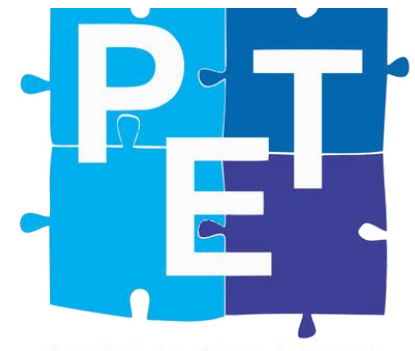


FEVEREIRO - 2024

TRATAMENTO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS



SANEAMENTO
AMBIENTAL

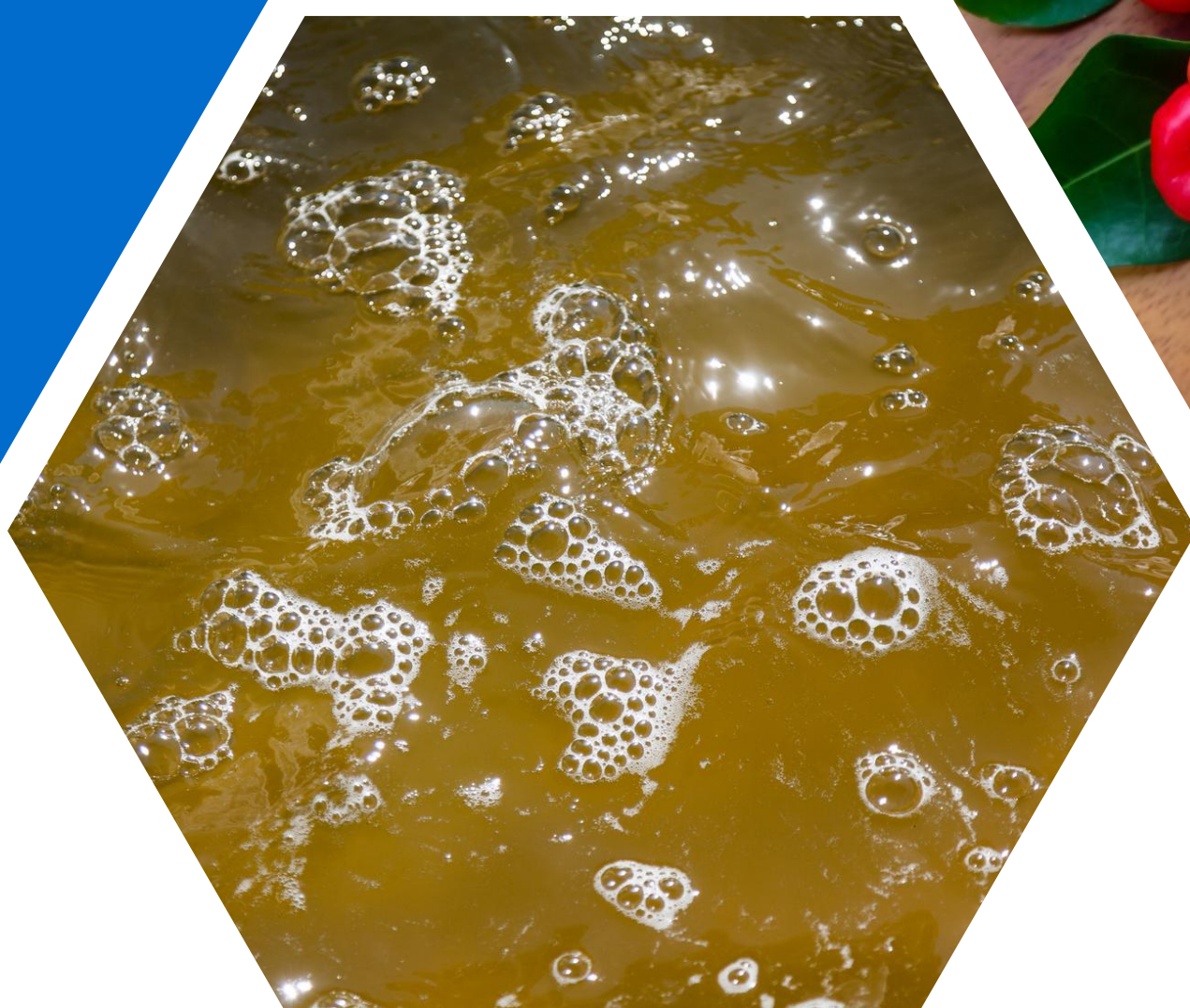
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO
FRANCISCO

GUILHERME HENRIQUE DE LIMA FREITAS

VÍTOR MARCOS LIMA DOS SANTOS

MIRIAM CLEIDE CAVALCANTE DE AMORIM

TÓPICOS SOBRE
DIGESTÃO ANAERÓBIA
NO TRATAMENTO DE
**EFLUENTES DE
AGROINDÚSTRIA**



O PET SANEAMENTO AMBIENTAL

O **PET Saneamento Ambiental: Conexões de Saberes** é um programa do Ministério da Educação (MEC), o qual compõe a tríade universitária (Pesquisa, Ensino e Extensão). O grupo é composto por membros de variados cursos de graduação e um tutor, o qual fornece subsídios para o desenvolvimento das atividades e cumprimento das metas do programa.

Equipe editorial

Guilherme Henrique de Lima Freitas

Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental - UNIVASF

Vítor Marcos Lima dos Santos

Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental - UNIVASF

Miriam Cleide Cavalcante de Amorim

Professora do Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental e tutora do PET Saneamento Ambiental - UNIVASF

F862t Freitas, Guilherme Henrique de Lima

Tratamento biológico de resíduos / Guilherme Henrique de Lima Freitas, Vítor Marcos Lima dos Santos, Miriam Cleide Cavalcante de Amorim. – Juazeiro da Bahia - BA, 2024.

18 f., il. color.

ISBN: 978-85-5322-231-5

Inclui bibliografia.

1. Agroindústria. 2. Resíduos. 3. Resíduos – tratamento. I. Título.

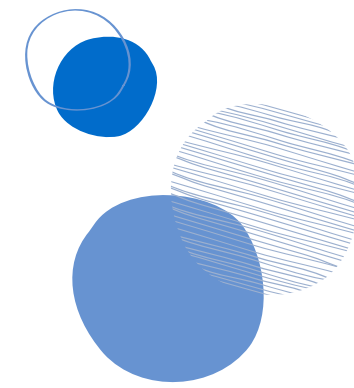
CDD 628.746

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UNIVASF
Bibliotecária: Ana Cleide Lucio Pinheiro - CRB - 4 / 2064

Acompanhe o PET em outros meios!!



APRESENTAÇÃO



Esta cartilha foi desenvolvida por membros do Programa Educação Tutorial Conexões de Saberes: Saneamento Ambiental, programa do Ministério da Educação (MEC). Tem o objetivo de levar o conhecimento técnico/científico, de forma clara e compreensível, para o público externo. Esse volume é o primeiro da série cujo tema é o Tratamento Biológico de Resíduos, sendo aqui apresentados os casos práticos da digestão anaeróbia aplicada aos efluentes da vitivinicultura e do processamento da acerola.

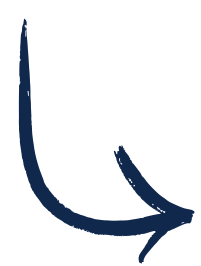


Sumário

- 1. O QUE SÃO RESÍDUOS? O QUE SÃO EFLUENTES?
- 2. EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS
- 3. PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DA ACEROLA
- 4. VITIVINICULTURA
- 5. TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES
- 6. A DIGESTÃO ANAERÓBIA
- 7. O QUE É O INÓCULO?
- 8. POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)
- 9. RELAÇÃO INÓCULO/SUBSTRATO
- 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS
- 11. AGRADECIMENTOS
- 12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. O QUE SÃO RESÍDUOS? O QUE SÃO EFLUENTES?

A Lei nº 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (**PNRS**). De acordo com essa Lei, resíduos são todos materiais, substâncias que resultam de **atividades humanas**, que podem ter alguma alternativa de uso.



Resíduos podem ser classificados em três estados físicos!



Já **efluentes** são resíduos que provêm de atividades exercidas em **agroindústrias**, uso **doméstico** (pias de cozinha ou de uso sanitário), em formas **líquidas** ou até **gasosas**. As características desse efluente vão **depende**r do uso ao que foi submetido, determinando também o grau de poluição (contaminação presente nesse efluente por agentes **químicos** ou **biológicos**), sendo que esses **devem** ser devidamente tratados para que sejam lançados em corpos de água.

Complementando a informação, a Resolução do **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011**, a qual dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, **efluente** é o termo usado para caracterizar os **despejos líquidos** provenientes de diversas atividades ou processos.



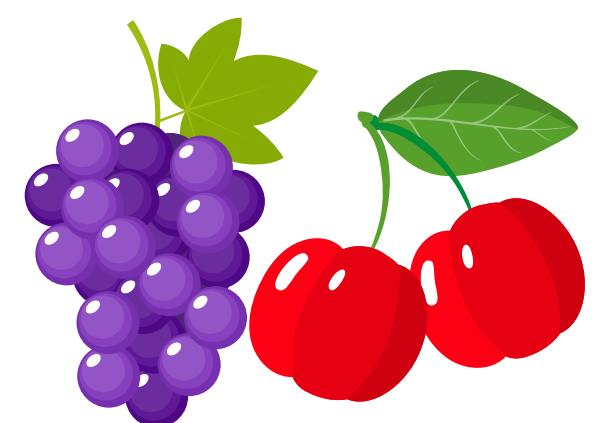
2. EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS

Em áreas como o **Vale do São Francisco**, um polo da fruticultura irrigada, observa-se a presença de diversas agroindústrias, que consistem em ambientes físicos voltados para o processamento da matéria prima produzida no setor agrícola e agropecuário, a exemplo do processamento de frutas e hortaliças, processamento de carnes, de peles, de grãos entre outros.



Devido às variadas operações realizadas e às diversas matérias-primas utilizadas, estes sistemas tendem a gerar **resíduos** distintos com características peculiares, e que necessitam de uma destinação ambientalmente adequada.

Mais adiante conheceremos dois processos geradores de resíduos presentes no processamento de duas frutas com produção expressiva na região: **a uva e a acerola.**

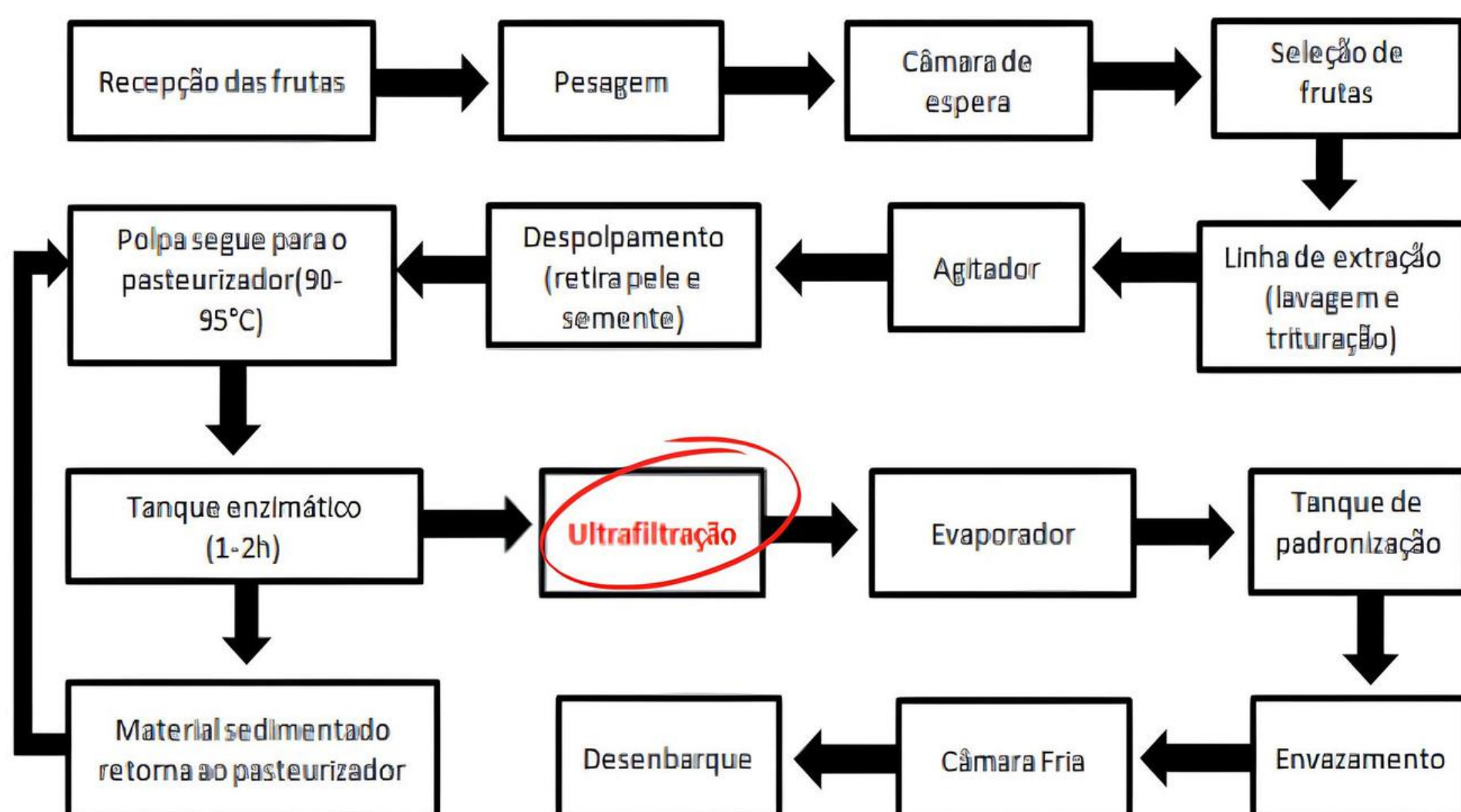


3. PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DA ACEROLA

Barros (2017) utilizou em seus estudos o **efluente da ultrafiltração** do processo de beneficiamento da acerola, para avaliar a remoção de carga orgânica, em reator do tipo UASB.

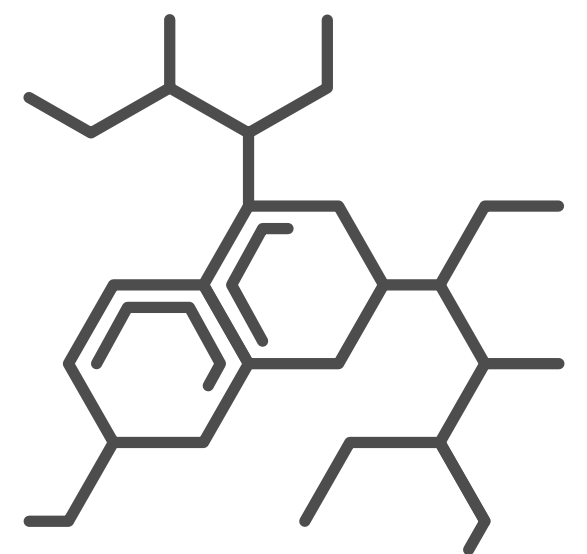


Figura 1: Etapas do beneficiamento da acerola com destaque à ultrafiltração.



Fonte: Adaptada de Barros, 2017.

Barros (2017) ainda cita em relação aos processos físicos que é possível remover a matéria **orgânica e inorgânica** em suspensão coloidal e reduzir ou eliminar a presença de microrganismos por meio de processos de filtração em areia ou em membranas com a aplicação da **ultrafiltração** por exemplo.



Conforme Fernandes (1999), a produção e comercialização de diferentes tipos de sucos de frutas visa a atender às **necessidades** e às **exigências** do mercado consumidor, uma vez que, para cada um deles, devem ser mantidos certos padrões.

A **ultrafiltração** é um processo que pressuriza uma solução sobre uma membrana seletiva permeável ao solvente e solutos de pesos moleculares relativamente baixos, mas impermeável a **moléculas com pesos menores**, o que permite a separação desses componentes.

Como uma das etapas, a **clarificação** do suco de fruta por exemplo.

Geração de **águas residuárias** do processamento da acerola.



A turbidez é **desejável** no suco de laranja.



A turbidez **não é desejável** no suco de acerola.

Por isso, deve ser **clarificado**.

4. VITIVINICULTURA

A **vitivinicultura** é o conjunto de procedimentos e processos empregados para o cultivo e a transformação da **uva madura** em suco ou vinho. A vinificação em tinto inicia-se com a maceração das partes sólidas; a vinificação em branco ocorre normalmente sem fase de maceração, ou com maceração curta (Guerra; Silva, 2021).

Algumas etapas da vinificação...

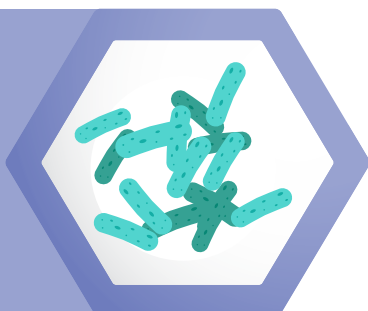
1 COLHEITA E ANÁLISE DAS UVAS



2 ESMAGAMENTO



3 ADIÇÃO DE FERMENTO



4 VINHO PRONTO PARA CONSUMO



Durante esse processo, existe a produção de resíduos, como o bagaço de uva, e os efluentes líquidos, os quais devem ser tratados e deles serem obtidos novos produtos com valor agregado como o biogás e insumos agrícolas.

1 As uvas são coletadas manualmente a fim de analisar-se a quantidade de vinho que pode ser produzido.

2 Realizado por esmagadora/desengaçadora, a qual separa o engaço e esmaga as uvas, sem triturar as cascas e sementes.

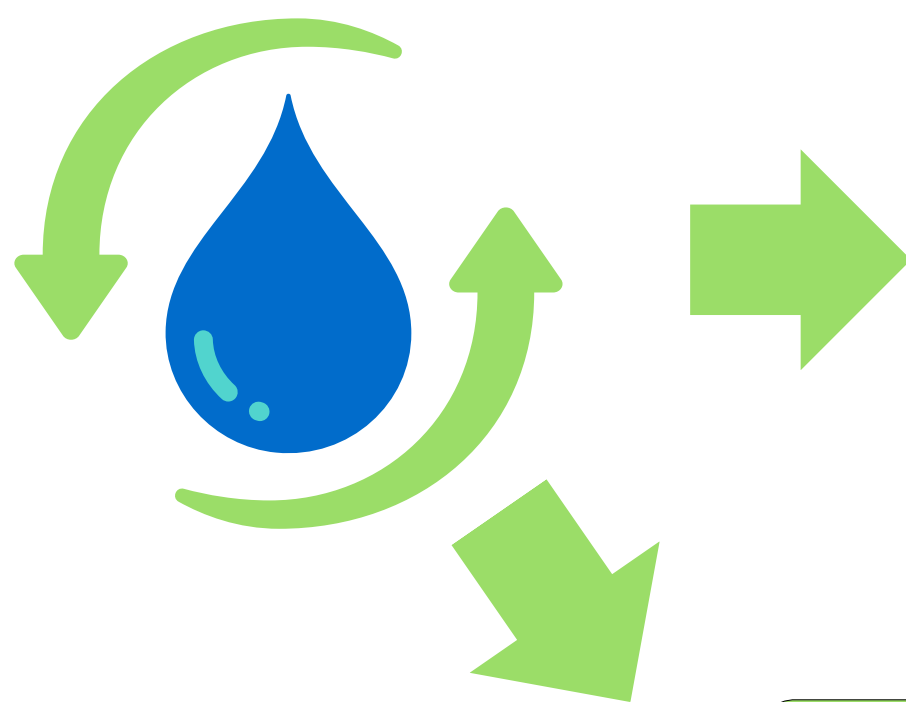
3 Adição de microrganismos que são responsáveis pela fermentação: ***Saccharomyces cerevisiae***.

4 Vinho, o produto do processo, pronto para consumo ou **armazenamento**.

5. TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES

Logo torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas que permitam tratar os resíduos gerados durante as etapas de processamento. Como o nome já sugere, o tratamento biológico de efluentes é um processo **inteiramente** realizado por **microrganismos** (mecanismos biológicos), que busca otimizar os mecanismos biológicos ocorridos de forma natural em corpos d'água, ou seja, a autodepuração.

Autodepuração



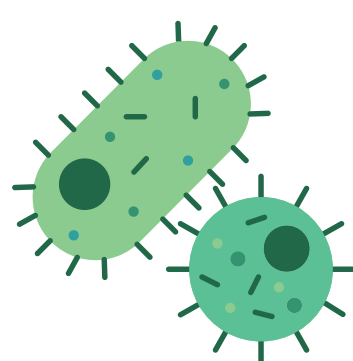
Refere-se ao processo no qual a matéria orgânica é, de forma natural, convertida em produtos mineralizados inertes.

Purificação natural de efluentes.

Organismos que atuam no tratamento biológico...



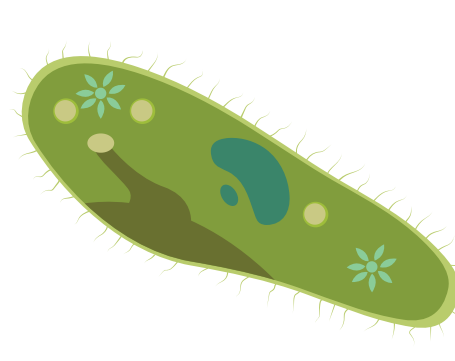
Fungos



Bactérias



Algas



Protozoários



Vermes

Esses microrganismos se encontram em **maior** número (são os principais).

6. DIGESTÃO ANAERÓBIA

A Digestão Anaeróbia consiste em uma tecnologia de tratamento biológico de resíduos, desempenhado por um conjunto diverso de microrganismos, chamados também de **biomassa**, que tem por produto final o **Biogás**. Que é composto principalmente por gás metano, sendo fonte de energia alternativa caracterizando-se como um novo produto que agrega valor ao resíduo.

O processo pode ser simplificado em quatro (4) fases:

1^a

Hidrólise

2^a

Acidogênese

3^a

Acetogênese

4^a

Metanogênese

Entretanto, consiste em um tratamento **complexo**, que sofre influência de diversos fatores ambientais, e das características próprias do **substrato** a ser digerido.

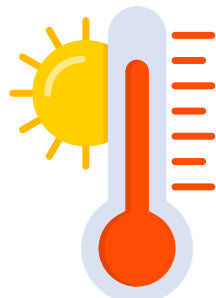
Resumidamente...

①



**Potencial
Hidrogeniônico (pH)**

②



Temperatura

③



Nutrientes

④



**Pressão
parcial de
hidrogênio**

- ① Relação com os **Ácidos Graxos Voláteis (AGVs)** e **alcalinidade**.
- ② Temperaturas ideais para o metabolismo e sobrevivência de **microrganismos** no processo.
- ③ **Fósforo e nitrogênio**: essenciais para os microrganismos (processos anaeróbios).
- ④ Balanceamento entre os microrganismos produtores e consumidores de **hidrogênio**.

Para se iniciar um processo de **digestão anaeróbia** é utilizado o **inóculo!**

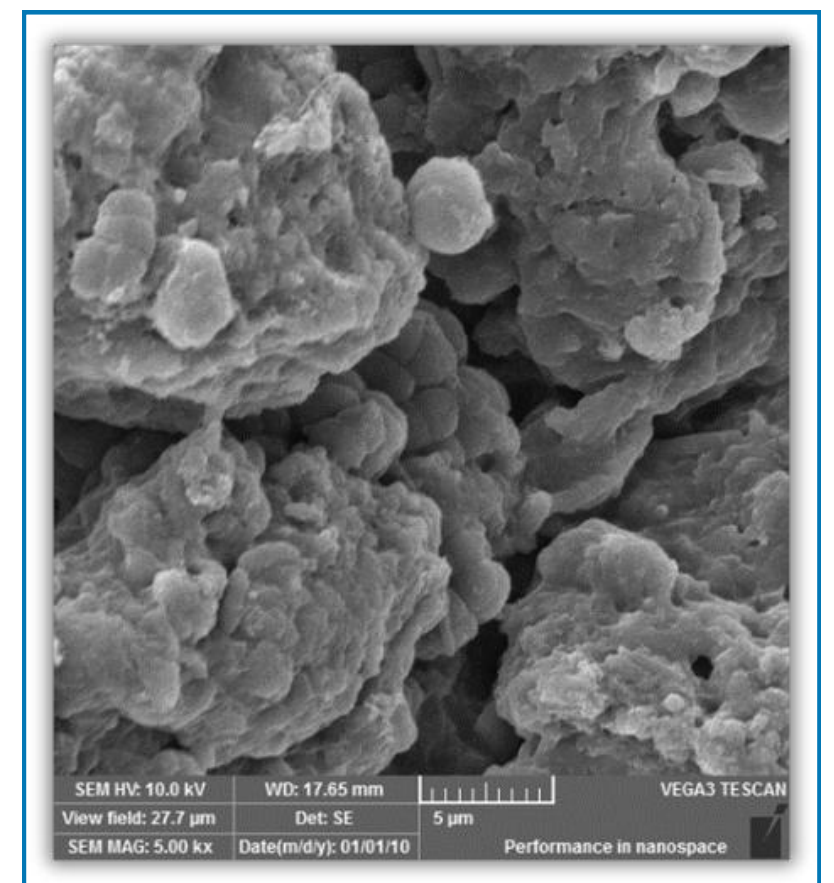


7. O QUE É O INÓCULO?

Inóculo é a **biomassa** que dará início ao processo de digestão anaeróbia! É caracterizado por um material orgânico (contém nutrientes e outros compostos), além da comunidade microbiana, isto é, diversos **microrganismos** que irá contribuir para formação de outros **microrganismos** no início do processo de digestão anaeróbia.



Lodo anaeróbio de reator UASB



Microscopia eletrônica de varredura do lodo



Um dos principais inóculos utilizados: o **lodo anaeróbio**.

8. POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

O **Potencial Bioquímico da Metano (PBM)** é um método aplicado para avaliar o potencial de produção de metano de um efluente a ser submetido ao processo de **digestão anaeróbia**. Este método pode ser realizado seguindo a metodologia da norma **alemã VDI 4630**.

A norma alemã VDI 4630 é reconhecida na União Europeia e estabelece condições para execução de ensaios cinéticos em batelada, semicontínuos e contínuos para avaliação da degradação anaeróbia de substratos orgânicos.

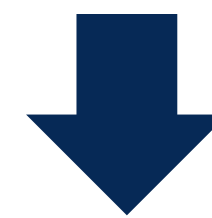


- Possibilidade de produção de biogás e a degradabilidade biológica anaeróbia de determinado material ou mistura de materiais.
- Avaliação qualitativa da velocidade de degradação do material em estudo.
- Avaliação do efeito inibitório do material investigado em um determinado intervalo de tempo.

André *et al.* (2020) avaliaram o Potencial Bioquímico de Metano durante a digestão anaeróbia (DA) utilizando, como substrato, efluente produzido durante o processo da **ultrafiltração da acerola verde, aplicando diferentes** cargas de **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**. Os resultados demonstraram uma viabilidade no uso desse efluente, embora tenha evidenciado a **inibição da metanogênese na DA**.



Acúmulo de Ácidos Graxos Voláteis (AGVs).



Substrato com baixo teor de Nitrogênio.

Tabela 1: Caracterização química das águas residuárias do processo de ultrafiltração da acerola verde.

Parâmetros	Valores
pH	3,5
DQO	129 g O ₂ .L ⁻¹
DBO	34 g O ₂ .L ⁻¹
Sólidos totais	144 g ST.L ⁻¹
Nitrogênio	0,29 g NH ₃ .L ⁻¹
Fósforo	1 g P-PO ₄ .L ⁻¹
DQO/DBO	3,79

Fonte: Adaptada de André *et al.*, (2020).

9. RELAÇÃO INÓCULO/SUBSTRATO

O início da digestão anaeróbia é muito importante para todo o processo. Uma vez que o inóculo possui diversos microrganismos que vão atuar nesse momento, é necessário que se tenha **controle** de quantidade desse, bem como da quantidade de substrato, ou seja, a proporção **inóculo/substrato (I/S)**.

Silva *et al.* (2020) analisaram a influência da relação **inóculo/substrato** no PBM, utilizando resíduos da **vinificação (bagaço de uva)** como substrato para digestão anaeróbia. Indicando que o bagaço de uva apresenta **potencial** para tratamento biológico através da digestão anaeróbica.



Foi alcançada a produção de metano em 12 dias de teste.

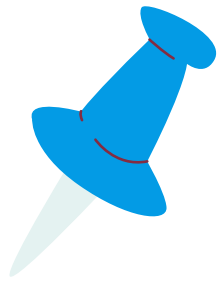
Relação I/S de 3 demonstrou ter o melhor rendimento.



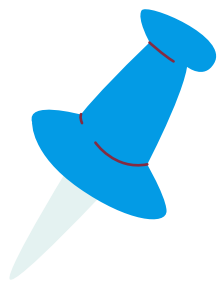
A escolha correta da proporção entre substrato e inóculo poderá influenciar na produção **metano** durante o processo de digestão anaeróbia. Sendo **ineficiente** ou **eficiente**.

Existem outros fatores que influenciarão também, como os citados no tópico **“DIGESTÃO ANAERÓBIA”**.

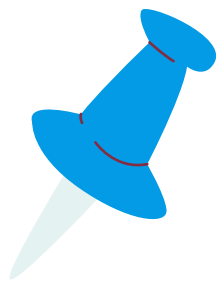
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS



Tratar resíduos de agroindústrias faz parte da cadeia produtiva sustentável. O processo de digestão anaeróbia se caracteriza como uma das mais promissoras formas nesse âmbito, visto que é possível agregar valor aos resíduos pelo tratamento.



O processo viabiliza uma destinação correta e sustentável aos resíduos, pois transforma-os em biogás e, até mesmo, no digestato (efluente resultante do processo de DA com características próximas a fertilizantes), resultando em uma fonte de energia alternativa e biofertilizantes.



Desta forma, espera-se que os tópicos de digestão anaeróbia apresentados nesta cartilha elucidem alguns aspectos básicos da digestão anaeróbia, trazendo ideias de aplicações desses estudos acerca do tratamento de resíduos em agroindústrias.

12. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PET-MEC, ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) pelo incentivo financeiro e à Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) pelo apoio institucional.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, A. C. L.; AMORIM, M. C. C.; SILVA, K. C. D.; SOUZA E SILVA, P. T. **Biochemical potential of methane of wastewater ultrafiltration in the processing of unripened green acerola (*Malpighia emarginata*)**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 135–144, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2020v41n2p135>. Acesso em: 8 out. 2023.

BARROS, E. S. C. **Remoção de carga orgânica do efluente da agroindústria da Acerola (*Malpighia Emarginata D.C.*) em reator UASB**. Orientadora: Miriam Cleide Cavalcante de Amorim. 2017. 60 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2017. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~tcc/00000d/00000d5e.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2024.

BRASIL. LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispendo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de março de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, nº 92, 2011.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997. 380 p.

FERNANDES, L. M. **Clarificação do suco de acerola por processo com membrana**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, p. 119. 1999.

GUERRA, C. C.; SILVA, G. A. **Uva para o processamento**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/uva-para-processamento/pos-producao/processamento-da-uva>. Acesso em: 8 out. 2023.

KUNZ, A.; STEINMETZ, L. R. L.; AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia - SC: editores técnicos, 2019. p. 214.

SILVA, K. C. D.; AMORIM, M. C. C.; GALVÃO, R. S. GONÇALVES, Y. B. O.; SILVA, P. T. de S.; BARROS, E. S. C. **Effect of the inoculum/substrate ratio on the biochemical methane potential (BMP) of grape marc.** Revista Ambiente & Água, [S. l.], v. 15, n. 5, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2541>. Acesso em: 8 out. 2023.

VDI. VDI 4630 - **Fermentation of organic materials characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests.** VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade de águas e ao tratamento de esgotos.** 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996. 243 p.