

Faculdades Integradas de Patos  
Curso de Medicina  
v. 2, n. 3, out/dez 2017, p. 735-751  
ISSN: 2448-1394



## **FERMENTAÇÕES INDUSTRIAIS: DEFINIÇÃO, IMPORTÂNCIA, CLASSIFICAÇÃO E MICROORGANISMOS ENVOLVIDOS**

*INDUSTRIAL FERMENTATIONS: DEFINITION, IMPORTANCE, CLASSIFICATION AND  
MICROORGANISMS INVOLVED*

Bruna Rodrigues de Sousa  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Pombal – PB - Brasil  
[brunasousa14@hotmail.com](mailto:brunasousa14@hotmail.com)

Iego Nobrega Ferreira  
Faculdades Integradas de Patos – FIP – Patos – Paraíba – Brasil  
[iegonobrega@gmail.com](mailto:iegonobrega@gmail.com)

Uyara Nunes de Medeiros Silva  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Pombal – PB – Brasil  
[uyaranunes@hotmail.com](mailto:uyaranunes@hotmail.com)

Thuany Rodrigues Dias  
Faculdades Integradas de Patos – FIP – Patos – Paraíba – Brasil  
[thuany.trd@gmail.com](mailto:thuany.trd@gmail.com)

Adriano Sant’Ana Silva  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Pombal – PB - Brasil  
[adriano.santana@ccta.ufcg.edu.br](mailto:adriano.santana@ccta.ufcg.edu.br)

### **RESUMO**

**Objetivo:** Realizar uma revisão integrativa da literatura em periódicos dos trabalhos entre 2000 a 2016 que envolvem o relato da definição, importância, classificação e microrganismos envolvidos nas fermentações industriais que poderá servir como fonte de conhecimento para futuras pesquisas relacionadas ao tema.

**Métodos:** Trata-se de uma revisão de literatura especializada, na qual realizou-se consultas à livros e artigos científicos selecionados através de busca no banco de dados do pubmed, scielo, bireme, google acadêmico e em periódicos CAPS.

**Resultados:** Foi observado que os processos fermentativos somente podem ser utilizadas em larga escala industrial, quando se tem o conhecimento específico acerca do microrganismo a ser utilizado, do meio de cultivo no qual ele sofrerá fermentação, do modo de condução do processo para que este se torne viável economicamente e das etapas de recuperação do produto.

**Conclusões:** As fermentações são um processo biotecnológico de grande interesse comercial para os mais diversos setores da sociedade gerando além de pesquisas, lucro oriundo da comercialização dos bioprodutos.

**Palavras-Chave:** Processos fermentativos. Agentes de fermentação. Biotecnologia.

**ABSTRACT**

**Objective:** Conduct a review of the literature Journal of integrative work between 2000 to 2016 involving the definition, importance, classification and microorganisms involved in industrial fermentations that can serve as a source of knowledge for future research related to the topic.

**Methods:** This is a review of specialized literature, which held consultations to selected scientific books and articles through search the pubmed database, scielo, bireme, google scholar and in journals CAPS.

**Results:** It was observed that the fermentation processes can only be used in large scale industrial, when you have specific knowledge about the micro-organism to be used, the medium in which he will undergo fermentation, driving mode of the process for this to become economically viable and product recovery steps.

**Conclusions:** The brews are a biotechnological process of great commercial interest to the most diverse sectors of society in addition to research, generating profit from the commercialization of bioproducts.

**Keywords:** Fermentation processes. Leavening agents. Biotechnology.

**1. Introdução**

Os processos fermentativos ocorrem desde a antiguidade, quando babilônios e sumérios utilizavam fermento biológico para preparar álcool, entretanto não se tinha o conhecimento de como este fenômeno ocorria. Até meados da década de 1940, ao fim da II Guerra Mundial, acreditava-se que os processos obtidos exclusivamente por via fermentativa não eram viáveis, pois os produtos que até então podiam ser obtidos por estes processos já eram produzidos em escala industrial por processos químicos tradicionais, muito mais atraentes do ponto de vista econômico<sup>1-4</sup>.

Somente no século XIX após Louis Pasteur evidenciar a atividade de microrganismos na alteração de alimentos é que se percebeu que a fermentação não era apenas um processo químico, os microrganismos estavam envolvidos nesta sequência de reações, onde estes eram necessários para a produção de metabólitos primários e secundários e conseqüentemente produtos<sup>4-6</sup>.

Desde então, a aplicação extensiva de bioprocessos criou um ambiente promissor para muitos engenheiros expandirem o campo da biotecnologia, gerando uma nova abordagem de utilização de organismos vivos em escala industrial, com alta eficiência e baixo custo, para a geração de diversos produtos biotecnológicos de interesse comercial<sup>7,5,8</sup>.

Tomando como base os aspectos citados anteriormente, e os trabalhos disponíveis na literatura, que envolvem o relato da definição, importância, classificação e microrganismos envolvidos nas fermentações industriais, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura em periódicos, que poderá servir como fonte de conhecimento para acadêmicos, profissionais da área de biotecnologia e também futuras pesquisas relacionadas ao tema aqui abordado.

## 2. Métodos

A pesquisa do material foi desenvolvida de modo online na Base de Dados do Periódicos CAPES, na Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), nas bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e Literatura Internacional em Ciências da saúde (MEDLINE). Os critérios para a seleção da amostra foram os estudos que abordavam no título ou no resumo a temática investigada e que a data de publicação estivesse dentro do período 2000 a 2016.

## 3. Resultados e Discussão

O termo fermentação é derivado do verbo *fervere* de origem latina, que descreve a ação de leveduras em extratos de açúcar ou de malte para a produção de bebidas. Contudo, este termo é interpretado de forma diferente por profissionais da microbiologia e bioquímica. Para um microbiologista a palavra significa qualquer processo destinado a produção de um produto, a partir da cultura de microrganismos, já para um bioquímico, a palavra significa um processo de geração de energia em que compostos orgânicos agem como doadores de elétrons, isto é, um processo anaeróbico, onde a energia é produzida sem a participação de oxigênio <sup>1,9,2</sup>.

Louis Pasteur, conhecido como o pai do processo de fermentação, definiu a mesma como um mecanismo anaeróbico de produção de energia que não envolvia a cadeia respiratória, entretanto nos dias atuais esta definição tem sido ampliada pelo fato de alguns processos que são conduzidos utilizando-se o oxigênio e a cadeia respiratória, também serem classificados como processos fermentativos. Portanto, um novo conceito mais abrangente para fermentação consiste numa aplicação industrial de reações ou vias biológicas, mediadas por microrganismos sobre condições controladas para a biotransformação de matérias primas em produtos, em suma ocorre quando o microrganismo se reproduz, a partir de uma fonte apropriada de nutrientes, visando a obtenção de um bioproduto <sup>1,2,4</sup>.

Atualmente as áreas de engenharia, bioquímica e microbiologia têm permitido a implementação de processos fermentativos para a produção de mais de 200 tipos de produtos de interesse comercial para a sociedade, seja na indústria química, farmacêutica, na agricultura, bem como na indústria de alimentos, como representado na **(tabela 1)**. Entretanto a fermentação tem sua maior importância na geração de energia necessária para a manutenção das funções biológicas necessárias a vida <sup>10,5,6</sup>.

**Tabela 1: Setores e produtos desenvolvidos por processos fermentativos**

| <b>Setores</b>                | <b>Produto</b>  |
|-------------------------------|---|
|                               | Etanol  |
| <b>Indústria química</b>      | Ácidos orgânicos (ácidos acético, butírico e cítrico) |
|                               | Solventes (acetona, butanol, isopropanol)             |
|                               | Enzimas   |
|                               | Antibióticos  |
| <b>Indústria farmacêutica</b> | Anticorpos monoclonais                                |
|                               | Vacinas   |
| <b>Energia</b>                | Metanol (biogás)                                      |
|                               | Queijo, iogurtes, manteigas                           |
| <b>Indústria alimentícia</b>  | Bebidas alcóolicas (cerveja, vinho)                   |
|                               | Picles, azeitonas, chucrute                           |
|                               | Produtos de panificação                               |
|                               | Aditivos alimentares                                  |
|                               | Tratamento de esgoto                                  |
| <b>Agricultura</b>            | Pesticidas microbianos                                |
|                               | Controle biológico de pragas                          |

**Fonte: Autoria própria (2016)**

Ao longo dos anos, os rendimentos e produtividades dos processos têm sido continuamente melhorados devido aos desenvolvimentos nas áreas de informática e biologia molecular que têm contribuído para que a produção biotecnológica de bioprodutos fermentados se torne economicamente interessante <sup>6,8</sup>.

Os processos fermentativos industriais podem ser classificados nos seguintes grupos: aqueles que produzem células microbianas (biomassa) como o produto; aqueles que produzem metabólitos microbianos; aqueles que produzem enzimas microbianas; aqueles que modificam um composto que é adicionado para a fermentação - Os processos de transformação e os que produzem os produtos recombinantes <sup>1,2</sup>.

A produção de biomassa se refere a síntese dos próprios microrganismos com o objetivo de venda comercial, está pode ser dividida em dois processos principais: a produção de levedura para a indústria de panificação e a produção de proteína de célula única (SPC) para a indústria alimentícia. A produção industrial de leveduras para panificação começou precocemente em 1900, quando a biomassa de leveduras foi utilizada durante a Primeira Guerra Mundial como alimentação humana. Entretanto, esta produção decaiu por volta de 1960 de modo que não foi explorada em profundidade, somente voltando a produção em larga escala nos próximos séculos. A produção de SCP para a alimentação animal, foi um marco no desenvolvimento da fermentação, sendo um excelente exemplo da aplicação da engenharia para a concepção de um processo

microbiológico, sendo uma fonte de alimento a partir de fontes renováveis, tais como soro de leite, celulose, amido, melão e uma grande diversidade de resíduos vegetais <sup>1,10,9,2</sup>.

A produção de metabólitos se refere à capacidade de formação de um produto a partir de uma cultura de microrganismos durante as suas várias fases. Após a inoculação de um microrganismo em um meio de cultura, há um período durante o qual não há crescimento microbiano aparente, sendo assim chamado de fase de desfasamento, agindo basicamente como um tempo de adaptação. Após esse período, a taxa de crescimento de células aumenta gradualmente e de modo constante, gerando a fase chamada de exponencial, onde há a taxa máxima de crescimento. Eventualmente o crescimento das células pode se tornar estável, tornando esse momento como uma fase estacionária. E por fim, quando há mais período de tempo o número de células viáveis declina e a cultura de células entra na fase de morte <sup>2,11,3</sup>.

O comportamento de uma cultura pode ser descrito de acordo com os produtos que se produz durante as várias fases da curva de crescimento. O termo "trophophase" foi sugerido para descrever a fase exponencial, onde os produtos produzidos são referidos como metabólitos primários, sendo essenciais para o crescimento das células e incluem aminoácidos, nucleotídeos, proteínas, ácidos nucleicos, lipídeos, hidratos de carbono, etc. Muitos produtos de metabolismo primário são de considerável importância econômica para os processos industriais como, por exemplo, etanol, ácido cítrico, lisina. Já o termo "idiophase" é utilizado para descrever a fase de uma cultura durante o qual os metabólitos secundários são produzidos, produtos esses que não tem um papel claro no metabolismo celular, entretendo exibem atividade antimicrobiana, farmacológica e são inibidores enzimáticos específicos e formam a base de uma série de reações do processo fermentativo, como por exemplo, penicilina, cefalosporina, ciclosporina A, entre outros <sup>1,12,8</sup>.

Pode-se observar as inter-relações entre os metabólitos primários e secundários, onde os produtos do metabolismo secundário tendem a ser sintetizados a partir de compostos intermediários e produtos finais do metabolismo primário. Além disso, nem todos os microrganismos sofrem metabolismo secundário, este é uma característica comum dos fungos filamentosos e bactérias, tendo como exceção as Enterobacteriaceae. Sendo difícil categorizar um produto sob a forma primária ou secundária, além da cinética de síntese de certos compostos, que dependem das condições de crescimento do meio de cultura <sup>12-14,5</sup>.

As enzimas podem ser extraídas a partir de animais e plantas, entretanto a produção de enzimas por fermentação de microrganismos é uma atividade utilizada pela indústria em larga escala por ser mais econômica e ter método mais viável, além de sua produtividade poder ser melhorada por tecnologia de DNA recombinante, onde o número

de cópias do gene que codifica uma certa enzima é aumentado. A maioria das enzimas são sintetizadas na fase exponencial, sendo considerados metabólitos primários. No entanto, algumas enzimas como por exemplo as amilases de *Bacillus stearothermophilus*, são produzidos por "idiophase" e podem ser consideradas metabólitos secundários. As enzimas mais comuns utilizadas para as indústrias alimentares são amilase no cozimento, protease e amilase em produtos de carne bovina, pectinase e hemicelulase no café, catalase, lactase e protease em produtos lácteos, e glicose oxidase em suco de frutas <sup>15,16</sup>.

Os produtos oriundos de biotransformação, são utilizados para catalisar a conversão de um composto em outro estruturalmente semelhante, mas financeiramente mais valioso. Os microrganismos podem comportar-se como catalisadores tornando possível a adição, remoção ou modificação de grupos funcionais em sítios específicos sobre uma molécula complexa sem o uso de proteção química, promovendo reações de oxidação, desidrogenação, hidroxilação, desidratação, condensação, descarboxilação, desaminação, aminação e isomerização. E embora a produção de vinagre seja o processo mais antigo e mais bem estabelecido de transformação (conversão de etanol em ácido acético), a maioria destes processos envolvem a produção de compostos de elevado valor, incluindo esteróides, antibióticos e prostaglandinas <sup>17,18</sup>.

A tecnologia do DNA recombinante promove a produção de diversos produtos de fermentação, onde é possível introduzir genes de organismos superiores em células microbianas de tal forma que o destinatário passe a sintetizar proteínas estranhas (ou heterólogas). Exemplos dos anfitriões para tais genes estranhos incluem *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae* e outras leveduras, bem como fungos filamentosos tal como *Aspergillus niger*, e os produtos produzidos em tais organismos geneticamente manipuladas incluem interferon, insulina, humana albumina do soro, o fator VIII e o factor IX, o factor de crescimento epidérmico, somatostatina bovina e quimosina bovina <sup>19,20</sup>.

Um processo fermentativo envolve uma série de reações que para serem realizadas com sucesso, se faz necessário ressaltar e definir em conjunto quatro pontos essenciais: o microrganismo, o meio de cultura, a forma de condução do processo fermentativo e as etapas de recuperação de um produto <sup>20,21</sup>.

Os microrganismos envolvidos nos processos fermentativos são chamados de agentes de fermentação e podem ser bactérias, fungos e vírus. As bactérias são microrganismos unicelulares, procariontes, onipresentes na natureza que promovem a produção diversas doenças, entretanto são responsáveis pela produção de produtos lácteos e enzimas, como por exemplo a estreptoquinase produzida por *Streptococcus* spp. que auxilia no tratamento de pacientes com ataques cardíacos <sup>21,22</sup>.

Os fungos são fundamentais para a ecologia do planeta, atuando lado a lado com as bactérias no processo de reciclagem de matéria, estes vivem espalhados na natureza em ambientes de baixa umidade podendo ser classificados como leveduras, microrganismos unicelulares ovais que são agentes da fermentação alcoólica e fungos filamentos, microrganismos pluricelulares que tipicamente são chamados de *bolores*, por formarem massas visíveis chamadas de micélios, compostas de longos filamentos (hifas) que se ramificam e se entrelaçam. E os vírus, que são microrganismos acelulares considerados parasitas intracelulares obrigatórios que utilizam a maquinaria celular de outro ser vivo para se desenvolver e em processos industriais são utilizados na produção de vacinas<sup>22,23</sup>.

Os agentes de fermentação que possam ter interesse industrial podem ser obtidos pelas seguintes formas: isolamento a partir de recursos naturais; compra em coleções de cultura; obtenção de mutantes naturais; obtenção de mutantes induzidos por métodos convencionais e obtenção de microrganismos recombinantes por técnicas de engenharia genética<sup>19, 20</sup>.

Naturalmente na natureza, podem ser encontrados diversos tipos de microrganismos, entretanto para sua extração é exigido um enorme trabalho experimental, significando alto custo e demanda de tempo, tornando esta forma de obtenção restrita a empresas de grande porte, mas que, todavia, promove a descoberta de novas linhagens produtoras de novos produtos<sup>20</sup>.

A compra de microrganismos em coleções de cultura é bastante viável do ponto de vista econômico, pois há a existência de diversas coleções em vários países que podem ser contactadas através de recursos da internet, como é o caso da Coleção de Culturas Tropical localizada em Campinas – São Paulo, Brasil, que atende pelo endereço eletrônico (<http://www.cct.org.br>), além de diversas outras como é listado por Stanbury; Whitaker; Hall (1995) em seu livro *Principles of fermentation Technology*<sup>19,21</sup>.

Como é citado por microbiologistas à medida que células se proliferam, há a possibilidade de surgimento de mutantes naturais que podem ser isolados originando eventualmente novas linhagens, entretanto está técnica do ponto de vista econômico não é bem vista pois demanda tempo, então prefere-se lançar mão de métodos que forcem o aparecimento destes mutantes, através de mutação induzida, onde a submissão de células a radiações ultravioletas ou a substâncias mutagênicas como a nitrosoguanidina para aparecimento de novas linhagens. Ao se permitir essa exposição ocorre uma drástica destruição de células, promovendo a técnica a ser bastante dispendiosa, mas que por outro lado gera condições de sucesso absurdas, por exemplo em seu trabalho<sup>24</sup> relatou significativa melhoria de linhagens de *Penicillium chrysogenum* para a produção de penicilina, gerando um caldo fermentado que passou da ordem de 100 unidades/cm<sup>3</sup> para 51.000 unidades/cm<sup>3</sup><sup>21,2</sup>.

As técnicas de engenharia genética promoveram um enorme avanço na obtenção de células alteradas geneticamente através da introdução de fragmentos de DNA de certas células em outras, via plasmídeos, gerando a produção de substância antes não produzida <sup>20,21</sup>.

Em conjunto com sua obtenção, <sup>21</sup> aponta as principais características que os microrganismos devem apresentar para a realização de um processo fermentativo industrial de sucesso, que podem ser descritas das seguintes formas: apresentar elevada eficiência na conversão do substrato em produto; permitir o acúmulo do produto no meio de cultivo; apresentar constância quanto ao comportamento fisiológico; não produzir substâncias incompatíveis com o produto; não ser patogênico; não exigir condições de processo muito complexas; não exigir meios de cultura dispendiosos e permitir a rápida liberação do produto para o meio <sup>19</sup>.

De fato, uma célula deve permitir elevada conversão do substrato em produto, para evitar que as matérias-primas utilizadas possam incidir particularmente sobre o custo do produto final e ao mesmo tempo permitir o acúmulo do produto no meio de cultivo, de forma a se ter elevada concentração do produto no caldo fermentado para reduzir os custos nas etapas de recuperação <sup>1,21,25</sup>.

Os microrganismos ainda devem apresentar constância quanto ao comportamento fisiológico para que este se mantenha como linhagem hiperprodutora ao longo de todas as etapas. Conseqüentemente não deve produzir substâncias incompatíveis com o produto, nem muito menos ser patogênico, pois isto poderia gerar um desinteresse pelo processo fermentativo, além de gerar custos adicionais com etapas de esterilização e biossegurança reforçada <sup>1,21</sup>.

Estes agentes de fermentação também não devem exigir condições de processo muito complexas, nem meios de cultura dispendiosos, para assim permitir a rápida liberação do produto para o meio e não promover o processo fermentativo a uma categoria muito onerosa <sup>21</sup>.

Os microrganismos de interesse industrial são denominados como aqueles que são utilizados em larga escala para a produção de produtos de aplicação biotecnológica, estes podem ser relacionados na **(tabela 2)** <sup>26,21,22</sup>.

**Tabela 2: Microrganismos de interesse industrial nos processos fermentativos**

| <b>Microrganismos</b>                 | <b>Produtos</b>                         | <b>Aplicações</b>                             |
|---------------------------------------|---|---|
| <b>Bactérias</b>                      |   |   |
| <i>Streptococcus</i> spp.             | Enzima Estreptoquinase                  | Tratamento de pacientes com ataques cardíacos |
| <i>Escherichia coli</i>               | Enzima DNA polimerase                   | PCR   |
| <i>Streptomyces olivaceus</i>         | Vitamina B12                            | Suplemento alimentar                          |
| <i>Streptomyces erythreus</i>         | Eritromicina                            | Antibiótico                                   |
| <i>Cephalosparium acremonium</i>      | Cefalosporina                           | Antibiótico                                   |
| <i>Lactococcus</i> sp.                |   |   |
| <i>Lactobacilos</i> sp.               | Laticínios                              | Indústria alimentícia                         |
| <i>Streptococcus</i> spp.             |   |   |
| <i>Acetobacter aceti</i>              | Ácido acético                           | Indústria alimentícia                         |
| <b>Fungos</b>                         |   |   |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i>       | Etanol, bebidas alcoólicas, panificação | Indústria química, alimentícia                |
| <i>Aspergillusniger</i>               | Ácido cítrico                           | Indústria alimentícia                         |
| <i>Penicillium</i> spp.               | Penicilina                              | Antibiótico                                   |
| <b>Vírus</b>                          |   |   |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> / HBV | Vacina HBV                              | Vacina contra a Hepatite B                    |

**Fonte: Autoria própria (2016)**

O meio de cultura que em processos fermentativos pode ser chamado de mosto ou meio de fermentação pode ser designado como qualquer matéria-prima proveniente da agroindústria e/ou natureza que possa ser transformada em um bioproduto por organismos vivos, podendo variar de acordo com o tipo de fermentação que se deseja realizar. Deve-se levar em consideração a composição celular, requerimento energético e necessidade de substâncias específicas para o crescimento celular. Há várias maneiras de classificar as matérias-primas, entretanto estas são geralmente divididas pela matéria-prima de maior concentração em sua origem, como representado na **(tabela 3)** <sup>1,26,21,3</sup>.

**Tabela 3: Matérias-primas utilizadas na composição de mostos de acordo com o tipo de componente principal e fermentação.**

| <b>Componente principal</b>        | <b>Matéria-prima</b>      | <b>Aplicação</b>                     |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| <b>Glicose, sacarose e frutose</b> | Cana-de-açúcar            | Fermentação alcoólica e acética      |
|                                    | Milho                     |                                      |
|                                    | Melaços, Mel de abelha    |                                      |
| <b>Lactose</b>                     | Frutas                    | Fermentação láctica                  |
|                                    | Hortaliças                |                                      |
| <b>Amido</b>                       | Leite                     | Fermentação alcoólica                |
|                                    | Grãos, raízes, tubérculos |                                      |
| <b>Celulose</b>                    | Palhas, madeiras          | Fermentação alcoólica                |
|                                    | Resíduos agrícolas        | Fermentação acetono-                 |
|                                    |                           | butanólica e butanol-<br>isopropanol |

**Fonte: Autoria própria (2016)**

Algumas características também devem ser levadas em consideração no momento de escolha do meio de cultivo, como tal: ser o mais barato possível; atender às necessidades nutricionais do microrganismo; auxiliar no controle do processo; não provocar problemas na recuperação do produto; ter composição fixa; os componentes devem permitir algum tempo de armazenagem, a fim dos estarem disponíveis o tempo todo e não causar dificuldades no tratamento final do efluente <sup>21,26</sup>.

Todas essas características são importantes, destacando - se o custo do meio de cultura, que deve ser viável economicamente, desde que atenda às necessidades do microrganismo selecionado, apresentando uma fonte de carbono, como glicose, sacarose, frutose, amido e celulose, de nitrogênio como sais, de fósforo como monoamônio fosfato (MAP) e elementos como sódio, cálcio, potássio, magnésio entre outros <sup>1,20,19</sup>.

A forma de condução de um processo fermentativo pode ser classificada de acordo com 3 subcategorias <sup>21,27</sup>.

1. Suprimento de oxigênio

O processo fermentativo, pode ocorrer de forma aeróbica, na presença de oxigênio ou na forma anaeróbica na ausência deste gás.

2. Crescimento do agente de fermentação

A fermentação pode ocorrer em superfície, quando os microrganismos são mantidos na superfície do meio a fermentar, com aeração natural, pela disponibilidade de oxigênio. De modo submerso, quando os microrganismos são mantidos submersos no

meio a fermentar, com um suprimento abundante de oxigênio do ar através de forte aeração; Ou de maneira sólida/semi-sólida, quando os microrganismos são mantidos sobre substratos sólidos sem a presença de água livre<sup>21,27</sup>.

### 3. Forma de condução do biorreator

O biorreator de fermentação pode operar de modo descontínuo, onde todos os nutrientes são adicionados ao biorreator antes do início do processo, exceto O<sub>2</sub>, e outros produtos químicos necessários para controle de pH e espuma, sendo um processo lento que pode ser conduzido com um inóculo por tanque, com recirculação de células, ou com inóculo por sistema de corte, ou seja, usando como inóculo o microrganismo da batelada anterior; de modo descontínuo alimentado, onde um ou mais nutrientes são adicionados ao fermentador durante o cultivo e os produtos aí permanecem até o final da fermentação; de modo semicontínuo no qual uma porção da cultura é coletada em intervalos de tempos e o meio fresco é adicionado a dorna, que pode ser classificado como repetitivo ou estendido de acordo com o modo de vazão de alimentação e adição do mosto; e de maneira contínua que pode ser executado de diversas maneiras, com um ou vários reatores e com ou sem recirculação de inóculo e caracteriza-se por possuir uma alimentação contínua de meio de cultura a uma determinada vazão constante, sendo o volume de reação mantido constante através da retirada contínua do caldo fermentado<sup>21, 27</sup>.

As etapas de recuperação de um produto consistem na geração de operações unitárias para separação dos microrganismos do produto fermentado podendo variar de destilação, filtração, floculação, extração, centrifugação que dependendo no grau de dificuldade podem gerar tributos que podem incidir sobre o valor final do produto<sup>13,14,6</sup>.

Existem diversos tipos de fermentações industriais, entretanto as mais importantes são as que estão envolvidas na indústria de alimentos e indústria química, entre estas estão a fermentação alcoólica, láctica, acética, acetono-butanólica, butanol-isopropanol e cítrica<sup>21</sup>.

A fermentação alcoólica refere-se a um processo anaeróbio e exotérmico de conversão de carboidratos fermentescíveis em etanol e formação de gás carbônico por meio de levedura com alto potencial catalítico, a *Saccharomyces cerevisiae*<sup>28 29</sup>.

Segundo<sup>26</sup> qualquer produto que contenha açúcar ou outro carboidrato, constitui-se uma matéria-prima para a obtenção do etanol. Dentre os carboidratos fermentescíveis podem ser utilizados mel de abelha, cana de açúcar, beterraba, melaço, frutas ou quaisquer outros materiais que contenham amido como raízes, tubérculos, grãos, entre outros. Este quando produzido é destinado a indústria química na forma de etanol carburante, farmacêutico e a indústria alimentícia para produção de bebidas alcoólicas fermentadas, destiladas e produtos de panificação.

Dentre os principais produtos que utilizam a fermentação alcoólica estão o vinho, a cerveja e o pão. Na produção de vinho, as uvas são colhidas, esmagadas e tratadas com compostos de enxofre, que inibem o crescimento de microrganismos competidores das leveduras formando o mosto, que é deixado em repouso criando condições anaeróbias favoráveis à fermentação. Após a fermentação o gás carbônico produzido é liberado para a atmosfera e a concentração de etanol à medida que aumenta, torna-se tóxica para as leveduras, promovendo o fim da fermentação <sup>30,31,18</sup>.

Na produção de cerveja, o meio de cultivo utilizado é o malte (grãos de cevada germinados e secos), outros materiais ricos em amido como arroz, milho, lúpulo e água, que são inoculados com as leveduras para inicialmente promover a sacarificação, onde há a produção de açúcares simples a partir do amido na mistura de cereais. Durante a fermentação, as leveduras convertem os açúcares em etanol e gás carbônico e pequenas quantidades de glicerol e ácido acético. O gás carbônico é liberado e o etanol atinge uma concentração de cerca de 3,8% do volume, produzindo uma bebida fermentada que é armazenada durante alguns meses, para promover a precipitação das leveduras, proteínas e outras substâncias indesejáveis, por fim, a cerveja é clarificada, filtrada e engarrafada. No México, um tipo de cerveja conhecida como "pulque" é produzida desde tempos pré-colombianos pela fermentação de plantas do gênero *Agave* por leveduras e lactobacilos. O destilado resultante do produto dessa fermentação é a popular "tequila" <sup>32-35</sup>.

Na produção de pão, diferente da produção de outros alimentos, o gás carbônico é que é o produto desejado, uma vez que ele promove o crescimento da massa, dando ao pão uma textura porosa, então o amido da farinha é hidrolisado em açúcares simples pelas leveduras presentes no fermento biológico e o calor do forno provoca a expansão do gás, a evaporação do álcool e dá estrutura ao pão <sup>33,36</sup>.

A fermentação láctica é realizada por bactérias denominadas lácteas do gênero *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* e *Pediococcus*, que promovem a conversão da glicose a ácido pirúvico e assim a redução do mesmo a ácido láctico, que é utilizado na produção de laticínios como queijos, coalhadas e iogurtes, além de pickles, azeitonas, chucrutes<sup>13,2</sup>.

Diversos tipos de queijo são fabricados a partir de leite previamente coagulado por uma enzima, a renina, obtida do estômago de mamíferos. Após a drenagem da proteína do leite, é inoculada a linhagem de bactéria correspondente ao tipo de queijo que se quer obter. Substâncias produzidas e eliminadas pelas bactérias fermentadoras são responsáveis pelo sabor e aroma característicos de cada tipo de queijo. Por exemplo, na produção de queijo suíço é empregada a bactéria *Propionibacterium freudenreichii*, que libera, como produto da fermentação da lactose do leite, ácido propiônico e gás

carbônico, responsáveis pelo sabor característico e pelas cavidades típicas desse tipo de queijo<sup>33,37</sup>.

Iogurtes comerciais são produzidos a partir de leite desnatado concentrado, obtido por evaporação a vácuo. O leite é inoculado com uma mistura de bactérias *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus* e incubado a 45 °C por várias horas. Durante esse tempo, o estreptococo produz ácido láctico a partir da fermentação da lactose do leite: o lactobacilo, por sua vez, produz a maior parte das substâncias que conferem cremosidade, sabor e aroma característicos do iogurte. Um dos segredos da fabricação de um bom iogurte é o equilíbrio entre a multiplicação dessas duas espécies de bactéria: em certos casos, leveduras também podem participar do processo<sup>38,39</sup>.

A fermentação acética refere-se a uma reação exotérmica de oxidação do etanol para a produção de ácido acético com a incorporação de oxigênio e liberação de energia, por meio de culturas mistas de bactérias ácido-acéticas dos gêneros *Acetobacter* e *Gluconobacter*, paraproduzir altas concentrações de ácido acético<sup>40,29</sup>.

Após a elaboração da fermentação alcoólica, dá-se origem ao vinagre por fermentação acética que é um composto diferenciado em sabor e aroma em parte pela matéria-prima inicial utilizada durante a fermentação etanólica<sup>41,18</sup>.

A fermentação acetono-butanólica e a fermentação butanol-isopropanol são promovidas por bactérias do gênero *Clostridium*, que promovem a mesma a partir do melaço de cana-de-açúcar, produzindo acetona, butanol e isopropanol que são importantes solventes empregados na indústria química e farmacêutica<sup>42,33</sup>.

A fermentação cítrica é realizada por fermentação do melaço de cana-de-açúcar a partir de fungos gênero *Aspergillus*, que por fermentação em superfície promovem a produção de ácido cítrico que é empregado pela indústria de refrigerantes, geleias como conservante<sup>42,5,33</sup>.

## Considerações finais

A partir da observação das literaturas descritas pode-se constatar que a utilização de microrganismos fermentadores pela espécie humana advém de milhares de anos fornecendo através de processos fermentativos os mais diversos tipos de produtos para a sociedade, não podendo este tipo de processo ser substituído por outros de ordem química, pois os bioprodutos produzidos podem ser afetados de modo que concomitantemente pode haver até a não produção dos mesmos.

Dentro dos processos fermentativos existe uma linha de raciocínio para que haja uma fermentação de excelente qualidade com otimização em larga escala comercial, sugerindo que neste procedimento tenha-se uma atenção específica com relação a escolha do microrganismo, do meio de cultivo, da forma de condução do processo e da

recuperação do produto, havendo a necessidade de conhecimentos sobre a importância do produto a ser gerado, pois os produtos fermentados propiciam benefícios a diferentes setores da sociedade.

Em suma, além das diversas variáveis explanadas pelo presente artigo, este ainda traz informações relevantes a cerca das fermentações industriais promovendo uma alternativa de busca e conhecimento para estudantes e profissionais da área de biotecnologia, podendo ser utilizado em âmbito multidisciplinar, pois espera-se uma maior visão sobre as fermentações industriais, para que estas sejam aperfeiçoadas para obtenção de novos produtos.

## Referências

1. Stanbury PF, Whitaker A, Hall SJ. Principles Of Fermentation Technology. 2 Ed. Elsevier Science. 1995.
2. Najafpour GD. Biochemical Engineering And Biotechnology. 1 Ed. Elsevier Science. 2007.
3. Rosa AM, Claviso J, Passos LML, Aguiar CL. Alimentos Fermentados À Base De Soja (*Glycine Max* (Merrill) L.):Importância Econômica, Impacto Na Saúde E Efeitos AssociadosÀs Isoflavonas E Seus Açúcares. Revista Brasileira De Biociências. 2009; 7 (4): 454-462.
4. Rodrigues SP. O Microrganismo No Trabalho De Pasteur: Estudos Sobre A Fermentação E Putrefação. [Tese]. São Paulo: Pontifícia Católica De São Paulo – Puc; 2014. 108f.
5. Carvalho W, Silva DDV, Canilha L, Mancilha, IM. Aditivos Alimentares Produzidos Por ViaFermentativa Parte I: Ácidos Orgânicos. Revista Analytica. 2005; (18): 70 – 76.
6. Muller JL, Protti KL, Machado MS, Lacerda LLV, Bresolin TMB, Podlech PS. Comparação Do Crescimento De *Saccharomyces Boulardii* Em Fermentador Por Batelada Tipo *Air Lift* E *Shaker*. Ciência E Tecnologia De Alimentos. 2007; 27(4):688-693.
7. Steckelberg C. Caracterização De Leveduras De Processos De Fermentação Alcoólica Utilizando Atributos De Composição Celular E Características Cinéticas. [Tese]. São Paulo: Universidade Estadual De Campinas – Unicamp; 2001. 202f.
8. Komatsu TR, Buriti FCA, Saad SMI. Inovação, Persistência E Criatividade Superando Barreiras No Desenvolvimento De Alimentos Probióticos. Revista Brasileira De Ciências Farmacêuticas. 2008; 44(3):329-347.
9. Torres-Neto AB, Silva ME.; Silva WB, Swarnakar R, Silva FLH. Cinética E Caracterização Físico-Química Do Fermentado Do Pseudofruto Do Caju (*Anacardium Occidentale* L.). Química Nova. 2006;29(3):489-492.

10. Rodrigues AM, Sant'anna ES. Efeito Do Cloreto De Sódio Na Produção De Proteínas(*Saccharomyces Cerevisiae*) Em Fermentação Semi-Sólida. *Ciência E Tecnologia De Alimentos*. 2001;21(1):57-62.
11. Fumagali E, Gonçalves RAC, Machado MFPS, Vidoti GJ, Oliveira AJB. Produção De Metabólitos Secundários Em Cultura De Células E Tecidos De Plantas: O Exemplo Dos Gêneros *Tabernaemontana* E *Aspidosperma*. *Revista Brasileira De Farmacognosia*, V. 18, N. 4, P. 627-641, 2008.
12. Silva, J. A.; Silva, F. L. H.; Alves, R. R. N.; Santana, D. P. Influência Das Variáveis Nitrogênio, Fósforo E  $\alpha$ -D-Glucose Na Produção Dos Metabólitos Secundários Contaminantes Totais Da Fermentação Alcoólica. *Química Nova*, V. 29, N. 4, P. 695-698, 2006.
13. Almeida, K. E.; Bonassi, I. A.; Roça, R. O. Características Físicas E Químicas De Bebidas Lácteas Fermentadas E Preparadas Com Soro De Queijo Minas Frescal. *Ciência E Tecnologia De Alimentos*, V. 21, P. 2, P. 187-192, 2001.
14. Alves, J. R.; Souza, O.; Podlech, P. A. S.; Giachini, A. J.; Oliveira, V. L. Efeito De Inoculante Ectomicorrízico Produzido Por Fermentação Semi-Sólida Sobre O Crescimento De *Eucalyptus Dunnii* Maiden. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2001;36(2): 307-313.
15. Uenojo M, Pastore GM. Pectinases: Aplicações Industriais E Perspectivas. *Química Nova*. 2007;30(2):388-394.
16. Castro AM, Pereira-Júnior N. Produção, Propriedades E Aplicação De Celulases Na Hidrólise De Resíduos Agroindustriais. *Química Nova*. 2010;33(1):181-188.
17. Bach F. Obtenção De Fermentado Acético A Partir Do Soro De Leite. [Monografia]. Pinhalzinho: Universidade Do Estado De Santa Catarina; 2009.
18. Barbosa CD. Obtenção E Caracterização De Vinho E Vinagre De Manga (*Mangifera Indica* L.): Parâmetros Cinéticos Das Fermentações Alcoólica E Acética. [Dissertação]. Minas Gerais: 2014. Universidade Federal De Minas Gerais – UFMG; 2014. 128 p.
19. Ferro ES. Translational Biotechnology: Hemopressin And Other Intracellular Peptides. *Estudos Avançados*. 2010; 24(70):109 – 121.
20. Costa AM. Prospecção Gênica E Bioinformática. In: Faleiros FG, Andrade SEM, Reis Júnior FB. *Biotechnology: Estado Da Arte E Aplicações Na Agropecuária*. Embrapa Cerrados, 2011.
21. Schmidell W. *Biotechnology Industrial – Engenharia Bioquímica*. Coordenadores: Borzani W, Lima UA, Aquarone E. - São Paulo: Blucher, Vol. 2, 2001.
22. Tortora GJ, Funke BR, Case CL. *Microbiologia*. 10. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.
23. Menezes CR, Silva IS, Durrant LR. Bagaço De Cana: Fonte Para Produção De Enzimas Ligninocelulolíticas. *Estudos Tecnológicos*. 2009; 5(1):68-78.
24. Schmidell W, Fernandes OL. O Aspecto Evolutivo Dos Processos Industriais Biotecnológicos. *Revista Politécnica*. 1993; (209):31-33.

25. Celestino SMC, Celestino KRS. Biotecnologia Aplicada A Engenharia De Alimentos. In: Faleiros FG, Andrade SEM, Reis Júnior FB. Biotecnologia: Estado Da Arte E Aplicações Na Agropecuária. Embrapa Cerrados, 2011.
26. Lima UA. Biotecnologia Industrial – Processos Fermentativos E Enzimáticos. Coordenadores: Aquarone E, Borzani W, Schmidell W. - São Paulo: Blucher, Vol. 3, 2001.
27. Naves RF, Fernandes FS, Pinto OG, Naves PLF. Contaminação Microbiana Nas Etapas De Processamento E Sua Influência No Rendimento Fermentativo Em Usina Alcooleira. Enciclopédia Biosfera. 2010;6(11): 1-16.
28. Bellini MZ. Caracterização Bioquímica Dos Vinagres Brasileiros. [Dissertação]. Campinas: Universidade Estadual De Campinas – Unicamp. 2006. 86p.
29. Araújo LT. Estudo Da Produção E Do Envelhecimento Do Vinagre De Laranja Lima. [Dissertação]. Maceió: Universidade Federal De Alagoas – UFAL. 2012. 123p.
30. Silva ME, Torres Neto AB, Silva WB, Silva FLH, Swarnakar R. Cashew Wine Vinegar Production: Alcoholic And Acetic Fermentation. Brazilian Journal Of Chemical Engineering. 2007; 24(02): 163 – 169.
31. Cataneo CB, Caliar V, Gonzaga LV, Kuskoski EM, Fett, R. Atividade Antioxidante E Conteúdo Fenólico Do Resíduo Agroindustrial Da Produção De Vinho. Semina: Ciências Agrárias. 2008; 29(1): 93-102.
32. Rebello FFP. Produção De Cerveja. Revista Agrogeoambiental. 2009; [S.V.]:145-155.
33. Amabis JM, Martho GR. Biologia Das Células. 3ª Ed. São Paulo: Moderna, 2010.
34. Resende DR, Castro RA, Pinheiro PCO. Saber Popular Nas Aulas De Química: Relato De Experiência Envolvendo A Produção Do Vinho De Laranja E Sua Interpretação No Ensino Médio. Química Nova Na Escola. 2010; 32(3):151- 160.
35. Mega JF, Neves E, Andrade CJ. A Produção Da Cerveja No Brasil. Revista Ciência, Tecnologia, Inovação E Oportunidade. 2011;1(1):34 – 42.
36. Oliveira TM, Pirozi MR, Borges JTS. Elaboração Do Pão De Sal Utilizando Farinha Mista De Trigo E Linhaça. Alimentos E Nutrição Araraquara. 2007. 18(2): 141-150.
37. Menezes SSM. Queijo Artesanal: Identidade, Prática Cultural E Estratégia De Reprodução Social Em Países Da América Latina. In: Xiii Encuentro De Geógrafos De América Latina, Número Especial Egal, Universidad De Costa Rica - Universidad Nacional, Costa Rica. Revista Geográfica Da América Central, 2011: 1-16.
38. Santana LRR, Santos LCS, Natalicio MA, Mondragon-Bernal OL, Elias EM, Silva CB, Zepka LQ, Martins ISL, Vernaza MG, Castillo-Pizarro C, Bolini HMA. Perfil Sensorial De Iogurte *Light*, Sabor Pêssego. Ciência E Tecnologia de Alimentos. 2006; 26 (3):619-625.
39. Soares DS, Fai AEC, Oliveira AM, Pires EMF, Stamford TLM. Aproveitamento De Soro De Queijo Para Produção De Iogurte Probiótico. Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinária E Zootecnia. 2011;63(4):996-1002.

40. Palma MAS, Carvalho LFCP, Gavóglio LC. Vinagres. In: Aquarone E. Biotecnologia Industrial – Biotecnologia Na Produção De Alimentos. Coordenadores: Borzani W, Schmidell W, Lima UA. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. P. 183-208.
41. Veloso CL. Serviço Brasileiro De Respostas Técnicas – Sbrt. Dossiê Técnico. Sistema De Produção De Vinagre. Instituto Euvaldo Lodi – Iel, Bahia, 2013.
42. Aquarone E. Biotecnologia Industrial – Biotecnologia Na Produção De Alimentos. Coordenadores: Borzani W, Schmidell W, Lima UA. - São Paulo: Blucher, Vol 4, 2001.