARRO, R.; LUÉVANOS-ESCARÉÑO, M. P.; BALAGURUSAMY, N. Microbial trophic interactions and mcrA gene expression in monitoring of anaerobic digesters. **Frontiers in microbiology**, 2014. 5, 597.

ASSIS, A. K. T. Sobre os corpos flutuantes - tradução comentada de um texto de Arquimedes. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, p. 71, 1996.

BARBOSA, F. G.; OLIVEIRA, N. C. Estratégias para o Ensino de Microbiologia: uma Experiência com Alunos do Ensino Fundamental em uma Escola de Anápolis-GO. **Cient. Ciênc. Human. Educ.**, UNOPAR, v. 16 (1), p. 5-13, 2015.

BATISTA, J.G.F.; BATISTA, E.R.B. **Compostagem: Utilização de compostos em horticultura**. Universidade dos Açores - Centro de Investigação e Tecnologias Agrárias dos Açores, 2007.

BBC BRASIL O plano da NASA para transformar Marte em um planeta habitável. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-39164794>> Acesso em 22/07/2021.

BELLI FILHO, P. **Stockage et odeurs des déjections animales: cas du lisier de porc**. 1995. Tese de Doutorado. Rennes 1.

BERNARDI, G.; DOS SANTOS, M. S.; DE FREITAS A. L.; FERREIRA, S. A.; GOLDSCHMIDT, A. I. Concepções prévias dos alunos dos anos iniciais sobre microrganismos. **Revista Ciências & Ideias** (2019) ISSN: 2176-1477, 10(1), 55-69.

BORTONE, G. (2009). Integrated anaerobic/aerobic biological treatment for intensive swine production. **Bioresource Technology**, 100(22), 5424-5430.

BRAMBILLA, L.; MATSUSHITA, M.S. Técnicas de compostagem no ambiente escolar In: HAMERSCHMIDT, I.; OLIVEIRA, S. **Alimentação saudável e sustentabilidade ambiental nas escolas do Paraná**. Curitiba: Instituto Emater, 2014. p.173-196.

BRASIL, **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009**. MAPA, Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento. 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Biossegurança em laboratórios biomédicos e de microbiologia**. 3.ed. Brasília: MS, 2006. 290p. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/classificacaoderiscodosagentesbiologicos.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE)** Disponível em: <<https://www.fnde.gov.br/programas/pnae>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

BRINTON, W. F. Compost quality standards and guidelines. **Final Report by Woods End Research Laboratories for the New York State Association of Recyclers**, 2000.

BÜNEMANN, E.K.; BOSSIO, D.A; SMITHSON, P.C.; FROSSARD, E; OBERSON A. Microbial community composition and substrate use in a highly weathered soil as affected by crop rotation and P fertilization. **Soil Biol. Biochem**, 2004. v.36 p.889-901.

BZUNECK, J. A. A motivação do aluno: aspectos introdutórios. In: BORUCHOVITCH, E. BZUNECK, A. (Org.). **A motivação do aluno: contribuições da psicologia contemporânea**. Petrópolis: Vozes, 2004a, p. 09-36.

CAMPOS, S. X. DE, ZITTEL, R., CUNHA, K. M. DA, & COLARES, L. G. T. Home composting using facultative reactor. In D. F.-C. Mihai (Ed.), **Solid Waste Management in Rural Areas**, Intech: 2017. p. 103–121.

CÂNDIDO, M. S. C.; SANTOS, M. G.; AZEVEDO, T. M.; N. L. S. Microbiologia no ensino médio: analisando a realidade e sugerindo alternativas de ensino numa escola estadual paraibana. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 8 (1), p. 57-73, 2015. Disponível em: <<http://ensinosaudeambiente.uff.br/index.php/ensinosaudeambiente/article/view/351>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

CARNEIRO, M. R. P.; PESSOA, T. M. S. C.; DOS SANTOS, D. R.; MELO, C. R. Percepção dos alunos do ensino fundamental da rede pública de Aracaju sobre a relação da Microbiologia no cotidiano. **Scientia plena**, 2012, v. 8, n. 4 (a).

CARTAXO, A. D. S. B.; LEITE, V. D.; ALBUQUERQUE, M. V. C.; LOPES, W. S.; CARTAXO, M. A. A. Biodigestor caseiro como ferramenta metodológica para o ensino de educação ambiental nas escolas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 9(2), 214-230, 2020.

CARVALHO, S. T.; GUERRA, M. A. S. L. **Compostagem**. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/10_Compostagem_Cenibra.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2021.

CASSANTI, A. C.; CASSANTI, A. C.; ARAUJO, E. E. de; URSI, S. **Microbiologia democrática: estratégias de ensino-aprendizagem e formação de professores**. São Paulo: Colégio Dante Alighieri, 2008.

CASSINI, S. T. ; COELHO, S. T. ; PECORA, V. . Biogás- Biocombustíveis ANP. In: Carlos Augusto G. Perlingeiro. (Org.). **Biocombustíveis no Brasil - Fundamentos, Aplicações e Perspectivas**. C. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2014, v. 1, p. 136-167

CASTALDI, P.; ALBERTI, G.; MERELLA, R.; MELIS, P. Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. **Waste Management**, v. 25, p. 209-213, 2005.

CAVALEIRO, A. J. V.; ALVES, M. M. **Digestão anaeróbia**. 2020. Disponível em: <<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2020/009/>>. Acesso em: 18 fev. 2022.

CLIMATEMPO **Previsão do tempo para a cidade de Piraquara/PR**. Disponível em: <<https://www.climatepo.com.br>>. Acesso em: 05 jun. 2020.

CRAVEIRO, A. M.; LA IGLESIA, M. R. de; HIRATA, Y. S. **Manual de biodigestores rurais**. São Paulo: Ipt, 1982. p.61

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; ABREU, F. C. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto utilizando um grupo gerador de 18 kW. **5º Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, Brasília, 2006.

DA ROSA, A. W.; GIACOMELLI, A. C.; DA ROSA, A. B. A Terraformação de Marte como tema interdisciplinar para abordar conhecimento científico no ensino médio. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 9, p. 01-14, 2019.

DADONAS, M. A. **A horta em seu quintal**. Editora Ground Ltd., SP - 1989. 175p.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. **São Paulo: IPT/Cempre**, v. 2, 2000.

DANTAS, E.F.; RAMALHO, D. F. The use of different methodologies in the teaching of microbiology: A systematic literature review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e665986396, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.6396. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6396>. Acesso em: 27 jun. 2022.

DE CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 765-794, 2018.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. do C.J.P.; ROSSI, M. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, 2002, Campinas. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010069162010000500006&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 23 jul. 2020.

DEUBLEIN, D. & STEINHAUSER, A., **Biogas from Waste and Renewable Resources**. 2008. 2º ed. Weinheim, Germany. Disponível em <<https://onlinelibrary.wiley.com>>. Acesso em 18 de fevereiro 2022.

DIÁRIO DE SOROCABA Charge: Bactéria contra dengue Disponível em: <<https://www.diariodesorocaba.com.br/noticia/218142>>. Acesso em: 27 out. 2020.

DO NASCIMENTO-DIAS, B. L. Uma breve síntese dos aspectos biofísicos das bactérias magnetotáticas e sua relação com a astrobiologia através da terraformação. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e55921962-e55921962, 2020.

EPSTEIN, E. Industrial Composting: Environmental Engineering and Facilities **Management**. Taylor and Francis, 2011.

FAZENDA, A. I. L. A experiência da construção de vídeos no terceiro ano do Ensino Médio em biologia. 2015. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Educação. Curso de Especialização em Mídias na Educação. **LUME Repositório digital**. 53p. Encontrando em: < <http://hdl.handle.net/10183/134022> > Acesso em 14 de abril de 2022.

FDÉZ. - GUELFO, L., A., ÁLVAREZ – GALLEG0, C., SALES MÁRQUEZ, D., *et al.*, 2011, "The use of thermochemical and biological pretreatments to enhance organic matter hydrolysis and solubilization from organic fraction of municipal solid waste (OFMSW)". **Chemical Engineering Journal**, v. 168, pp. 249 - 254.

FRANCISCO JUNIOR, W.E. (2007). Bioquímica no ensino médio?! (De)Limitações a partir da análise de alguns livros didáticos de Química. *Ciência & Ensino*, 1 (2). Disponível em: <<http://www.ige.unicamp.br/ojs/index.php/cienciaeensino/article/viewPDFInterstitial/135/128>>. Acesso em 26/04/2021.

FREIRE, P. Educação "bancária" e educação libertadora. In **Pedagogia do oprimido**. Editora Paz e Terra: Rio de Janeiro, 1970. 184p.

GALBIATI, A. F. **O gerenciamento integrado de resíduos sólidos e a reciclagem**. Minas Gerais, jun. 2005. Disponível em: <<https://limpezapublica.com.br/textos/97.pdf>> Acesso em: 24 mar. 2020. Garg, P.,

GUPTA, A.,; SATYA, S. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. **Bioresource technology**, 2006. 97(3), 391-395.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor**: um estudo de caso na região de Toledo - PR. 2003.119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GIJZEN, H.J. Anaerobic digestion for sustainable development: a natural approach. **Water science technology**, 2002, v.45, pp. 321–328.

GIORDAN, M.; GUIMARÃES, Y.; MASSI, L. Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no Ensino de Ciências. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências e I Congresso Iberoamericano de Educação em Ciências, 2012, Campinas, SP. **Atas do VIII ENPEC - I CIEC**. Rio de Janeiro, RJ: ABRAPEC, 2012. v. 1. p. 1-12.

GITTI, V. L.; SOUZA, M. P.; DIAS, A. P. M., LACERDA, F. K.D. (2014). Aprendendo com os microrganismos: uma proposta prática. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v.7, n.1, 2014. Disponível em: <<http://revistaescola.abril.com.br/ciencias/pratica-pedagogica/comoensinar-microbiologia-426117.htm>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

GOMES, TC DE A.; SILVA, J. A. M.; DA SILVA, M. S. L. Preparo de composto orgânico na pequena propriedade rural. **Embrapa semiárido**: comunicado técnico (Infoteca-e), 2001. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/public_eletronica/downloads/INT53.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2020.

GONÇALVES, A. H. S.; NASCIMENTO-DIAS, B. L. Uma breve síntese sobre os conceitos de terraformação de marte e suas possibilidades. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**-ISSN 2675-6218, v. 2, n. 3, p. 51-56, 2021.

GREGÓRIO, M. Z. *et al.* Eficiência do EM e do Bokashi no controle da temperatura em processo de biotransformação de resíduos orgânicos e restos de poda de vegetais urbanos. In: ICTR 2004 – **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável**, Costão do Santinho, Florianópolis, SC, 3969-3976. 2004.

GUIMARÃES, S. E. R. Motivação intrínseca, extrínseca e o uso de recompensas em sala de aula. In: BORUCHOVITCH, E.; BZUNECK, A. (Org.). **A motivação do aluno: contribuições da psicologia contemporânea**. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 37-57.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. In: **Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências**, 8., 2011, Campinas. Atas... São Paulo: ABRAPEC, 2011. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viiienpec/resumos/R0875-2.pdf>. Acesso em: 27 out. 2020.

GREEN, J.M. & SIBISI, M.N.T., Domestic Biogas Digesters: A Comparative Study. In: **Proceedings of Domestic Use of Energy Conference**, Cape Town, South Africa: 2002. pp. 33–38.

HALL, D.O. & MOSS, P.A., Biomass for energy in developing countries. **Geojournal**, 1983, v.7, pp. 5–14.

HENRIQUES, L. R; KONING, I. F. M; DIAS, B. K. M; BAGNO, F. F; SANTOS, R. C. V; LEITE, J.P. V. Bioquímica nas escolas: uma estratégia educacional para o estudo de Ciência no Ensino Médio. **Revista ELO - Diálogos em Extensão**, v.5, n.3, dez. 2016.

HESS, S. **Educação Ambiental: nós no mundo**. Campo Grande: Ed. UFMS, 2002. 2ª ed. 192 p.

INÁCIO, C. T. & MILLER, P. R., **Compostagem, ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. 2009, 1 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos.

IPCC, 2021, *Sixth Assessment Report (AR6)*. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em 06 de dezembro de 2021.

IPT/CEMPRE, **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2000, 2a ed. São Paulo.

ISROFF, K.; SOLDATO, T. D. Students motivation in higher education context. In: BROWN, S.; ARMSTRONG, S.; THOMPSON, G. **Motivating students**. London: RoutledgeFalmer, 2004. p. 73-82.

IZUMI K., OKISHIO Y., NAGAO, N. *et al.*, Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 2010. v.64, pp. 601-608.

JACKEL U., THUMMES K., KAMPFER P., Thermophilic methane production and oxidation in compost. **FEMS Microbiol. Ecolgy**, 2005, v. 52, pp. 175-184.

JIANG T., SCHUCHARDT F., LI G., *et al.* Effect of C/N rate and moisture conten on ammonia and greenhouse gas emission during the compost. **Journal of Environmental Sciences**, 2011, v. 23, n.10, pp. 1754 – 1760.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica “Ceres”, 1985. 492p.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. E.J. Kiehl, Piracicaba, 2012. 162p. 6ª ed.

KIMURA, A. H. *et al.* Microbiologia para o ensino médio e técnico: contribuição da extensão ao ensino e aplicação da ciência. **Revista Conexão**, v. 9 (2), p. 254-267, 2013. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/conexao/article/view/5516/3664>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

KELLEHER, B. P., LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances poultry litter disposal technology – a review. **Bioresource Technology**. v. 83, p. 27-36, 2002. Disponível em: <<http://josiah.berkeley.edu/2007Fall/ER200N/PolicyMemo/AdvancesInPoultryLitterDisposalTechnology.pdf>> Acesso em: 14 abr. 2020.

KRAEMER, T.; GAMBLE, S. Integrating anaerobic digestion with composting. **BioCycle**, v. 55, n. 10, p. 32, 2014.

KRATHWOHL, D. R. (2002) “A revision of bloom's taxonomy: an overview”, In: **Theory into Practice**, n. 41, v. 4, p. 212-218.

KRETZER, S.G.; NAGAOKA, A.K.; MOREIRA, T.Z.; BAUER, F.C.; PINTO, J.G.C.P. Educação ambiental em gestão de resíduos e uso de biodigestor em escola pública de Florianópolis. **Extensio: R. Eletr. de Extensão: Florianópolis**, v. 12, n. 19, p.2-15, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/extensio/article/view/1807-0221.2015v12n19p2>> Acesso em: 14 abr. 2020.

LE PERA, A.; SELLARO, M.; BENCIVENNI, E.; D'AMICO, F. Environmental sustainability of an integrate anaerobic digestion-composting treatment of food waste: Analysis of an Italian plant in the circular bioeconomy strategy. **Waste Management**, 2022. 139, 341-351.

LI, G.Z.; NIU, S.W.; LIANG, Y.H., Estimate on the Ecological and Economic Benefits of Rural Household Biogas Construction Project in Loess Hilly Region, China.” In: **Proceedings of International Conference on Wireless Communications: Networking and Mobile Computing**, 2007, pp. 5075–5078.

LI, G.Z., NIU, S.W., MA, L. *et al.*, Assessment of environmental and economic costs of rural household energy consumption in loess hilly region, Gansu province, China. **Renewable Energy**, 2009, v.34, pp. 1438–1444.

LI Y.; STEPHEN, PARK Y. & ZHU J., Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2011. v.15, pp. 821–826

LI, Y.; MANANDHAR, A.; LI, G.; SHAH, A. Life cycle assessment of integrated solid state anaerobic digestion and composting for on-farm organic residues treatment. **Waste Management**, 76, 294-305, 2018.

LIMA, D. B.; GARCIA, R. N. Uma investigação sobre a importância das aulas práticas de Biologia no Ensino Médio. **Cadernos de Aplicação**, v. 24 (1), 2011. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/CadernosdoAplicacao/article/view/22262>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

LIMA JR., G. S. L. **Estratégias de compostagem como pré-tratamento de resíduos sólidos orgânicos**. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 198 p, 2015.

MACEDO, F.L. Abordando as relações CTS no ensino médio a partir do tema biogás. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC Águas de Lindóia**, SP. 2015 7p.

MACHADO, S. M. DE, RICARDO, J., SUGAI, J. K., SANTOS, M., BONORINO, R., & ANTÔNIO, R. V. Bioquímica através da animação. **Revista Eletrônica de Extensão**, UFSC. Santa Catarina, 1, 1–10, 2004.

MAH, R. A.; WARD, D. M., BARESI, L.; GLASS, T. L. Biogenesis of methane. **Annual Reviews in Microbiology**, v. 31, n. 1, p. 309-341, 1977.

MATA-ALVAREZ, J. **Fundamentals of the anaerobic digestion process. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes**, p. 1-20, 2003.

MAO, C.; FENG, Y.; WANG, X.; REN, G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 540-555, 2015.

MAUNOIR, S.; SABIL, N.; RAMBAUD, A.; PHILIP, H., & COLETTI-PREVIERO, M. A. Role of insoluble enzymes in anaerobic wastewater treatment and enzyme-bioactivator interactions. **Environmental Technology**, v. 12, n. 4, p. 313-323, 1991.

MARCHIORE, L.W.O.A. e ALENCAR, E.M.L.S. Motivação para aprender em alunos do Ensino Médio. **ETD – Educação Temática Digital**, v.10, p.105-123, 2009.

MARTÍNEZ-BLANCO J., COLÓN, J., GABARRELL, X. *et al.*, The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. **Waste Management**, 2010, v. 30, pp. 983–994.

MAYR, E. **Biologia, Ciência Única**: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica. Tradução de M. Leite. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MÁXIMO, Karina Alves. **Inoculação de microrganismos como aceleradores no processo de compostagem de resíduos sólidos agroindustriais**. Mestrado Profissional em Sustentabilidade em Tecnologia Ambiental, p. 160-160, 2018.

MÉHEUT, M. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In: BOERSMA, K. *et al.* (Ed.). **Research and the quality of science education**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 195-207.

MENDES, A. C. **A importância do ensino de Microbiologia na formação dos alunos de nível fundamental e médio: revisão de literatura.** 2016. 32 f. TCC (Especialização em Microbiologia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Biociências, Cuiabá, 2016.

MILLER, F.C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors In: Meeting, F.B. **Soil Microb. Ecol.**, 1992. v.18, p.515-543.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências.** 7: 283-306 p. 2002.OVIGLI, D. F. B.; SILVA, E. B. Microrganismos? Sim, na saúde e na doença! Aproximando universidade e escola pública. In: **Anais do Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia**, UTFPR, v.1, 2007, p. 396-416, 2009.

MME Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético Nacional 2020:** relatório síntese. Rio de Janeiro, 2020. 73p.

NARDOTTO, R.S. **Química verde:** uma proposta de sequência didática com atividades práticas. Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Cornélio Procopio, Programa de pós-graduação em ensino mestrado profissional em ensino, Cornélio Procopio, Paraná. 2021.

NERI, E. S.; MARQUES, F. C.; SOUZA, T. D. S. D. Sequência didática sistematizada nos três momentos pedagógicos para o ensino de ciências com articulação na nova base nacional comum curricular. **Revista Prática Docente (RPD).** 2020. 20 p. Disponível em: <<http://periodicos.cfs.ifmt.edu.br:443/periodicos/index.php/rpd/article/view/855>>. Acesso em: 31/07/2022

NETO, E.D.D.; ALVARENGA, L.H.; COSTA, L. DE M.; NASCIMENTO, P.H.; SILVEIRA, R.Z. E LEITE, L.H. DE M. Implementação e avaliação de um biodigestor de produção descontínua. **Revista eletrônica E-xacta**, 2010. vol. 3, n. 2, p. 36-43.

NEVES, E. R. C.; BORUCHOVITCH, E. Escala de avaliação da motivação para aprender para alunos do ensino fundamental. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 406-413, 2007.

NEVES, L. C. M. D.; CONVERTI, A.; PENNA, T. C. V. Biogas production: new trends for alternative energy sources in rural and urban zones. **Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology**, v. 32, n. 8, p. 1147-1153, 2009.

NOVAES, W., *et al.* **Agenda 21 Brasileira:** Bases para discussão. Brasília: MMA/PNUD, 2000 196p.

NOGUEIRA, L. A. **Horta:** A alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986. 93p

OLIVEIRA, P. A. V. Produção e aproveitamento do biogás. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual de boas práticas**, Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, 2004. Cap. 4, p. 42-55.

OLIVEIRA, A.M.G.; AQUINO, A.M.; CASTRO NETO, M.T. **Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico.** Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2005. 6 p.

OLIVEIRA, A. C. V.; SILVA, A. de S.; MOREIRA, I. T. A. Economia circular: conceitos e contribuições na gestão de resíduos urbanos. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 3, n. 44, 2020.

OLIVEIRA, H. G.; ANTONELLO, R.; FIDÉLIS, A. J.; RINALDI, B. J. Energia, Sociedade e Meio Ambiente no Desenvolvimento de Um Biodigestor: a Interdisciplinaridade e a Tecnologia Arduino para Atividades Investigativas. **Química Nova Escola**, São Paulo-SP, 40(3), 144-152, 2018.

OPURUM, C. C. (2021). Kinetic Study on Biogas Production from Cabbage (Brassica oleracea) Waste and Its Blend with Animal Manure Using Logistic Function Model. **Journal of Advances in Microbiology**, 21(1), 34-43. <https://doi.org/10.9734/jamb/2021/v21i130317>

OVIGLI, D. F. B.; SILVA, E. B. Microrganismos? Sim, na saúde e na doença! Aproximando universidade e escola pública. In: **Anais do Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia**, UTFPR, v.1, 2007, p. 396-416, 2009.

PAIXÃO, V. V. M.; BATISTA, C. H.; CRUZ, M. C. P. Construção de um biodigestor na escola: um estudo de caso fundamentado numa perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). **Química Nova na Escola**. v. 41, n. 4, p.351-359, 2019.

PARANÁ. Governo do Estado do Paraná. Secretaria da Educação. **Alimentação escolar**. Disponível em:

<<http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=196>> Acesso em: 15 dezembro 2021.

PARANÁ. Governo do Estado do Paraná. Secretaria da Educação. **Escola Mario B T Braga, C E Prof-Ef M**. Disponível em: < <http://www.consultaescolas.pr.gov.br/consultaescolas-java/pages/paginas/ensinoEscola/consultasEnsino.jsf?windowId=7d1>> Acesso em: 12 fevereiro 2022.

PASCHOAL, A.D. **Produção orgânica de alimentos: agricultura sustentável para os séculos XX e XXI**. Piracicaba, SP (Brasil). 1994. 191 p.

PENTEADO, S.R. **Adubação na agricultura agroecológica**: calcula e recomendação numa abordagem simplificada. Campinas - São Paulo: Editora livros via orgânica, 2019. 3ªed. 184 páginas.

PEREIRA, A.S., PEREIRA, T. O.; CORREA, W. A.; NETO, A. C. A utilização de um microbiodigestor como recurso didático no ensino de química. **Revista Insignare Scientiaris**, 2022. 5(1), 525-540.

PEREIRA, T. O.; PEREIRA, A. S.; GONÇALVES, J.E. A formação inicial docente e a elaboração de uma sequência didática por meio do tema biodigestão. **Anais do I Encontro dos grupos de pesquisa do GT 8 ANPED Centro-Oeste da UEMS - EPEX e o Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFGD - ENEPE**. 2014.

PINTO, U. M.; LANDGRAF, M.; FRANCO, B. D. G. M. Deterioração microbiana dos alimentos. **JOSÉ JFBS & ABRANCHES MVI. Microbiologia e higiene de alimentos: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Rubio, p. 33-54, 2019.

PROSAB, Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás. **Programa de Pesquisa e saneamento básico**, 2003, nº3, FINEP, Vitória – ES.

REECE, J. B. *et al.* **Biologia de Campbell**. Tradução Anne D. Villela *et al.* 10. ed., Porto Alegre: Artmed, 2015. 1488p.

REIS A.L.Q.; FIGUEIREDO, G. J. A.; SANTOS, M. L. B.; SANTOS, S. R. B. Uso de um digestor anaeróbio construído com materiais alternativos para contextualização do ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, p. 265-267, 2009.

RESENDE, T. R. P. S.; SILVA, L. C.; BATTIROLA, L. D. A Microbiologia no ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias: a percepção dos estudantes do Ensino Médio sobre as bactérias e suas interações com o cotidiano. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 12, n. 6, p. 1-19, 29 dez. 2021.

RIBEIRO, M. E. M.; PRASNISKI, M. E. T.; GALLON, M. DA S.; SANTOS, B. S. Ocorrência de motivação intrínseca e extrínseca na escola. **Revista Thema**, 13(2), 54–67, 2016.

RICCI, M. S.; NEVES, M. C.; NANNETTI, A. N.; MOREIRA, C. F.; MENEZES, E. L.; SILVA, E.; CAIXETA, I. F.; ARAÚJO, J. B.; LEAL, M. A.; FERNANDES, M. C.; ALMEIDA, P. S.; PEDINI, S. Relações C:N de diferentes resíduos, 2006.

RODRIGUES, B. A.; BORGES, A. T. O ensino de Ciências por investigação: reconstrução histórica. In: encontro de pesquisa em ensino de física, 2008, Curitiba, PR. **Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2008. Disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/comunicacao/femcitec_ensinodeciencia06.pdf> Acesso em: 05 maio 2020.

RODRIGUES, M.S.; SILVA F.C. DA.; BARREIRA, L.P.; KOVACS, A. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: Spadotto, C.A.;Ribeiro, W. **Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria**. FEPAF: Botucatu, 2006. p. 63-94.

RUIZ, V. M. A motivação para a alfabetização segundo a visão de professoras. **Educação: Revista Pedagógica**, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, n. 1, p. 19-26, 2003.

SAGULA, A.L. **Biodigestão anaeróbia de cama de frango em co-biodigestão com caldo de cana-de-açúcar**. 2012. 69p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

SANTANA, A. J.; ARAÚJO MOTA, M.; LORENZETTI, L. Ensino por investigação no ensino de biologia: uma revisão sistemática dos eventos ENEBIO e ENPEC. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 5, n. 1, 22 fev. 2022.

SANTANA, A. J. S.; ARAÚJO MOTA, M. D. Natureza da Biologia, ensino por investigação e alfabetização científica: uma revisão sistemática. **Revista Educar Mais**, 2022. 6, 450–466.

SANTOS, D. F.; PRUDÊNCIO, C. A. V. O uso de sequências didáticas no ensino sobre microrganismos: uma revisão da literatura em periódicos e eventos nacionais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 3, 2020.

SANTOS, HELAINE MARIA NAVES DOS. **Educação ambiental por meio da compostagem de resíduos sólidos orgânicos em escolas públicas de Araguari**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 17, p. 49-67, 2015.

SCARPA, D.L.; CAMPOS, N.F. Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação **Estudos avançados** v.32 n.94, 2018. p.25-41

SCHLEY, T. R.; SILVA, C. R. P.; CAMPOS, L. M. L. A motivação para aprender Biologia: o que revelam alunos do ensino médio. **Revista de Ensino de Biologia da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, v. 7, p. 4965-4974, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/135430>>. Acesso em 14 de abril de 2022.

SILVA, A. C. **A Visão dos alunos sobre fungos: estudo das percepções e conhecimentos de fungos por estudantes concluintes do ensino médio**. 2019. 129 f. Dissertação de mestrado. Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas- UNIFESP. São Paulo, 2019.

SILVA, E. C. DA. Mapas conceituais: propostas de aprendizagem e avaliação. **Administração: Ensino e Pesquisa**, 2015. 16(4), 785-815. Disponível em: <<https://doi.org/10.13058/raep.2015.v16n4.385>> Acesso em: 13/02/2022

SILVA, T.A.R. E INTORNE, A. C. Compostagem como prática interdisciplinar no ensino médio. V CONEDU – **Congresso Nacional de Educação**. 2018.

SILVA, L; BATINGA, V. T. S. Análise da estruturação de uma sequência didática sobre “biogás: uma energia renovável”. **Anais V CONEDU**. Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/46287>>. Acesso em: 31/07/2022.

SILVA, L.C.S. **Resolução de problemas na licenciatura em química: análise de uma sequência didática sobre biogás a partir da teoria da assimilação das ações por etapas de Galperin**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de pós-graduação em ensino das ciências, Recife – Pernambuco, 2019. 159 p.

SILVA, W.T.L.; KUROKI, V.; ALMEIDA, L.F.; NOVAES, A.P. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbico para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. São Paulo: **Química Nova**, 2012. v.32 n.1 p. 25-40.

SILVA, Z. R. **O ensino de ecologia mediado pelo conceito unificador energia: o biodigestor enquanto modelo didático para uma abordagem interdisciplinar**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 132 p.

SOUSA, Á. O papel da distribuição normal na Estatística. **Correio dos Açores**, p. 14-14, 2019. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10400.3/5363>> Acesso em: 18/07/2022

SOUZA, C. de F. **Produção de biogás e tratamento de resíduos: Biodigestão anaeróbia. Ação Ambiental**, Viçosa, n. 34, p.26-29, nov./dez. 2005.

TAPIA, J. A. Motivação e aprendizagem no ensino médio. In: COLL, C. (Org.). **Psicologia da aprendizagem no ensino médio**. Porto Alegre: Artmed, 2003, p. 103-140.

TAPIA, J. A.; FITA, E. C. **A motivação em sala de aula: o que é, como se faz**. 6. ed. São Paulo, SP: Edições Loyola, 2004.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H. & VIGIL, S., **Gestion integral dos resíduos sólidos**. 1993. 1º ed., Madri, McGraw-Hill.

TEIXEIRA, L.B. *et al.* **Processo de compostagem, a partir de lixo orgânico urbano, em leira estática com ventilação natural**. Belém: Embrapa, 2004, 8 p. (Circular Técnica, 33).

TIQUIA, S. M. Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig on litter system. In: **Proceedings of the International Composting Symposium, CBA Press Inc. Truro, NS**. 2000. p. 625-647. 147

TIQUIA, S. M. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. **Chemosphere**, Department of Natural Sciences, University of Michigan, Dearborn, MI 48128, USA, v. 79, n. 5, p. 506-512, 2010.

TRAUTMANN, N. M.; KRASNY, M. E. **Composting in the classroom: scientific inquiry for high school students**. Cornell University, 1997. Disponível em: < <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/3338/?sequence=1>>. Acesso em 28 jan. 2022.

TRIVELATO, S. L. F.; TONIDANDEL, S. M. R. Ensino por investigação: eixos organizadores para sequências de ensino de biologia. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 17, p. 97-114, 2015.

USCOUNCIL, **Home Composting: Recycling In Your Own Backyard**. 1999. Disponível em <<http://compostingcouncil.org>>. Acesso em 18 de fev. 2021.

USEPA. **Air emissions from municipal solid waste landfills** – Background information for proposed standards and guidelines. United States Environmental Protection Agency. 1991. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9100AEYT.PDF?Dockey=9100AEYT.PDF>>. Acesso em: 29 jan. 2022

_____, 2003, **A Laboratory Study to Investigate Gaseous Emissions and Solids Decomposition During Composting of Municipal Solid Wastes**. United States Environmental Protection Agency. 600/R-03-004, Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r03004.html>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR., B. DE S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P. DE O.; LOPES, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arch. Zootec.**, v.58 (R), p. 59-85, 2009.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment**. Jhon wiley & sons, London, England, 1994.

YASER, A. Z.; LAMAMING, J.; SUALI, E.; RAJIN, M.; SAALAH, S.; KAMIN, Z.; SAFIE, N. N.; AJI, N. A. S.; WID, N. Composting and Anaerobic Digestion of Food Waste and Sewage Sludge for Campus Sustainability: A Review. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2022, 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION **Global Water Supply and Sanitation Assessment** Geneva: report, 2000

WORLD HEALTH ORGANIZATION **Global Water Supply and Sanitation Assessment** Geneva: report, 2019

WORLD HEALTH ORGANIZATION **Household air pollution and health** Geneva, 2021. Disponível em: < <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>> Acesso em: 06 dez. 2021.

ZAGO, M **Campo e produção**: relação de C/N para compostagem. 2021 Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=MlINZfKCcQs>> e < <https://drive.google.com/file/d/1c-o0RyRdrb-HeQDE15foPSuCHRFfycr0/view>>. Acesso em: 08 fev. 2022

APÊNDICE I - PROPOSTA DE ATIVIDADE INVESTIGATIVA PARA O TEMA 1

Orientador: Lucy Ono

Mestrando: Alecksey Walewski

Tópico escolhido: Tópico 2 – Vírus, procariotos e eucariotos, possíveis posições na árvore da vida

Título: Conhecendo melhor os microrganismos – proposta de sequência didática para o Ensino Médio.

1) **Objetivo:**

Esta proposta de sequência didática tem o intuito de promover a reflexão pelos estudantes sobre a relevância dos microrganismos, sua diversidade, importância e usos, frente à percepção frequentemente relatada de que todos ou a maioria dos microrganismos seriam danosos aos humanos. Para tanto serão explorados os recursos de debates, pesquisa bibliográfica, preparo e apresentação de seminário.

2) **Conteúdo:**

Serão abordados conceitos biológicos chaves sobre:

- Características básicas dos domínios Bacteria, Archaea, Eukarya;
- Diversidade biológica;
- Interações ecológicas;
- Adaptações sofridas pelos microrganismos.

3) **Justificativa:**

Segundo Barbosa e Oliveira (2015) e Cassanti *et al.* (2008), falar de Microbiologia traz uma associação negativa entre os estudantes, principalmente relacionada a doenças. Ovigli e Silva (2009) citam ainda que muitas relações benéficas dos microrganismos como funções ecológicas essenciais ou os benefícios para a saúde humana ficam mascaradas por esta visão dos discentes. A dificuldade do ensino de Microbiologia é ainda potencializada frente à falta de infraestrutura, materiais e equipamentos (KIMURA *et al.* 2013). Segundo Cândido *et al.* (2015) o educador pode alterar este ponto de vista dos estudantes, demonstrando o lado benéfico dos microrganismos. Esta afirmação é corroborada por Lima e Garcia (2011) que demonstraram

aumento do interesse dos educandos em estudos com microrganismos após terem aulas práticas e investigativas. Possuir um objeto de estudo científico é de grande valia no processo de pesquisa e aprendizagem dos estudantes (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012), e no caso da proposta deste trabalho, o estímulo à resolução de questões investigativas serão uma valiosa ferramenta de ensino-aprendizagem, especialmente voltada à quebra de paradigmas por parte dos discentes no aprendizado de Microbiologia. A sequência didática utilizada segue a engenharia didática utilizada por Giordan (*et al.* 2012), consistindo em 5 etapas: uma análise preliminar, uma concepção de hipóteses e análise a priori, aplicação da sequência didática (teste das hipóteses), análise a posteriori das hipóteses e validação. A contextualização do conhecimento é defendida por Guimaraes e Guiordan (2011), Méheut (2005) reforça a justificação à priori e a aplicação empírica a posteriori. A validação de todas as etapas, sendo reforçada a relevância de uma abordagem comunicativa articulada com o desenvolvimento do conteúdo (MORTIMER; SCOTT, 2002).

4) **Público-alvo:** Alunos do Ensino Médio – 2º ano

5) **Tempo de duração previsto:** Quatro aulas com 50 minutos de duração.

Observação: não foi realizada aplicação direta da proposta apresentada em sala de aula no ano de 2020 devido ao distanciamento social necessário face à pandemia de COVID-19 e à baixa adesão de estudantes da rede pública de ensino às aulas online nesse momento.

6) **Desenvolvimento:**

Na primeira aula os estudantes serão divididos em grupos, com cada grupo contemplando uma atividade investigativa (debate, pesquisa bibliográfica, preparo de seminário e apresentação) que envolva um conceito-chave da proposta, que são descritos no item 2. As atividades propostas girarão em torno da questão problematizadora: “Há mais microrganismos que fazem bem ou mal ao ser humano?” Espera-se que ao final da sequência didática, os estudantes sejam capazes de responder e justificar o problema apresentado e aumentar sua motivação para o aprendizado da Microbiologia. Antes de lançar a etapa para a formulação de debates, o professor deve contextualizar o assunto e ver o conhecimento prévio dos discentes,

para atingir este efeito será apresentada a seguinte charge para estimular os estudantes sobre o tema.



Fonte: Diário de Sorocaba, 2011

Será pedido a opinião dos estudantes sobre a charge apresentada e depois das primeiras considerações, os estudantes serão estimulados a formular ideias sobre, para tanto o professor mediando pode utilizar as seguintes questões:

- O que vêm à cabeça de vocês quando se fala em bactérias?
- Ter bactérias na nossa pele é bom? E dentro do nosso organismo?
- Quando se falam em bactérias, protozoários e fungos, há algum grupo que você ache pior ou melhor no convívio com seres humanos? Justifique sua resposta.

Os estudantes podem elaborar as mais variadas hipóteses para responder à pergunta problematizadora “Há mais microrganismos que fazem bem ou mal ao ser humano?”, e várias justificativas e argumentos poderão ser levantados para embasar o posicionamento dos estudantes quanto à resposta que acreditem ser a verdadeira. As dúvidas que surgirão ao tentarem defender seu ponto de vista devem prioritariamente ser levantadas pelos próprios

estudantes. Dependendo da participação dos discentes, eles podem começar a formular suas próprias hipóteses ou o professor pode contextualizar o assunto, dando uma sugestão de hipótese aos grupos. Se este último for o caso, os estudantes podem escolher as propostas de hipóteses listadas abaixo ou podem ser sorteadas.

- Há mais micróbios na Terra ou estrelas no universo?
- Temos mais células no nosso organismo que bactérias ou maior quantidade de bactérias que células?
- O parto normal (que expõe o bebê a bactérias presentes no canal do parto) traz mais ou menos benefícios à saúde desses bebês em relação a bebês que nascem por procedimento cirúrgico?
- Há relação entre obesidade e microbiota intestinal?
- Os alimentos Kefir e Kombucha melhoram a diversidade da microbiota intestinal ou quando ingerimos estes e outros alimentos, os ácidos estomacais matam todos os microrganismos que ingerimos?
- Há alimentos que melhoram a diversidade da microbiota intestinal?
- Você já ouviu falar sobre transplante de fezes?

Na segunda aula, será reservado para pesquisa. Alguns tópicos podem ser pesquisados no livro didático, entretanto como muitas escolas possuem laboratório de informática, este espaço será reservado e proposto em uma aula a busca de respostas as perguntas/hipóteses levantadas. Um aspecto interessante e cooperativo é que os grupos poderiam se ajudar em responder as hipóteses levantadas. O professor pode deixar claro no começo da aula que a construção do conhecimento é coletiva e grupos podem cooperar entre si. Assim quando um grupo achar alguma informação interessante, relativa à hipótese de outro grupo, esta informação deve ser compartilhada. Esta cooperação deve ser estimulada pelo professor.

A seguir são apresentados endereços de sites que poderiam ser indicados aos estudantes nessa pesquisa:

https://web.icmc.usp.br/SCAPINST/clipping/20170516-Ciencia_Hoje-Conversa_sobre_bacterias_regada_a_cerveja.pdf

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322006000100002&lng=pt

<https://www.comciencia.br/de-bandidos-mocinhos-os-microrganismos-que-impactam->

[positivamente-saude/](#)

<https://saude.abril.com.br/alimentacao/probioticos-ajudam-a-combater-9-problemas-serios-de-saude/>

<https://www.bbc.com/portuguese/geral-43716220>

<https://www.selecoes.com.br/saude/5-bacterias-que-fazem-bem-ou-quase/>

<https://www.terra.com.br/vida-e-estilo/saude/nutricao/probioticos-conheca-as-bacterias-que-fazem-bem-ao-organismo,8f181b9aa3f27310VgnCLD100000bbcceb0aRCRD.html>

<https://www.tuasaude.com/prebioticos/>

<http://www.humanasaude.com.br/noticias/bacterias-sao-fundamentais-para-equilibrio-do-corpo,17158>

http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/bacterias_placentarias_poderiam_moldar_a_saude_humana.html

<http://veja.abril.com.br/noticia/saude/a-cura-pelas-bacterias>

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgGqEAK/fatores-virulencia-toxinas>

http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/arquivos/Aulas/Microbiota_residente.pdf

Na terceira aula, com base no material pesquisado, os grupos de estudantes teriam um espaço disponível para uma breve apresentação das informações levantadas (10 minutos no máximo). Para este fim, pode ser confeccionada uma apresentação em PowerPoint, com imagens e informações que os estudantes encontraram para resolver a hipótese levantada.

Na quarta aula, o enfoque seria a contextualização, ligação e troca de informações a partir de um debate de ideias. Com todos os estudantes da sala, a intenção é que em conjunto cheguem a uma resposta para a questão problematizadora inicial “Há mais microrganismos que fazem bem ou mal ao ser humano?”. No final, com base no método investigativo e com

pesquisas, seminário e debates, os estudantes poderiam chegar a uma resposta próxima como: “Há alguns microrganismos que provocam doenças ao ser humano. Entretanto há muito mais que ajudam a equilibrar nosso organismo, prevenir contra doenças, sem que os quais não conseguiríamos viver de forma saudável. Pensar que todos microrganismos fazem mal é uma injustiça, pois apenas uma pequena parcela de espécies nos é maléfica, comparada com a maioria imensa maioria que traz inúmeros benefícios.”

7) **Reflexão:**

Com a atual proposta o ensino por investigação é colocado em aplicação onde os estudantes tem a possibilidade de construir seu conhecimento de forma colaborativa e de forma investigativa. Indícios, evidências científicas e o próprio método científico são utilizados na formação do saber pelos discentes para entrar em conflito com paradigmas comumente aceitos de que microrganismos são maléficos. Tal suposição é posta em xeque, onde muitas ações benéficas de seres microscópicos são direcionadas, propiciando investigações a partir da questão problematizadora inicial, de questões norteadoras e principalmente na fase de geração de hipóteses. Nesta premissa o professor é mediador do conhecimento, balizando os saberes e auxiliando os estudantes em suas dificuldades, não fornecendo respostas prontas, mas incentivando o espírito crítico e investigativo. Sendo assim, tal proposta fomenta uma educação de excelência, mas também propicia a implementação real do ensino de biologia pela metodologia investigativa (SCARPA; CAMPOS, 2018).

O ensino por investigação é uma perspectiva de ensino, uma técnica pedagógica e didática que favorece a autonomia, a descoberta e o senso crítico, em contraposição ao ensino de ciências dogmático e/ou reprodutor de experiências, favorecendo a alfabetização científica e preceitos de fomento de uma sociedade mais democrática (RODRIGUES; BORGUES, 2008; SCARPA; CAMPOS, 2018). A educação por investigação pode ser definida por:

...estratégias didáticas que buscam envolver ativamente os alunos em sua aprendizagem, por meio da geração de questões e problemas nos quais a investigação é condição para resolvê-los, com coleta, análise e interpretação de dados que levem a formulação e comunicação de conclusões baseadas em evidências e reflexão sobre o processo (MELVILLE *et al.*, 2008 apud SCARPA; CAMPOS, 2018, pg.30)

A aplicação desta proposta vai de encontro com os preceitos acima e segue uma metodologia pedagógica de ensino por investigação, onde seria estimulada a comunicação e a reflexão por parte dos estudantes, a problemática do mundo microscópico seria posta como objeto de conhecimento permitindo o surgimento de conceitos, fomentando uma cultura científica escolar, sendo o educador mediador na integração entre os estudantes e o saber (SCARPA; CAMPOS, op. cit.).

A atual proposta é a porta de entrada para conhecimentos mais específicos e aprofundados acerca do mundo microscópico, incentivando os estudantes a pesquisar mais e querer aprender em detalhes do que eles não estão acostumados em ver. Assim questões referentes da homeostase e saúde humana são inferidas, a partir de conhecimentos de anatomia, morfologia, fisiologia, imunologia, ecologia e evolução que podem ser levantadas a partir das hipóteses levantadas pelos estudantes.

Mais do que uma mera iniciação do estudo das diversas ciências microscópicas, esta proposta propicia um olhar mais atento dos estudantes no que eles não podem observar de fato, mas que com o arcabouço propiciado pelo saber científico pode ser observado, hipotizado e até testado pelas jovens mentes. Sendo assim, esta proposta extrapola o conhecimento dos seres microscópicos e efeitos biológicos que não podem ser observados a olho nu, para uma devida promoção da ciência, tornando os estudantes protagonistas na construção do seu próprio saber.

APÊNDICE II - PROPOSTA DE ATIVIDADE INVESTIGATIVA PARA O TEMA 2

Orientador: Prof. Jaime Paba Martínez

Tópico escolhido: Tópico 1: água, pH e biomoléculas

Título: pH, biomoléculas e compostagem – proposta de sequência didática para o Ensino Médio.

1) Objetivo:

- Valorizar a compostagem como forma sustentável de destinação de resíduos orgânicos residenciais.
- Entender a relevância de microrganismos no processo de decomposição da matéria orgânica.
- Perceber as mudanças e influências do pH, umidade, temperatura, relação carbono e nitrogênio no processo de compostagem.

2) Conteúdo:

- pH, umidade, temperatura e biomoléculas;
- Compostagem;
- Microbiologia;

3) Justificativa:

Os resíduos orgânicos humanos são um problema social, econômico e ambiental (VALENTE, 2009). Tais resíduos acabam contaminando reservas de água como rios, lagos, aquíferos e lençóis freáticos. Este fato é problemático e de grande magnitude considerando que 2,2 bilhões de pessoas (28% da população mundial) não têm acesso a água potável, e que 4,2 bilhões (54%) carecem de tratamento de esgoto (WHO, 2019).

Segundo GALBIATI (2005), a retirada de compostos orgânicos dos resíduos sólidos residenciais pode reduzir em até 50% os resíduos destinados aos aterros sanitários, já que os resíduos sólidos domésticos são compostos por 65% de resíduos orgânicos, 25% papel, 4% metal, 3% plástico e 3% vidro. ALMEIDA *et al.* (2003) cita que a correta disposição dos resíduos e a valorização dos compostos orgânicos é potencializada com métodos de educação ambiental, entre eles, a compostagem.

Utilizar a compostagem como método de educação ambiental apresenta uma ferramenta eficaz e de grande receptividade pelo público (SANTOS, 2007). Silva e Intorne (2018) citam a aplicabilidade da compostagem como ferramenta interdisciplinar, ressaltando a possibilidade de interação das disciplinas de Biologia, Física, Química e Matemática. Entretanto, o estudo de conceitos que entrelaçam química e biologia é frequentemente tido como árduo por alunos e professores. De acordo com FRANCISCO JÚNIOR (2007) este fato se deve em parte pelas limitações dos recursos didáticos do ensino médio.

A Bioquímica usa bastante a abstração e a imaginação para descrever os fenômenos que acontecem em nível molecular, e é difícil representar seus fenômenos somente com o auxílio dos instrumentos mais amplamente usados no cotidiano escolar, o quadro-negro e o retroprojektor. (MACHADO *et al.*, 2010).

Entretanto, aplicando modelos de ensino-aprendizagem de forma lúdica e problematizando a realidade com o uso de tecnologias é possível aumentar o interesse dos estudantes (HENRIQUES *et al.*, 2016). Nesta proposta, apresentamos um modelo pedagógico que alia ensino de bioquímica, microbiologia e educação ambiental.

- 4) **Público-alvo:** Alunos do Ensino Médio – 3º ano
- 5) **Tempo de duração previsto:** Três aulas com 50 minutos de duração.
- 6) **Desenvolvimento:**

Para que o ensino por investigação aconteça, o processo deve seguir as premissas da metodologia científica. O primeiro aspecto do pensamento científico é a percepção de um problema ou a presença de um fenômeno a ser observado e explicado. Para tanto os estudantes serão estimulados a refletir sobre a questão do lixo orgânico, sobre o processo de compostagem, os microrganismos responsáveis e como fatores abióticos, em especial nesta proposta o pH, a temperatura e a umidade, interagem com o processo de compostagem. Ao final desta etapa, será solicitado que os alunos elaborem hipóteses testáveis para explicar a mudança de fatores ao longo do processo de compostagem.

No primeiro dia de aula os estudantes serão divididos em grupos para assistir alguns

vídeos e responder questões norteadoras (tabelas 1-4) com o intuito de subsidiar e contextualizar o tema, direcionando para a questão problematizadora. Ao final serão aproximadamente 20 minutos para visualização dos vídeos, 10 minutos para responder as questões e 20 minutos finais para construção de hipóteses e experimentos. Como sugestão o professor pode apresentar a problemática inicial sobre a relação de lixo urbano e chorume, separação de orgânicos, compostagem e fatores que atuam na biodigestão aeróbia, para tanto pode utilizar os seguintes vídeos e questões instigadoras.

TABELA 1- CONTAMINAÇÃO DO CHORUME DE ATERROS SANITÁRIOS

LINK:	https://globoplay.globo.com/v/8625042/ (5:00)
QUESTÕES	Qual a diferença entre esgoto e chorume?
	No lixo, qual a principal origem do chorume?
	Que impactos ambientais a destinação inadequada do chorume pode ocasionar?

TABELA 2- SEPARAÇÃO DE ORGÂNICOS E COMPOSTAGEM

LINK:	https://globoplay.globo.com/v/2550509/ (2:43)
QUESTÕES	Como o lixo orgânico é transformado em adubo?
	De que formas a correta destinação de resíduos orgânicos provenientes do lixo podem ter retorno positivo para a economia, o meio ambiente e a saúde humana?
	Na reportagem é ilustrado que o acréscimo de enzimas acelera o processo de compostagem. Normalmente este processo ocorre de forma natural. Na compostagem sem intervenções humanas, de onde vem as enzimas que decompõem a matéria orgânica?
	Cite os principais responsáveis pelo processo de decomposição natural em uma composteira.

TABELA 3- FATORES FÍSICO-QUÍMICOS ESSENCIAIS PARA A COMPOSTAGEM

LINK:	https://www.youtube.com/watch?v=TK0xQWGXAs4 (7:13)
QUESTÕES	Como a relação de substâncias químicas compostas por carbono e nitrogênio influenciam no processo de compostagem?
	De onde vem a energia que aumenta a temperatura do composto?

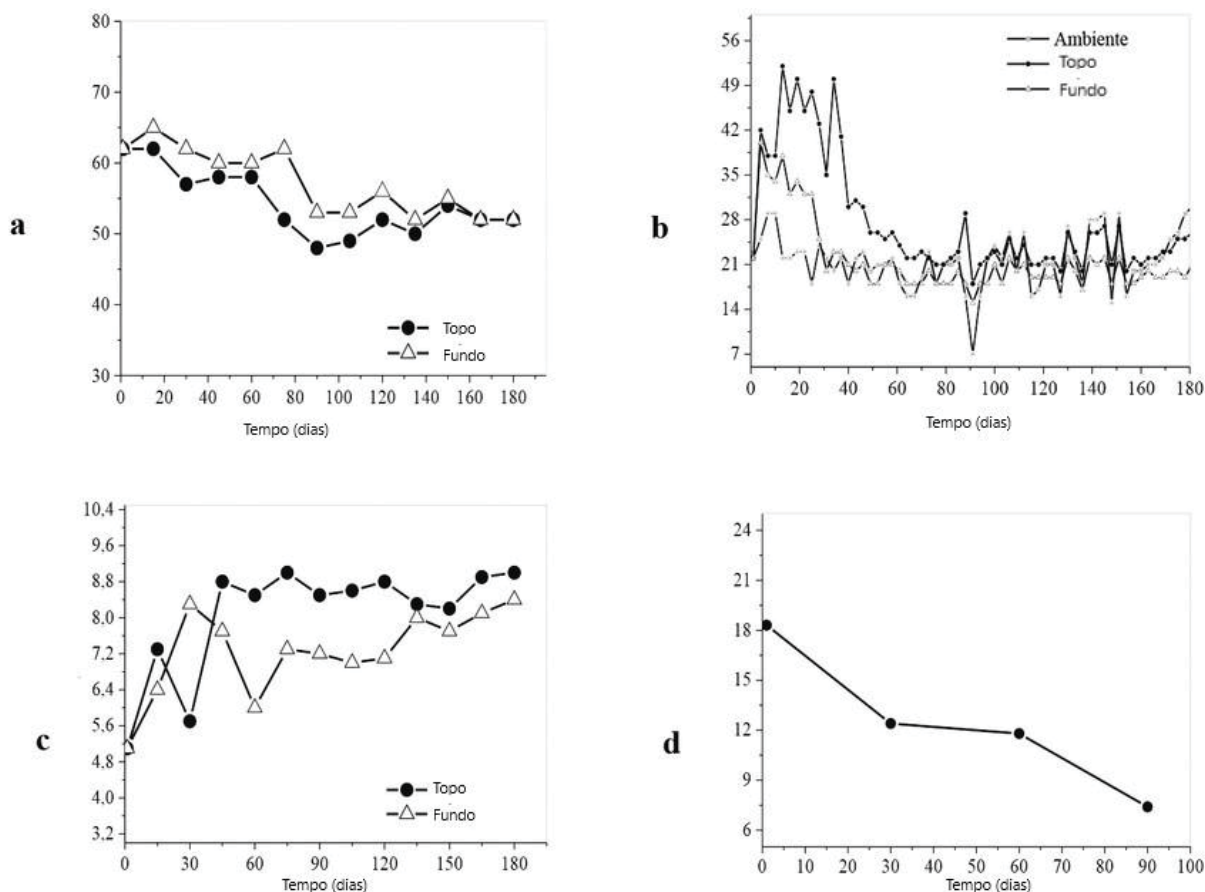
	Qual a função da umidade na matéria orgânica em decomposição?
--	---

TABELA 4 - COMPOSTAGEM COM CÍTRICOS E PH

LINK:	https://www.youtube.com/watch?v=kOLlGg5snTg (5:28)
QUESTÕES	Como a acidificação pode interferir no processo de compostagem?
	É muito comum utilizar especificamente o esterco bovino na compostagem. Porque isso é feito?
	No vídeo apresentado há citação de um estudo científico que trabalhou com compostagem de podas de árvores, esterco bovino e cascas de laranjas, há também citação de outro estudo, realizada a compostagem apenas com cítricos. Ao final do processo de compostagem foi apontado que o pH resultante é básico. Por que e como muda o pH ao longo do processo de compostagem? Isto ocorre com diferentes compostos orgânicos?

Nos vídeos foram abordados fatores relevantes no processo de compostagem como pH, relação de carbono e nitrogênio, temperatura, umidade, aeração e microrganismos. As questões têm intuito de para orientar os estudantes para conteúdos essenciais e com esta base solidificada, será apresentado um problema a ser solucionado de modo investigativo pelos estudantes.

Na segunda aula o problema central será apresentado em forma de gráficos de variáveis relacionadas a compostagem. Os gráficos a, b, c e d estão relacionados a umidade, temperatura, pH e relação carbono e nitrogênio, respectivamente. A partir dos gráficos apresentados será solicitado que os discentes escolham para cada variável o gráfico que melhor representa seu comportamento durante o processo de compostagem e justificar a sua escolha.



FONTE: Campos *et al.* (2017)

Na terceira aula serão reservados 20 minutos para pesquisa, verificando as hipóteses e justificativas realizadas na aula anterior, seja pelo uso do livro texto ou consulta na web. Este momento também tem o objetivo de permitir aos discentes corrigir ou tornar mais robustos seus argumentos na justificativa do problema em questão. O professor será mediador, auxiliando os estudantes em suas dúvidas e dificuldades.

A seguir (tabela 5) são apresentados endereços de sites que poderiam ser indicados aos estudantes nessa pesquisa:

ASSUNTO	LINK
Como fazer a compostagem	https://www.youtube.com/watch?v=oVwhPelQ3ls
Sobre compostagem	https://www.youtube.com/watch?v=Hg742fMqJIY
Exemplo prático de compostagem	https://www.youtube.com/watch?v=OybgNSOr5TE
Erros ao se fazer a compostagem	https://www.youtube.com/watch?v=QhSIImK1gCFY

Apesar do enfoque dos vídeos a seguir serem para o solo, podemos adaptar de invés do solo usar a mesma ideia e metodologia para o composto orgânico de composteiras

ASSUNTO	LINK
O que é pH	https://www.youtube.com/watch?v=IwHmoHfWj60
Como medir o pH	https://www.youtube.com/watch?v=b3fzRvflahk
Como identificar o pH de forma simples	https://www.youtube.com/watch?v=8xUMn0xfBk4

É sugerida a leitura de um texto que relaciona pH e o processo de compostagem, o link para tal referência encontra-se nos anexos.

Ainda na terceira aula, com formato de seminário, os grupos de estudantes teriam um espaço disponível para uma breve apresentação oral das informações levantadas com base no material pesquisado (15 minutos no máximo). Nos 15 minutos finais da aula o enfoque seria a contextualização, ligação e troca de informações a partir de um debate de ideias. Com todos os estudantes, a intenção é que em conjunto cheguem a uma única resposta para quais gráficos representam cada uma das variáveis. Para organização do conhecimento estudado, os conteúdos e assuntos essenciais serão organizados, individualmente, na forma de mapa conceitual.

7) **Resolução:**

Com base nos vídeos e pesquisas propostas, as respostas dos estudantes devem ser similares com as descritas a seguir.

O gráfico **a** representa as variações de umidade ao longo do tempo. Este fato pode ser comprovado pela compostagem ocorrer inicialmente em valores de umidade próximos de 60%. A medida que é utilizada água em processos metabólicos, perdida pelo aumento de temperatura e transpiração, estes valores caem até o patamar próximo a 50%, onde a água disponível aos microrganismos fica carente, interferindo nos processos metabólicos.

O gráfico **b** mostra as variações de temperatura, discriminando a parte superior e inferior de um recipiente em que ocorre o processo de compostagem. A comparação e valores com dados ambientais favorecem a percepção deste gráfico como a variação da temperatura ao longo do tempo. Com as informações prestadas nos vídeos, observa-se valores no gráfico chegando perto dos 55, em condições ditas termofílicas

O gráfico **c** mostra as oscilações de pH ao longo do processo de compostagem. Inicia-se de forma ácida e a medida que compostos são metabolizados, encerra-se o processo em pH básico, como citado nos vídeos iniciais. As oscilações refletem a complexa mudança de microrganismos que vão se desenvolvendo em diferentes condições físico-químicas do meio

do composto ao longo do tempo.

O gráfico **d** demonstra as mudanças da relação de biomoléculas ricas em carbono e nitrogênio. Inicialmente está numa relação de 18:1, próxima do esterco bovino e ao passar do tempo, o carbono é utilizado e é eliminado na forma de gás carbônico. O nitrogênio disponível é transformado em massa microbiana. Quando a relação chega entre 6-9:1 a disponibilidade de carbono e nitrogênio é tão baixa que praticamente entram em equilíbrio as atividades microbianas, metabolizando a maioria dos compostos orgânicos disponíveis.

8) **Formas de avaliação:**

Para avaliar os conteúdos abordados será solicitado aos estudantes que façam, individualmente, um mapa conceitual acerca do trabalho.

Outro aspecto a ser avaliado, com uma conversa informal, é a motivação dos estudantes.

9) **Reflexão:**

A atual proposta não pôde ser aplicada em sala de aula no ano de 2021 devido ao distanciamento social necessário face à pandemia de COVID-19 e à baixa adesão de estudantes da rede pública de ensino às aulas online de Biologia no período noturno. Desta forma, tecemos a seguinte reflexão sobre a importância desta proposta de aplicação nas aulas de Biologia.

Com a atual proposta de ensino por investigação é sugerida uma sequência didática onde o estudante tem a possibilidade de construir seu conhecimento de forma colaborativa e de forma investigativa. Índícios, evidências científicas e o próprio método científico são utilizados na formação do saber pelos discentes para entrar no mundo bioquímico. A partir do problema e das questões norteadoras se espera uma etapa propícia para a geração de hipóteses. Nesta premissa o professor é mediador do conhecimento, balizando os saberes e auxiliando os estudantes em suas dificuldades, não fornecendo respostas prontas, mas incentivando o espírito crítico. Sendo assim, esse tipo de abordagem fomenta uma educação de excelência, mas também propicia a implementação real do ensino de biologia pela metodologia investigativa (SCARPA; CAMPOS, 2018).

O ensino por investigação é uma perspectiva de ensino, uma técnica pedagógica e didática que favorece a autonomia, a descoberta e o senso crítico, em contraposição ao ensino de ciências dogmático e/ou reprodutor de experiências, favorecendo a alfabetização científica

e preceitos de fomento de uma sociedade mais democrática (RODRIGUES E BORGUES, 2008; SCARPA; CAMPOS, 2018). A educação por investigação pode ser definida por:

...estratégias didáticas que buscam envolver ativamente os alunos em sua aprendizagem, por meio da geração de questões e problemas nos quais a investigação é condição para resolvê-los, com coleta, análise e interpretação de dados que levem a formulação e comunicação de conclusões baseadas em evidências e reflexão sobre o processo (MELVILLE *et al.*, 2008 apud SCARPA; CAMPOS, 2018, pg.30)

A aplicação desta proposta vai de encontro com os preceitos acima e segue uma metodologia pedagógica onde seria estimulada a comunicação e a reflexão por parte dos estudantes. (SCARPA; CAMPOS, op. cit.).

Para a aplicação desta proposta os discentes devem possuir alguns conhecimentos prévios para participar de forma mais frutífera, como noções de metabolismo, ciclos biogeoquímicos, características e grupos de seres vivos, composição química dos seres vivos e noções de microbiologia.

Mais do que uma mera iniciação no estudo da microbiologia e afins, esta proposta propicia um olhar mais atento dos estudantes no que eles não podem observar de fato, mas que com o arcabouço propiciado pelo saber científico pode ser observado, hipotetizado e até verificado pelas jovens mentes. Sendo assim, esta proposta extrapola o conhecimento de bioquímica e efeitos biológicos que não podem ser observados a olho nu, para uma devida promoção da ciência, tornando os estudantes protagonistas na construção do seu próprio saber.

Já sobre a forma de avaliação, segundo SILVA (2015) quando o conhecimento é organizado e representado de forma gráfica, damos o nome de mapa conceitual. Esta metodologia pode ser utilizada como uma proposta de aprendizagem, não de ensino. Como método avaliativo é uma quebra de paradigma com modelos de avaliação atualmente utilizados, fomentando a aprendizagem significativa. Para avaliar o mapa conceitual construído individualmente pelos estudantes não seriam avaliados os conceitos isoladamente, mas sim a ligação dos conceitos circunvizinhos. Sobre a motivação dos estudantes, de acordo com BZUNECK (2004a), TAPIA e FITA (2004) e RUIZ (2003), a motivação é um fator considerado uma associação de variantes que iniciam o comportamento de investigação, seleção e assiduidade do comportamento, essencial para o processo de aprendizagem. A motivação pode ser intrínseca, quando o estudante é muito curioso, interessado, atencioso, concentrado e persistente no desempenho das mais variadas atividades e extrínseca, quando o estudante busca demonstrar suas potencialidades, almejando aprovação familiar e social (GUIMARÃES, 2001).

Na construção desta proposta, houve vários percalços transcorridos. O tempo foi curto, mas foi possível realizar 4 versões de propostas de sequencias didáticas investigativas e amplo debate e

esclarecimentos até chegar na proposta atual. O problema inicial, de forma clara em que os estudantes pudessem contextualizar com sua realidade e formular hipóteses, foi um desafio. Inicialmente foi proposto uma charge referente a problemática do lixo, mas dificilmente os alunos iriam, mesmo com perguntas norteadoras, chegar à proposta inicial de relacionar compostagem com mudanças de pH. Com discussões frutíferas com o prof. Jaime Paba, foi-se tecendo um problema comum: o lixo, os resíduos, a compostagem e seus fatores, para esquematizar um problema claro. Outro aspecto problemático foi as prováveis hipóteses que os estudantes poderiam fornecer. Este aspecto foi solucionado de forma elegante com a proposta do prof. Jaime de gráficos descrevendo as variáveis do processo de compostagem. Outra dificuldade, já apontada pelo prof. Jaime em trabalhos nas disciplinas ao longo do curso de mestrado ProfBio, mas que ainda não estava esclarecida eram os objetivos. Nas três versões foram colocadas metas propostas e não objetivos bem delineados a serem atingidos, o que na última versão se mostrou satisfatória.

APÊNDICE III - PROPOSTA DE ATIVIDADE INVESTIGATIVA PARA O TEMA 3

Orientadora: Profa. Dra. Patricia do Rocio Dalzoto

Tópico escolhido: Tópico 2: A diversidade e a evolução dos vírus e dos organismos unicelulares.

Título: Processo de terraformação utilizando microrganismos – proposta de sequência didática para o Ensino Médio.

1) Objetivos:

- Elaborar uma atividade investigativa envolvendo microrganismos, ciclos biogeoquímicos e fatores essenciais para a vida, direcionado para estudantes do 3 ano do ensino médio;
- Relacionar a ação de microrganismos com os ciclos biogeoquímicos e mudanças globais;
- Perceber as mudanças e influencias de fatores abióticos como umidade, temperatura e pressão na atividade de microrganismos, com noções de limites e pontos ótimos.

2) Conteúdo:

- Fatores bióticos e abióticos necessários para a vida;
- Ciclos biogeoquímicos;
- Microbiologia.

3) Justificativa:

O processo de terraformação de Marte não é inviável, mesmo com muitas barreiras a serem superadas, há etapas essenciais e bem estudadas para realizar este feito (GONÇALVES, 2021). Do Nascimento-Dias (2020) cita que o processo de terraformação, é alvo de estudo da astrobiologia, e que diversos microrganismos estão sendo estudados para tal fim, entre eles muitos procariontes. Utilizar o processo de terraformação de Marte é uma forma excelente de fomentar uma atividade interdisciplinar instigante, sendo de interesse por parte dos estudantes

de ensino médio (DA ROSA *et al.*, 2019). Silva e Intorne (2018) citam as metodologias diversificadas como ferramentas interdisciplinares, ressaltando a possibilidade de interação das disciplinas de Biologia, Física, Química e Matemática. Entretanto, o estudo de conceitos que entrelaçam química e biologia é frequentemente tido como árduo por alunos e professores. De acordo com Francisco Júnior (2007) este fato se deve em parte pelas limitações dos recursos didáticos do ensino médio.

A Bioquímica usa bastante a abstração e a imaginação para descrever os fenômenos que acontecem em nível molecular, e é difícil representar seus fenômenos somente com o auxílio dos instrumentos mais amplamente usados no cotidiano escolar, o quadro-negro e o retroprojektor. (MACHADO *et al.*, 2010).

Entretanto, aplicando modelos de ensino-aprendizagem de forma lúdica e problematizando a realidade com o uso de tecnologias é possível aumentar o interesse dos estudantes (HENRIQUES *et al.*, 2016). Nesta proposta, apresentamos um modelo pedagógico que alia ensino de ciclos biogeoquímicos, microbiologia e fatores relacionados a vida.

- 4) **Público-alvo:** Alunos do Ensino Médio – 3º ano
- 5) **Tempo de duração previsto:** Três aulas com 50 minutos de duração.
- 6) **Desenvolvimento:**

Para que o ensino por investigação aconteça, o processo deve seguir as premissas da metodologia científica. O primeiro aspecto do pensamento científico é a percepção de um problema ou a presença de um fenômeno a ser observado e explicado. Com esta intenção os estudantes serão estimulados a refletir “Seres microscópicos podem provocar mudanças em todo o planeta?”.

Para estimular a discussão e apresentar o tema, os estudantes serão convidados a ler uma breve reportagem sobre o assunto, intitulada de “O plano da NASA para transformar Marte em um planeta habitável” encontrado em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-39164794>. Esta reportagem estará apresentando dando subsídios para os estudantes se aprofundarem sobre o assunto e gerar diversos questionamentos.

Para fomentar e concretizar esta reflexão, será proposta uma metodologia investigativa utilizando gamificação, utilizando, para este fim, o jogo TerraGenesis, desenvolvido pela Edgeworks Entertainment. Este jogo foi escolhido por incluir microrganismos em sua temática e a relação entre fatores abióticos e ciclos biogeoquímicos, além da participação de entidades de peso como a NASA e SpaceX.

Depois da breve leitura da reportagem sugerida (5 minutos), será solicitado para os estudantes explorarem o jogo livremente, por aproximadamente 10 minutos. Após a inclusão inicial, serão propostas as questões problematizadoras e norteadoras (Quadro 1), para serem respondidas em grupos, sem consulta, com intuito de avaliar o conhecimento prévio dos discentes.

QUADRO 1- PROPOSTA DE QUESTÕES NORTEADORAS E PROBLEMATIZADORAS

QUESTÕES	Como os microrganismos estão relacionados com o equilíbrio de toda a vida no planeta Terra?
	De que forma microrganismos poderiam ser utilizados no processo de Terraformação?
	Quais ciclos biogeoquímicos são retratados no jogo?
	Que ciclos biogeoquímicos não demonstrados no game, mas que são essenciais para a vida na Terra? Descreva cada um deles.
	Por que há limites de temperatura, pressão, oxigênio e água para a vida se manter?
	Quais os valores ótimos de temperatura, pressão, oxigênio e água para a vida se manter?

Como estas questões serão respondidas sem consulta, ao final desta etapa, os alunos terão formulado hipóteses testáveis para explicar as questões iniciais.

No primeiro dia de aula os estudantes serão divididos em grupos para começar a compreender o jogo e responder questões norteadoras com o intuito de subsidiar e contextualizar o tema. Ao final, serão 5 minutos para leitura da reportagem, aproximadamente 10 minutos para apreciação do jogo, 20 minutos para responder as questões e 5 minutos para propor um problema a ser solucionado de modo investigativo. Com a manipulação lúdica de fatores abióticos e bióticos relacionados à vida (Figura 1), propiciados pela gamificação, o aprendizado torna-se mais eficiente e atrativo.

Figura 1 – ABA DO JOGO MOSTRANDO A SITUAÇÃO DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS RELACIONADOS A TERRAFORMAÇÃO E PONTOS ÓTIMOS.



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

As questões têm intuito de orientar os estudantes para conteúdos essenciais. Com esta base solidificada, será apresentado um problema a ser solucionado de modo investigativo pelos estudantes.

Nos cinco minutos finais da primeira aula, o professor solicitará aos estudantes que tentem transformar o planeta Marte, utilizando diversos recursos tecnológicos e biotecnológicos teóricos (Figura 2), anotando os procedimentos realizados, ficando esta tarefa para ser realizada em casa, pois o jogo demanda tempo para os que os processos ocorrerem.

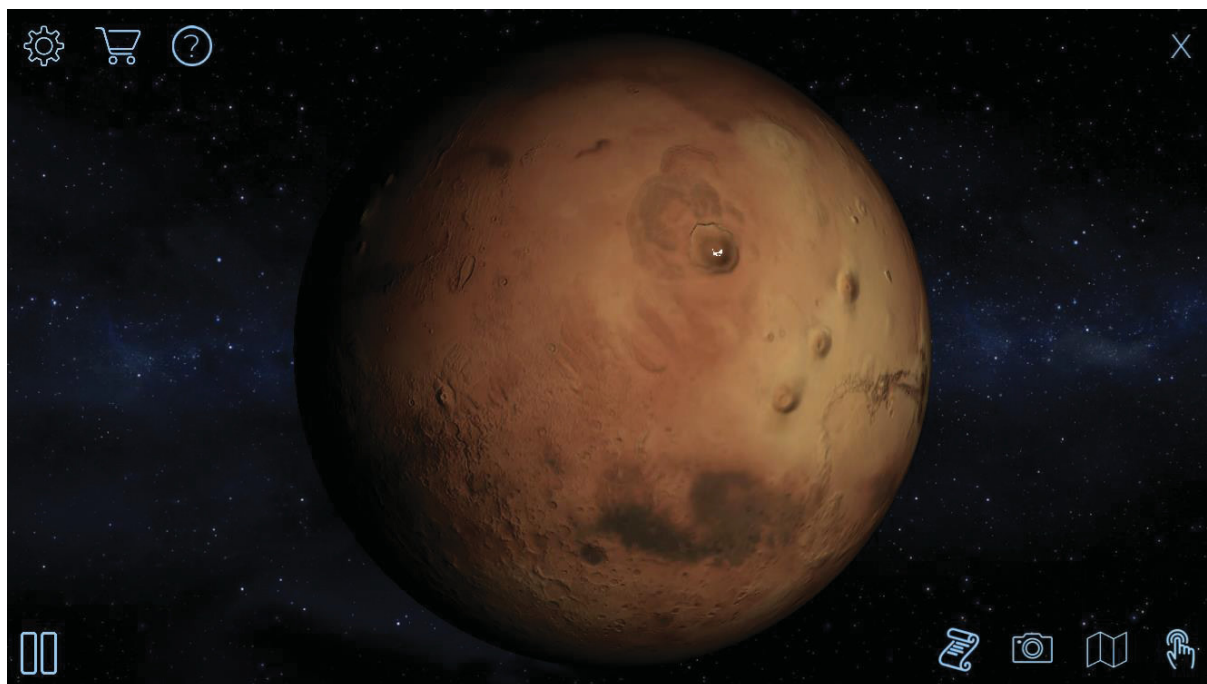
Figura 2 – VISUALIZAÇÃO USUAL DO JOGO COM AS ABAS POSSÍVEIS



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

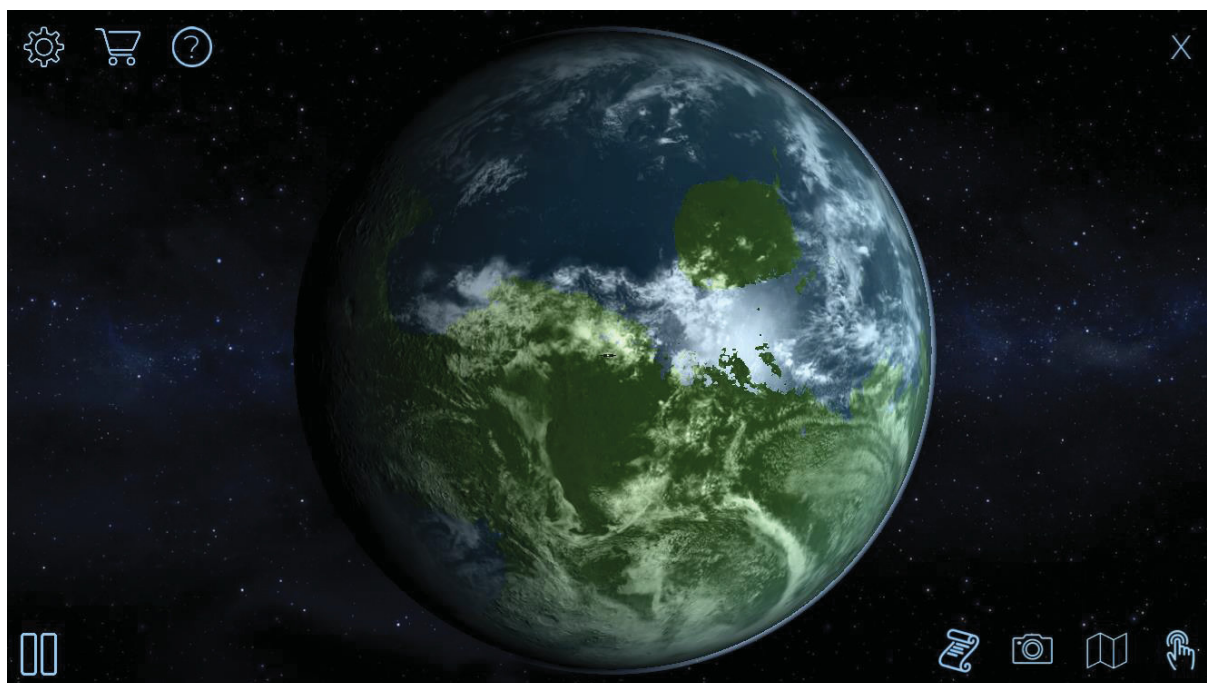
Na segunda aula, no início, será verificado como foi o andamento do jogo em casa pelos estudantes. Neste momento, os estudantes irão apresentar suas dificuldades e comparar os passos realizados de cada um. Em grupo, os estudantes deverão justificar as suas escolhas no jogo e esquematizar a melhor estratégia. A seguir, pode-se observar duas imagens (Figuras 3 e 4) do planeta no começo do jogo e no final, em que as modificações na superfície do planeta e na atmosfera são visualmente marcantes.

Figura 3 – STATUS DO PLANETA NO INÍCIO DO JOGO



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

Figura 4 – STATUS DO PLANETA NO FINAL DO JOGO

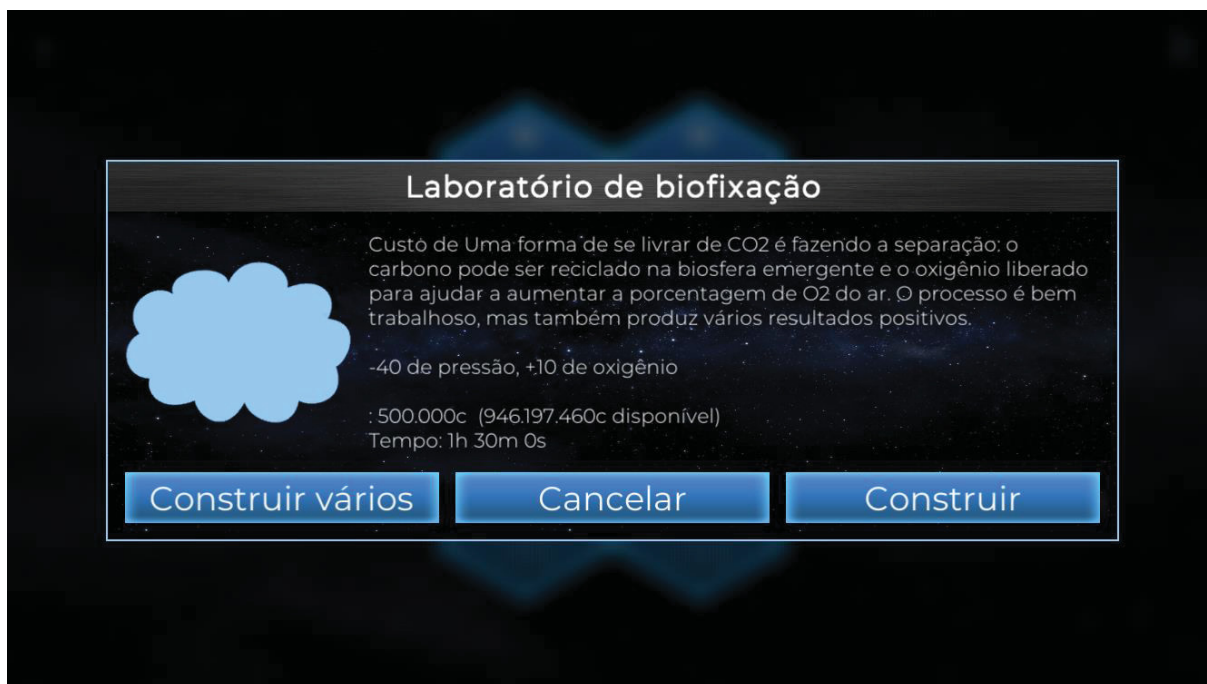


Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

O processo de mudança é paulatino e dependente das ações dos jogadores. Para que esta transformação ocorra, certas etapas devem acontecer. Para que este processo ocorra

satisfatoriamente, o discente deve compreender, sabendo instrumentalizar as relações entre fatores bióticos, abióticos, microrganismos e ciclos biogeoquímicos, sendo o jogo um instrumento educativo e lúdico para simular estas relações. As figuras 5 a 7 mostram mecanismos utilizados no jogo para alterar fatores abióticos, com biotecnologias aplicadas.

Figura 5 – EXEMPLO DE CONSTRUÇÃO FOMENTANDO A TERRAFORMAÇÃO UTILIZANDO MICRORGANISMOS



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

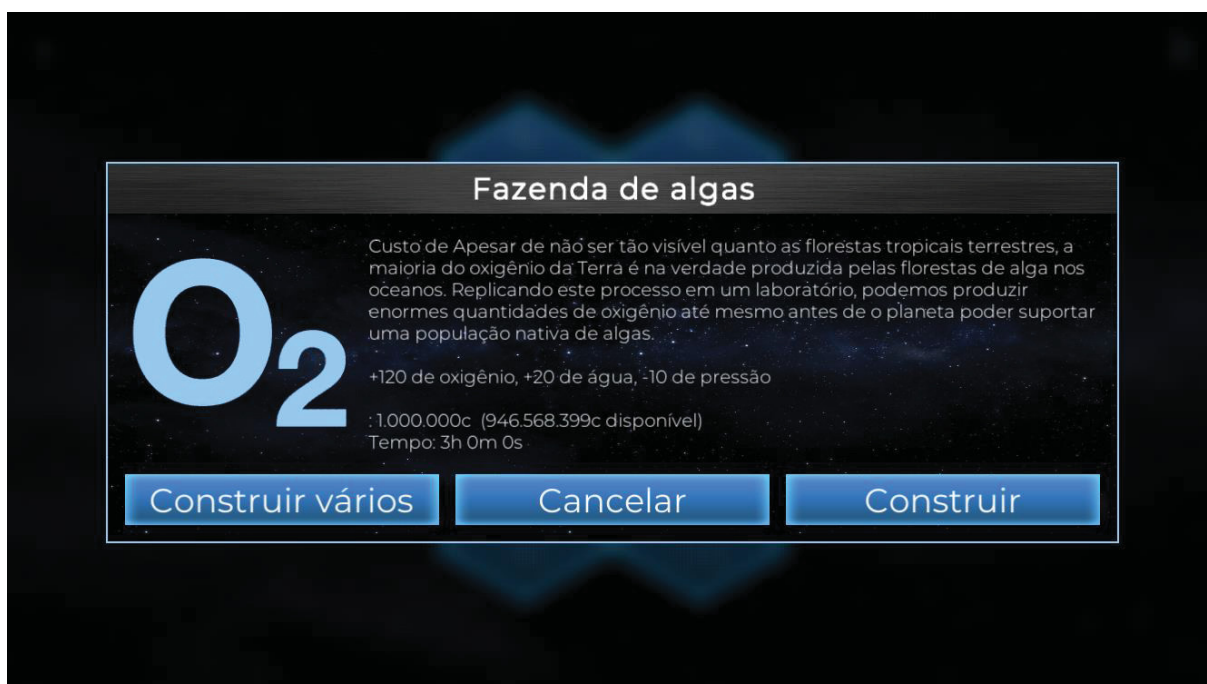
Figura 6 – EXEMPLO DE CONSTRUÇÃO FOMENTANDO A TERRAFORMAÇÃO UTILIZANDO CIANOBACTÉRIAS, RELACIONANDO COM A HISTÓRIA EVOLUTIVA DO PLANETA TERRA



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

* Há um erro conceitual, cianobactérias não são parentes próximas do grupo das algas

Figura 7 – DEMONSTRAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ORGANISMOS E CICLOS BIOGEOQUÍMICOS



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

Uma possibilidade interessante no jogo é a construção de ecossistemas (Figura 9), com organismos personalizados, com genes selecionáveis artificialmente pelo jogador (Figura 10). Este aspecto aumenta a dificuldade e eleva a compreensão dos organismos e os fatores correlacionados à vida a um novo patamar de detalhes e interpretações pelos estudantes. No jogo esta proposta está no tipo de ecossistema em biosferas, demonstrado na figura 8.

Figura 8 – DETALHES DENTRO DO GAME, MOSTRANDO DIFERENTES DIFICULDADES E FORMAS DE TRABALHAR COM OS ECOSSISTEMAS



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

Figura 9 – OPÇÕES DE CONSTRUÇÕES PARA INSERÇÃO DE MICRORGANISMOS NO JOGO



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

Figura 10 – EXEMPLOS DE ALGUNS MICRORGANISMOS, NA MODALIDADES DE BIOSFERAS



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

Na segunda aula serão reservados 15 minutos para verificar como foi o andamento do jogo com os estudantes e após breve discussão em grupo, serão reservados 35 minutos para pesquisa, verificando se as respostas realizadas na aula anterior (Quadro 1) permanecem ou serão revisadas. Este momento também tem o objetivo de permitir aos discentes se auto avaliarem e tornar seus argumentos mais robustos. Em todo os passos deste processo o professor será mediador, auxiliando os estudantes em suas dúvidas e dificuldades.

Há aspectos de educação ambiental interessantes no jogo, entre eles a sustentabilidade, focando nas relações entre o ser humano e microrganismos, fatores bióticos e abióticos. Estes aspectos relacionados com a sustentabilidade são tratados de forma indireta, mas presente na busca do equilíbrio natural. Reforçando este ponto de vista, focando na sustentabilidade, é demonstrado com o avanço no jogo a possibilidade de plantar árvores no mundo real, proposta esta demonstrada na Figura 11.

Figura 11 – DEMONSTRAÇÃO DA RELAÇÃO DE ARVORES PLANTADAS NO MUNDO REAL A PARTIR DO DESENVOLVIMENTO NO JOGO



Fonte: TERRAGENESIS, EDGEWORKS ENTERTAINMENT.

Esta proposta mostra claramente um intuito de educação ambiental, de forma paralela, mas muito presente e relevante.

Seria pertinente na segunda aula, com intuito de reforçar e aprofundar o tema, o professor sugerir diversos filmes, séries e sites. A seguir (quadro 2) são apresentadas sugestão

de filmes, séries e sites que poderiam ser indicados aos estudantes para contextualizar o assunto:

Quadro 2- PROPOSTAS DE MÍDIAS DIGITAIS QUE REFORÇAM A PROPOSTA ATUAL DE ENSINO INVESTIGATIVO COM TERRAFORMAÇÃO

FILME/ SÉRIE	RESUMO/TÍTULO DO SITE
Série MARS (Marte) 2016-2018 (2 temporadas)	Missão fictícia que planeja colonizar o planeta Marte no ano de 2033, com um misto de documentário com o estado da arte das missões espaciais, em especial para Marte. Com apoio da National Geographic.
Filme Europa Report 2013	Astronautas são enviados para investigar a possibilidade de viver no satélite Europa de Júpiter.
Filme – Perdido em Marte 2016	Um homem encontra-se sem recursos e sozinho no planeta hostil. Apenas com suprimentos escassos, ele deve contar com a sua criatividade, engenho e espírito para sobreviver.
https://www.tecmundo.com.br/ciencia/150857-marte-habitavel-terraformacao-planeta-vermelho.htm	Marte habitável? Como seria a terraformação do Planeta Vermelho
https://super.abril.com.br/ciencia/e-se-a-humanidade-colonizasse-marte/	E se a humanidade colonizasse Marte?
https://gizmodo.uol.com.br/marte-e-cianobacterias/	O segredo para colonizar Marte pode estar nestes pequenos micróbios verdes

Na terceira aula, o enfoque proposto é a contextualização, aprofundamento, ligação e troca de informações a partir de um debate de ideias, com intuito de chegar a uma discussão embasada para um problema ético relacionado à mudança artificial de outros locais: “É correto fazer a terraformação de outros planetas?”. No final, com base no método investigativo e com pesquisas, seminário e debates, os estudantes chegarão a respostas robustas e com diversos conceitos essenciais a vida, interrelacionados num equilíbrio dinâmico.

Para organização do conhecimento estudado, os conteúdos e assuntos essenciais serão organizados, individualmente, na forma de mapa conceitual.

7) **Resolução:**

Inicialmente, muitos estudantes poderiam responder à questão inicial “Seres microscópicos podem provocar mudanças em todo o planeta?” dizendo que não, organismos microscópicos não teriam capacidade de realizar tal fato. À medida que fossem realizando as atividades propostas, as ideias iniciais seriam postas em conflito com as evidências de que as condições atuais do nosso planeta e muitos ciclos ecológicos são o resultado da ação microbiana.

Com a apreciação do jogo sugerido, os discentes teriam uma singela noção da complexidade das relações entre fatores bióticos, fatores abióticos, ciclos biogeoquímicos e limites para a vida prosperar. Estes aspectos são mais bem delineados e trabalhados com as perguntas norteadoras iniciais, a partir das quais os estudantes podem formar as hipóteses de que os microrganismos têm pouca ação no equilíbrio de toda a vida no planeta Terra, tendo dificuldade (se conseguirem) de especificar de que forma microrganismos poderiam ser utilizados no processo de terraformação, termo este que pode ser desconhecido para muitos estudantes. Com relação aos ciclos biogeoquímicos, retratados no jogo, seria relativamente fácil para eles discriminarem o ciclo da água e do oxigênio. À medida que jogarem e conhecerem mais os processos intrínsecos, o ciclo do carbono e seu efeito de manutenção da temperatura também é retratado. Além destes ciclos biogeoquímicos, foi solicitado uma breve pesquisa para complementar outros ciclos não pleiteados no jogo, como os ciclos do nitrogênio e do fósforo. Com relação aos limites de temperatura, pressão, oxigênio e água para a vida se manter, muitos discentes terão dificuldades para compreender as ações limítrofes de componentes abióticos e suas ações nas moléculas, nas células e nos processos metabólicos. Respostas possíveis devem incluir desde processos de transporte de substâncias e desnaturação de proteínas, vistos no primeiro ano do ensino médio, até pressões internas e reações oxidativas, sendo estes últimos assuntos contextualizados e interdisciplinares das disciplinas de física e química. Os pontos ótimos de temperatura, pressão, oxigênio e água podem ser explicados pelos estudantes, depois de um breve pesquisa e revisão de conteúdos de anos anteriores, como sendo a melhor concentração daquele componente em que a maquinaria molecular e celular pode funcionar com a máxima eficácia. Lembrando que o professor será sempre mediador neste processo, inclusive no resgate de conteúdos estudados em anos

anteriores e nas relações interdisciplinares, deixando o processo de construção de conhecimento, de forma investigativa, para os estudantes.

8) **Formas de avaliação:**

Para avaliar os conteúdos abordados será solicitado aos estudantes que façam, individualmente, um mapa conceitual acerca do trabalho.

Outro aspecto a ser avaliado, com uma conversa informal, é a motivação dos estudantes.

9) **Reflexão:**

A atual proposta não pôde ser aplicada em sala de aula no ano de 2021 devido ao distanciamento social necessário face à pandemia de COVID-19 e à baixa adesão de estudantes da rede pública de ensino às aulas online de Biologia no período noturno. Apesar das aulas presenciais voltarem no Estado do Paraná, o município de Piraquara segue o decreto municipal nº2147/2021 que estipula a volta às aulas após a vacinação completa dos profissionais da educação, que provavelmente ocorrerá no final do mês de setembro deste ano. Desta forma, tecemos a seguinte reflexão sobre a importância desta proposta de aplicação nas aulas de Biologia.

Com a atual proposta de ensino por investigação é sugerida uma sequência didática onde os estudantes têm a possibilidade de construir seu conhecimento de formas colaborativa e investigativa. Índícios, evidências científicas e o próprio método científico são utilizados na formação do saber pelos discentes para compreender melhor os microrganismos. Depois de lerem uma breve reportagem instigadora e contextualizados com questões norteadoras, que problematizam o tema, espera-se uma etapa propícia para a geração de hipóteses. Nesta premissa o professor é mediador do conhecimento, balizando os saberes e auxiliando os estudantes em suas dificuldades, não fornecendo respostas prontas, mas incentivando o espírito crítico. Sendo assim, esse tipo de abordagem fomenta uma educação de excelência, mas também propicia a implementação real do ensino de biologia pela metodologia investigativa (SCARPA; CAMPOS, 2018).

O ensino por investigação é uma perspectiva de ensino, uma técnica pedagógica e didática que favorece a autonomia, a descoberta e o senso crítico, em contraposição ao ensino de ciências dogmático e/ou reprodutor de experiências, favorecendo a alfabetização científica

e preceitos de fomento de uma sociedade mais democrática (RODRIGUES E BORGUES, 2008; SCARPA; CAMPOS, 2018). A educação por investigação pode ser definida por:

...estratégias didáticas que buscam envolver ativamente os alunos em sua aprendizagem, por meio da geração de questões e problemas nos quais a investigação é condição para resolvê-los, com coleta, análise e interpretação de dados que levem a formulação e comunicação de conclusões baseadas em evidências e reflexão sobre o processo (MELVILLE *et al.*, 2008 apud SCARPA; CAMPOS, 2018, pg.30).

A aplicação desta proposta vai de encontro com os preceitos acima e segue uma metodologia pedagógica onde seria estimulada a comunicação e a reflexão por parte dos estudantes. (SCARPA; CAMPOS, *op. cit.*).

Para a aplicação desta proposta os discentes devem possuir alguns conhecimentos prévios para participar de forma mais frutífera, como noções de astronomia, metabolismo biológico, ciclos biogeoquímicos, características e grupos de seres vivos, composição química dos seres vivos e noções de microbiologia.

Mais do que uma mera iniciação ao estudo da microbiologia e afins, esta proposta propicia um olhar mais atento dos estudantes no que eles não podem observar de fato, mas que com o arcabouço propiciado pelo saber científico, pode ser observado, levar a formulação de hipóteses testáveis com o auxílio do jogo e até verificado pelas jovens mentes. Sendo assim, esta proposta extrapola o conhecimento acerca dos microrganismos e ligações entre características biológicas e abióticas. Também fomenta uma visão diferenciada de mundo, mostrando a relevância de aspectos que não podem ser observadas a olho nu, auxiliando assim, uma devida promoção da ciência, pois torna os estudantes protagonistas na construção do seu próprio saber.

Já sobre a forma de avaliação, segundo Silva (2015), quando o conhecimento é organizado e representado de forma gráfica, damos o nome de mapa conceitual. Esta metodologia pode ser utilizada como uma proposta de aprendizagem, não de ensino. Como método avaliativo é uma quebra de paradigma com modelos de avaliação atualmente utilizados, fomentando a aprendizagem significativa. Para avaliar o mapa conceitual construído individualmente pelos estudantes não seriam avaliados os conceitos isoladamente, mas sim a ligação dos conceitos circunvizinhos. Sobre a motivação dos estudantes, de acordo com BZUNECK (2004a), TAPIA e FITA (2004) e RUIZ (2003), a motivação é um fator considerado

uma associação de variantes que iniciam o comportamento de investigação, seleção e assiduidade do comportamento, essencial para o processo de aprendizagem. A motivação pode ser intrínseca, quando o estudante é muito curioso, interessado, atencioso, concentrado e persistente no desempenho das mais variadas atividades e extrínseca, quando o estudante busca demonstrar suas potencialidades, almejando aprovação familiar e social (GUIMARÃES, 2001).

APENDICE IV – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO MOTIVACIONAL

PESQUISA: CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTOR ANAERÓBIO PARA ENSINO DE MICROBIOLOGIA

Este questionário faz parte de uma pesquisa científica no Brasil que irá fornecer informações importantes sobre o papel das aulas práticas laboratoriais na motivação para o aprendizado da Microbiologia. Agradecemos desde já sua valiosa colaboração. Informamos que não há resposta CERTA ou ERRADA. Fique, portanto, à vontade para responder o que de fato ocorre. Lembre-se que este questionário é confidencial. Após respondê-lo, dobre-o e deposite-o na urna. Não assine nenhuma página. Muito obrigado pela sua participação!

Data: ____/____/____ **Idade:** (____) anos **Sexo:** Masculino (____) Feminino (____)

PERGUNTA	NUNCA	ÀS VEZES	SEMPRE
1 - Eu estudo os microrganismos porque estudar é importante para mim			
2 - Eu estudo por medo dos meus pais brigarem comigo			
3 - Eu tenho vontade de conhecer e aprender assuntos novos sobre os microrganismos			
4 - Eu faço os deveres de casa sobre microrganismos por obrigação			
5 - Eu gosto de estudar assuntos desafiantes sobre microrganismos			
6 - Eu gosto de estudar assuntos difíceis sobre microrganismos			
7 - Eu estudo porque meus pais prometem me dar presentes se as minhas notas forem boas			
8 - Eu me esforço bastante nos trabalhos de casa de microbiologia, mesmo sabendo que não vão valer como nota			
9 - Eu estudo sobre os microrganismos porque meus professores acham importante			
10 - Eu estudo sobre os microrganismos mesmo sem os meus pais pedirem			
11 - Eu estudo porque fico preocupado (a) que as pessoas não me achem inteligente			
12 - Eu me esforço bastante nos trabalhos sobre os microrganismos em sala de aula, mesmo sabendo que não vai valer como nota			
13 - Eu estudo por medo dos meus pais me punirem			
14 - Eu estudo os microrganismos porque estudar essa matéria me dá prazer e alegria			
15 - Eu só estudo sobre os microrganismos para não me sair mal na escola			
16 - Eu fico tentando resolver uma tarefa sobre os microrganismos mesmo quando ela é difícil para mim			
17 - Eu estudo sobre os microrganismos para os meus pais deixarem eu me divertir com os meus amigos ou fazer as coisas que eu gosto			
18 - Eu prefiro aprender na escola assuntos sobre os microrganismos que aumentem minhas habilidades ou meus conhecimentos			
19 - Eu só estudo os microrganismos para agradar meus professores			
20 - Eu faço minhas lições de casa sobre microrganismos mesmo que meus pais não me peçam			
21 - Eu estudo sobre os microrganismos porque gosto de ganhar novos conhecimentos nessa área			
22 - Eu estudo nos assuntos relacionadas aos microrganismos apenas aquilo que os professores avisam que vai cair na prova			
23 - Eu gosto de estudar sobre os microrganismos			
24 - Eu só faço meus deveres de casa sobre os microrganismos porque meus pais acham importante			
25 - Eu procuro saber mais sobre os assuntos que gosto relacionados aos microrganismos, mesmo sem meus professores pedirem			
26 - Eu só estudo sobre os microrganismos porque quero tirar notas altas			
27 - Eu gosto de ir para a escola porque aprendo assuntos interessantes lá			
28 - Eu só estudo porque meus pais mandam			
29 - Eu estudo sobre os microrganismos porque quero aprender cada vez mais			

30 - Eu estudo sobre os microrganismos por obrigação			
31 - Eu fico interessado (a) sobre os microrganismos quando os professores começam um conteúdo novo sobre eles			

Fonte: Adaptado de Marchiore e Alencar (2009) e Neves e Boruchovitch (2007).

APENDICE V – QUESTÕES DE VESTIBULAR USADAS PARA AVALIAR O CONHECIMENTO ESPECÍFICO

Gabarito									
Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5	Questão 6	Questão 7	Questão 8	Questão 9	Questão 10
E	D	E	B	E	B	E	C	B	E
Questão 11	Questão 12	Questão 13	Questão 14	Questão 15	Questão 16	Questão 17	Questão 18	Questão 19	Questão 20
A	C	A	D	B	D	D	B	A	A

01) (PUCRJ-2006) Hoje a classificação dos seres vivos admite 3 domínios: Archaea, Bacteria e Eukarya que englobam, respectivamente, os seguintes representantes:

- a) metanogênicos, animais e protozoários.
- b) protozoários, microrganismos e vegetais.
- c) cianobactérias, protozoários e vegetais.
- d) vegetais, fungos e animais.
- e) hipertermofílicos, pneumococos e fungos.

02) (UDESC/2018) “Escherichia coli é comum na flora bacteriana do intestino de humanos e de outros animais, mas que em grandes quantidades pode causar problemas como infecção intestinal e infecção urinária, acontecendo principalmente se o indivíduo consumir água ou alimentos contaminados”. Fonte: KAPER JB, NATARO JP, MOBLEY HLT. Pathogenic Escherichia coli. Nat. Rev. Microbiol., 2: 123-140, 2004

A respeito das bactérias, assinale a alternativa incorreta.

- a) Algumas bactérias possuem metabolismos aeróbico, na presença de oxigênio, e outras anaeróbicas, condição sem oxigênio.
- b) Apenas uma pequena porcentagem das espécies de bactérias causa doenças ao homem.
- c) As bactérias são unicelulares e procariontes e podem viver em formas isolada ou colonial.
- d) Bactérias são seres pluricelulares e eucariontes que podem sintetizar diferentes componentes químicos do meio ambiente ou de seus hospedeiros.
- e) Na atual classificação dos organismos, a bactéria coli está contida no domínio Bactéria.

03) (UFPR 2016) A figura ao lado apresenta uma classificação dos seres vivos baseada em sua fonte primária de energia. Bactérias são encontradas nos grupos:



Adaptado de: Front. Ecol. Environ; 2011;9(1):44-52.

- a) 1, 2 e 3 apenas.
- b) 1, 2 e 4 apenas.
- c) 1, 3 e 4 apenas.
- d) 2, 3 e 4 apenas.
- e) 1, 2, 3 e 4.

04) (UFMG – 1999) Na produção de compotas, devem ser adotadas algumas medidas para evitar-se a contaminação do alimento por microrganismos. Todas as alternativas apresentam medidas que podem garantir a assepsia desse processo, EXCETO:

- a) A adição de conservantes, para impedir o crescimento dos microrganismos.
- b) A manutenção do meio aquoso, para evitar o crescimento de bactérias.
- c) A fervura, para desinfecção dos recipientes em que os doces serão guardados.
- d) A retirada do ar no momento de se fechar o recipiente que contém o doce.

05) (UFPA – 2001) O processo de respiração celular é responsável pelo(a)

- a) consumo de dióxido de carbono e liberação de oxigênio para as células.
- b) síntese de moléculas orgânicas ricas em energia.
- c) redução de moléculas de dióxido de carbono em glicose.
- d) incorporação de moléculas de glicose e oxidação de dióxido de carbono.
- e) liberação de energia para as funções vitais celulares.

06) (PUC-RJ – 2008) A produção de álcool combustível a partir do açúcar da cana está diretamente relacionada a qual dos processos metabólicos de microrganismos a seguir relacionados?

- a) Respiração.
- b) Fermentação.
- c) Digestão.
- d) Fixação de nitrogênio
- e) Quimiossíntese.

07) (UNESP - Meio de ano – 2016) Quatro espécies de micro-organismos unicelulares foram isoladas em laboratório. Para determinar como esses seres vivos obtinham energia, cada espécie foi inserida em um tubo de ensaio transparente contendo água e açúcares como fonte de alimento. Os tubos foram rotulados em 1, 2, 3 e 4, e submetidos ao fornecimento ou não de recursos como gás oxigênio(O_2) e luz. Após certo tempo, verificou-se a sobrevivência ou a morte desses organismos nessas condições.

Recurso		Tubo			
O_2	luz	1	2	3	4
sim	sim	x	✓	✓	✓
sim	não	x	✓	✓	x
não	sim	✓	✓	x	✓
não	não	✓	✓	x	x

✓ sobreviveram

x morreram

Os resultados permitem concluir corretamente que os micro-organismos presentes nos tubos 1, 2, 3 e 4, são, respectivamente,

- a) anaeróbios obrigatórios, aeróbios, anaeróbios facultativos e fotossintetizantes.
- b) aeróbios, fotossintetizantes, anaeróbios obrigatórios e anaeróbios facultativos.
- c) anaeróbios facultativos, fotossintetizantes, aeróbios e anaeróbios obrigatórios.
- d) anaeróbios facultativos, aeróbios, fotossintetizantes e anaeróbios obrigatórios.
- e) anaeróbios obrigatórios, anaeróbios facultativos, aeróbios e fotossintetizantes.

08) (ENEM – PPL) A remoção de petróleo derramado em ecossistemas marinhos é complexa e muitas vezes envolve a adição de mais substâncias ao ambiente. Para facilitar o processo de recuperação dessas áreas, pesquisadores têm estudado a bioquímica de bactérias encontradas em locais sujeitos a esse tipo de impacto. Eles verificaram que algumas dessas espécies utilizam as moléculas de hidrocarbonetos como fonte energética, atuando como biorremediadores, removendo o óleo do ambiente. Para serem eficientes no processo de biorremediação citado, as espécies escolhidas devem possuir

- a) células flageladas, que capturem as partículas de óleo presentes na água.
- b) altas taxas de mutação, para se adaptarem ao ambiente impactado pelo óleo.
- c) enzimas, que catalisem reações de quebra das moléculas constituintes do óleo.
- d) parede celular espessa, que impossibilite que as bactérias se contaminem com o óleo.
- e) capacidade de fotossíntese, que possibilite a liberação de oxigênio para a renovação do ambiente poluído.

09) (ENEM - 2010) O despejo de dejetos de esgotos domésticos e industriais vem causando sérios problemas aos rios brasileiros. Esses poluentes são ricos em substâncias que contribuem para a eutrofização de ecossistemas, que é um enriquecimento da água por nutrientes, o que provoca um grande crescimento bacteriano e, por fim, pode promover escassez de oxigênio.

Uma maneira de evitar a diminuição da concentração de oxigênio no ambiente é:

- a) Aquecer as águas dos rios para aumentar a velocidade de decomposição dos dejetos.
- b) Retirar do esgoto os materiais ricos em nutrientes para diminuir a sua concentração nos rios.
- c) Adicionar bactérias anaeróbicas às águas dos rios para que elas sobrevivam mesmo sem oxigênio.
- d) Substituir produtos não degradáveis por biodegradáveis para que as bactérias possam utilizar os nutrientes.
- e) Aumentar a solubilidade dos dejetos no esgoto para que os nutrientes fiquem mais acessíveis às bactérias.

10) O uso prolongado de lentes de contato, sobretudo durante a noite, aliado a condições precárias de higiene representam fatores de risco para o aparecimento de uma infecção denominada ceratite microbiana, que causa ulceração inflamatória na córnea. Para interromper o processo da doença, é necessário tratamento antibiótico. De modo geral, os fatores de risco provocam a diminuição da oxigenação corneana e determinam mudanças no seu metabolismo, de um estado aeróbico para anaeróbico. Como decorrência, observa-se a diminuição no número e na velocidade de mitoses do epitélio, o que predispõe ao aparecimento de defeitos epiteliais e à invasão bacteriana.

CRESTA, F. Lente de contato e infecção ocular. Revista Sinopse de Oftalmologia. São Paulo: Moreira Jr., v.04, n.04, 2002 (adaptado).

A instalação das bactérias e o avanço do processo infeccioso na córnea estão relacionados a algumas características gerais desses micro-organismos, tais como:

- a) A grande capacidade de adaptação, considerando as constantes mudanças no ambiente em que se reproduzem e o processo aeróbico como a melhor opção desses micro-organismos para a obtenção de energia.
- b) A grande capacidade de sofrer mutações, aumentando a probabilidade do aparecimento de formas resistentes e o processo anaeróbico da fermentação como a principal via de obtenção de energia.
- c) A diversidade morfológica entre as bactérias, aumentando a variedade de tipos de agentes infecciosos e a nutrição heterotrófica, como forma de esses micro-organismos obterem matéria-prima e energia.

d) O alto poder de reprodução, aumentando a variabilidade genética dos milhares de indivíduos e a nutrição heterotrófica, como única forma de obtenção de matéria-prima e energia desses micro-organismos.

e) O alto poder de reprodução, originando milhares de descendentes geneticamente idênticos entre si e a diversidade metabólica, considerando processos aeróbicos e anaeróbicos para a obtenção de energia.

11) (ENEM – 2016) A coleta das fezes dos animais domésticos em sacolas plásticas e o seu descarte em lixeiras convencionais podem criar condições de degradação que geram produtos prejudiciais ao meio ambiente (Figura 1).

Figura 1



A Figura 2 ilustra o Projeto Park Spark, desenvolvido em Cambridge, MA (EUA), em que as fezes dos animais domésticos são recolhidas em sacolas biodegradáveis e jogadas em um biodigestor instalado em parques públicos; e os produtos são utilizados em equipamentos no próprio parque.

Figura 2



Disponível em: <http://parksparkproject.com>. Acesso em: 30 ago. 2013 (adaptado).

Uma inovação desse projeto é possibilitar o(a)

- a) queima de gás metano.
- b) armazenamento de gás carbônico.
- c) decomposição aeróbica das fezes.
- d) uso mais eficiente de combustíveis fósseis.
- e) fixação de carbono em moléculas orgânicas.

12) (ENEM – 2009) O lixo orgânico de casa – constituído de restos de verduras, frutas, legumes, cascas de ovo, aparas de grama, entre outros –, se for depositado nos lixões, pode contribuir para o aparecimento de animais e de odores indesejáveis. Entretanto, sua reciclagem gera um excelente adubo orgânico, que pode ser usado no cultivo de hortaliças, frutíferas e plantas ornamentais. A produção do adubo ou composto orgânico se dá por meio da compostagem, um processo simples que requer alguns cuidados especiais. O material que é acumulado diariamente em recipientes próprios deve ser revirado com auxílio de ferramentas adequadas, semanalmente, de forma a homogeneizá-lo. É preciso também umedecê-lo periodicamente. O

material de restos de capina pode ser intercalado entre uma camada e outra de lixo da cozinha. Por meio desse método, o adubo orgânico estará pronto em aproximadamente dois a três meses. Como usar o lixo orgânico em casa? *Ciência Hoje*, v. 42, jun. 2008 (adaptado).

Suponha que uma pessoa, desejosa de fazer seu próprio adubo orgânico, tenha seguido o procedimento descrito no texto exceto no que se refere ao umedecimento periódico do composto. Nessa situação,

- a) o processo de compostagem iria produzir intenso mau cheiro.
- b) o adubo formado seria pobre em matéria orgânica que não foi transformada em composto.
- c) a falta de água no composto vai impedir que microrganismos decomponham a matéria orgânica.
- d) a falta de água no composto iria elevar a temperatura da mistura, o que resultaria na perda de nutrientes essenciais.
- e) apenas microrganismos que independem de oxigênio poderiam agir sobre a matéria orgânica e transformá-la em adubo.

13) (ENEM) Chamamos de lixo a grande diversidade de resíduos sólidos de diferentes procedências, como os gerados em residências. O aumento na produção de resíduos sólidos leva à necessidade de se pensar em maneiras adequadas de tratamento. No Brasil, 76% do lixo é disposto em lixões e somente 24% tem como destino um tratamento adequado, considerando os aterros sanitários, as usinas de compostagem ou a incineração.

FADINI, P. S.; FADINI, A. A. A, Lixo: desafios e compromissos. *Química Nova na Escola*, maio 2001 (adaptado). Comparando os tratamentos descritos, as usinas de compostagem apresentam como vantagem serem o destino

- a) que gera um produto passível de utilização na agricultura.
- b) onde ocorre a eliminação da matéria orgânica presente no lixo.
- c) mais barato, pois não implica custos de tratamento nem controle.
- d) que possibilita o acesso de catadores, pela disposição do lixo a céu aberto.
- e) em que se podem utilizar áreas contaminadas com resíduos de atividades de mineração.

14) (ENEM – 2014) O potencial brasileiro para transformar lixo em energia permanece subutilizado — apenas pequena parte dos resíduos brasileiros é utilizada para gerar energia. Contudo, bons exemplos são os aterros sanitários, que utilizam a principal fonte de energia ali produzida. Alguns aterros vendem créditos de carbono com base no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Kyoto.

Essa fonte de energia subutilizada, citada no texto, é o

- a) etanol, obtido a partir da decomposição da matéria orgânica por bactérias.
- b) gás natural, formado pela ação de fungos decompositores da matéria orgânica.
- c) óleo de xisto, obtido pela decomposição da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbias.
- d) gás metano, obtido pela atividade de bactérias anaeróbias na decomposição da matéria orgânica.
- e) gás liquefeito de petróleo, obtido pela decomposição de vegetais presentes nos restos de comida.

15) (ENEM – 2011) Moradores sobreviventes da tragédia que destruiu aproximadamente 60 casas no Morro do Bumba, na Zona Norte de Niterói (RJ), ainda defendem a hipótese de o deslizamento ter sido causado por uma explosão provocada por gás metano, visto que esse local foi um lixão entre os anos 1960 e 1980.

Jornal Web. Disponível em: <http://www.ojornalweb.com>. Acesso em: 12 abr. 2010 (adaptado).

O gás mencionado no texto é produzido

- a) como subproduto da respiração aeróbia bacteriana.
- b) pela degradação anaeróbia de matéria orgânica por bactérias.

- c) como produto da fotossíntese de organismos pluricelulares autotróficos.
- d) pela transformação química do gás carbônico em condições anaeróbias.
- e) pela conversão, por oxidação química, do gás carbônico sob condições aeróbias.

16) (ENEM – 2010) O aquecimento global, ocasionado pelo aumento do efeito estufa, tem como uma de suas causas a disponibilização acelerada de átomos de carbono para a atmosfera. Essa disponibilização acontece, por exemplo, na queima de combustíveis fósseis, como a gasolina, os óleos e o carvão, que libera o gás carbônico (CO₂) para a atmosfera. Por outro lado, a produção de metano (CH₄), outro gás causador do efeito estufa, está associada à pecuária e à degradação de matéria orgânica em aterros sanitários. Apesar dos problemas causados pela disponibilização acelerada dos gases citados, eles são imprescindíveis à vida na Terra e importantes para a manutenção do equilíbrio ecológico, porque, por exemplo, o

- a) metano é fonte de carbono para os organismos fotossintetizantes.
- b) metano é fonte de hidrogênio para os organismos fotossintetizantes.
- c) gás carbônico é fonte de energia para os organismos fotossintetizantes.
- d) gás carbônico é fonte de carbono inorgânico para os organismos fotossintetizantes.
- e) gás carbônico é fonte de oxigênio molecular para os organismos heterotróficos aeróbios.

17) (UNEMAT - 2018) “Compostagem é um processo controlado de decomposição biológica da matéria orgânica presente no lixo [...] em condições adequadas de aeração, umidade e temperatura. Esse processo gera um produto biologicamente estável chamado composto orgânico. [...] Para que a compostagem possa ser realizada corretamente, a matéria orgânica deve ser separada dos demais materiais, o que possibilita o reaproveitamento de materiais recicláveis, como vidro, plásticos e metais.”

PENTEADO, M. J. Guia pedagógico do lixo. Governo do estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Coordenadoria de Educação Ambiental, 2011 (Adaptado).

O texto apresenta o princípio do processo de compostagem para a utilização do lixo orgânico. Com base neste princípio, assinale a alternativa correta.

- a) As condições abióticas do ambiente não interferem no processo de decomposição biológica das matérias orgânicas.
- b) Vidro, plásticos e metais são encaminhados para reaproveitamento, por não possuírem carbono em sua composição.
- c) A decomposição em ambientes aerados favorece a produção, por organismos aeróbios, de gases como o metano, um importante biogás que pode ser aproveitado como fonte de energia.
- d) A compostagem é realizada pela ação de organismos decompositores, que são constituídos principalmente por bactérias e fungos.
- e) O produto da compostagem é o húmus, rico em matéria orgânica, a principal fonte de carbono das plantas.

18) (UFCG) A poluição nos dias atuais representa uma das maiores agressões ao ambiente. O lançamento de lixo é uma das principais. A poluição industrial, hospitalar, agrícola, nuclear e urbana são alguns exemplos importantes. A poluição urbana, por exemplo, tem merecido a atenção de todos os governantes, pois é a que mais tem afetado a natureza. Sobre o lixo urbano, leia as assertivas abaixo e assinale as corretas:

I. A maior parte desse lixo é de matéria orgânica, que pode ser decomposta por microrganismos como fungos e bactérias. Outra parte é formada por componentes de matéria não biodegradável e substâncias tóxicas, como tintas, solventes e remédios.

II. Uma das formas mais eficazes de lidar com o lixo urbano é a incineração, que diminui o volume do lixo, elimina micróbios causadores de doenças e representa um método barato e relativamente simples de ser adotado.

III. Uma outra forma de lidar com o lixo é a adoção de aterros sanitários. Nesta técnica, o lixo é lançado em depressões formadas por uma camada de argila ou asfalto. A cada dia, esse procedimento tem-se mostrado uma importante técnica contra a lixiviação.

IV. Um outro método de gerenciamento do lixo é a reciclagem, com o aproveitamento total ou parcial de materiais recuperáveis. Nesse procedimento, o lixo orgânico é separado do lixo inorgânico e usado na produção de compostagem e gases (CH₄) combustíveis.

V. A melhor prática para lidar com o lixo urbano é a reciclagem. Assim, a coleta seletiva, o uso racional dos recursos naturais, o uso de materiais biodegradáveis, a adoção de matrizes energéticas renováveis e a informação são requisitos primordiais.

Estão corretas as assertivas:

- a) I, II, III, IV e V.
- b) I, IV e V.
- c) II, III e V.
- d) II, III e IV.
- e) I, II e III.

19) (COVEST) Estima-se que, em média, dois quilos de lixo sejam produzidos, a cada dia, por pessoa, incluindo o lixo doméstico. Apesar dos programas de reciclagem e do aproveitamento de produtos do lixo, essa quantidade vem aumentando perigosamente. Com relação à questão do lixo e do seu tratamento, analise as afirmações a seguir.

- 1. A maior vantagem da compostagem é a transformação de materiais não biodegradáveis em compostos úteis como fertilizantes.
- 2. Para que um aterro sanitário possa ser eficiente por muitos anos, periodicamente, deve ser feita a incineração dos resíduos orgânicos e inorgânicos.
- 3. Os lixões a céu aberto constituem-se em eficiente meio de tratamento do lixo porque as pessoas os utilizam para a garimpagem de produtos.
- 4. Uma alternativa eficaz para tratar o problema do lixo urbano envolve a redução da utilização de produtos descartáveis.

Está(ão) correta(s):

- a) 4, apenas.
- b) 1 e 2, apenas.
- c) 3 e 4, apenas.
- d) 2, apenas.
- e) 1, 2, 3 e 4.

20) (UFT – 2013) Biodigestores são constituídos por recipientes fechados, dentro dos quais microrganismos realizam a decomposição de restos de matéria orgânica, formando biogás (metano e dióxido de carbono, principalmente) e, também, uma parte sólida. Sobre os biodigestores é INCORRETO afirmar que:

- a) O biogás formado é resultado da fermentação aeróbica da matéria orgânica.
- b) A produção de biogás se apresenta como uma fonte de energia barata e ecologicamente viável.
- c) Os gases liberados podem ser utilizados como forma de combustível residencial, industrial e automotivo.
- d) A parte sólida produzida pela decomposição da matéria orgânica pode ser utilizada como biofertilizante na agricultura.
- e) Temperatura, acidez e umidade do meio são fatores que interferem na produção do biogás e necessitam de controle no processo de biodigestão.

**APENDICE VI - MANUAL PARA CONSTRUÇÃO DE UMA
COMPOSTEIRA UNIDA A UM BIODIGESTOR ANAERÓBIO**

ALECKSEY WALEWSKI

**MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE COMPOSTEIRA INTEGRADA A
BIODIGESTOR ANAERÓBIO**

**CURITIBA
2022**



PORQUE UTILIZAR COMPOSTEIRAS E BIODIGESTORES?

Com o crescimento populacional e da economia, observamos o aumento de geração de resíduos sólidos urbanos. Segundo Abrelpe (2021), a geração de resíduos sólidos urbanos saltou de 66,7 milhões de toneladas em 2010 para 79 milhões de toneladas em 2019, um incremento de 18,44 % em menos de uma década.

A problemática dos resíduos sólidos orgânicos pode ser minimizada com o depósito deste material em composteiras e biodigestores. Esta prática abre a possibilidade de tratamento de resíduos sólidos em pequenos espaços serem exemplos práticos, sociais e educacionais na busca da humanidade por soluções sustentáveis.

Ainda sobre os resíduos orgânicos humanos, estes podem ser provenientes das mais diversas atividades, sendo um problema social, econômico e ambiental (VALENTE, 2009). Tais resíduos acabam contaminando reservas de água como rios, lagos, aquíferos e lençóis freáticos. Este fato é problemático, já que considerando que a população mundial está em 7,7 bilhões de pessoas e, dessas, 2,2 bilhões ou 28,57% de toda a população mundial não tem acesso a água potável, além de 4,2 bilhões ou 54,54% sem tratamento de esgoto (WHO, 2019). Estes números somente têm piorado nas últimas décadas, onde considerando dados de 19 anos atrás (WHO, 2000), 18% não tinham acesso à água potável e 40% não utilizavam sistemas de tratamento de esgoto. Estas informações refletem, em parte, a falta de destinação e tratamento dos resíduos orgânicos, inclusive os resíduos sólidos de origem doméstica.

Segundo Galbiati (2005,) a retirada de compostos orgânicos dos resíduos sólidos residenciais pode reduzir em até 50% os resíduos destinados aos aterros sanitários, já que os resíduos sólidos domésticos são compostos por 65% de resíduos orgânicos, 25% papel, 4% metal, 3% plástico e 3% vidro. A diminuição de material orgânico que é jogado no lixo tem impacto relevante no aumento de vida útil de aterros sanitários, além de uma economia para os municípios devido à diminuição do volume dos resíduos residenciais. Esta forma de uso de recursos naturais, reutilizando nutrientes dos compostos orgânicos, viabiliza a reciclagem dos outros resíduos sólidos gerados em residências, pois não estará contaminado por matéria orgânica, fomentando um processo de sustentabilidade altamente produtivo e econômico.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, 2,6 bilhões de pessoas no mundo ainda utilizam carvão vegetal, lenha e outros, como fontes de energia. A cada ano aproximadamente 4 milhões de pessoas morrem prematuramente de doenças atribuídas por inalar poluentes oriundos do cozimento em fogões poluentes (WHO, 2021). No Brasil 8,7 % da energia utilizada

é de origem de carvão vegetal e lenha (MME, 2020). Observamos que o biogás pode ser uma alternativa viável de substituição de combustíveis poluentes, principalmente para as populações mais pobres.

O uso de tecnologias de biodigestão anaeróbia na forma de destinação e ciclagem energética de resíduos sólidos orgânicos é uma opção renovável, ainda mais quando observamos a alta escalonada de preços e o esgotamento de combustíveis fósseis, as consequências ambientais de seu uso e as mudanças dos processos naturais que sustentam a vida planetária (GIJZEN, 2002, LI *et al.*, 2007, LI *et al.*, 2009, IPCC, 2021). Usado adequadamente, o gás gerado de processos biológicos é sustentável e renovável, sem impactos negativos ao meio ambiente ou à saúde das pessoas (GREEN; SIBISI, 2002, HALL; MOSS, 1983). Apesar de inúmeras vantagens, o aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos e de biogás no Brasil ainda é prematura, principalmente devido às limitações econômicas e culturais (LIMA JR, 2015).

Atualmente a reciclagem e reutilização de resíduos de origem antrópica como plásticos, vidros e metais são questões chaves para um pleno processo sustentável da sociedade (NOVAES, 2000; HESS, 2002). O processo de reciclagem pode ser totalmente inviabilizado com a contaminação do lixo sólido, pelos restos de alimentos. Quando se é calculado o total de emissões indesejáveis de aterros sanitários ou plantas de compostagem centralizadas, observa-se que com um manejo adequado, a compostagem em pequena escala e de forma descentralizada é uma alternativa sustentável e economicamente viável para a destinação final de resíduos sólidos urbanos, sendo estes transformados em fertilizante orgânico e biogás (INACIO *et al.*, 2009). Esta ação mais ecológica está intrinsicamente relacionada a uma consciência ambiental ao estimular o processo de educação ambiental posto em prática (LIMA JR, 2015).

UTILIZAR COMPOSTEIRAS UNIDAS A BIODIGESTORES FUNCIONA?

O atual protótipo não passou por testes de eficiência ainda, mas mostrou resultados potencialmente promissores que puderam ser observados empiricamente. Quando um protótipo foi utilizado para decompor os resíduos orgânicos de 1632 estudantes em uma escola pública em seis meses de uso contínuo, foi contabilizado que para cada 55 pessoas é gerado 1 litro de

matéria orgânica por semana, material este que pode ser aproveitado no processo de compostagem. O uso rotineiro e manutenção foram simples e sem maiores problemas. A bombona da composteira foi enchida totalmente 4 vezes em um período de 6 meses, sendo o material aparentemente decomposto (pela diminuição da altura da leira) e o volume reduzido a fim de ser utilizado novamente. Não foi esvaziada a composteira em nenhuma ocasião até 6 meses de uso ininterrupto, a diminuição da leira ocorreu pela ação gravitacional e possivelmente pela ação microbiana.

Nosso intuito central foi de construir equipamentos baratos e acessíveis, onde qualquer espaço poderia construir e sanar questões referentes ao correto descarte de resíduos orgânicos.

Houve algumas adaptações com relação às fotos ilustrativas, pois o protótipo passou por adequações depois de testes de pressão e de hidráulica, além do protótipo construído pelo autor ter sido idealizado para a possibilidade de coleta de dados referente a temperatura, pressão e de material biológico, o que não é necessário num equipamento de uso cotidiano. Uma modificação importante foi a instalação de uma válvula de retenção unidirecional, que nos testes de pressão e hidrostática se mostrou uma adaptação eficiente ao contrário do projeto inicial. O material proposto para o protótipo, principalmente para o biodigestor anaeróbio, foi dado prioridade para polímeros sintéticos buscando evitar que gases corrosivos para metais, como o H_2S produzido na biodigestão anaeróbia, reagissem com o material (OLIVEIRA et. al., 2018).

COMO CONSTRUIR UMA COMPOSTEIRA UNIDA A UM BIODIGESTOR?

Tome nota! Para a construção de uma composteira de 200 litros anexada a um biodigestor de 80 litros, é mais fácil do que você pode imaginar e serão necessários os itens facilmente encontrados na sua região que constam na Tabela 1.

TABELA 1 – ITENS NECESSÁRIOS PARA CONSTRUÇÃO DE UMA COMPOSTEIRA UNIDA A UM BIODIGESTOR ANAERÓBIO

ITEM	QUANTIDADE	PREÇO TOTAL R\$
Abraçadeira para mangueira $\frac{3}{4}$	6	57,00
Adaptador com Rosca Externa $\frac{3}{4}$ Pol. para Mangueiras	7	39,06
Adaptador de anel pvc 25mm $\frac{3}{4}$ “Flange”	8	68,4
Arame liso galvanizado 1,24 mm por metro	2	0,93
Anel de vedação de borracha O’Ring $\frac{1}{4}$	2	5,54
Arruela lisa zincada $\frac{1}{4}$	2	0,36
Bombona plástica de 200 litros	1	215,00

Bombona plástica de 80 litros	1	155,85
Calibrador de pneus analógico com manômetro	1	39,90
Câmara de pneu	1	21,28
Cano pvc 25mm $\frac{3}{4}$ por metro	2	19,98
Cola Epóxi	2	37,80
Cola para pvc 30g	1	14,80
Fita veda rosca	1	2,57
Furadeira	1	199,90
Garrafa PET 2 litros	1	1,66
Joelho com um lado com rosca pvc 25mm $\frac{3}{4}$	5	12,45
Joelho pvc 25mm $\frac{3}{4}$	2	2,38
Kit serra copo para pvc	1	23,47
Luva pvc soldável 25mm $\frac{3}{4}$	1	1,49
Mangueira transparente flexível $\frac{3}{4}$ por metro	3	40,77
Massa adesiva epóxi 250g.	2	70,40
Peneira para areia aro 55	1	17,99
Porca sextavada de vedação $\frac{1}{4}$	1	0,50
Registro pvc esfera soldável 25mm $\frac{3}{4}$	2	29,2
Serra de aço	1	10,58
Telha fibrocimento 4 mm	1	16,59
Tijolo	2	3,7
Torneira plástica com rosca $\frac{3}{4}$	2	10,0
Válvula de retenção soldável 25 mm $\frac{3}{4}$	1	32,98
VALOR TOTAL *		R\$ 1.152,47

*Itens cotados em 19/07/2022

FONTE: O autor (2022).

Após a separação e organização dos materiais a serem utilizados, a próxima etapa é realizar as furações nas bombonas, com o auxílio de uma furadeira e um kit serra copos. Será necessário o serra-copo 25mm ou $\frac{3}{4}$.

FIGURA 01 - Materiais necessários para a construção de uma composteira aeróbia aliada a um biodigestor anaeróbio



Ferramentas e materiais necessários para construção de uma composteira unida a um biodigestor anaeróbio.

FONTE: O autor (2022).

Na bombona de 80 litros (azul na figura 01) que dará origem ao biodigestor anaeróbio, serão necessárias 5 furações, uma no meio da tampa superior, duas a aproximadamente 30 cm da base e uma a 30 cm do topo, esta última perpendicular a uma furação da base. Na tampa superior do biodigestor, mediano entre a lateral e o furo central, deve-se realizar um furo de $\frac{1}{4}$ para o acoplamento do calibrador de pneus analógico com manômetro. Na composteira serão necessários 4 furos, três a 30 cm da base e a última a 30 cm do topo, perpendicular a uma furação da base.

As bombonas de 200 litros vêm com um suporte para depósito interno e tampa superior removível, que podem ser adequados e reutilizados para fazer uma tampa com ventilação, mas telada evitando a entrada de insetos e pequenos roedores conforme a seguinte foto demonstrativa.

FIGURA 02 - À direita, locais de furações das bombonas com o serra-copos, à esquerda, adequação de materiais em bombonas de 200 litros para a confecção de tampas teladas para a composteira



FONTE: O autor (2022).

Em seguida, em todos os locais furados com serra-copo 25mm ou $\frac{3}{4}$ devem ser colocados adaptadores de anel pvc 25mm $\frac{3}{4}$ “Flange”, recomenda-se o uso de cola Epóxi para melhorar a vedação e fixação. Na parte interna poderá ser reforçado com massa adesiva epóxi.

Para a confecção de mecanismos para realizar a leitura de líquidos dentro dos recipientes, será utilizado os furos realizados de forma perpendicular, tanto da composteira como do biodigestor. Depois da conexão do “flange”, deve-se cortar aproximadamente 5 cm de cano $\frac{3}{4}$ e unir com joelho com um lado com rosca pvc 25mm $\frac{3}{4}$ (voltados para o centro). Depois de passar fita veda-rosca e com cola para pvc, deve-se unir adaptadores com rosca externa $\frac{3}{4}$ polegadas para mangueiras ao joelho com rosca. Depois deve-se conectar ambos os adaptadores com mangueiras transparentes flexíveis $\frac{3}{4}$, fixados com abraçadeiras para mangueiras. Em um furo da base deve ser conectado, depois de passar fita veda-rosca e com cola para pvc, uma torneira, contendo a base com rosca.

Uma forma de isolar os líquidos da composteira de um possível retorno de ar do biodigestor, é a confecção de uma estrutura em forma de “U” invertido, que podemos visualizar maiores detalhes na seguinte imagem.

FIGURA 03 - Detalhe da conexão em “u” invertido



FONTE: O autor (2022).

Esta conexão quando colocada na base da composteira, isola o ar à medida que o material for decomposto, há formação de líquido oriundo da decomposição, o que ajuda na separação de fases. Para a fabricação desta peça, deve-se cortar 4 pedaços de aproximadamente 5 cm de cano $\frac{3}{4}$. Dois joelhos devem ser unidos em zigue-zague com a flange, em seguida com um registro pvc esfera soldável 25mm $\frac{3}{4}$ e depois com um joelho apontando para a base. Este joelho com um lado com rosca pvc 25mm $\frac{3}{4}$ deve conectado a um adaptador com rosca externa $\frac{3}{4}$ polegadas para mangueiras.

Dentro da composteira, algumas adaptações se fazem necessárias. Com intuito de evitar que sólidos não decompostos passem da composteira para o biodigestor, um filtro simples deve ser confeccionado com uma garrafa PET de dois litros com furos e um adaptador com rosca externa $\frac{3}{4}$ polegadas para mangueiras a ser conectado no “flange” ligada a conexão de “U” invertido.

FIGURA 04 - Filtro simples para compostos sólidos provenientes da composteira



FONTE: O autor (2022).

Com o peso da matéria orgânica, o filtro de garrafa pet seria amassado, assim para isolar o lixiviado da matéria em decomposição e dar sustentação a um segundo elemento filtrante, uma peneira para areia aro 55, no mínimo dois tijolos devem ser posicionados em extremos da base interna da composteira. A fim de aumentar a maleabilidade da madeira da peneira, recomenda-se a imersão em água por algumas horas para deixar mais maleável a madeira e não rachar no momento de posicionar a peneira dentro da composteira. Um cano de pvc, furado com o auxílio de uma furadeira, pode ser posicionado na região central da composteira com intuito de formar uma chaminé para maximizar a oxigenação em toda a extensão da composteira.

Quando for utilizar a composteira, deve-se retirar a telha de fibrocimento (50cm) e retirar a tampa telada. Depois de depositado o material deve-se tampar e proteger da entrada de água pluvial.

FIGURA 05 - Organização dentro da composteira, à esquerda evidenciando peneira e filtro, à direita chaminé de oxigenação passiva



FONTE: o autor (2022).

Com a composteira pronta, o passo seguinte é construir o biodigestor anaeróbio. No calibrador de pneus analógico com manômetro deve-se realizar uma adaptação, onde uma arruela lisa zincada $\frac{1}{4}$ deve ser colocada até o topo da rosca do calibrador. Para vedar e dar estabilidade a peça, será modelada um suporte com massa adesiva epóxi (Figura 06). A rosca deverá ser preenchida com fita veda rosca e a união com a tampa do biodigestor deve ser feita com um anel de vedação de borracha o'ring $\frac{1}{4}$ na parte externa, já na parte interna da tampa do biodigestor deve ser selado com uma porca sextavada de vedação $\frac{1}{4}$, arruela lisa zincada $\frac{1}{4}$ e um anel de vedação de borracha o'ring $\frac{1}{4}$.

FIGURA 06 - Detalhe da adaptação do calibrador de pneus analógico à tampa do biodigestor



FONTE: O autor (2022).

Para o furo central na tampa do biodigestor deve-se cortar aproximadamente 5 cm de cano $\frac{3}{4}$ e unir ao anel pvc 25mm $\frac{3}{4}$ “flange” com um registro pvc esfera soldável 25mm $\frac{3}{4}$, depois mais 5 cm de cano $\frac{3}{4}$, ligar a uma válvula de retenção soldável 25 mm $\frac{3}{4}$ e em sequência a uma luva pvc soldável 25mm $\frac{3}{4}$ e um adaptador com rosca externa $\frac{3}{4}$ polegadas para mangueiras, todas estas uniões devem ser seladas com cola para pvc. No último furo da base do biodigestor deve ser unida uma torneira com rosca, depois de passar fita veda-rosca e com cola para pvc. Para o constante fluxo de gás do biodigestor para a câmara de pneu, deve-se anexar a câmara ao calibrador de pneus e com o gatilho apertado, prender com arame liso galvanizado.

Com duas abraçadeiras deve ser unida aos adaptadores para mangueira da composteira ao biodigestor 1 metro de mangueira transparente flexível $\frac{3}{4}$, conforme pode ser observada na figura 07.

FIGURA 07 - Dois protótipos, com setas indicando a utilização de válvula de retenção unidirecional como separação eficiente entre composteiras aeróbios e biodigestores anaeróbios



FONTE: O autor (2022).

Ressalta-se que na foto anterior as câmaras de pneu acopladas nos biodigestores estão ausentes e que a telha que protege contra a entrada de água pluvial estava temporariamente removida.

Houve algumas adaptações com relação as fotos ilustrativas, pois o protótipo passou por adequações depois de testes de pressão e de hidráulica, além do protótipo construído pelo autor ter sido idealizado para a possibilidade de coleta de dados referente a temperatura, pressão e de material biológico, o que não é necessário num equipamento de uso cotidiano. O protótipo sofreu adaptações à medida que testes e análises foram sendo realizadas. Uma modificação significativa da proposta inicial foi a mudança de água sob o efeito da pressão atmosférica como isolamento entre o biodigestor anaeróbio e a composteira aeróbia, para uma válvula de retenção unidirecional, que nos testes de pressão e hidrostática se mostrou uma adaptação eficiente.

QUAIS CUIDADOS DE MANEJO DEVO TOMAR AO UTILIZAR COMPOSTEIRA UNIDA A UM BIODIGESTOR?

A utilização é simples. Depois de montada a estrutura, recomenda-se a instalação do equipamento em local ensolarado e de fácil manutenção. Observa-se que a base da composteira deve estar acima do nível de entrada de lixiviado do biodigestor para que os resíduos fluam por gravidade da composteira para o biodigestor. Para testar eventuais vazamentos hidráulicos, antes do uso recomenda-se encher ambas bombonas com água e observar possíveis vazamentos.

Quando sabemos a composição química do material para realizar uma mistura de diferentes materiais ricos em carbono e nitrogênio seguimos a equação citada por GOMES *et al.* (2001) onde obtêm-se uma mistura com a relação carbono e nitrogênio entre 30/1:

$$\text{PMRC} = \frac{(30 \times \text{Nn}) - \text{Cn}}{\text{Cc} - (30 \times \text{Nc})}$$

onde:

PMRC = partes de material rico em carbono;

Nn = teor de N do material rico em nitrogênio;

Cn = teor de carbono (C) do material rico em N;

Cc = teor de carbono do material rico em C;

Nc = teor de N do material rico em C.

Se existir algum odor desagradável, é orientado a acrescentar material fibroso ao composto. Recomenda-se que a cada ano seja feita a manutenção da composteira, retirando o composto decomposto e utilizando em horta, junto com o líquido decomposto do biodigestor. Pela organização escolar, é sugerido que esta etapa de manutenção ocorra antes do início do período letivo, no período de verão, onde quaisquer materiais teriam tempo suficientes para serem degradados e estabilizados.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2021. Disponível em: < abrelpe.org.br >. Acesso em: [06 de dez. 2021].

GALBIATI, A. F. **O gerenciamento integrado de resíduos sólidos e a reciclagem**. Minas Gerais, jun. 2005. Disponível em: <<https://limpezapublica.com.br/textos/97.pdf>> Acesso em: 24 mar. 2020. Garg, P.,

GIJZEN, H.J. Anaerobic digestion for sustainable development: a natural approach. **Water science technology**, 2002, v.45, pp. 321–328.

GOMES, TC DE A.; SILVA, J. A. M.; DA SILVA, M. S. L. Preparo de composto orgânico na pequena propriedade rural. **Embrapa semiárido**: comunicado técnico (Infoteca-e), 2001. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/public_eletronica/downloads/INT53.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2020.

GREEN, J.M. & SIBISI, M.N.T., Domestic Biogas Digesters: A Comparative Study. In: **Proceedings of Domestic Use of Energy Conference**, Cape Town, South Africa: 2002. pp. 33–38.

HALL, D.O. & MOSS, P.A., Biomass for energy in developing countries. **Geojournal**, 1983, v.7, pp. 5–14.

HESS, S. **Educação Ambiental: nós no mundo**. Campo Grande: Ed. UFMS, 2002. 2ª ed. 192 p.

INÁCIO, C. T. & MILLER, P. R., **Compostagem, ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. 2009, 1 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos.

IPCC, 2021, *Sixth Assessment Report (AR6)*. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/> >. Acesso em 06 de dezembro de 2021.

LI, G.Z.; NIU, S.W.; LIANG, Y.H., Estimate on the Ecological and Economic Benefits of Rural Household Biogas Construction Project in Loess Hilly Region, China.” In: **Proceedings of**

International Conference on Wireless Communications: Networking and Mobile Computing, 2007, pp. 5075–5078.

LI, G.Z., NIU, S.W., MA, L. *et al.*, Assessment of environmental and economic costs of rural household energy consumption in loess hilly region, Gansu province, China. **Renewable Energy**, 2009, v.34, pp. 1438–1444.

LIMA JR., G. S. L. **Estratégias de compostagem como pré-tratamento de resíduos sólidos orgânicos**. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 198 p, 2015.

MME Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético Nacional 2020**: relatório síntese. Rio de Janeiro, 2020. 73p.

NOVAES, W., *et al.* **Agenda 21 Brasileira**: Bases para discussão. Brasília: MMA/PNUD, 2000 196p.

OLIVEIRA, H. G.; ANTONELLO, R.; FIDÉLIS, A. J.; RINALDI, B. J. Energia, Sociedade e Meio Ambiente no Desenvolvimento de Um Biodigestor: a Interdisciplinaridade e a Tecnologia Arduino para Atividades Investigativas. **Química Nova Escola**, São Paulo-SP, 40(3), 144-152, 2018.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR., B. DE S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P. DE O.; LOPES, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arch. Zootec.**, v.58 (R), p. 59-85, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION **Global Water Supply and Sanitation Assessment** Geneva: report, 2000

WORLD HEALTH ORGANIZATION **Global Water Supply and Sanitation Assessment** Geneva: report, 2019

WORLD HEALTH ORGANIZATION **Household air pollution and health** Geneva, 2021. Disponível em: < <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> > Acesso em: 06 dez. 2021.

APÊNDICE VII – ANÁLISES ESTATÍSTICAS REALIZADAS NA ETAPA DE COMPOSTAGEM E BIODIGESTÃO NA ESCOLA

Tabela de acertos das questões de conhecimento pré-teórica, pós-teórica e pós-prática

	Acertos pré-Teórica	Acertos pós-Teórica	Acertos pós-Prática
	4	5	5
	5	6	4
	5	5	5
	4	2	4
	5	6	4
	4	3	3
	3	5	4
	4	9	5
	4	6	5
	6	2	3
	3	5	2
	3	6	6
	6	4	5
	7	6	3
	6	5	
	5	4	
	2	7	
	6	5	
Média	4,6	5,1	4,1
Desvio padrão	1,3	1,7	1,1

- Questionário de conhecimento pré-teórica (11 meninas + 7 meninos = 18);
- Questionário de conhecimento pós-teórica (12 meninas + 6 meninos = 18);
- Questionário de conhecimento pós-prática (8 meninas + 6 meninos = 14)

FONTE: o autor (2022).

ANOVA fator único, indicando que não houve DES nas médias das notas de conhecimento dos estudantes nas 3 etapas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Acertos pré-T	18	82	4,555556	1,790849673
Acertos pós-T	18	91	5,055556	2,879084967
Acertos pós-P	14	58	4,142857	1,208791209

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	6,676825	2	3,338413	1,649843946	0,203009023	3,195056281
Dentro dos grupos	95,10317	47	2,023472			

Total 101,78 49

Tabela de médias das motivações intrínsecas dos estudantes comparando antes da aplicação da aula teórica, depois da aula teórica e após a práticas

MÉDIA pré-teóricas	MÉDIA pós-teóricas	MÉDIA pós-práticas
2,04	2,72	2,64
2,55	2,39	2,64
2,05	2,11	2,43
1,63	1,81	2,33
2,06	2,50	2,54
2,00	2,72	2,62
2,40	2,56	2,69
2,15	2,18	2,43
2,50	2,56	2,50
2,65	2,72	2,86
2,76	2,67	2,79
2,26	2,39	2,50
2,30	2,29	2,86
1,66	1,83	2,43
2,70	2,59	2,50
2,45	2,41	2,64
2,60	2,67	2,64

FONTE: o autor (2022).

ANOVA fator único, indicando que houve DES nas pontuações médias de motivação intrínseca dos estudantes nas 3 etapas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Coluna 1	17	38,77363	2,280801551	0,1174551
Coluna 2	17	41,11642	2,418613033	0,084558
Coluna 3	17	44,03663	2,590390002	0,0233957

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,81795126	2	0,408975631	5,4431217	0,007404	3,190727
Dentro dos grupos	3,60653892	48	0,075136228			
Total	4,42449018	50				

	Controle x após aula teórica	Controle x após aula prática
Teste F	0,52	0,0025

Teste t	0,2153	0,0025
---------	--------	--------

Tabela de médias das motivações extrínsecas dos estudantes comparando antes da aplicação da aula teórica, depois da aula teórica e após a práticas

MÉDIA pré-teóricas	MÉDIA pós-teóricas	MÉDIA pós-práticas
1,65	1,39	1,29
1,90	1,50	1,57
1,40	1,22	1,14
2,20	1,89	1,86
1,80	1,33	1,14
1,75	1,33	1,46
2,30	2,06	2,07
1,55	1,33	1,21
1,60	1,22	1,14
2,15	2,12	2,00
1,45	1,28	1,21
2,25	2,17	2,21
1,90	1,33	1,50
1,45	1,33	1,43

FONTE: o autor (2022).

ANOVA fator único, indicando que não houve DES nas pontuações médias de motivação extrínseca dos estudantes nas 3 etapas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Coluna 1	14	25,35	1,810714286	0,0989148
Coluna 2	14	21,50653595	1,536181139	0,1248015
Coluna 3	14	21,24725275	1,517660911	0,1394953

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,75409473	2	0,377047366	3,1142777	0,055618	3,238096
Dentro dos grupos	4,72175207	39	0,121070566			
Total	5,4758468	41				

APÊNDICE VIII – SEQUÊNCIA DIDÁTICA DESENVOLVIDA E APLICADA NA PROPOSTA PEDAGÓGICA DE COMPOSTAGEM E BIODIGESTÃO NA ESCOLA.

Esta proposta de sequência didática tem o intuito de promover a reflexão pelos estudantes sobre a relevância dos microrganismos, sua diversidade, importância e usos, suas ações benéficas, com enfoque nas aplicações biotecnológicas. Como ferramenta de instrumentalização é utilizado o método de ensino por investigação. Utilizando essa sequência, a meta é que os discentes busquem evidências do metabolismo celular, com a decomposição da matéria orgânica, relacionado a processos metabólicos anaeróbios e aeróbios por bactérias, fungos e protistas. O problema a ser instigado aos estudantes é a observação da decomposição da matéria orgânica, pela ação de microrganismos com o auxílio de composteiras e/ou biodigestores anaeróbios construídos com materiais de baixo custo e/ou recicláveis.

1) Objetivos:

- Elaborar uma atividade investigativa envolvendo microrganismos;
- Relacionar a ação de microrganismos com a ciclagem de nutrientes;
- Perceber as mudanças e influências de fatores abióticos como umidade, temperatura, pH, relação de nutrientes, na atividade de microrganismos;
- Distinguir metabolismo aeróbio e anaeróbio realizado por microrganismos.

2) Conteúdo:

Serão abordados conceitos biológicos chaves sobre:

- Características básicas dos domínios Bacteria, Archaea, Eukarya;
- Diversidade biológica;
- Interações ecológicas;
- Fatores bióticos e abióticos necessários para a vida;
- Adaptações sofridas pelos microrganismos;
- Compostagem;
- Biodigestão;
- Ciclos biogeoquímicos.

3) Justificativa:

Segundo Barbosa e Oliveira (2015) e Cassanti *et al.* (2008), falar de Microbiologia traz uma associação negativa entre os estudantes, principalmente relacionada a doenças. Ovigli e Silva (2009) citam ainda que muitas relações benéficas dos microrganismos como funções ecológicas essenciais ou os benefícios para a saúde humana ficam mascaradas por esta visão dos discentes. A dificuldade do ensino de Microbiologia é ainda potencializada frente à falta de infraestrutura, materiais e equipamentos (KIMURA *et al.* 2013). Segundo Cândido *et al.* (2015) o educador pode alterar este ponto de vista dos estudantes, demonstrando o lado benéfico dos microrganismos. Esta afirmação é corroborada por Lima e Garcia (2011) que demonstraram aumento do interesse dos educandos em estudos com microrganismos após terem aulas práticas e investigativas. Possuir um objeto de estudo científico é de grande valia no processo de pesquisa e aprendizagem dos estudantes (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012), e no caso da proposta deste trabalho, o estímulo à resolução de questões investigativas serão uma valiosa ferramenta de ensino-aprendizagem, especialmente voltada à quebra de paradigmas por parte dos discentes no aprendizado de Microbiologia. A sequência didática utilizada segue a engenharia didática utilizada por Giordan (*et al.* 2012), consistindo em 5 etapas: uma análise preliminar, uma concepção de hipóteses e análise a priori, aplicação da sequência didática (teste das hipóteses), análise a posteriori das hipóteses e validação. A contextualização do conhecimento é defendida por Guimarães e Giordan (2011), Méheut (2005) reforça a justificação à priori e a aplicação empírica a posteriori. A validação de todas as etapas, sendo reforçada a relevância de uma abordagem comunicativa articulada com o desenvolvimento do conteúdo (MORTIMER; SCOTT, 2002).

4) Público-alvo: Alunos do Ensino Médio – a partir do 1º ano

5) Tempo de duração previsto: mínimo de 6 aulas com 50 minutos de duração.

6) Desenvolvimento:

Para apresentar o assunto a turmas que não tenham ainda trabalhado os conteúdos acima, são necessárias no mínimo de 2 aulas teóricas com 50 min abrangendo “Morfologia e importância ecológica dos microrganismos”, que são tópicos relacionados aos conteúdos

estruturantes de "Organização dos seres vivos e biodiversidade" das Diretrizes Curriculares Estaduais (DCE) da disciplina de Biologia:

AULA TEÓRICA 1: Morfologia geral dos microrganismos nos domínios Archaea, Bacteria e Eukarya;

AULA TEÓRICA 2: Importância ecológica e econômica dos microrganismos nos domínios Archaea, Bacteria e Eukarya;

As aulas práticas devem consistir de no mínimo 4 aulas de 50 minutos abrangendo aspectos práticos do trabalho investigativo e experimental com microrganismos, relacionados à compostagem e biodigestão anaeróbia.

AULA PRÁTICA 1: Após as aulas teóricas sobre introdução à Microbiologia, o professor pode iniciar o processo questionando se os estudantes se já tomaram leite fermentado ou se gostam de comer queijo. Se eles sabem como a uva se transforma em vinho ou como a cerveja é feita. Pode ser indagado se eles conhecem como são fabricados esses alimentos e quais os processos biológicos envolvidos, se eles já sentiram o mal cheiro de comida estragada ou de uma carcaça apodrecendo. Em outros momentos sentiram cheiros parecidos? Imagens podem ser apresentadas para estimular a curiosidade dos estudantes com relação a esse tema. Com uma breve discussão, o professor pode mediar o processo investigativo com uma questão problematizadora para levantar o que os estudantes já conhecem sobre o assunto: "O que acontece para um alimento estragar e quais processos são necessários para isso ocorrer?".

Após trabalhar com o conhecimento prévio dos estudantes, pode ser lançada a problemática a ser estudada, que processos ocorrem para se ter a mudança química dos compostos? Isso ocorre tanto com substâncias orgânicas como inorgânicas? São apenas reações químicas ou há organismos que participam do processo?

Após um brainstorming coletivo, os estudantes podem ser separados em grupos onde o debate de ideias deve continuar até a elaboração de hipóteses para explicar as questões problematizadoras.

Os estudantes podem formar uma gama de hipóteses para explicar o processo de decomposição, como que "Os microrganismos se alimentam e se reproduzem nos alimentos devido a temperatura e oxigênio", ou "Depende apenas da temperatura, pH e relações de nutrientes", ou "Depende da umidade, calor e oxigênio", entre outros. É importante não haver interferência do professor, apenas mediação, para que os estudantes exerçam a criatividade, imaginação e o ensino investigativo com o saber que os mesmos já possuem.

AULA PRÁTICA 2: Para que seja possível que os discentes investiguem e testem suas hipóteses, é proposto que eles construam, em grupos, processos controlados de decomposição

da matéria orgânica utilizando garrafas PET a fim de experimentação, e de avaliar fatores físicos, químicos e biológicos relacionados ao processo de decomposição. O professor deve mediar a construção do conhecimento, instigando e auxiliando-os em todas as etapas. Devem ser realizados testes de acordo com as hipóteses levantadas pelos estudantes, onde a elaboração do experimento pode ser balizada pelo educador. Para compostagem pode ser realizado cortando uma garrafa PET, onde a menor porção pode ser um coletor de lixiviado e o depósito de matéria orgânica pode ser separando colocando um pedaço de TNT no bocal (Figura 1).

FIGURA 1 - Fotografia demonstrando a localização sugerida da secção nas garrafas pet para utilização nos experimentos de compostagem e detalhe do filtro de tecido TNT

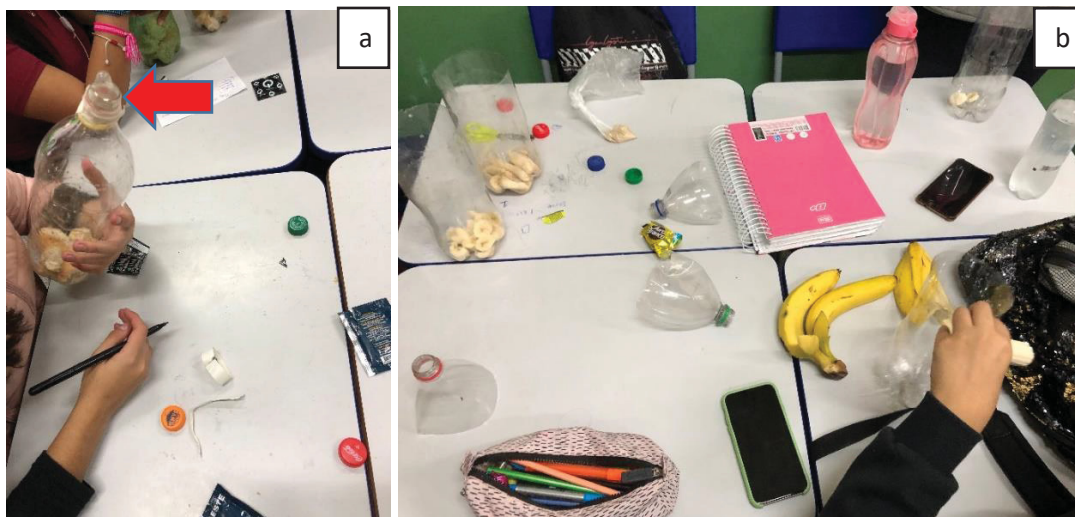


À esquerda posição de secção de garrafa PET para aproveitamento da base como coletora de lixiviado da composteira e parte da garrafa PET como recipiente para compostagem. À direita encaixe do conjunto, mostrando detalhe do espaço entre a composteira e o recipiente para evitar entupimentos.

FONTE: O autor (2021).

Se forem sugeridos experimentos relacionados a mudanças de temperatura, esses pode ser controladas de forma simples colocando as amostras em geladeira e/ou em uma estufa improvisada com caixa de papelão e lâmpada incandescente, por exemplo. Recomendamos que para a isolamento do ar e detecção de formação ou consumo de ar/gás, preservativos masculinos descartáveis sejam presas ao bocal das garrafas PET (Figura 2a).

FIGURA 2 – Fotografia de estudantes participando do experimento, em grupos e construindo experimentos



Em “a” grupo 1 elaborando experimento com pão e fermento biológico, detalhe da seta indicando o enchimento rápido do preservativo masculino de látex, demonstrando produção de gás. Em “b” grupo 2 com substrato de bananas.

FONTE: o autor (2022).

AULA PRÁTICA 3: A análise da experimentação deve acontecer ao longo de dias e recomenda-se no mínimo acompanhar ao longo de um mês. Pode-se pegar alguns minutos de outras aulas para que os estudantes vejam o processo acontecendo para que tenham perspectiva da mudança. É interessante o registro fotográfico pelos estudantes. Durante o processo de experimentação recomenda-se o uso de luvas, jalecos e máscaras, além de explicar aos estudantes os cuidados de praxe com práticas em laboratório.

O docente deve estimular que os estudantes comparem todo o processo entre os grupos, trocando ideias, realizando pesquisas bibliográficas e on-line. Os resultados obtidos pelos grupos devem ser socializados e comparados entre diferentes experimentos, onde o espírito crítico e participativo deve ser valorizado.

AULA PRÁTICA 4: Em sala, depois dos grupos apresentam seus resultados e conclusões, e deve ser iniciado um rápido debate acerca dos resultados obtidos, até que todos os grupos e estudantes cheguem a resultados que julgarem satisfatórios, ou seja, o processo pode ser repetido quantas vezes seja necessário. A conclusão final, de todos os membros participantes deste experimento deve ser próxima de que microrganismos apresentam fatores e condições diferentes para decomposição, influenciados por temperatura, umidade, oxigênio, pH e concentração de nutrientes. Esses aspectos podem ser apresentados e avaliados na forma de mapas conceituais.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, G. G.; BRAGA, R. P. S.; GOMES, V. Conhecimento dos alunos sobre microrganismos e seu uso no cotidiano. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 58-68, 2012. Disponível em: <<http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/recm/article/view/1913/941>>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- BARBOSA, F. G.; DE OLIVEIRA, N. C. Estratégias para o Ensino de Microbiologia: uma Experiência com Alunos do Ensino Fundamental em uma Escola de Anápolis-GO. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, 2015. 16(1), 5-13.
- CÂNDIDO, M. S. C.; SANTOS, M. G.; AZEVEDO, T. M.; N. L. S. Microbiologia no ensino médio: analisando a realidade e sugerindo alternativas de ensino numa escola estadual paraibana. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 8 (1), p. 57-73, 2015. Disponível em: <<http://ensinosaudeambiente.uff.br/index.php/ensinosaudeambiente/article/view/351>>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- CASSANTI, A. C.; ARAUJO, E.; URSI, S. Microbiologia democrática: estratégias de ensino aprendizagem e formação de professores. **Enciclopédia Biosfera**, v. 4, n. 5, 2008.
- GIORDAN, M.; GUIMARÃES, Y. A. F. **Estudo dirigido de iniciação à sequência didática** (Material de disciplina de curso de especialização em ensino de ciências oferecido pelos autores à Rede São Paulo de Formação Docente – REDEFOR). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.
- GUIMARÃES, APM; GIORDAN, M. Atas. In: **Simpósio internacional de educação e comunicação**, 6. 2011.
- KIMURA, A. H. et al. Microbiologia para o ensino médio e técnico: contribuição da extensão ao ensino e aplicação da ciência. **Revista Conexão**, v. 9 (2), p. 254-267, 2013. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/conexao/article/view/5516/3664>>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- LIMA, D. B.; GARCIA, R. N. Uma investigação sobre a importância das aulas práticas de Biologia no Ensino Médio. **Cadernos de Aplicação**, v. 24 (1), 2011. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/CadernosdoAplicacao/article/view/22262>>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- MÉHEUT, M. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In: **Research and the quality of science education**. Springer, Dordrecht, 2005. p. 195-207.
- MORTIMER, E.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino **Investigações em ensino de ciências**, v. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.
- OVIGLI, D. F. B.; SILVA, E. B. Microrganismos? Sim, na saúde e na doença! Aproximando universidade e escola pública. In: **Anais do Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia**, UTFPR, v.1, 2007, p. 396-416, 2009.