

Investigação qualitativa da biodegradação de corantes têxteis do tipo azo utilizando células de batata doce (*Ipomoea batatas*) como fonte de biocatalisador

Maria Lair Sabóia de Oliveira Lima ⁽¹⁾,
Paloma dos Santos Alceu ⁽²⁾ e
Caroline da Costa Silva Gonçalves ⁽³⁾

Data de submissão: 7/10/2019. Data de aprovação: 18/12/2019.

Resumo – Nas últimas décadas, os preceitos da Química Verde têm se apresentado de modo cada vez mais incisivo. Isto tem despertado o interesse e a preocupação ambiental da população. Em contrapartida, as indústrias têxteis se destacam pela geração de um grande volume de efluentes com alto potencial poluidor. Os efluentes têxteis são altamente coloridos graças à presença de corantes, como os compostos azo conjugados, utilizados no tingimento das fibras. Devido a sua persistência no ambiente, esses compostos são caracterizados como recalcitrantes. Assim, é importante elaborar novas metodologias capazes de contribuir na erradicação desses resíduos, atrelando-as à eficiência e ao baixo valor agregado. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo da biodegradação de corantes têxteis do tipo azo utilizando células vegetais. Para tanto, 6 vegetais (batata doce, batata inglesa, inhame, aipim, alho e pepino japonês) foram avaliados com o teste do guaiacol para detecção da presença de peroxidases (enzimas importantes no processo de degradação de corantes azo conjugados). Entre as espécies vegetais analisadas, a batata doce mostrou a maior atividade de peroxidases, sendo selecionada para os ensaios de biodegradação. Foram avaliados corantes azo com (alaranjado de metila e alaranjado G) e sem (vermelho de metila) grupos sulfatos em sua estrutura em duas diferentes concentrações de suspensão celular. Foi observado que apenas o vermelho de metila foi biodegradado, o que demonstra a especificidade das enzimas envolvidas.

Palavras-chave: Biodegradação. Células vegetais. Corantes têxteis. *Ipomoea batatas*.

Qualitative investigation of biodegradation of textile dyes of the azo type using sweet potato cells (*Ipomoea batatas*) as the source of biocatalyst

Abstract – In recent decades, the precepts of Green Chemistry have been presented in an increasingly incisive way. This has aroused the interest and environmental concern of the population. On the other hand, the textile industries stand out for the generation of a large volume of effluents with high polluting potential. Textile effluents are highly colored thanks to the presence of dyes, such as azo conjugate compounds, used in fiber dyeing. Due to their persistence in the environment, these compounds are characterized as recalcitrant. Thus, it is important to develop new methodologies capable of contributing to the eradication of these wastes, linking them to efficiency and low added value. In this context, this work presents a study of the biodegradation of azo textile dyes using plant cells. To this end, 6 vegetables (sweet potato, potato, yam, manioc, garlic and japanese cucumber) were evaluated with the guaiacol test for the presence of peroxidases (important enzymes in the degradation process of conjugated azo dyes). Among the analyzed vegetable species, sweet potato showed the highest

¹ Professora doutora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, Campus Porto Seguro, Porto Seguro–BA, Brasil. *marialair@ifba.edu.br

² Licenciada em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Porto Seguro, Porto Seguro–BA, Brasil. palomalceu@gmail.com

³ Professora doutora da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-American de Ciências da Vida e da Natureza, Foz do Iguaçu–PR, Brasil. caroline.goncalves@unila.edu.br

peroxidase activity, being selected for biodegradation assays. Azo dyes were evaluated with (methyl orange and orange G) and without (methyl red) sulfate groups in their structure at two different cell suspension concentrations. It was observed that only methyl red was biodegraded, which demonstrates the specificity of the enzymes involved.

Keywords: Biodegradation. Plant cells. Textile dyes. *Ipomoea batatas*.

Introdução

No ano de 2018, o Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística (IBOPE), a pedido da organização não governamental *World Wide Fund for Nature (WWF)* realizou uma pesquisa que avaliou o grau e o direcionamento da preocupação ambiental da população brasileira. Segundo os dados obtidos, na opinião dos brasileiros, o desmatamento e a poluição dos corpos d'água sobressaem-se como principais ameaças à fauna e à flora existentes, mostrando que, além disso, a população tem se tornando cada vez mais consciente do seu papel e da sua influência no que tange ao trato ambiental (GESISKY, 2018).

Em contrapartida, há também um crescimento considerável de setores industriais geradores de resíduos orgânicos tóxicos e de difíceis tratamentos e descolorações. Neste contexto, são as indústrias têxteis que aparecem como as grandes protagonistas. Isto porque esse setor utiliza grandes volumes de água (aproximadamente 15 % do volume de água empregado no setor industrial é direcionado às indústrias têxteis), empregando-os em processos de tingimento e lavagem de tecidos, cujos resíduos contribuem para a formação de lodos e de resíduos aquosos com elevada carga orgânica e de intensa coloração (OLIVEIRA, 2000). Como consequência, quando lançados em águas naturais sem o tratamento adequado, esses efluentes podem vir a inferir no ecossistema de modo bastante significativo. Isso porque, além da sua toxicidade, a forte coloração diminui a transparência dos corpos d'água e, como consequência, a radiação penetrante se torna insuficiente para que a atividade fotossintética ocorra de modo adequado. Ademais, a presença desses efluentes pode alterar o regime de solubilidade dos gases na água e também resultar em prejuízos à fauna e à flora que ali coexistem (SILVA, M., 2011; SILVA, E., 2016; GUARANTINI; ZANONI, 1999).

Na tentativa de erradicar essa problemática, existem, atualmente, algumas técnicas tradicionais utilizadas no tratamento de efluentes têxteis, entre as quais podem ser citadas: a utilização de membranas filtrantes, a precipitação, as degradações química, eletroquímica e fotoquímica, a adsorção e a biodegradação (SILVA P., 2013). No entanto, embora haja uma vasta gama de opções, as técnicas citadas ainda apresentam elevados custos. Devido a isso, a indústria tem se aliado à academia na busca de novas alternativas que acarretem não apenas em um menor valor agregado, mas que também se encaixem nos preceitos da Química Verde (FERREIRA; ROCHA; SILVA, 2013). Nesse contexto, as técnicas de biodegradação têm apresentado merecido destaque, uma vez que os contaminantes presentes nesses efluentes podem vir a ser convertidos em insumos de interesse, através de reações de biotransformações (VASCONCELOS, 2010).

Como metodologias de biotransformações, destacam-se as que utilizam células íntegras (por exemplo, bactérias e leveduras na forma de colônias ou até mesmo organismos mais complexos como fungos e células vegetais) e enzimas na sua forma isolada ou combinada (processos multienzimáticos). A escolha da melhor alternativa dependerá não apenas de uma avaliação cuidadosa de todos os parâmetros envolvidos na biotransformação, mas também da facilidade de obtenção do insumo (FABER, 2011; OLIVEIRA; MANTOVANI, 2009).

Quando se tratam dos corantes presentes nos efluentes têxteis, os corantes do tipo azo conjugados – assim denominados por possuírem pelo menos um grupo funcional $-N=N-$ e também grupos conjugados em suas estruturas químicas – estão entre os principais responsáveis pela poluição das indústrias têxteis. Além do difícil tratamento, esses compostos apresentam

um tempo de vida médio de 50 anos, sendo, portanto, caracterizados como resíduos recalcitrantes (ALMAGUER, 2018).

Logo, temos aí uma oportunidade de aliar a preocupação ambiental com os aspectos relacionados às biotransformações, fazendo surgir, com uma linguagem simplificada e de fácil compreensão, importantes alicerces que constituirão não apenas uma base para educação ambiental, mas também uma alternativa para a exploração viável dos próprios recursos naturais para tratamento e erradicação da poluição dos corpos d'água por corantes têxteis azo conjugados.

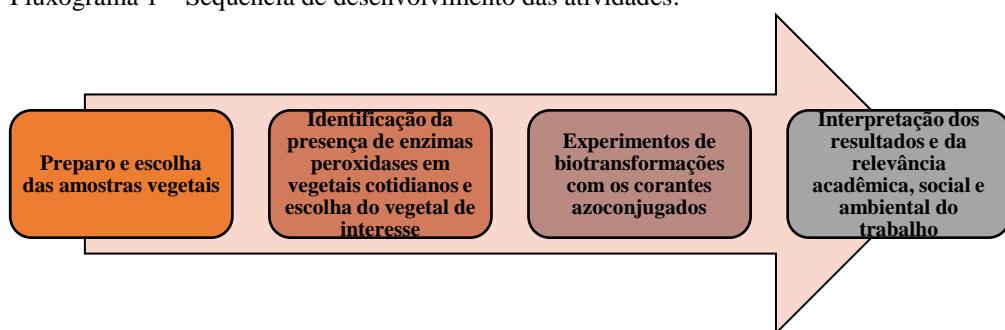
Sob um ponto de vista acadêmico, entende-se que enzimas pertencentes à classe das oxidorredutases (GONÇALVES; FONSECA, 2018; FABER, 2011) (como as peroxidases) podem ser empregadas na biodegradação de corantes. Isto é possível graças às suas capacidades de mediarem reações redox e de auxiliarem na clivagem de grupos conjugados tão intrinsecamente presentes nos corantes (SILVA et al., 2012). No cotidiano, um interessante indicativo natural da presença dessas enzimas é o escurecimento natural de alguns alimentos. Assim, alguns tubérculos (como a batata, o nabo, a batata doce) e algumas frutas (a maçã, a banana e a uva, por exemplo) podem apresentar fontes naturais consideráveis dessas enzimas, tornando esses alimentos possíveis fontes de biocatalisadores aptos a degradarem corantes conjugados (PINTO, 2014; SCIANCALEPORE; ALVITI, 1985). Aqui, vale ressaltar que, quando se tratam desses alimentos, devemos lembrar que são as enzimas presentes nas células vegetais que irão realizar as biotransformações e uma interessante característica destas é a sua incrível especificidade frente a um substrato de interesse (GONÇALVES et al., 2019; CAMPBELL; FARRELL, 2018; FABER, 2011).

Nessa perspectiva, o presente trabalho demonstra como podemos encontrar, em nosso dia a dia, enzimas aptas a serem aplicadas na biodegradação de corantes. Aqui, apresentamos a elaboração de ensaios simples e de baixo custo que propiciam não apenas a investigação de biocatalisadores aptos à degradação de corantes, mas que também vêm contribuir para uma percepção crítica e de fácil assimilação da Química Verde por parte do leitor. Para tanto, os experimentos serão conduzidos utilizando células vegetais de batata doce e corantes têxteis do tipo azo que tenham ou não grupos sulfatos associados, aptos a influenciarem diretamente na aceitabilidade do substrato (corante) pela enzima em estudo. Aqui, propomos a utilização do corante não sulfatado vermelho de metila e dos corantes sulfatados alaranjado de metila e alaranjado G. Todos os experimentos são conduzidos em meio aquoso e se baseiam unicamente nas enzimas presentes nas células vegetais como agentes da transformação, o que enfatiza a preocupação em contribuir para uma vertente experimental que não gere solventes orgânicos como resíduos prejudiciais ao meio ambiente.

Materiais e Métodos

Os experimentos foram conduzidos conforme sequência ilustrada a seguir, representada no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 – Sequência de desenvolvimento das atividades:



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

As amostras vegetais

Todas as amostras vegetais foram adquiridas em supermercado local da cidade de Santa Cruz Cabrália – BA. Para triagem, foram selecionados os vegetais batata doce, batata inglesa, aipim, inhame, alho e pepino japonês.

Após devidamente lavados com água corrente, os vegetais foram descascados e cortados em pequenos pedaços (Figura 1-a). Em seguida, 10 g de cada amostra vegetal foram pesados e transferidos para um liquidificador. A este, foram acrescentados 50 mL de tampão fosfato pH 7,0 (previamente preparado com 29,00 g de NaH₂PO₄ e 51,60 g de Na₂HPO₄ dissolvidos em 1,0 L de água destilada – esses sais são comuns em laboratório e também são de baixo custo) e, posteriormente, processou-se por 30 segundos em velocidade mínima (Figura 1-b). Por fim, as suspensões celulares resultantes foram filtradas com o auxílio de gases cirúrgicas (Figura 1-c).

Figura 1 – Etapas de preparo das amostras vegetais para uso no experimento-



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

O filtrado (suspensão celular) foi mantido em banho de gelo até o momento de sua utilização (por um período máximo de 1 hora) e o resíduo descartado em lixo comum.

Identificando a presença das peroxidases nas amostras vegetais: o teste do guaiacol

Para cada amostra vegetal, foram separados dois tubos de ensaios. Ao primeiro tubo, acrescentaram-se 0,4 mL de solução comercial de peróxido 3,0 % (a mesma utilizada para limpeza de ferimentos, vendida em farmácia), 0,3 mL da suspensão celular, 1,0 mL de tampão fosfato pH 7,0 (o mesmo empregado no preparo das amostras vegetais) e três gotas de guaiacol (reagente comum de laboratório e também de baixo custo), nessa ordem. Ao segundo tubo, adicionaram-se todos os itens mencionados, na mesma ordem citada, com exceção da suspensão celular, que foi substituída por 0,3 mL de tampão fosfato pH 7,0. Após 3 minutos, os tubos que continham a suspensão celular e que apresentaram coloração marrom-alaranjada foram considerados como positivos para a presença de peroxidases. Para confiabilidade do teste, os tubos com ausência da suspensão celular devem manter sua coloração inalterada (IEVINSK, 1992; SOUZA; MACADAM, 1998).

Preparo das soluções dos corantes

Inicialmente, pesaram-se, separadamente, 10 mg dos corantes vermelho de metila, alaranjado de metila e alaranjado G. Em seguida, os corantes foram dissolvidos em tampão fosfato pH 7,0 (o mesmo utilizado no preparo das amostras vegetais) e transferidos quantitativamente para balões volumétricos de 100 mL, completando-se os volumes com a solução tampão.

Ensaios de biodegradação

Após preparo da suspensão celular de interesse e das soluções dos corantes, os experimentos qualitativos de biodegradação foram desenvolvidos em tubos de ensaio, com o Tubo 1 representando o estudo de biodegradação com uma menor concentração da suspensão celular; o Tubo 2 representando também um ensaio de biodegradação mas com uma maior quantidade de suspensão celular; o Tubo 3, o controle de degradação/descoloração do corante na ausência da suspensão celular; o Tubo 4, o controle visual de coloração da suspensão celular no decorrer do experimento. Os componentes e quantidades presentes em cada Tubo estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidades empregadas nos ensaios de biodegradação dos corantes-

Componente do ensaio	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4
Suspensão de células vegetais (200 g/L)	0,25 mL	0,50 mL	0,00 mL	0,50 mL
Solução de corante (alaranjado G, alaranjado de metila e vermelho de metila)	1,00 mL	1,00 mL	1,00 mL	0,00 mL
Tampão fosfato pH 7,0	4,75 mL	4,50 mL	5,00 mL	5,50 mL
Volume final do ensaio	6,00 mL	6,00 mL	6,00 mL	6,00 mL

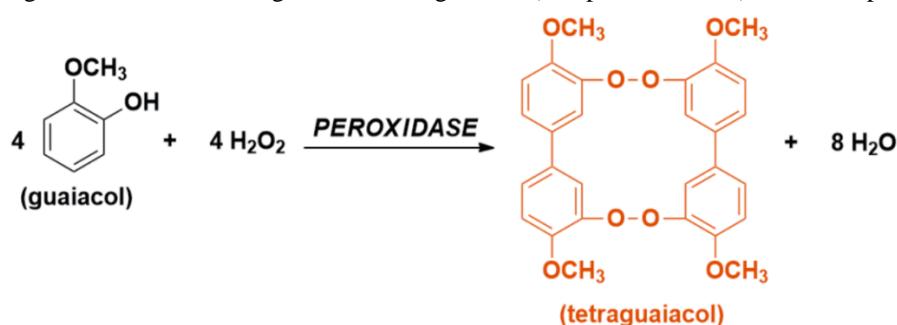
Os experimentos foram deixados em temperatura ambiente e avaliados em 12 e 24 horas.

Resultados e Discussões

O teste do guaiacol

Um teste rápido, simples e de baixo custo que pode ser utilizado para investigação da presença de peroxidases é o teste do guaiacol. Segundo Behmer-(1999), ao trabalhar com identificação de enzimas peroxidases em amostras de leite e derivados, notou-se o surgimento de uma coloração de tonalidade marrom-avermelhada como prova positiva da presença dessas enzimas nas amostras analisadas. Quimicamente, o que de fato acontece é que a peroxidase presente na amostra a ser analisada catalisa a reação do guaiacol com o peróxido de hidrogênio, o que resulta na formação do tetraguaiacol, um composto de coloração marrom-avermelhada, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Conversão do guaiacol a tetraguaiacol (composto colorido) catalisada por uma peroxidase-



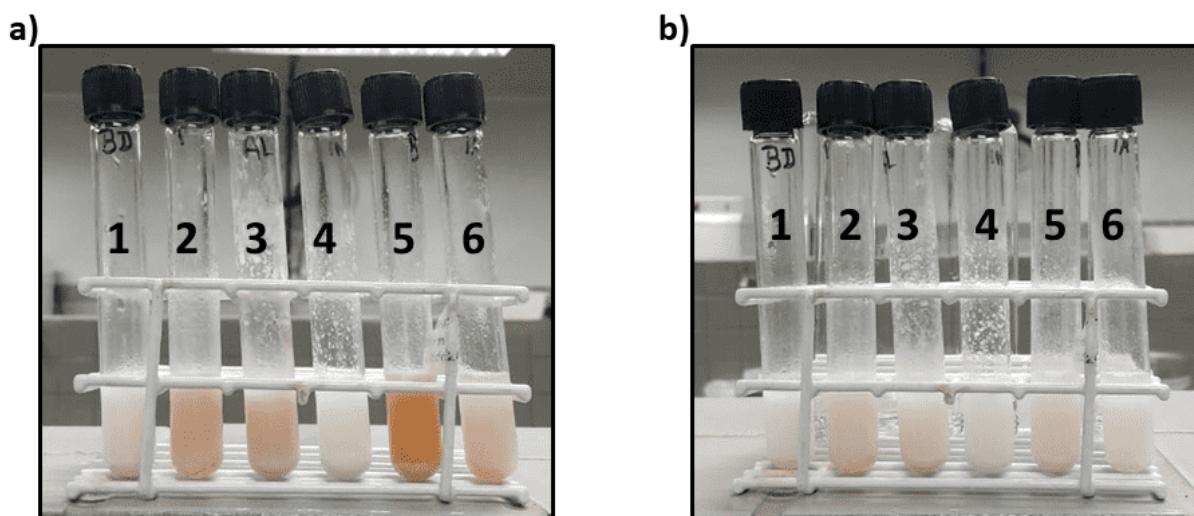
Fonte: Adaptado de Corban et al. (2011).

Por se tratar de uma reação redox, aqui, o peróxido de hidrogênio é reduzido à água e o guaiacol, oxidado a tetraguaiacol. Assim, o peróxido atua como agente oxidante e acceptor de elétrons na reação, enquanto que o guaiacol é o agente redutor e doador de elétrons do processo. Vale ressaltar que alguns cuidados devem ser tomados quando esse teste for empregado, uma vez que o desenvolvimento da cor marrom-avermelhada ocorre em um curto intervalo de tempo (de 3 a 5 min) (ZERAIK et al., 2008). Ainda, além da formação do tetraguaiacol, a velocidade de desaparecimento do mesmo deve também ser considerada, uma vez que as peroxidases

também são capazes de degradar compostos conjugados (SILVA et al., 2012). Portanto, um indicativo ainda mais confiável da presença dessas peroxidases consiste na rápida formação da coloração marrom-avermelhada seguida de uma rápida perda dessa mesma coloração.

As suspensões celulares de batata doce, batata inglesa, inhame, aipim, alho e pepino japonês foram avaliadas frente ao teste qualitativo do guaiacol. De todas as amostras vegetais selecionadas, a única que não apresenta escurecimento perceptível em nosso cotidiano é a do pepino japonês. Apesar dessa observação, esse vegetal foi selecionado para testes devido a apresentar um suco clarificado e, em caso de apresentar-se positivo ao teste do guaiacol, seria de fácil percepção. A Figura 3 mostra os resultados obtidos no teste do guaiacol.

Figura 3 – Teste do guaiacol para 1 - batata doce, 2 – pepino japonês, 3 – alho, 4 – inhame, 5 – batata inglesa, 6 – aipim. Em a), resultado instantes após a adição do guaiacol, evidenciando a formação do tetraguaiacol. Em b), observação do decorramento das reações após 20 minutos e confirmação da presença de peroxidase.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2019).

De todos os vegetais avaliados, o único que apresentou uma baixa intensidade de coloração marrom-avermelhada foi o inhame. Dentre os demais, o vegetal que apresentou melhor resultado foi a batata doce que, à medida que a coloração marrom avermelhada era formada, rapidamente desaparecia, sendo quase imperceptível de se observar nas fotos (Tubo 1- a e b, Figura 3). Os demais vegetais (pepino japonês, alho, inhame, batata inglesa e aipim) apresentaram coloração marrom-avermelhada após adição do guaiacol, mas a perda de coloração só foi percebida após cerca de 20 minutos de experimento. Devido ao observado nesse experimento, a batata doce foi o vegetal selecionado para prosseguimento aos ensaios de biodegradação.

Ensaios de biodegradação

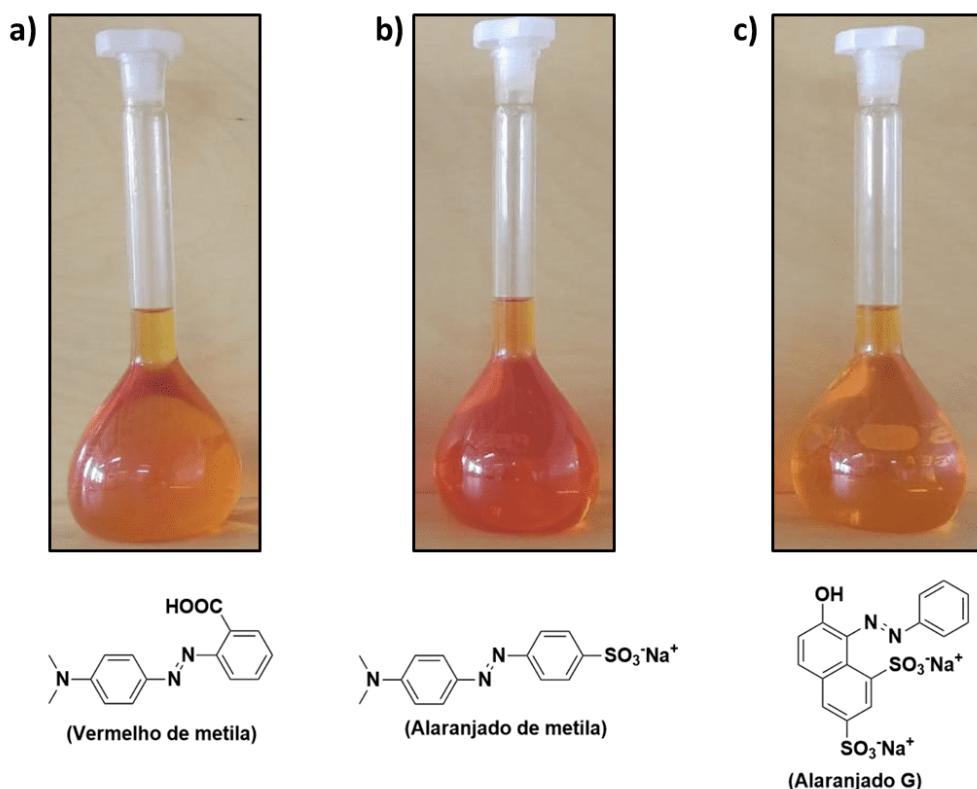
De acordo com Silva et al. (2012), enzimas do tipo peroxidases conseguem degradar compostos orgânicos conjugados. Segundo os autores, isso é possível porque, num primeiro instante, o peróxido reage com o sítio catalítico da enzima, ocasionando na formação de água e da substância I (composto mais reativo que a enzima na sua forma *in natura*). Em seguida, essa substância I oxida o substrato (corante conjugado), transformando-o num composto radicalar e na substância II. Por fim, a substância II é reduzida por outra molécula de substrato, o que faz com que a enzima retorne à sua forma original. Vale ressaltar que, embora existam diversos estudos que descrevam o mecanismo de ação das peroxidases, o mecanismo de degradação e os produtos oriundos desse metabolismo nem sempre são conhecidos. Assim, de modo simplificado, segundo Silva et al. (2012), as seguintes etapas:

- (1) Peroxidase + H₂O₂ → Substância I + H₂O
- (2) Substância I + Corante → Substância II + Radical•
- (3) Substância II + Corante → Peroxidase + Corante• + H₂O

Os radicais formados no processo seguem para outras etapas de degradação de corantes, como a precipitação.

No entanto, vale ressaltar que não é pelo fato de as peroxidases serem capazes de degradar corantes conjugados que elas atuarão em todos os corantes com essa característica. Aqui, devemos considerar a especificidade das enzimas envolvidas e a aceitabilidade do substrato pelo sítio ativo da enzima de interesse (FABER, 2011). Devido a isso, selecionamos três compostos azo conjugados que apresentam (alaranjado de metila e alaranjado G) ou não (vermelho de metila) grupos sulfatos em suas estruturas (Figura 4). Ainda, como os corantes utilizados são sensíveis à variação de pH (sendo comumente empregados como indicadores) (SKOOG; WEST; HOLLER, 2017), optou-se por realizar todos os experimentos em solução tampão. Foi escolhido o tampão fosfato pH 7,0 devido à boa aceitabilidade desse tampão em ensaios biológicos.

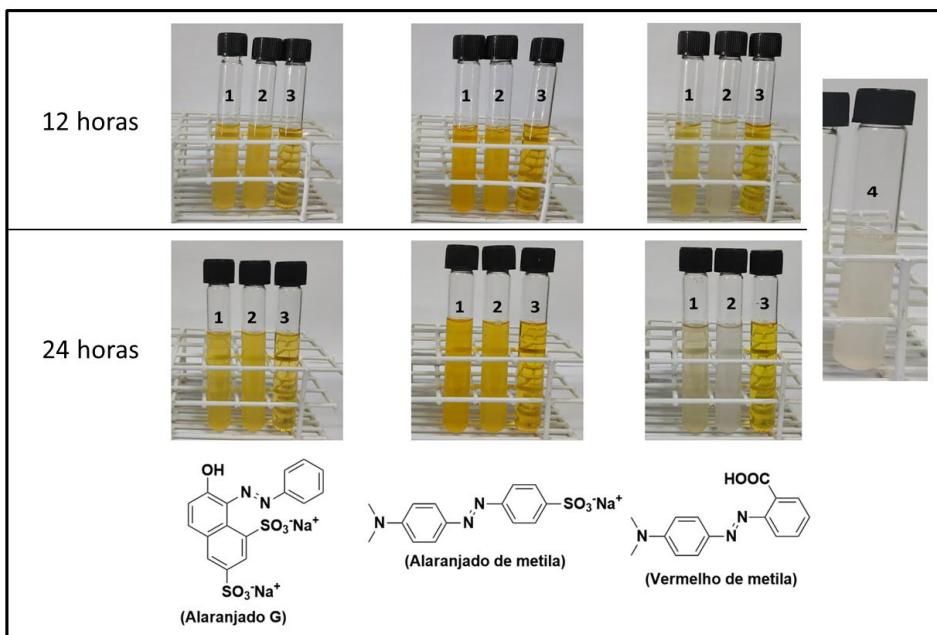
Figura 4 – Soluções e estruturas químicas dos corantes a) vermelho de metila, b) alaranjado de metila e c) alaranjado G, preparadas em tampão fosfato pH 7,0.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2019).

De posse dos resultados do teste do guaiacol, seguiu-se com a batata doce nos ensaios de biodegradação dos corantes. Foram empregadas duas concentrações diferentes de suspensão celular (8,0 e 16,0 g/L após adicionados os volumes de 0,25 e 0,50 mL nos tubos de ensaio) a fim de verificarmos a influência do aumento da concentração do catalisador na eficiência da reação. Os experimentos foram avaliados com 12 e com 24 horas, sendo monitorados os ensaios com diferentes concentrações de suspensão celular, o controle de degradação do corante e o controle de escurecimento da suspensão celular. Os resultados obtidos com os diferentes corantes após 12 e 24 horas estão apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Ensaios com os corantes: alaranjado G, alaranjado de metila e vermelho de metila após 12 e 24 horas. Nos tubos 1, suspensão celular a 8,0 g/L; nos tubos 2, suspensão celular a 16 g/L; nos tubos 3, o controle de degradação do corante na ausência da suspensão. O tubo 4 corresponde ao controle de escurecimento celular após 24 horas.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Como observado na Figura 5, após transcorridas 12 e 24 horas, não foi observada mudança de coloração nos ensaios envolvendo os corantes sulfatados alaranjado G e alaranjado de metila. O único a apresentar evidência de reação, foi o corante não sulfatado vermelho de metila, tanto com a concentração de 8,0 g/L quanto com a concentração de 16 g/L. Essa observação demonstra a especificidade das enzimas peroxidases presentes na batata doce frente aos substratos avaliados. Segundo Dawkar et al. (2009), a presença de substituintes no anel aromático pode acelerar ou reduzir o grau de descoloração. Além disto, vale ressaltar que muitos compostos podem também atuar como inibidores da ação enzimática, prejudicando, assim, a ação do sítio ativo sobre um substrato de interesse (CAMPBELL; FARRELL, 2018). Dessa forma, no caso dos corantes sulfatados, tanto a posição quanto o número de grupos SO_3H podem afetar, diretamente, a velocidade de degradação (SHAFFIQU et al., 2002). Ademais, vale ressaltar que a descoloração do vermelho de metila ocorreu mais rapidamente no ensaio no qual havia uma maior quantidade de suspensão celular (Figura 5).

Considerações finais

O trabalho apresentado neste artigo identificou a presença de peroxidases em células vegetais de batata doce, batata inglesa, inhame, aipim, alho e pepino japonês através do teste do guaiacol: um ensaio rápido, eficiente e de baixo custo. Além disto, o teste foi utilizado como um direcionador do trabalho, no qual a espécie vegetal que apresentou melhor resultado foi empregada nos ensaios de biodegradação de corantes. Com os ensaios de biodegradação, observou-se a seletividade das peroxidases presentes na batata doce, que atuaram, preferencialmente, no corante não sulfatado. Além da contribuição nos estudos de biodegradação, o presente trabalho também pode ser adaptado a práticas experimentais voltadas ao ensino, uma vez que apresenta uma demonstração da especificidade enzimática aliada ao auxílio na resolução de um problema ambiental, que é a poluição gerada por efluentes têxteis. Além disso, outras classes de corantes podem ser posteriormente avaliadas, expandindo o leque de aplicabilidades das enzimas presentes nas células vegetais da batata doce.

Referências

- ALMAGUER, M. A. **Degradação de corantes azo por processo enzimático (peroxidase de Brassica rapa) e biofiltro anaeróbio-aeróbio.** 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro., Rio de Janeiro, 2018.
- BEHMER, M. L. A. **Tecnologia do leite:** queijo, manteiga, caseína, iogurte, sorvetes e instalações: produção, industrialização, análise. 13. ed. São Paulo: Nobel, 1999.
- CAMPBELL, M. K.; FARRELL, S. O. **Bioquímica.** 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2018.
- CORBAN, G. J. et al. Inhibition of peroxidase-catalyzed iodination by thioamides: experimental and theoretical study of the antithyroid activity of thioamides. **New Journal of Chemistry**, Londres, v.35, n.1, p.213-224, 2011.
- DAWKAR, V. V. et al. Peroxidase from *Bacillus* sp. vus and its role in the decolorization of textile dyes. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, New York, v.14, ISSN 1976-3816, p.361- 368, 2009.
- FABER, K. **Biotransformations in organic chemistry.** 6.ed. Berlin: Springer, 2011.
- FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R. da; SILVA, F. C. da. Química verde, economia sustentável e qualidade de vida. **Revista Virtual de Química**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 85-111, ago. 2013.
- GESISKY, J. Brasileiro quer ficar mais perto da natureza, diz pesquisa. **WWF**. 04 set. 2018. [S.L.]. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?67242/Pesquisa-WWF-Brasil-e-Ibope-Brasileiro-quer-ficar-mais-perto-da-natureza-mas-acha-que-ela-no-est-sendo-protégida>>. Acesso em 18 set. 2019.
- GONÇALVES, C. C. S; FONSECA, F. S. A. Reações de Oxidação Catalisadas por Enzimas. **Revista Virtual de Química**, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 778-797, ago. 2018.
- GONÇALVES, C. C. S. et al. Bioprospecção de enzimas produzidas por fungos decompositores isolados de detritos vegetais de riachos da região de Foz do Iguaçu – PR. In: SANTOS, C. C. (org.). **Estudos interdisciplinares nas ciências exatas e da terra e engenharias 2.** 1. ed. Ponta Grossa: Atena, 2019.
- GUARANTINI, C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71-78, jan./fev. 1999.
- IEVINSK, G. Characterization of the peroxidase system in winter rye seedlings: Compartmentation and dependence on leaf development and hydrogens donos used. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v.140, p.257-263, jan. 1992.
- OLIVEIRA, E. H. C. **Adsorção de corantes da indústria têxtil (indosol) em resíduos industriais (lama vermelha e argila esmectita).** 2010. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2010.

OLIVEIRA, L. G.; MANTOVANI, S. M. Transformações biológicas: contribuições e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, 2009.

PINTO, B. P. V. B. **Biodegradação enzimática de aminas aromáticas tóxicas**. 2014. 155 f. Dissertação (Mestrado) – ISEL Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2014.

SCIANCALEPORE, V.; ALVITI, F. S. Preliminary study on multipleform of peroxidase from Malavasia grapes. **Lebesmittel – Wissenschaft and Technologie**, Zurich, v. 18, n. 2, p. 174-177, 1985.

SHAFFIQU, T. S.; ROY, J. J.; NAIR, R. A. et al. Degradation of textile dyes mediated by plant peroxidases. **Applied Biochemistry Biotechnology**, Totowa, v.102–103, n.1-6, p.315-326, 2002.

SILVA, E. S. **Utilização da fotocatálise solar heterogênea no tratamento de efluentes industriais**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado em Energia Renováveis) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

SILVA, M. C. **Degradação de corantes e remediação de efluentes têxteis por extrato bruto de peroxidase de nabo**. 2011. 135 f. Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2011.

SILVA, M. C. et al. Descoloração de corantes industriais e efluentes têxteis simulados por peroxidase de nabo (*Brassica campestris*). **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 889-894, jan. 2012.

SILVA, P. O. **Métodos de tratamento de efluentes da indústria têxtil**. 2013. 39p. Monografia (Especialização) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais. Montes Claros, 2013.

SKOOG, D. A.; WAST, M.; HOLLER, F. J. **Fundamentos de química analítica**. Tradução de Robson Mendes Matos. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

SOUZA, I. R. P.; MACADAM, J. W. A transient increase in apoplastic peroxidase activity precedes decrease in elongation rate of B73 maize (*Zea mays L.*) leaf blades. **Physiologia Plantarum**, Sweden, v. 104, p. 556-562, maio 1998.

VASCONCELOS, L. R. **Bactérias com potencial biotecnológico na descoloração de corantes têxteis**. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

ZERAIK, A. E. et al. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.4, p.731-734, jan. 2008.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, *Campus Porto Seguro*, pelo suporte fornecido durante a realização deste trabalho.