



Diversidade enzimática de fungos associados a plantas da Caatinga

Annita Ingrid Alves Silva^a, Celia Gomes de Siqueira^{a*}

^a Universidade Federal de Sergipe, Brasil

* Autor correspondente (celiagsiqueira@gmail.com)

INFO

Keywords

semi-arid diversity
proteases
amylases
pectinases

ABSTRACT

Enzymatic diversity of fungi associated with Caatinga plants

Filamentous fungi participate in food production, health products and recycling of biosphere compounds. In industry they are used in the production of enzymes, vitamins, polysaccharides, pigments, lipids and glycolipids, valuable in biotechnology. Brazil has a great biological diversity of landscapes and among them, the Caatinga, is widely explored regarding the plant's biotechnological potential, but there are few studies on the potential of microorganisms associated with this biome. This study aimed to evaluate the production of enzymes from fungi isolated in soil associated with plants from the semi-arid region. Soil samples were collected in the Grota do Angico region, municipality of Poço Redon-do, Sergipe, associated with two characteristic plants of the caatinga, *Croton heliotropiifolius* Kunth and *Xiquexique gounellei*. Thirty-nine fungi were isolated from soil samples and their proteolytic, amylolytic and pectinolytic activities were evaluated. The 17 fungi associated with *C. heliotropiifolius* present predominantly protease activity, only one of them showed pectinase activity, in the others the results were negative. On the other hand, the fungi 22 isolated from the soil associated with *X. goiunellei* showed greater enzymatic diversity, despite the fact that most fungi showed proteolytic activity. Amylase activity was detected in eight fungi, protease activity in 12 fungi and pectinase activity in 6 fungi. From the results obtained in this study, the potential of fungi isolated from the caatinga biome for the production of enzymes, mainly proteolytic, was evidenced. Fungi isolated from soil associated with Caatinga plants have potential for the production of enzymes, mainly proteolytic ones.

RESUMO

Os fungos filamentosos participam da produção de alimentos, nos produtos para saúde e na reciclagem de compostos da biosfera. Na indústria eles são utilizados na produção de enzimas, vitaminas, polissacarídeos, pigmentos, lipídios e glicolipídios, valiosos em biotecnologia. O Brasil possui grande diversidade biológica de paisagens, entre elas está a Caatinga, bastante explorada quanto ao potencial biotecnológico vegetal, mas com poucos estudos sobre o potencial dos microrganismos associados a esse bioma. Este estudo teve por objetivo avaliar a produção de enzimas de fungos isolados no solo associado a plantas do semi-árido. As amostras de solo foram coletadas na região da Grota do Angico, município de Poço Redondo, Sergipe, associadas a duas plantas características, *Croton heliotropiifolius* Kunth e *Xiquexique gounellei*. Foram isolados 39 fungos das amostras de solo e suas atividades proteolítica, amilolítica e pectinolítica foram avaliadas. Os 17 fungos associados à *C. heliotropiifolius* apresentam predominantemente atividade de proteases, sendo que apenas um deles apresentou atividade de pectinase, nos demais os resultados foram negativos. Por outro lado, um maior número dos 22 fungos isolados do solo associado à *X. goiunellei*, atividade enzimática e diversidade de enzimas, sendo que a maioria apresentou atividade proteolítica. Foi detectada atividade amilolítica em oito fungos, atividade proteolítica em 12 fungos e atividade pectinolítica em 6 fungos. Evidenciou-se o potencial dos fungos isolados do bioma da Caatinga para produção de enzimas, principalmente proteolíticas. Os fungos isolados no solo associado a plantas da Caatinga apresentam potencial para a produção de enzimas, principalmente proteolíticas.

Palavras-chaves

diversidade do semiárido
proteases
amilases
pectinases

Received 24 October 2023; Received in revised from 20 January 2023; Accepted 02 February 2023



INTRODUÇÃO

Os fungos são organismos extremamente importantes, 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 produção de enzimas de interesse industrial e na biotransformação (Mendoza et al., 2022; Silva e Malta, 2017). Possuem importância agrícola, ecológica e biotecnológica, por meio deles é mantido o equilíbrio no ambiente, decompondo os restos dos vegetais, degradando substâncias tóxicas, auxiliando as plantas a crescerem e se protegerem contra microrganismos patogênicos (Abreu et al., 2015). Além disso, os bioativos, subprodutos do seu metabolismo, podem apresentar valor biotecnológico (Valencia, 2011).

Há grande diversidade ecológica, fisiológica e morfológica dentro do Reino Fungi, eles podem ser encontrados na forma de fungos filamentosos, ou na forma unicelular de leveduras. Os fungos filamentosos participam da produção de alimentos, nos produtos para saúde e na reciclagem de compostos da biosfera. Na indústria eles são utilizados na produção de enzimas, vitaminas, polissacarídeos, pigmentos, lipídios e glicolipídios, valiosos em biotecnologia (Abreu et al., 2015). As leveduras são os microrganismos mais intensamente utilizados em indústrias, a sua fermentação em larga escala realizada é responsável pela produção de álcoois para o uso industrial e como combustível, mas elas são mais conhecidas por seu papel na produção de bebidas alcoólicas (Abreu et al., 2015).

São fontes de produtos naturais, muitos de seus metabólitos demonstram aplicação industrial, como é o caso das enzimas (Belinato et al., 2019), que são utilizadas principalmente na degradação de compostos orgânicos como petróleo (Wetler-Tonini et al., 2010) e de polímeros (Costa et al., 2015), na indústria têxtil (Marroques, 2020), alimentícia (Aguilar e Sato, 2018), na formulação de detergentes (Centurión et al., 2019), e no tratamento de couro e pele (Souza, 2010). Possuem relação com a bioprospecção, que se caracteriza em obter valor econômico da biodiversidade e assim encontrar por compostos provenientes de seres vivos, que possibilitem a aplicação e viabilizem o desenvolvimento do produto (Saccaro Junior, 2011).

As enzimas fúngicas mais estudadas são as celulases (Silva et al. 2015), proteases (Razzaq et al., 2019), amilases (Far et al., 2020), fenoloxidasas (Esiana et al., 2021), lacases, peroxidases (Motato-

Vásquez et al., 2016), pectinases (Haile e Ayele, 2022) e ligninasas (Kumar e Chandra, 2020).

Um indicativo da demanda pela produção de enzimas está no fato de que somente no ano de 2019, o Brasil importou 30 mil toneladas de enzimas ou de preparados enzimáticos principalmente da China, Estados Unidos e Dinamarca, e exportou apenas 9,3 mil toneladas do produto, sendo que as enzimas importadas em maior quantidade são as amilases, utilizadas em diferentes segmentos da indústria (Santana, 2020). Ainda segundo o mesmo autor, somente o comércio mundial de enzimas biocombustíveis foi avaliado em 623 milhões de dólares em 2014, sendo que para 2023 está estimado em 24,8 bilhões de dólares.

O Brasil é um país que possui grande diversidade biológica de paisagens (Silva et al., 2018). Entre essas paisagens está a Caatinga, bastante explorado quanto ao potencial biotecnológico dos vegetais (Almeida e Santos, 2018; Menezes et al., 2021; Mesquita, et al., 2017), mas ainda existem poucos estudos sobre o potencial biotecnológico dos microrganismos associados a esse bioma.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de enzimas de fungos isolados no solo associado a plantas do semiárido sergipano.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de coleta. As amostras de solo foram coletadas no dia 17 de março de 2022 na Reserva Monumento Natural Grota do Angico, uma Área de Proteção Ambiental de Caatinga, localizada 32 km de Canindé de São Francisco, 45 km de Poço Redondo (Andrade et al., 2015), e a 220 km da capital do Estado, Aracaju. A região apresenta clima típico do semiárido, seco e quente, com precipitação anual total média entre 380 e 760 mm, temperatura média anual superior a 18°C, variando durante o dia entre 31 e 38°C, onde predominam espécies vegetais tolerantes a altas temperaturas e à pouca disponibilidade de água (Andrade et al., 2015). Segundo os mesmos autores, a região apresenta Luvisolos nas áreas mais elevadas e Neossolos nos declives. A Figura 1 mostra a localização da Grota do Angico no mapa de Sergipe, destacada em vermelho.

Primeiramente houve a escolha do local considerado mais adequado para coleta e seleção das duas diferentes plantas características do local, *Croton heliotropiifolius* (Figura 2-A) e *Xiquexique goi-unellei* (Figura 2-B).



Figura 1 - Localização geográfica da reserva do Monumento Natural Grotas do Angico, entre Canindé do São Francisco e Poço Redondo, Sergipe, indicando os dois pontos de coleta identificados pelo nome das plantas. Fonte: autoria própria.

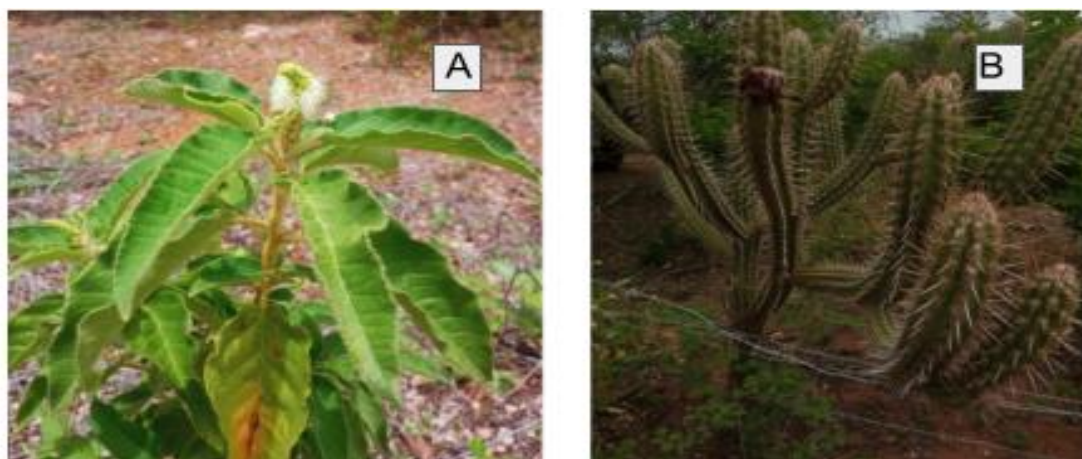


Figura 2 - Imagem de *Croton heliotropiifolius* (2-A), planta de referência para a coleta 1; e *Xiquexique goiunellei* (2-B), planta de referência para a coleta 2.

A seguir, foram traçados três pontos com distâncias de 1, 3 e 5 metros de duas diferentes plantas características da Caatinga. A coleta de fungos associados à primeira planta ocorreu nas coordenadas 9° 39' 41.0"S, 37° 40' 28.1"W, e a coleta associada à segunda planta ocorreu nas coordenadas 9° 40' 09.4"S, 37° 51' 27.2"W.

Coleta das amostras de solo. As amostras de

solo, constituídas de quatro subamostras foram coletadas a uma profundidade de 10 cm, de acordo com o descrito por Filizola et al. (2006). Três amostras de solo associado a *Croton heliotropiifolius* Kunth foram coletadas nas distâncias 1, 3 e 5 m da planta (Figura 3), acondicionadas em caixa de isopor e encaminhadas ao laboratório para o isolamento.

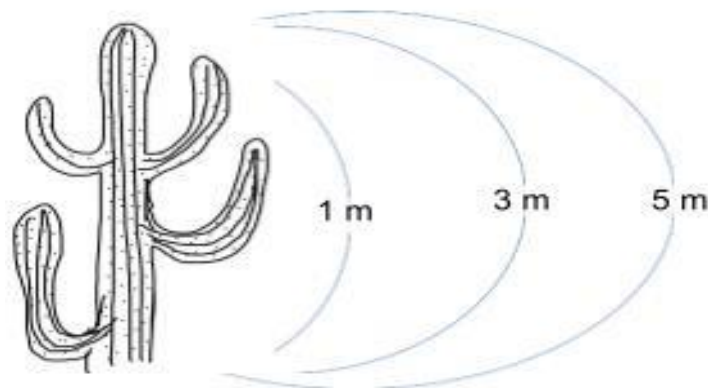


Figura 3 - Esquema da coleta das amostras do solo, com distâncias determinadas de 1, 3 e 5 metros, pontos de coleta das amostras a partir das plantas de referência.

O mesmo procedimento foi realizado com amostras de solo associadas à planta *Xiquexique goiunellei*.

Isolamento dos fungos. As amostras foram homogeneizadas, peneiradas e diluídas em 1:10 em água destilada e espalhante adesivo Tween 80. A suspensão gerada de cada amostra foi diluída a 10^{-1} e distribuída em placas de Petri, contendo meio Sabouraud, em 5 repetições, sendo cada placa considerada uma repetição, como descrito por Silva et al., (2011), com adaptações. As placas foram incubadas em temperatura de $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Os fungos isolados do solo associado a *C. heliotropiifolius* foram identificados como CT1, CT3 e CT5, para amostras coletadas a 1, 3 e 5m, respectivamente e os fungos isolados do solo associado a *X. goiunellei* foram identificados como XQ1, XQ3 e XQ5 para amostras coletadas a 1, 3 e 5m, respectivamente.

Avaliação qualitativa das atividades enzimáticas. Pequenas porções da cultura fúngica com sete dias de crescimento em ágar Sabouraud foram transferidas para o centro da placa de Petri com auxílio de cabo Kolle de extremidade agulha. Para a avaliação da capacidade de produzir amilase, foi utilizado o meio ágar com adição de amido ($0,01 \text{ g mL}^{-1}$); para protease, meio modificado pela adição de caseína ($0,01 \text{ g mL}^{-1}$); e para pectinases, adição de pectina ($0,01 \text{ g mL}^{-1}$). Após 72 horas, as placas foram analisadas quanto à formação de halos que indicam a presença das enzimas, para a revelação de atividade de protease foi utilizado o corante Coomassie Blue (Zhang et al., 2021), para amido, foi

utilizado lugol (González et al., 2004) e para pectinase foi utilizado vermelho congo (Hagerman et al., 1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Amostras de solo foram coletadas na área Reserva Monumento Natural Grota do Angico, historicamente conhecido por ser o local da morte de Lampião e seu bando (Silva et al., 2013), de onde foram isolados 17 fungos do solo associado a *C. heliotropiifolius*, e estes foram identificados pelo código CT, sendo que os fungos identificados como CT1 (6 fungos), referem-se aos fungos a um metro da planta, CT2 (6 fungos), a 3 m da planta e CT3 (5 fungos), a 5m da planta. O mesmo procedimento de identificação foi utilizado para os fungos isolados de amostras de solo associadas à planta *X. goiunellei*, das quais se obteve 22 fungos, sendo que 11 fungos foram isolados das amostras de solo coletadas a um metro da planta (XQ1), 6 fungos a 3 m (XQ2) e 6 fungos a 5 m da planta (XQ3).

Os 39 fungos tiveram suas atividades amilolítica, proteolítica e pectinolítica testadas. A Figura 4 apresenta a imagem de duas placas de Petri onde foram identificadas as atividades de protease (Figura 4-A) e amilase (Figura 4-B).

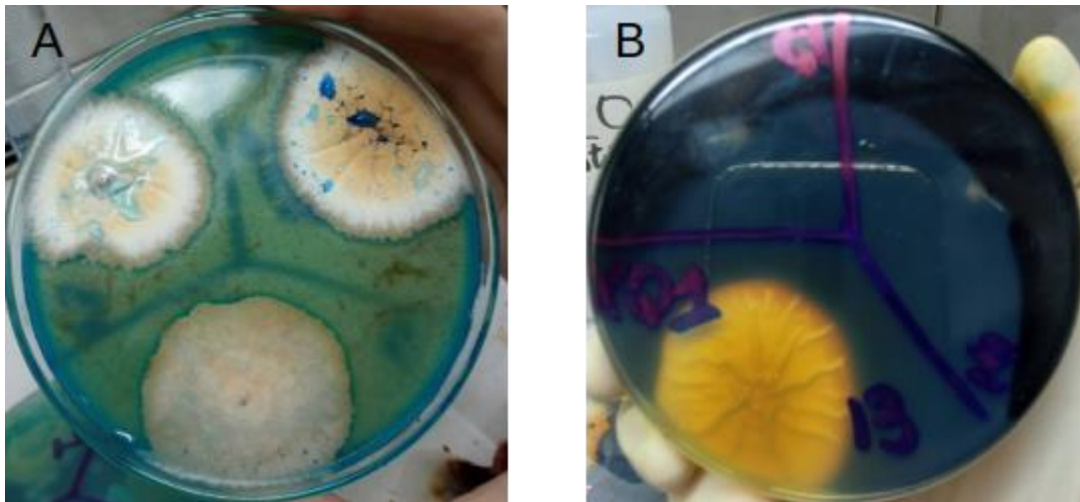


Figura 4 - Halos de atividade enzimática após 72 horas de incubação em caseína (Figura 4-A) e em amido (Figura 4-B).

Os resultados das atividades enzimáticas produzidas pelos 39 fungos isolados do solo estão

resumidos no Quadro 1.

Quadro 1 - Atividades enzimáticas detectadas nos fungos isolados do solo, a partir da formação de halos de degradação em placas de Petri contendo amido, caseína ou pectina como fonte de carbono, onde (-) indica ausência de atividade enzimática e (+) indica presença.

Fungos	Amilase	Protease	Pectinase
Fungos isolados de solo associado a <i>Croton heliotropiifolius</i>			
CT1-1	-	-	-
CT1-2	-	-	-
CT1-3	-	-	-
CT1-4	-	+	-
CT1-5	-	+	-
CT1-6	-	+	-
CT3-1	-	+	-
CT3-2	-	+	-
CT3-3	-	+	-
CT3-4	-	+	+
CT3-5	-	+	-
CT3-6	-	+	-
CT5-1	-	+	-
CT5-2	-	+	-

CT5-3	-	+	-
CT5-4	-	+	-
CT5-5	-	-	-
Fungos isolados de solo associado a <i>Xiquexique goiunellei</i>			
XQ1-1	+	+	-
XQ1-2	-	+	-
XQ1-3	-	+	-
XQ1-4	+	-	+
XQ1-5	+	-	+
XQ1-6	+	-	+
XQ1-7	-	-	-
XQ1-8	-	-	-
XQ1-9	-	-	-
XQ1-10	-	-	-
XQ1-11	-	-	-
XQ3-1	-	-	-
XQ3-2	-	-	-
XQ3-3	+	+	-
XQ3-4	+	+	-
XQ3-5	+	+	-
XQ3-6	+	-	-
XQ5-1	-	+	-
XQ5-2	-	+	-
XQ5-3	-	+	-
XQ5-4	-	+	+
XQ5-5	-	+	+
XQ5-6	-	+	+

Como pode ser observado no Quadro 1, os fungos isolados do solo da Caatinga apresentaram predominantemente atividade proteolítica, entretanto, os fungos associados à *C. heliotropiifolius* e *X. goiunellei* apresentam perfil enzimático diferenciado.

Os fungos associados à *C. heliotropiifolius* apresentam predominantemente atividade proteolítica, sendo que apenas um deles (AF2-17) apresentou atividade de pectinase, e 4 amostras apresentaram resultado negativo para todas as atividades enzimáticas testadas, sugerindo menor diversidade fúngica. Plantas do gênero *Croton* podem apresentar diversos bioativos com atividade bactericida, antifúngica, antioxidante, de ação inibidora de acetilcolinesterase, antiparasitária de uso animal, carrapaticida, inseticida, ovicida, larvicida, nematocida e poder alelopático (Cavalcanti et al., 2020), além de alto grau de toxicidade (Silva et al., 2017). Portanto, os princípios ativos presentes em *C. heliotropiifolius* podem estar interferindo na microbiota do solo.

Por outro lado, os fungos isolados do solo associado à *X. goiunellei*, apresentaram maior diversidade enzimática, apesar de a maioria dos fungos apresentarem atividade proteolítica. Foi detectada atividade de amilase em oito fungos, atividade de protease em 12 fungos e atividade de pectinase em 6 fungos. Ao contrário de *C. heliotropiifolius*, *X. goiunellei* é uma planta utilizada para nutrição humana (Pessoa et al., 2022) e animal (Silva et al., 2005).

A bioprospecção de fungos é uma prática realizada por diversos autores (Montoya-Castrillón et al., 2021; Peraza-Jiménez et al., 2022; Samuel et al., 2018; Silva et al., 2011) e representa o primeiro passo necessário para os estudos sobre suas atividades enzimáticas. Diferentemente dos resultados apresentados, em um trabalho de prospecção de fungos realizado por Silva et al., (2011), em um sistema agroflorestral de Pernambuco, a atividade de amilase foi produzida por um maior número de fungos isolados do que a atividade de protease. Por outro lado, a maior porcentagem de fungos isolados de uma floresta tropical úmida do México produziram mais protease em comparação à amilase (Peraza-Jiménez et al., 2022).

Os resultados mostram que a vegetação da Caatinga influencia a biodiversidade microbiológica do solo, dessa maneira, a riqueza de espécies vegetais e sua conservação afetam a manutenção da comunidade microbiana fúngica e, conseqüentemente, a manutenção do bioma. Além disso, agrega valor biotecnológico tanto aos microrganismos isolados do solo, quanto às plantas associadas. Este fator pode ser observado através

do mercado mundial bilionário da tecnologia enzimática, onde somente no Brasil são importadas anualmente cerca de 30 mil toneladas (Santana, 2020).

A associação de plantas a microrganismos é conhecida, bactérias promotoras do crescimento vegetal são descritas, assim como as micorrizas (Bald et al., 2021), estudos onde abundância microbiana é associada às características do solo são comuns (Fraga et al., 2012; Ferreira et al., 2017; Leal et al., 2021). No entanto, a diversidade microbiana do solo associado a plantas específicas é um trabalho inédito.

De acordo com Carvalho (2008), os fungos do solo são essenciais para a manutenção e o funcionamento deste, uma vez que desempenham diversas funções, tais como decomposição e ciclagem de nutrientes, além de realizar interações com outros organismos do solo e com as plantas, e sua população pode ser afetada por diversos fatores como poluição ou alteração da cobertura vegetal, que levam à perda da diversidade e ao empobrecimento do solo. Portanto, é de fundamental importância a manutenção da biodiversidade e integridade dos biomas.

CONCLUSÕES

Evidenciou-se o potencial dos fungos isolados do bioma da Caatinga para a produção de enzimas, principalmente as proteolíticas. Além disso, os diferentes perfis enzimáticos sugerem diferentes espécies fúngicas das amostras de solo associadas aos vegetais típicos desse bioma. Dessa maneira, as plantas características do semi-árido assumem papel importante para a obtenção de produtos biotecnológicos tanto de origem vegetal, quanto de origem microbiana, assim, agregando valor a este bioma, que precisa ter sua biodiversidade discutida e mais amplamente estudada.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe, FAPITEC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu JAS, Rovida AFS, Pamphile JA. Fungos de interesse: aplicações biotecnológicas. Revista Uningá Review, v.21, n.1, p.55-59, 2015.

- Aguilar JGS, Sato HH. Microbial proteases: Production and application in obtaining protein hydrolysates. *Food Research International*, v.103, p.253-262, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.044>
- Almeida AS, Santos AF. Potencial anticolinesterásico de plantas do bioma Caatinga: uma revisão. *Diversitas Journal*, v.3, n.2, p.505-518, 2018. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v3i2.589>
- Andrade ICB, Souza HTR, Santos LJP, Cruz IS, Gois DV, Souza RM. Relação clima-vegetação no monumento natural Grota do Angico- Sergipe-Brasil. *Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente*, v.4, n.1, p.71, 2015. <https://doi.org/10.17564/2316-3798.2015v4n1p71-82>
- Bald DRQ, Rangel CP, Vargas AF, Girão KT, Passaglia L. M. P. Microbiota do solo: a diversidade invisível e a sua importância. *Revista Bio Diverso*, v.1, p.101-31, 2021.
- Belinato JR, Baziolia JM, Sussulini AAF, Fill TP. Metabólica microbiana: inovações e aplicações. *Química Nova*, v.42, n.5, p.546-559, 2019. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170324>
- Cavalcanti DFG, Silveira DM, Silva GC. Aspectos e potencialidades biológicas do gênero *Croton* (Euphorbiaceae)/ Biological aspects and potentialities of the genus *Croton* (Euphorbiaceae). *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.7, p.45931-45946, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-280>
- Costa CZ, Albuquerque MCC, Brum MC, Castro AM. Degradação microbiológica e enzimática de polímeros: uma revisão. *Química Nova*, v.38, n.2, 2015. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140293>
- Esiana BOI, Coates CJ, Adderley WP, Berns AE, Bol R. Phenoloxidase activity and organic carbon dynamics in historic Anthrosols in Scotland, UK. *PLoS ONE*, v.16, n.10, p.1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259205>
- Far BE, Ahmadi Y, Khosroshahi AY, Dilmaghani A. Microbial alpha-amylase production: progress, challenges and perspectives. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, v.10, n.3, p.350-358, 2020. <https://doi.org/10.34172/apb.2020.043>
- Ferreira EPB, Stone LF, Martin-Didonet CCG. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. *Revista Ciência Agronômica*, v.48, n.1, p.22-31, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170003>
- Filizola HF, Gomes MAF, Souza MD. Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos. *Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente*. 169 p., 2006. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129660/1/2006OL-008.pdf>. Acesso em: 03 out. 2022.
- Fraga ME, Braz, DM, Rocha JF, Pereira MG, Figueiredo DV. Interação microrganismo, solo e flora como condutores da diversidade na Mata Atlântica. *Acta Botanica Brasileira*, v.26, n.4, p.857-865, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000400015>
- González, JÁ; Gallardo, CS; Pombar, A; Rego, P; Rodríguez, LA. Determination of enzymatic activities in ecotypic *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* yeasts. *Electronic Journal Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, v.3, n.5, p.743-750, 2004.
- Hagerman AE, Blau DM, McClure AL. Plate assay for determining the time of production of protease, cellulase, and pectinases by germinating fungal spores. *Analytical Biochemistry*, v.151, n.2, p.334-342, 1985. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(85\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(85)90184-8)
- Haile S, Ayele A. Pectinase from microorganisms and its industrial applications. *Scientific World Journal*. v.2022, p.1-15, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1881305>
- Kumar A, Chandra R. Ligninolytic enzymes and its mechanisms for degradation of lignocellulosic waste in environment. *Heliyon.*, v.6, n.2, p.1-18, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03170>
- Leal MLA, Chaves JS, Silva JA, Silva LS, Soares RB, Nascimento JPS, Matos SM, Texeira Junior DL, Brito Neto AF. Efeito dos sistemas de manejo e do uso do solo na população de microrganismos do solo. *Research, Society and Development*, v.10, n.9, p.1-11, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17966>
- Marroques, JC. Aplicação de enzimas na indústria têxtil. Ano de obtenção: 2020, 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Mendoza AYG, Silva VV, Lima RA, Lima JPS. Potencialidades biotecnológicas dos fungos da amazônia brasileira: uma revisão sistemática. *Diversitas Journal*, v.7, n.4, p.2535-2551 2022. <https://doi.org/10.48017/dj.v7i4.2104>
- Menezes EHA, Silva AIB, Costa AEN, Mendonça CMS, Nunes LE, Oliveira LC, Cavalcante JS, Sá-Filho GF, Costa AEN. As plantas do bioma caatinga com potencial neuroprotetor: uma revisão integrativa. *Revista Biodiversidade*, v.20, n.4, p.121-139, 2021.
- Mesquita MOM, Pinto TMF, Moreira RF. Potencial antimicrobiano de extratos e moléculas isolados de plantas da Caatinga: uma revisão. *Revista Fitos*, v.11, n.2, p.119-249, 2017. <https://doi.org/10.5935/2446-4775.20170028>
- Monteiro VN, Silva RN. Aplicações industriais da biotecnologia enzimática. *Revista Processos Químicos*, v.3, p.9-23, 2009. <https://doi.org/10.19142/rpq.v3i5.83>
- Montoya-Castrillón M, Serna-Vasco KJ, Pinilla L, Rico JM, Cardona-Bermúdez LM, Osorio-Echavarría. Isolation and characterization of filamentous fungi from wood and soil samples of “La Lo-rena”, Sonsón, Antioquia (Colombia), natural reserve. *DYNA*, v.88, n.219, p.171-180, 2021. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n219.96144>
- Motato-Vásques V, Pires RM, Vitali VMV, Gugliotta ADM. Cultural and ligninolytic activity studies of some polypores (Basidiomycota) from brazilian Atlantic Forest, São Paulo, Brazil. *Hoehnea*, v.43, n.2, p.289-300, 2016. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-81/2015>
- Pessoa VG, Santos SCL, Oliveira PVC, Silva TGP, Oliveira PVC, Fernandes GST. Bromatological composition and sensory analysis of cacti as unconventional food plants: a systematic review. *Research, Society and Development*, v.11, n.8, p.1-11, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.31289>
- Peraza-Jiménez K, De la Rosa-García S, Huijara-Vasconcelos JJ, Reyes-Estebanez M, Gómez-Cornelio S. Enzymatic

- Bio-prospecting of Fungi Isolated from a Tropical Rainforest in Mexico. *Journal of Fungi*, v.8, n.1, p.1-15, 2022.
<https://doi.org/10.3390/jof8010022>
- Razzaq A, Shamsi S, Ali A, Ali Q, Sajjad M, Malik A, Ashraf M. Microbial Proteases Applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 7, p.1-20, 2019.
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00110>
- Saccaro Junior NL. A regulamentação de acesso a recursos genéticos e repartição de benefícios: disputas dentro e fora do Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v.16, p.229-244, 2011.
<https://doi.org/10.1590/S1414-753X2011000100013>
- Samuel P, Maheswari M, Vijayakumar J, Selvarathinam T, Amirtharaj K, Deenathayalan R. Bio-prospecting of marine-derived fungi with special reference to production of ecovaluable enzyme keratinase - A need-based optimization study. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, v.6, n.3, p.35-41, 2018.
<https://doi.org/10.7324/JABB.2018.60306>
- Santana I. Mistura de enzimas mostrou alto desempenho para gerar etanol a partir de bagaço de cana. *Embrapa Notícias*, 27 maio, 2020. Disponível: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52639673/mistura-de-enzimas-mostrou-alto-desempenho-para-gerar-etanol-a-partir-de-bagaco-de-cana/>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- Sidrim JJC, Rocha MFG. *Micologia Médica à luz de autores contemporâneos*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- Silva LL, Moreira IC, Silva MT, Silva BL, Santos AAT, Oliveira ML, Souza DF, Brito AO, Santos SX. Bioprospecção de Fungos de um Fragmento do Cerrado no Brasil Central para Aplicações Biotecnológicas. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v.7, n.1, p.288-305, 2018. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2018v7i1.p288-305>
- Silva CJA, Malta DJN. A importância dos fungos na biotecnologia. *Cadernos de Graduação*, v.2, n.3, p.49-66, 2017.
- Silva JAG, Lima IR, Santana MAN, Silva TMS, Silva MIAG, Leite SP. Screening Fitoquímico e Avaliação da Toxicidade de *Croton heliotropiifolius* Kunth (Euphorbiaceae) frente à *Artemia salina* Leach. *Rev. Virtual Química*, v.9, n.3, p.934-941, 2017.
<https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170060>
- Silva JBA, Frantz SC, Marques AK, Coelho CM, Morais PB. Produção de enzimas extracelulares por fungos associados à decomposição de materiais de vegetais em riachos. *Journal of Bioenergy and Food Science*, v.4, n.2, p.2008-212, 2015. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v2i4.75>
- Silva ACC, Prata APN, Souto LS, Mello, AA. Aspectos de ecologia de paisagem e ameaças à biodiversidade em uma unidade de conservação na Caatinga, em Sergipe. *Revista Árvore*, v.37, n.3, 2013.
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000300011>
- Silva DCV, Tiago PV, Mattos JLS, Paiva LM, Souza-Motta CM. Isolamento e seleção de fungos filamentosos do solo de sistemas agroflorestais do Município de Bom Jardim (PE) com base na capacidade de produção de enzimas hidrolíticas. *Revista Brasileira de Botânica*, v.34, n.4, p.607-610, 2011.
<https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000400014>
- Silva JGM, Silva, DS, Ferreira MA, Lima GFC, Melo AAS, Diniz MCNM. Xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex K. Schum.) Bly. ex Rowl.) em Substituição à Silagem de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) na Alimentação de Vacas Leiteiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.4, p.1408-1417, 2005.
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000400039>
- Souza FR. Aplicação de enzimas no processamento de couros: comparação entre processos químicos e enzimáticos. Ano de obtenção: 2010, 144 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Valencia JWA. Metabólitos de origem fúngica: aplicações potenciais em processos biotecnológicos. 2011, 117p. Tese de doutorado (Biologia Molecular), Universidade de Brasília, Brasília.
- Wetler-Tonini RMC, Rezende CE, Grativol AD. Degradação e biorremediação de compostos do petróleo por bactérias: revisão. *Oecologia Australis*, v.14, n.4, p.1010-1020, 2010.
<https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1404>
- Zhang, X., Shuai Y, Tao H, Li C, He L. Novel Method for the Quantitative Analysis of Protease Activity: The Casein Plate Method and Its Applications. *ACS Omega*, v.6 n.5, p.3675-3680, 2021.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05192>