

A IMPORTÂNCIA DOS FUNGOS NA BIOTECNOLOGIA

Camila Joyce Alves da Silva¹
Diana Jussara do Nascimento Malta²

Biomedicina



ISSN IMPRESSO 1980-1769
ISSN ELETRÔNICO 2316-3151

RESUMO

Os fungos são onipresentes na natureza, com aproximadamente 1,5 milhão de espécies, e suscitam problemas de importância diversa em variados setores das atividades humanas, por isso a Micologia desdobrou-se em múltiplas especialidades com reflexos em vários ramos de conhecimento e aplicações, desenvolvendo bens e serviços como produtos químicos e farmacêuticos, comestíveis, laticínios, bebidas alcoólicas de todos os tipos e da área biomédica, fazendo dos fungos seres fundamentais para a humanidade. Todos esses processos de transformação de matérias-primas renováveis, e os de produção, mediante cultivos e aplicações celulares microbianos, animais e vegetais, ou seus distintos componentes, compreendem a Biotecnologia. Muito antes que o homem entendesse a biologia, ele já lidava com a biotecnologia na produção de vinhos e pães devido, em grande parte, às propriedades fermentativas das leveduras há milhares de anos, vindo os fungos a desempenharem o papel de percursos da aplicação biotecnológica. A biotecnologia envolve várias áreas do conhecimento e, em consequência, vários profissionais, sendo uma ciência de natureza multidisciplinar que associada ao desempenho obtido através das técnicas de melhoramento micológico para obtenção de novos produtos biotecnológicos, trouxe benefícios para a saúde humana. Além do potencial industrial, os fungos estão diretamente ligados à recuperação ambiental, tanto na reciclagem de resíduos agrícolas e agroindustriais, como na biodegradação de materiais com função econômica, social e ambiental. Com a utilização das fontes de compostos químicos das células fúngicas, muito ainda deve ser pesquisado e desenvolvido, considerando os benefícios e possibilidades, entre as novas ferramentas da ciência mencionadas, a biotecnologia ocupa lugar de destaque com a introdução dos fungos em seus processos e avanços.

PALAVRAS CHAVE

Aplicações biotecnológicas, Fungos, Metabólitos fúngicos, Potencial industrial.

ABSTRACT

Fungi are everywhere in nature, with about 1.5 million species, which raise important questions in different sectors of human activity, so that the Mycology deployed in various specialties reflected in various sectors of knowledge and applications, products and services in development, such as chemicals and pharmaceuticals, edible, dairy products, alcoholic drinks of all kinds and biomedical, fungi are fundamental things for humanity. All these processes of transformation of renewable raw materials, and production with crops and applications of microorganisms, animals and plants, or its distinct components comprise Biotechnology. Long before man understand the biology, he wore biotechnology in the production of wines and breads largely due to the properties of yeast fermentation for thousands of years, from fungi that have played a precursor role for biotechnological applications. The biotechnology involves several areas of knowledge and, consequently, various professionals, being a multidisciplinary science that associated with the performance achieved through the mycological improvement techniques to obtain new biotech products, brought benefits to human health. Besides the industrial potential, the fungi are directly linked to environmental recovery in both the recycling of agricultural and agro-industrial waste as the biodegradation of materials with economic, social and environmental performance. With the use of sources of chemical compounds of fungal cells, much remains to be researched and developed considering the benefits and possibilities of the new tools mentioned, the biotechnology occupies a prominent place with the introduction of the fungi in its processes and advances.

KEYWORDS

Biotechnological applications, Fungi, Fungal metabolites, Industrial potential.

1 INTRODUÇÃO

O século XXI terá na biotecnologia seu rebento mais bem-sucedido, sendo ela um ponto de encontro onde distintos personagens conversam de modo inovador sobre os mais diversos temas. Manipular seres vivos para produzir bens e serviços, envolve tecnologias de diversos níveis, como os processos de fermentação e as técnicas de manipulação genética, e se apresenta como um paradigma técnico-científico essencialmente transdisciplinar (ARBIX, 2007).

A biotecnologia consiste no uso de sistemas celulares para o desenvolvimento de processos e produtos de interesse econômico ou social. Entre os sistemas celulares, os fungos são de grande interesse biotecnológico. Talvez sejam eles, dentre os seres vivos, os que mais têm contribuído com produtos e processos de importância fundamental para o bem estar da população (AZEVEDO, 2011).

Os fungos são organismos eucarióticos, heterotróficos, obtendo sua alimentação a partir de matéria orgânica inanimada ou nutrindo – se como parasitas de hospedeiros vivos. Estes micro-organismos influenciam a vida do homem participando de processos desejáveis ou prejudiciais. De um modo geral, os fungos incluem os bolores (ou mofo) e as leveduras. Os bolores são filamentosos e pluricelulares e as leveduras se apresentam sob a forma unicelular (TORTORA, 2012).

Atualmente estima-se que o reino Fungi presente, aproximadamente, 1,5 milhão de espécies com representantes habitando praticamente todos os ecossistemas existentes no planeta. Aproximadamente 70.000 foram descritas até hoje, estando dentre elas as causadoras de micoses em humanos, de doenças em plantas cultivadas e as de importância biotecnológica (OLIVEIRA, 2010).

Um reino que, se extinto, ocasionaria também o desaparecimento da maioria das espécies atualmente existentes, inclusive a humana, uma vez que sem os fungos os ciclos biológicos não seriam completados. Diante desta situação, e em vista da importância destes microrganismos, é urgente que estudos para catalogar fungos sejam realizados, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, onde esta situação ainda é mais grave, pelo risco de extinção de espécies antes mesmo de serem catalogadas (CHERFAS, 1991).

Os fungos são utilizados na produção de alimentos como os produtos fermentados e bebidas alcoólicas, contribuem na indústria farmacêutica, estão presentes no processo de biodegradação e tratamento biológico de efluentes, atuam na atividade enzimática, ou seja, na produção de enzimas de interesse industrial e na biotransformação. Eles também são de grande importância agrícola e ecológica, pois mantêm o equilíbrio do ambiente, decompondo restos vegetais, degradando substâncias tóxicas, auxiliando as plantas a crescerem e se protegerem contra inimigos, como outros microrganismos patogênicos. (ABREU et al., 2015).

Entretanto, novos avanços nessa área demandam tempo, em pesquisas e planejamento. Assim, o desenvolvimento da biotecnologia exige: uma forte base acadêmica e científica e um setor produtivo capaz de transformar esta produção em bens e serviços contribuindo no ganho ou potencialização de características desejáveis para a utilização dos fungos (NASCIMENTO, 2014).

O presente artigo, com base na literatura, apresenta um estudo com o levantamento bibliográfico sobre a significância da introdução dos fungos nos processos

biotecnológicos, apontando o papel destes micro-organismos para os benefícios da saúde humana e equilíbrio ambiental, a partir dos avanços da biotecnologia.

2 METODOLOGIA

O estudo foi realizado através de uma pesquisa bibliográfica para revisão de literatura, realizada no período de fevereiro a junho de 2015. O levantamento bibliográfico foi obtido através da biblioteca da FACIPE e sítios como Bireme, Pubmed, Lilacs e Scielo, além das plataformas de dados online.

Nesta revisão, dentre as áreas de emprego da biotecnologia, o seu desenvolvimento mediante a aplicação dos fungos é tema da pesquisa, destacando as técnicas de emprego micológicas (que têm aumentado a sua importância nos processos e avanços biotecnológicos), e fazendo dos fungos seres de instrumento poderoso para biotecnologia, com potencial para substituir um vasto número de processos industriais atualmente utilizados e reavaliando melhores e novas soluções para uma gama de problemas.

O embasamento teórico sobre o tema foi construído pelo levantamento dos artigos e dados obtidos no delineamento da pesquisa na elaboração do artigo para apresentação ao curso do bacharelado em Biomedicina, em novembro deste ano. Foram considerados artigos publicados em língua portuguesa e inglesa, e a busca foi orientada utilizando os seguintes descritores: Aplicações biotecnológicas, Aplicações na saúde, biotecnologia, fungos, metabólitos fúngicos, potencial industrial.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 FUNGOS: BIODIVERSIDADE E CARACTERÍSTICAS

O Reino Fungi inclui organismos muito diversos, como os cogumelos, orelhas-de-pau, ferrugens e carvões de plantas, mofo e leveduras, além de outros menos conhecidos. Mais de 70.000 espécies de fungos foram descritas até hoje, porém algumas estimativas sugerem que o número total de espécies existentes neste reino seja de 1,5 milhões. Isso significa que apenas cerca de 6% da diversidade total dos fungos é conhecida, representando um dos grupos microbianos com o maior número de espécies na natureza (HAWSKWORTH, 2001).

A classificação mais moderna reconhece quatro filos principais de fungos: Ascomycota, Basidiomycota, Zygomycota e Chytridiomycota. Um desses filos do Reino Fungi, o Chytridiomycota, possui células móveis, com flagelos, indicando que estes fungos dependem de água para sua reprodução e dispersão. A ausência de células móveis nos demais filos reflete uma alteração no curso evolutivo dos fungos, mostrando clara-

mente que a maioria dos fungos verdadeiros é basicamente terrestres, e que esta condição é provavelmente muito antiga, evolutivamente falando (SILVA; COELHO, 2006).

A associação mutualística de plantas e fungos arbusculares (Zygomycota) conquistou o ambiente terrestre em conjunto, ou seja, as plantas não teriam tido sucesso em colonizar a superfície terrestre se não estivessem associadas aos fungos micorrízicos, que possuíam capacidade de ir buscar água e nutrientes do solo além do alcance das raízes. Fazendo dos membros do Reino Fungi serem encontrados, praticamente, em todos os lugares, inclusive naqueles que extrapolam os limites de tolerância de animais e plantas (GUERRA et al., 2011).

Os fungos são seres eucarióticos, isto é, apresentam uma membrana nuclear que envolve os cromossomos e o nucléolo. Por não possuírem pigmentos fotossintéticos, capazes de absorver energia luminosa e utilizá-la para síntese de compostos orgânicos, classificam-se como seres heterotróficos, pois aproveitam a energia contida nas ligações químicas de vários nutrientes, contendo na arquitetura da célula fúngica estruturas como parede celular, citoplasma, mitocôndrias e núcleo (SIDRIM; ROCHA; CORDEIRO, 2004).

Algumas espécies de fungos apresentam melanina na sua parede celular, o que lhes confere uma resistência aos raios ultravioleta e a enzimas líticas produzidas por outros micro-organismos. Esses fungos são conhecidos como demáceos, em virtude da produção desse pigmento acastanhado (a melanina), as paredes celulares fúngicas são compostas principalmente de quitina (SIDRIM; ROCHA, 2004).

Os fungos possuem, em sua membrana celular, um esteroide equivalente ao colesterol que está presente na membrana das células animais. Nos fungos, porém, este esteroide é o ergosterol e ele é encontrado exclusivamente nos fungos. Isto tem implicações práticas importantes para o homem, pois permitiu, por exemplo, que fossem desenvolvidas drogas que atacam exclusivamente o ergosterol para combater fungos parasitas de animais, sem que haja nenhum efeito sobre a membrana animal. Assim, a droga desintegra o ergosterol, rompendo a membrana plasmática do fungo, mas isso sem atingir o colesterol (GUERRA et al., 2011).

Esses micro-organismos se apresentam sob a forma unicelular, as leveduras, e a forma multicelular, filamentosa, sendo os bolores ou mofo. A forma filamentosa é constituída de um conjunto de estruturas tubulares, denominadas de hifas, que quando agrupadas, formam o micélio (TORTORA; CASE; FUNKE, 2012).

Os fundamentos da classificação taxonômica dos fungos está relacionado, principalmente, a reprodução sexuada. Contudo, quando a forma de reprodução sexuada não é detectada, a classificação é baseada nos órgãos de reprodução assexuada. A reprodução assexuada pode ocorrer por fragmentação das hifas do

micélio ou por esporos assexuais produzidos por mitose nas próprias hifas ou a partir de hifas especializadas (OLIVEIRA, 2014).

Os fungos apresentam grande diversidade entre si, porém possuem características em comum que os distinguem dos demais reinos suscitando problemas de importância diversa em variados setores das atividades humanas, por isso a Micologia desdobrou-se em múltiplas especialidades com reflexos em vários ramos da biotecnologia, envolvendo produtos químicos e farmacêuticos, comestíveis, laticínios, bebidas alcoólicas de todos os tipos, devido, em grande parte, às propriedades fermentativas e enzimáticas. (OLIVEIRA, 2014).

3.2 O ADVENTO DA BIOTECNOLOGIA

A biotecnologia é reconhecida como uma das tecnologias capacitadoras para o século 21, frente às suas características de inovação radical, impacto atual e potencial frente a problemas globais (doenças, nutrição e poluição ambiental) junto à promessa de desenvolvimento industrial sustentável (utilização de recursos renováveis, “tecnologia limpa”, redução do aquecimento global). Baseada na busca e descoberta de recursos biológicos industrialmente exploráveis, os avanços científicos e tecnológicos alcançados nos últimos anos, vem revolucionando as abordagens tradicionais de exploração de recursos biológicos para a biotecnologia (CANHOS; MANFIO, 2010).

Muito antes que o homem entendesse a biologia, ele já lidava com a biotecnologia na produção de vinhos e pães. Fazendo referência ao preparo de bebidas fermentadas a partir de cereais na Babilônia e no Egito (8.000 a 6.000 anos a.C), à produção de pão, utilizando fermentos, no Egito (4.000 a.C) e à produção de vinhos na Grécia (2.000 a.C). Os antigos egípcios, no preparo do seu pão, mantinham a massa, uma simples mistura de farinha e água, aquecida até a formação de bolhas, indicativo, hoje sabemos, da liberação de CO₂ em consequência da sua fermentação. Logicamente, os povos dessa época não faziam ideia que as leveduras e bactérias fossem utilizadas nesses processos de fermentação. Os microrganismos somente foram descobertos em 1675 por Anton Van Leeuwenhoek e, somente em 1862, Louis Pasteur descobriu a associação desses micro-organismos com o processo de fermentação (FALEIRO; ANDRADE, 2011).

A biotecnologia opera em nível molecular, onde as barreiras estabelecidas na formação das espécies desaparecem; isso é possível porque todos os seres vivos possuem o DNA como molécula fundamental portadora da informação gênica e compartilham o mesmo código genético, que codifica e determina as proteínas dos homens, dos animais, das plantas, dos insetos e dos micro – organismos (BORÉM, 2005).

O DNA fúngico está inserido em uma quantidade relativamente menor no núcleo da célula, sendo encontrado também nas mitocôndrias e nos plasmídeos, tendo

o genoma dos fungos como o menor entre os seres eucarióticos. As técnicas de eletroforese permitem o estudo do DNA genômico fúngico; e as de biologia molecular têm tornado possível a classificação dos fungos, mesmo na ausência de estruturas reprodutivas (SIDRIM; ROCHA; CORDEIRO, 2004).

O uso de estratégias de transformação genética é uma etapa primordial na pesquisa com fungos. A vasta diversidade fúngica apresenta grande potencial seja para estudos de aplicações biotecnológicas, podendo ser utilizado no biocontrole, secreção de metabólitos secundários, micoparasitismo, fonte de novos fármacos para a indústria farmacêutica, fonte de enzimas de interesse industrial, como para descrição e melhoramento de novas espécies (ABREU; RODOVIDA; PAMPHILE, 2015).

O perfil da biotecnologia varia de um país para outro, em função dos recursos naturais, econômicos e políticos, das características das empresas envolvidas e do papel assumido pelos setores público e privado. O processo de busca e descoberta biotecnológica em si vem sofrendo profundas alterações em função das mudanças de modelos desencadeadas pelos avanços em biologia molecular, genômica e bioinformática (OLIVEIRA; SETTE; GARBOGGINI, 2006).

A contribuição da biotecnologia ao desenvolvimento de produtos e processos deve ser analisada em função do impacto causado em cada uma das grandes áreas, divididas para melhor estudo e destaque: a "*Biotecnologia Branca*": diz respeito às aplicações industriais e ambientais; "*Biotecnologia Vermelha*": inclui as aplicações relativas à saúde; "*Biotecnologia Verde*": dedica-se às aplicações agrícolas e alimentares; "*Biotecnologia Azul*": dedica-se a aplicações com origem em organismos aquáticos. Contudo, espera-se que o desenvolvimento de novas tecnológicas possibilite a conservação ou criação de empregos (SCHEIDT, 2009).

A descoberta de novos metabólitos ativos de origem microbiana é um desafio que pode trazer benefícios substanciais. Os fungos são essenciais para a saúde e prosperidade de muitos ecossistemas terrestres, sendo essenciais para a sustentabilidade e biodiversidade dos mesmos. Neste contexto, é necessário enfatizar a importância da Biotecnologia para a obtenção de diversas substâncias por meio da manipulação de fungos para a obtenção de novas tecnologias para benefícios da saúde humana e equilíbrio ambiental (ABREU; RODOVIDA; PAMPHILE, 2015).

3.3 FUNGOS E AS SUAS APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS

A biotecnologia teve seu início efetivo na década de 40, com a produção de antibióticos. Quando Alexander Fleming relatou em 1929, pela primeira vez, a penicilina sintetizada a partir de metabólitos do fungo *Penicillium notatum*, com potencial de combate a doenças infecciosas por bactérias. Esteróides e hormônios para crescimento vegetal são oriundos também de metabólitos, do *Penicillium chrysogenum*. Assim, como a adminis-

tração de ciclosporina em pessoas submetidas a transplantes, o que revolucionou a clínica, substância isolada a partir de fungos de solo (*Tolypocladium inflatum* e *Cylindrocarpon lucidum*) na década de 70. E a cefalosporina, isolada de culturas de *Cephalosporium acremonium* em 1948 por Brotzu (MENEZES et al., 2000; PINTO et al., 2002).

Mais recentemente, o resveratrol, uma fitoalexina produzida pela videira em resposta de defesa ao fungo *Botrytis cinerea*, tem sido vastamente estudada pelos seus efeitos benéficos contra doenças cardiovasculares e o tratamento de algumas neoplasias (KOBAYASHI, 2000).

Outros exemplos de substâncias produzidas a partir de metabólitos de fungos com atividades farmacológicas diferentes são: mevinolina um agente redutor de colesterol; ciclosporinas; ergometrina; asperlicina, um antagonista de doenças gastrointestinais e do sistema nervoso central; papulacandinas um agente antifúngico, entre outros (PINTO et al., 2002; MORO et al., 2007).

Os fungos sendo eucarióticos, além de reproduzirem – se rapidamente, puderam ser usados com eficiência, na resolução de problemas genéticos. E foi utilizando fungos filamentosos e leveduras que se descobriu em 1941 que genes produziam enzimas e outras proteínas. Sendo os fungos os precursores da biotecnologia (BORZANI, 2001).

Os primeiros trabalhos relacionados à transformação genética de fungos iniciaram no final da década dos anos 70 com a transformação de protoplastos de linhagens de *Saccharomyce cerevisiae*, o popular levedo de cerveja, e do fungo *Neurospora crassa*. Desde então, metodologias de transformação vem sendo descritas para uma grande diversidade de espécies fúngicas. A maioria dos estudos de biologia molecular depende do uso de estratégias de transformação genética, portanto, essa é uma etapa essencial da pesquisa moderna dos fungos. Além disso, apresenta grande relevância para o melhoramento de espécies de importância biotecnológica. Sendo microrganismos bastante usados na indústria de alimentos porque a maioria das espécies não apresenta características patogênicas (MANFIO, 2010).

As vantagens apresentadas pelas leveduras relacionam-se com a sua capacidade de realizar modificações pós-traducionais, como glicosilações, que não apenas contribuem para que as proteínas heterólogas adquiram a conformação correta, como também para a sua estabilidade, prolongando a meia vida enquanto agente terapêutico. Além disso, diferentemente das bactérias, que precisam ser rompidas para a obtenção da proteína de interesse, as células de levedura são capazes de secretar as proteínas recombinantes, facilitando as etapas subsequentes de purificação. Assim, a partir da comercialização em 1986 pela companhia Merck, da vacina para uso humano “Recombivax” contra hepatite B, várias outras proteínas terapêuticas heterólogas produzidas por *S. cerevisiae*, como a insulina, produzida pela Novo-Nordisk, passaram a ser comercializadas (PEREIRA JR, 2008).

As leveduras dos gêneros *Torulopsis* e *Candida*, sendo capazes de crescer em melaço ou em licor sulfítico, subprodutos da fabricação de açúcar e da indústria de papel, respectivamente, são utilizadas para o tratamento destes resíduos industriais. A biomassa microbiana formada pode ser, subseqüentemente, utilizada como fonte de proteína para alimentação animal. Considerando ainda o potencial biotecnológico das leveduras, microrganismos dos gêneros *Saccharomyces*, *Kluyveromyces* e *Candida* são capazes de fermentar diferentes açúcares a etanol. É de particular importância para o Brasil a produção de álcool combustível por fermentação da sacarose do caldo da cana-de-açúcar por *S. cerevisiae*, tendo em vista ser o país, juntamente com os Estados Unidos, os maiores produtores mundiais de etanol combustível (MALAJOVICH, 2012).

Os cogumelos já eram utilizados desde os tempos mais remotos com finalidades medicinais para combater hemorragias, cólicas, feridas, asma e outros problemas. Algumas tribos indígenas brasileiras usavam *Pycnoporus sanguineus* (orelha-de-pau, cor vermelho intenso) para cicatrização de feridas. Pesquisas recentes indicam atributos medicinais de diversas espécies de cogumelos, como efeitos antivirais, antibacteriano, antiparasitários, antitumorais, anti-hipertensivos, antiateroscleróticos, hepatoprotetores, antidiabéticos, antiinflamatórios e moduladores do sistema imune (ABREU, RODOVIDA, PAMPHILE, 2015).

Apesar de o cultivo de cogumelos comestíveis ainda não ser uma atividade muito praticada no Brasil, esse quadro tem mudado nos últimos anos, especialmente no sudeste, onde há maior influência de comunidades japonesas e europeias. Este é outro (delicioso) uso dos cogumelos pelo homem. O cogumelo comestível mais famoso é o *champignon* que é colocado em pizzas. A espécie se chama *Agaricus brunnescens* e é nativa da Europa, onde há muitas espécies de cogumelos comestíveis conhecidas. Mas o Brasil também tem algumas espécies nativas comestíveis e que podem ser cultivadas. Dentre elas estão espécies do gênero *Pleurotus*, que é encontrado em todo o Brasil crescendo em troncos de árvores caídas em florestas úmidas (GUERRA et al., 2011).

Mas um fungo que faz parte do nosso dia-a-dia de forma agradável, é o usado como um dos ingredientes principais de muitos refrigerantes, o ácido cítrico. Porém é muito caro isolar ácido cítrico de frutas cítricas. Por isso, quase todo o ácido cítrico usado em refrigerantes é produzido em larga escala através da fermentação de culturas de *Aspergillus niger* (GUERRA et al., 2011).

A relação da indústria de alimentos com os fungos filamentosos é muito antiga e extensa. Os fungos estão associados à tecnologia de alimentos desde os primórdios das civilizações mais antigas conhecidas, como por exemplo, nos processos de preparação de alimentos orientais, bebidas de povos indígenas no continente americano e, na Europa, participam no processamento de alimentos à base de leite. Com o desenvolvimento das pesquisas, já é possível conhecer o processo pelos quais os fungos

modificam os alimentos, seja pela produção de micotoxinas ou pela contaminação de alimentos processados (PASTORE; MACEDO, 2004).

A partir do metabolismo fúngico, pode-se dispor de diversos compostos naturais apresentando atividades biológicas. O metabolismo dos fungos pode ser dividido em metabólitos primários que são pequenas moléculas produzidas ao longo do crescimento vegetativo e são usados em indústrias alimentícias e de ração, e metabólitos secundários que são sintetizados quando o crescimento microbiano está na fase estacionária. Estes são frequentemente bioativos e de baixa massa molecular. Apresentam grande importância à humanidade, devido às atividades antibióticas e de importância farmacêutica, bem como atividades imunossupressoras e tóxicas (BREU; RODOVIDA; PHAMPHILE, 2015).

Os fungos filamentosos são microrganismos que se destacam devido à sua grande facilidade de cultivo, por secretarem suas enzimas diretamente no meio de produção, não sendo necessária, assim, a ruptura celular para sua liberação. Adicionalmente, apresentam elevados níveis de produção enzimática, com elevado potencial para inúmeras aplicações industriais (NASCIMENTO, e et al., 2014).

Os fungos vêm sendo extensamente utilizados na produção de enzimas. Entre as enzimas fúngicas importantes para a indústria alimentícia destacam-se as amiloglucosidases, produzidas por linhagens de *Aspergillus* e *Rhizopus*; amilases, que transformam amido em dextrinas e oligossacarídeos e podem ser isoladas por fermentação de linhagens de *A. niger*; reninas; lipases, que catalisam reversivelmente a hidrólise de triacilgliceróis sob condições naturais, podendo catalisar a transesterificação e a síntese estereoespecífica de ésteres em um grande número de substratos (PASTORE; MACEDO, 2004).

A maioria dos fungos produtores de enzimas necessárias para degradação de materiais lignocelulósicos pertence aos grupos de *Ascomycetes*, *Deuteromycetes* e *Basidiomycetes*. Esses fungos podem causar três tipos de degradação: branca – degradam todos os componentes da madeira (*white-rot fungi*), marrom – degradam principalmente polissacarídeos (*brown-rot fungi*), macia – podem degradar lignina e Aflatoxina B₂, Ocratoxina A, Citreoviridina e 11 polissacarídeos, porém em velocidades baixas (*soft-rot fungi*). Essas degradações são em geral, feitas por enzimas oxidativas, principalmente do tipo lacase e peroxidase (DURÁN, 2004).

As enzimas produzidas pelos fungos possuem vantagens para a produção em larga escala, via fermentação, com potencial de aplicação na substituição de processos químicos convencionais e de interesse industrial (ORLANDELLI, 2012).

Além do potencial industrial, os fungos estão diretamente ligados à recuperação ambiental, tanto na reciclagem de resíduos agrícolas e agroindustriais, como

na biodegradação de materiais lignocelulósicos (constituídos por celulose, poliose e lignina), especialmente a madeira (FERRAZ, 2004).

Importantes agentes decompositores dos componentes primários da madeira - lignina e celulose - o que resulta em um controle na produção de biomassa em um ecossistema florestal (MUZZI et al., 2013).

Outra utilização para os produtos obtidos a partir dos fungos é o controle biológico na agricultura. Destacam-se nesse processo, a utilização de fungos do gênero *Trichoderma* e *Metharhizium* como micoerbicidas, micoInseticidas ou micoparasitas. Como controladores biológicos, são usados na aplicação de técnicas na produção de “Inseticidas microbianos” que diminuem o uso de agroquímicos, com vantagens econômicas e de preservação ambiental. Os fungos também podem ser empregados como controladores de doenças em plantas, reduzindo o uso de fungicidas e sendo produzidos em laboratórios brasileiros (AZEVEDO et al., 2002).

3.4 BIOTECNOLOGIA E MICOLOGIA, LOGOS DO FUTURO

A micologia se passou durante muitos anos com uma subárea da botânica, tendo seu olhar para destaque nas primeiras décadas do século XX. Com isso houve o aumento progressivo de espécies descritas e diferentes do reino as quais pertenciam, até que essa ciência ganhou sua própria classificação, que até vem mudando nos últimos anos no âmbito de seu vocabulário e taxonomia, com a finalidade de torna – lá mais acessível aos pesquisadores em todo mundo. Como uma ciência ampla e com várias subáreas de interesse, a micologia, inclui a vegetal, industrial, genética e médica, incluindo o estudo dos fungos de interesse a medicina humana e veterinária (SIDRIM, 2004).

O conhecimento adquirido com o uso dos fungos consolidou a biotecnologia como um todo, com os sistemas genéticos que confirmam não só as regras da ciência da hereditariedade. Permitindo por meio de técnicas genéticas clássicas, como busca da variabilidade natural, selecionando – se linhagens mais apropriadas, e pelo uso de mutantes e cruzamentos entre linhagens, que se conseguiu realizar o melhoramento genético de muitos fungos de importância industrial, adicionando novas características de valor biotecnológico a espécies já utilizadas comercialmente, aumentando assim o seu potencial biotecnológico (AZEVEDO, 2012).

Uma das características da biotecnologia que tem contribuído para o receio que muitos manifestam em relação a ela é a velocidade como esta ciência evoluiu nos últimos anos e como sua aplicação em benefício da sociedade atingiu o mercado de forma tão inesperada (BORÉM, 2005).

As principais forças indutoras e direcionadoras do desenvolvimento em biotecnologia são a demanda econômica, direcionada pela indústria, políticas nacionais

e internacionais, frequentemente influenciadas pela pressão pública, e os avanços em ciência e tecnologia. Juntos, estes componentes catalisam o desenvolvimento da biotecnologia, com a geração de novos mercados, solução de problemas crônicos e emergentes, e a melhoria da eficiência e custo de processos industriais. Fazendo da biotecnologia um exemplo primo de inovação radical, no sentido em que proporciona tecnologias inteiramente novas para atividades industriais existentes e permite a geração de novas indústrias (BULL et al., 2000).

Os benefícios econômicos e estratégicos do uso dos fungos estão relacionados com a descoberta dos fungos potencialmente exploráveis nos processos biotecnológicos para: novos antibióticos e agentes terapêuticos; probióticos; produtos químicos; enzimas e polímeros para aplicações industriais e tecnológicas; biorremediação de poluentes; e biolixiviação e recuperação de minérios. Outros benefícios incluem o prognóstico e prevenção de doenças emergentes em seres humanos, animais e plantas, e a otimização da capacidade microbiana para a fertilização dos solos e despoluição das águas (CANHOS; MANFIO, 2010).

A *Saccharomyces cerevisiae*, (ou, simplesmente, levedura) utilizado tradicionalmente na preparação de alimentos e de bebidas, assim como na produção de etanol, vitaminas e outros metabólitos. Transformada mediante técnicas de engenharia genética, esta levedura produz uma vacina contra a hepatite B. Aplicações conquistadas com a busca da biotecnologia por recursos biológicos industrialmente exploráveis (MALAJOVICH, 2012).

O desenvolvimento da Biotecnologia tem importância ímpar para o Brasil, devido ao seu baixo impacto ambiental, sendo possível conciliar o desenvolvimento industrial com a preservação de ecossistemas. Sabemos que o Brasil apresenta uma das maiores biodiversidades do planeta e que seu território possui recursos hídricos correspondentes a 12% da água doce do planeta, incluindo o Aquífero Guarani, que é o maior do mundo. São esses os recursos naturais mais importantes para a humanidade a partir deste século, representando um ativo de valor incalculável. Essas riquezas, patrimônio da sociedade brasileira, devem ser preservadas da poluição ambiental provocada por práticas inadequadas de diferentes setores industriais e agroindustriais (PEREIRA JR, 2008).

Ainda assim, atenção especial deve ser dispensada com relação à preservação destes microrganismos. Os micologistas tem observado um grande declínio no número de espécies fúngicas, bem como na quantidade de indivíduos fúngicos na Europa, nos últimos tempos. Diante desta situação, e em vista da importância destes microrganismos, ser base de estudo, pesquisas e aplicações. O investimento na preservação e conhecimento desse reino deve ser garantido e ampliado (OLIVEIRA, 2010).

As enzimas de origem fúngicas apresentam características peculiares, que favorecem seu emprego em diversos processos biotecnológicos existentes, sendo relevan-

tes as vantagens de conversões enzimáticas em diferentes processos industriais e ambientais. A sua produção, na maioria das vezes, ainda é economicamente dispendiosa, assim há necessidade de selecionar novos microrganismos com elevado potencial na produção de substâncias de alto valor agregado. Mas apresentam vantagem pois os fungos as secretam naturalmente, por causa de seu modo de nutrição, que associado as técnicas biotecnológicas só as aprimoram (NASCIMENTO e et al., 2014).

Ao manipular seres vivos para produzir bens e serviços, a biotecnologia envolve tecnologias de diversos níveis (como os processos de fermentação, utilizados há séculos, e as técnicas de manipulação genética resultantes de avanços recentes no campo da biologia molecular) e se apresenta como um paradigma técnico-científico essencialmente transdisciplinar. A base científica para essa aventura foi o desenvolvimento da genética ao longo do século XX. Os trabalhos de Mendel em 1865 viabilizaram o grande salto da biotecnologia com a descoberta de Watson e Crick em 1953, com o modelo da dupla hélice do DNA. Esse avanço preparou o ambiente para uma verdadeira revolução iniciada na década de 1970, com as técnicas do DNA recombinante e da fusão celular (ARBIX, 2007).

A utilização de biofungicidas no controle biológico de pragas e doenças; agropecuária, ações de pesquisa e desenvolvimento na área biotecnológica são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas mais produtivos e sustentáveis. E fungos micorrízicos para a melhoria de produtividade das plantas; o desenvolvimento de plantas e animais melhorados utilizando técnicas convencionais de melhoramento genético e também a transformação genética (FALEIRO; ANDRADE; JUNIOR, 2011).

Em decorrência do exposto, o número de estratégias de transformação genética tem aumentado nos últimos anos, abrindo caminho para análises moleculares mais detalhadas. Aplicações biotecnológicas (produção de vacinas, enzimas, antibióticos, antifúngicos, anticancerígenos), o que representa um mercado de dezenas de bilhões de dólares em todo o mundo, conquistados cada vez mais com a aplicação fungicida (BORZANI, 2001).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fungos podem ser considerados com um dos grupos de micro-organismos comparativamente mais estudados no Brasil. Apesar do volume de informações disponível na literatura ser extenso, esse grupo de micro-organismos apresenta uma grande diversidade de espécies e genética, ainda por serem estudadas e que merece dedicação.

A correlação da Biotecnologia com a Micologia desenvolveu um conjunto de técnicas que influenciou o modo do homem desenvolver suas atividades e olhar para os fatores que marcam sua história e interferem no seu cotidiano. Com uma natureza multidisciplinar a produção de bens e serviços com metabólitos fungicos, na área

biotecnologia incorpora, um âmbito maior que econômico, mas de caráter ambiental e de cunho inovador para soluções, inovações e barateamento com uma perspectiva mundial a alcançar.

Neste contexto, se torna necessário enfatizar a importância da Biotecnologia para a obtenção de diversas substâncias por meio da manipulação de fungos para a obtenção de novas tecnologias sendo benefício para a saúde humana e equilíbrio ambiental.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. A. S.; ROVIDA, A. F. S.; PAMPHILE, J. A. **Fungos de Interesse: Aplicações Biotecnológicas**. Universidade Estadual de Maringá – UEM. Revista UNINGÁ Review - Vol.21,nº 1, pp.55-59 (Jan – Mar 2015).

ALMEIDA, S. F. **Novas tecnologias de informação e desenvolvimento humano sustentável**. Qualit@S - Revista Eletrônica - ISSN 1677- 4280 - Volume 1 - 2005 / número 1.

ARBIX, G. **Biotecnologia sem fronteiras**. Revista Novos Estudos, nº 78. Julho 2007.

AZEVEDO, J. L. **Fungos – Genética e melhoramento de fungos na biotecnologia**. Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento.

BARBOSA, M. A.; FERREIRA, M. J. L.; SANTOS, E. R. R.; SANTOS, E. C.; GOMES, B. S. **Aplicações de fungos em estudos forenses no processo de degradação cadavérica**. *Saúde & Amb. Rev., Duque de Caxias, v.7, n.1, p.10-18, jan-jun 2012.*

BORÉM, A. **A história da biotecnologia**. Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento. Nº 34, Janeiro a Junho de 2005.

BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E. **Biotecnologia Industrial – volume I Fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2001.

BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E. **Biotecnologia Industrial: Fundamentos**. 1ª ed, São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. V.1.2001.

Edição Especial Meio Ambiente. Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento. Nº 34, Janeiro a Junho de 2005.

CANHOS, V. P.; MANFIO, G. P. **Recursos Microbiológicos para Biotecnologia**. Campinas, 2010.

CHERFAS, J. **Disappearing Mushrooms: Another Mass Extinction?** Science, v.254, p.1458-1458, 1991.

HAWKSWORTH, D.L., *et al.* **Ainsworth and Bisby's dictionary of fungi**. 8^a ed. Cambridge: CAB International University Press. 616 p. 2001.

FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; JUNIOR, F. B. R. **Biotechnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. 730 p.: il.

FERRAZ, A.L. Fungos decompositores de madeira. In: ESPOSITO, E.; AZEVEDO, J.L. **Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia**. Caxias do Sul: Educs, 2004. p.215-240.

GUERRA, R. A. T.; KANAGAWA, A. I.; SANTOS, C. F.; SILVA, F. S.; SOUSA, F. B.; CAVALCANTI, G. A.; LUBENOW, J. A.; SILVA, M. B.; NEVES, M. A.; MENEZES, R. **Cadernos Cb Virtual 2 – Ciências Biológicas**. João Pessoa: Ed. Universitária, 2011. 610p. : II. ISBN: 978-85-7745-902-5.

HIBBETT, D. S. et al. **A higher-level phylogenetic classification of the Fungi**. Mycological research 111 (2007) 509 – 547.

KOBAYASHI, M. The boring to logs of several broadleaf trees by *Platypus quercivorus* (Murayama). *Applend Science*, v.9, p.99-103, 2000.

MALAJOVICH M. A. **Biotechnologia 2011**. Rio de Janeiro, Edições da Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia ORT, 2012.

MORO, F.; MAGALHÃES, E.; GALÚCIO, E.; MOYSÉS, K.; ANTUNES, V.C.; VINTAL, T.C. Efficacy of cyclosporine 0.05% for preventing endothelial loss in corneal transplant. *Revista Brasileira Oftalmologista*, v.66, p.321-326, 2007.

MUZZI, M. R. S.; NEVES, L.; PAULA, M. T.; BRITO, M.; BRAVO, M.; DINIZ, N. **Taxonomia de criptófitas fungos: filo Basidiomycota**. Universidade Federal de Minas Gerais Instituto de Ciências Biológicas – ICB - Departamento de Botânica – Belo Horizonte, 2013.

NASCIMENTO, K. B. M.; MARTINS, A. G. R.; TAKAKI, G. M. C.; SILVA, C. A. A.; OKADA, K. **Utilização de resíduos agroindustriais para produção de tanase por *Aspergillus sp* isolado do solo da caatinga de Pernambuco, Brasil**. *E-xacta*, Belo Horizonte, v. 7 n. 1, p. 95-103. (2014). Editora UniBH.

OLIVEIRA, J. C. **Tópicos em Micologia Médica**. Rio de Janeiro; 2014, 230 págs.; il. col.

OLIVEIRA, R. L. **Avaliação do Potencial Biotecnológico de Fungos**. Mestrado (dissertação). Universidade do Estado do Amazonas - Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia. Manaus – AM, 2010.

OLIVEIRA, V. M.; SETTE, L. D.; GARBOGGINI, F. F. **Preservação e prospecção de recursos microbianos**. Divisão de Recursos Microbianos Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA) - Universidade Estadual de Campinas, out. 2006.

ORLANDELLI, R. C.; SPECIAN, V.; FELBER, A. C.; PAMPHILE, J. A. **Enzimas de interesse industrial: Produção por fungos e aplicações**. SaBios: Rev. Saúde e Biol., v.7, n.3, p.97-109, set.-dez., 2012.

PEREIRA JR., Nei. (editor-autor) Tecnologia de bioprocessos / Nei Pereira Jr., Elba Pinto da Silva Bon, Maria Antonieta Ferrara. – Rio de Janeiro: Escola de Química/ UFRJ, 2008. 62 p.: il. – (**Séries em Biotecnologia**, v. 1).

Revista Biomedicina. **Questões Éticas da Biotecnologia**. Ano III - nº 05 - Mai, Jun, Jul e Ago de 2011.

PINTO, A.C.; SILVA, D.H.S.; BOLZANI, V.S.; LOPES, N.P.; EPIFÂNIO, R.S. **Produtos Naturais: Atualidades, desafios e perspectivas**. Química Nova, v. 25, p.45-51, 2002.

SCHEIDT, G. N.; ARAKAKI, A. H.; SPIER, M. R.; PORTELLA, A. C. F. **Biotecnologia: Clonagem, Transgênicos e Bioprospecção**. 2009.

SIDRIM, J. J. C.; ROCHA, M. F. G.; CORDEIRO, R. A. **Micologia Médica À Luz de Autores Contemporâneos**. Editora Guanabara Koogan– 1.ed. – Rio de Janeiro: 2004.

SILVA, R. R.; COELHO, G. D. **Fungos – Principais grupos e aplicações biotecnológicas**. Instituto de Botânica – Ibt, out. 2006 - São Paulo/SP.

SIMÕES, R.; MARTINS, A. **Inovação e biotecnologia: atributos urbanos e estrutura científica**. Belo Horizonte : UFMG/CEDEPLAR, 2013. 31 p.: il.

TRABULSI, Luiz Richard, ed. **Microbiologia** / Editores Luiz Rachid Trabulsi e Flavio Alterthum. – 5.ed.- São Paulo: Atheneu, 2008.

Tratado de micologia médica / Carlos da Silva Lacaz ... [et al.]. – São Paulo: SARVIER, 2002.

TORTORA, G.; CASE, C. L.; FUNKE, B. R. **Microbiologia**. 8ª Ed. – São Paulo: Editora Atheneu, 2012.

VICTORINO, V. I. P.; **A revolução da biotecnologia questões da sociabilidade**. Tempo Social; Rev. Sociol. USP, S. Paulo, **12**(2): 129-145, novembro de 2000.

VILLEN, R. A. **Biotecnologia – Histórico e Tendências**. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq10/rafael.htm>>. Acessado em 28 de abr. 2015.

Fungos de Interesse Industrial. Disponível em: <<http://www.biologiaviva.xpg.com.br/fungoindustri.htm>>. Acessado em 20 de mar. 2015.

Fungos: Características e Importância. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/biotecnologia/artigos_de_biotecnologia/fungos%3A_caracteristicas_e_importancias.html>. Acessado em 18 de mar. 2015.

Biotechnology de fungos de importância médica e biotecnológica. Disponível em: <<http://www.cbiot.ufrgs.br/cenbiot/homepage/linhas%20de%20pesquisa/linhas%20de%20pesquisa.htm>>. Acessado em 18 de mar. 2015.

Data do recebimento: 15 de Abril de 2016

Data da avaliação: 25 de Abril de 2016

Data de aceite: 19 de Maio de 2016

1. Aluna do Bacharelado em Biomedicina da Faculdade Integrada de Pernambuco.

E-mail: camilaalvesmendes@hotmail.com

2. Docente da Faculdade Integrada de Pernambuco.

E-mail: dianamalta@gmail.com