ESTUDO DO POTENCIAL DA TYPHA DOMINGENSIS PARA FITORREMEDIAÇÃO DE CONTAMINANTE EMERGENTE

ESTUDIO DEL POTENCIAL DE *TYPHA DOMINGENSIS* PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES

STUDY OF THE POTENTIAL OF TYPHA DOMINGENSIS FOR PHYTOREMEDIATION OF AN EMERGING CONTAMINANT

Júlia Ferreira Freitas[1], Socorro Dias Morais[2], Francisco Rodrigo de Lemos Caldas[3]
[1]Graduanda, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, juliaferreirafreitas26@gmail.com, 0009-0006-6866-5887;
[2]Mestranda, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, redias1301@gmail.com, 0009-0001-5730-3577;
[3]Doutor, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, rodrigo.lemos@ifce.edu.br, 0000-0002-5376-849X..

Eixo Temático 05 – Esgotamento Sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes e monitoramento de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary Sewage
Characterization of effluents and monitoring of treatment efficiency.

RESUMO

Produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (PCPs) têm se tornado contaminantes ambientais emergentes devido à sua persistência no meio, potencial toxicológico e ausência de regulamentação. No Brasil, o problema é agravado pela baixa cobertura de tratamento de esgoto, resultando no lançamento de efluentes contaminados em corpos hídricos urbanos e rurais. Diante das limitações dos métodos convencionais de remoção, como fotólise e adsorção, a fitorremediação surge como alternativa sustentável, utilizando plantas para remover, degradar ou estabilizar poluentes. Entre as espécies com potencial para esse fim, destaca-se Typha spp. , conhecida por sua rusticidade, elevada biomassa e capacidade de bioacumulação. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de Typha domingensis na remoção do fármaco indometacina. O experimento foi conduzido por dois meses no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – campus Juazeiro do Norte, com plantas cultivadas em recipientes contendo sedimento e solução de indometacina (4 mg/L) sendo esse o grupo tratamento e um grupo controle contendo apenas a planta. Foram monitorados parâmetros físico-químicos do solo (pH, condutividade elétrica, turbidez e matéria orgânica) e realizadas análises das folhas e rizomas para determinação do teor de compostos fenólicos e do fator de proteção solar (FPS). Os resultados mostraram que o pH manteve-se próximo à neutralidade em ambos os grupos, com variações moderadas na condutividade elétrica ao longo do período experimental e a matéria orgânica reduziu-se consideravelmente nos primeiros dias, possivelmente em função do crescimento vegetal. Em termos fisiológicos, observou-se que o fármaco, nas folhas do grupo de tratamento, estimulou o aumento no teor de compostos fenólicos e nos valores de FPS em comparação ao grupo de controle. Os dados

obtidos fornecem respostas para compreender os estímulos da Typha domingensis à presença de fármacos, contribuindo para estudos futuros sobre o uso de macrófitas aquáticas em sistemas de fitorremediação.

Palavras-chave: Contaminantes emergentes, Fitorremediação, Typha domingensis

RESÚMEN

Los productos farmacéuticos y de higiene personal (PCPs) se han convertido en contaminantes ambientales emergentes debido a su persistencia en el medio, potencial toxicológico y ausencia de regulación. En Brasil, el problema se agrava por la baja cobertura de tratamiento de aguas residuales, lo que resulta en el vertido de efluentes contaminados en cuerpos de agua urbanos y rurales. Ante las limitaciones de los métodos convencionales de eliminación, como la fotólisis y la adsorción, la fitorremediación surge como una alternativa sostenible, utilizando plantas para eliminar, degradar o estabilizar contaminantes. Entre las especies con potencial para este fin, se destaca Typha spp., conocida por su rusticidad, elevada biomasa y capacidad de bioacumulación. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de Typha domingensis en la eliminación del fármaco indometacina. El experimento se llevó a cabo durante dos meses en el Instituto Federal de Ciencia y Tecnología de Ceará (IFCE) – campus Juazeiro do Norte, con plantas cultivadas en recipientes que contenían sedimento y una solución de indometacina (4 mg/L), correspondiente al grupo de tratamiento, y un grupo control con solo la planta. Se monitorearon parámetros fisicoquímicos del suelo (pH, conductividad eléctrica, turbidez y materia orgánica) y se realizaron análisis de hojas y rizomas para determinar el contenido de compuestos fenólicos y el factor de protección solar (FPS). Los resultados mostraron que el pH se mantuvo cercano a la neutralidad en ambos grupos, con variaciones moderadas en la conductividad eléctrica a lo largo del período experimental, y que la materia orgánica se redujo considerablemente en los primeros días, posiblemente acompañada por el crecimiento vegetal. A nivel fisiológico, se observó que el fármaco, en las hojas del grupo de tratamiento, estimuló el aumento del contenido de compuestos fenólicos y de los valores de FPS en comparación con el grupo control. Los datos obtenidos contribuyen a comprender las respuestas de Typha domingensis a la presencia de fármacos, aportando información para futuros estudios sobre el uso de macrófitas acuáticas en sistemas de fitorremediación.

Palabras clave: Contaminantes emergentes, Fitorremediación, Typha domingensis

ABSTRACT

Pharmaceuticals and personal care products (PCPs) have become emerging environmental contaminants due to their persistence in the environment, toxicological potential, and lack of regulation. In Brazil, the problem is worsened by the low coverage of wastewater treatment, resulting in the discharge of contaminated effluents into urban and rural water bodies. Given the limitations of conventional removal methods, such as photolysis and adsorption, phytoremediation emerges as a sustainable alternative, using plants to remove, degrade, or stabilize pollutants. Among the species with potential for this purpose, Typha spp. stands out for its hardiness, high biomass, and bioaccumulation capacity. This study aimed to evaluate

the potential of Typha domingensis in the removal of the pharmaceutical indomethacin. The experiment was conducted over two months at the Federal Institute of Science and Technology of Ceará (IFCE) – Juazeiro do Norte campus, with plants grown in containers containing sediment and an indomethacin solution (4 mg/L), comprising the treatment group, and a control group with only the plant. Soil physicochemical parameters (pH, electrical conductivity, turbidity, and organic matter) were monitored, and analyses of leaves and rhizomes were carried out to determine phenolic compound content and sun protection factor (SPF). The results showed that pH remained close to neutrality in both groups, with moderate variations in electrical conductivity throughout the experimental period, and that organic matter decreased considerably in the first days, possibly accompanied by plant growth. At the physiological level, the drug, in the leaves of the treatment group, stimulated an increase in phenolic compound content and SPF values compared to the control group. The data obtained help to understand the responses of Typha domingensis to the presence of pharmaceuticals, providing information for future studies on the use of aquatic macrophytes in phytoremediation systems.

Keywords: Emerging contaminants, Phytoremediation, Typha domingensis

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (PCPs) emergiram como contaminantes ambientais de preocupação emergente devido à sua persistência, potencial toxicológico e ausência de regulamentação (PATEL et al., 2019). Entre eles, destacam-se os fármacos de uso humano e veterinário, frequentemente detectados em ambientes aquáticos e terrestres, resultantes do descarte inadequado, da eliminação metabólica e da ineficiência das estações de tratamento de esgoto (BILA & DEZOTTI, 2003). No Brasil, a baixa cobertura de saneamento agrava o problema: apenas 51,2% do esgoto é tratado, permitindo o lançamento de efluentes contaminados em corpos hídricos urbanos (ALMEIDA, 2010). Esses ecossistemas, essenciais sob aspectos hidráulicos, ecológicos e econômicos, ficam sujeitos à contaminação crônica por compostos de degradação complexa.

Diante das limitações de métodos convencionais como fotólise e adsorção, destacam-se as fitotecnologias, em especial a fitorremediação, que utiliza plantas e microrganismos da rizosfera para remover, degradar ou estabilizar contaminantes (JEEVANANTHAM et al., 2019). Macrófitas como *Typha spp.* apresentam alta biomassa, rusticidade e capacidade de bioacumulação (BARTHA et al., 2014; CHANDRA et al., 2010; MUFARREGE et al., 2020). Seu sistema radicular promove aeração, estimula a atividade

microbiana e facilita a remoção de matéria orgânica e nutrientes (IAQUELI, 2016), ativando mecanismos antioxidantes e produzindo compostos fotoprotetores que funcionam como biomarcadores fisiológicos (CHANDRA et al., 2010; CHENGLIANG et al., 2018).

O presente estudo foi conduzido no laboratório de química do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE *campus* Juazeiro do Norte - CE, durante o período de dois meses, com o intuito de investigar o potencial da espécie *Typha domingensis* na remoção do fármaco indometacina em sistemas de fitorremediação. A pesquisa buscou avaliar a tolerância da planta ao contaminante, sua eficiência de remoção e os efeitos fisiológicos decorrentes da exposição, com foco na atividade antioxidante como indicativo da produção de compostos bioativos.

A realização desta análise é de grande relevância para a área de tratamento de efluentes contaminados por produtos farmacêuticos, especialmente no contexto dos contaminantes emergentes, pois contribui para ampliar o entendimento sobre o uso de macrófitas aquáticas em estratégias de mitigação ambiental. Além disso, seus resultados podem fornecer subsídios para a implementação de tecnologias sustentáveis de purificação de águas residuais, atendendo a demandas tanto de preservação ambiental quanto de melhoria do saneamento básico no Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo sucedeu-se com plantas de *Typha domingensis* coletadas em uma lagoa no município de Quixelô – CE e acondicionadas individualmente em baldes plásticos de 12 L, contendo 8 kg de sedimento composto por 4,8 kg de terra argilosa, 800 g de matéria orgânica e 2,4 kg de areia lavada. Em seguida, foram adicionados 4 L de solução líquida, de acordo com os tratamentos definidos.O delineamento experimental foi composto por dois grupos: (1) tratamento, contendo indometacina de grau farmacêutico (4 mg/L), preparada por diluição direta em água destilada; e (2) controle, contendo apenas água destilada. Os volumes foram ajustados periodicamente para compensar perdas por evapotranspiração.

As coletas ocorreram nos dias 0, 15, 30 e 60 após o início do experimento. Amostras de solo (50 g) foram secas a 50 °C, homogeneizadas com 100 mL de água destilada, filtradas

e analisadas quanto a pH, condutividade elétrica, turbidez e matéria orgânica, seguindo os protocolos da APHA (2017).

As folhas de *typha* foram coletadas, secas em estufa a 45 °C por 24 horas e maceradas. Para a obtenção do extrato, foram utilizados 50 g de material vegetal com 100 mL de etanol 70%. A mistura foi submetida a banho ultrassônico por 40 minutos, seguida de filtração. O extrato resultante foi armazenado sob refrigeração até as análises. Para a análise do FPS, o sobrenadante filtrado foi transferido para um balão volumétrico de 100 mL e completado com etanol 70%. Em seguida, 4 mL do extrato foram diluídos em 100 mL de etanol 70%, resultando em uma concentração final de 0,2 mg/mL. A leitura foi realizada por espectrofotometria, com absorbância medida nos comprimentos de onda para 290, 295, 300, 305, 310,315 e 320 nm.

Para determinação do teor de compostos fenólicos totais do extrato das amostras, foi utilizado o reagente de Folin-Ciocalteau conforme método de Slinkard e Singleton (1977), com modificações, usando o ácido gálico como composto fenólico padrão, nas concentrações de 5; 10; 15; e 20 µg/mL, para construir uma curva de calibração. Foram preparadas soluções em etanol a 5,0 mg/mL do extrato da amostra. Em eppendorfs de 1,5 mL, foi adicionado 10, 20, 40 µL de volume de solução do extrato da amostra (Concentração final da amostra 50, 100, 200 µg/mL, respectivamente), 910, 900, 880 µL de água destilada e 20 µL do reagente de Folin –Ciocalteu e agitados durante 1 min. Em seguida adicionou-se 60 µL de uma solução de carbonato de sódio a 15 %. Após a adição do carbonato de sódio, os tubos foram agitados por 30 segundos, permanecendo, em seguida, a mistura em repouso por 2 horas, protegida da luz. Terminado o período de reação, utilizou- se o espectrofotômetro para leitura utilizando absorbância medida a 760 nm. Todas as determinações realizadas em triplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas abaixo descrevem os parâmetros físico-químicos registrados para os grupos tratamento e controle ao longo dos 58 dias de análise.

Tabela 1. Análises físico-químicas realizadas no grupo de tratamento

Grupo 1 - Tratamento					
Análises	**Dia 0**	**Dia 15**	**Dia 30**	**Dia 45**	**Dia 58**
pH	7,18	6,69	7,8	7	7

Condutividade	300 µS/cm	333,5 µS/cm	393 µS/cm	277,1 µS/cm	360,5 µS/cm
Turbidez	4,26 NTU	197,2 NTU	240 NTU	98,7 NTU	246 NTU
Matéria orgânica	> 18%	1%	1%	1%	1%

Fonte: Autoria própria (2025)

Na Tabela 1, observa-se que o pH se manteve em torno da neutralidade ao longo de todo período experimental. A condutividade apresentou pouca variação, provavelmente relacionada a mobilidade de cargas, característica da medição eletrométrica. A turbidez apresentou alterações devido a suspensão de sólidos durante o experimento . Já o teor de matéria orgânica reduziu-se consideravelmente devido ao crescimento das plantas no decorrer do processo.

Tabela 2. Análises físico-químicas realizadas no grupo de controle

Grupo 2 - Controle					
Análises	**Dia 0**	**Dia 15**	**Dia 30**	**Dia 45**	**Dia 58**
pH	7,6	7	7,2	7	7
Condutividade	208 µS/cm	251,09 µS/cm	385 µS/cm	261,8 µS/cm	282,3 µS/cm
Turbidez	1,61 NTU	147 NTU	271 NTU	54,5 NTU	198 NTU
Matéria orgânica	> 18%	1%	1%	1%	1%

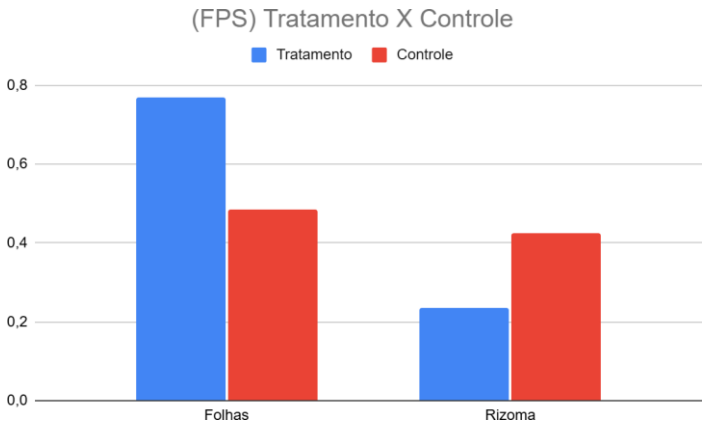
Fonte: Autoria própria (2025)

Na tabela 2, assim como o grupo de tratamento, nota-se que o pH permaneceu estável ao longo do período de análise, mantendo-se próximo a neutralidade. A condutividade apresentou variação moderada, com um pico registrado na metade do experimento, possivelmente decorrente da movimentação de íons. A turbidez apresentou alterações devido a suspensão de sólidos durante o experimento e a matéria orgânica reduziu de forma acentuada nos primeiros dias, resultado relacionado ao seu aproveitamento no crescimento das plantas.

Após o período de 58 dias, constatou-se que o fármaco utilizado estimulou de forma significativa a produção de compostos fenólicos nas folhas, o que resultou diretamente no aumento do FPS.

O gráfico 1 apresenta a comparação dos valores de FPS entre folhas e raízes nos grupos tratamento e controle, enquanto o gráfico 2 mostra os teores de compostos fenólicos nessas mesmas condições.

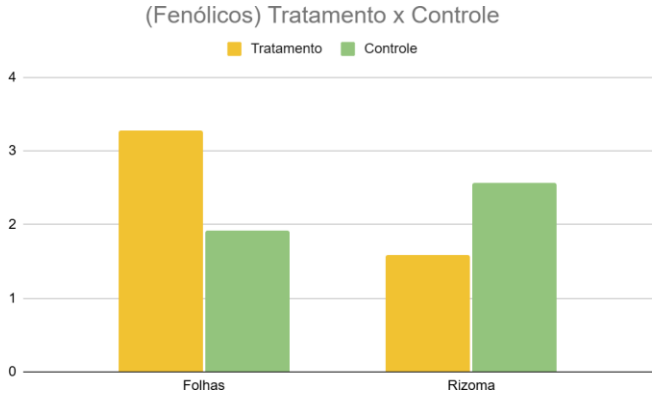
Gráfico 1. Comparação do FPS nos grupos tratamento e controle entre suas folhas e rizoma



Fonte: Autoria própria (2025)

Os resultados obtidos indicam que o tratamento com indometacina promoveu um aumento expressivo no FPS das folhas quando comparado ao grupo controle, como evidenciado no Gráfico 1. Esse comportamento foi acompanhado por um acréscimo significativo nos teores de compostos fenólicos nas folhas do grupo tratamento, conforme demonstrado no Gráfico 2.

Gráfico 2. Comparação do teor de fenólicos nos grupos de tratamento e controle entre suas folhas e rizoma



Fonte: Autoria própria (2025)

O estudo revelou uma ligação positiva entre a quantidade de fenólicos e o FPS, o que vai ao encontro do que Ebrahimzadeh et al. (2014) descobriram. Eles notaram uma relação relevante do ponto de vista estatístico entre esses fatores em substâncias extraídas de plantas medicinais ($r = 0,55$; $p = 0,01$). De acordo com os autores, o aumento de elementos fenólicos - frequentemente induzido por estresses ambientais e químicos - intensifica a capacidade antioxidante e, consequentemente, a proteção solar dada pelos extratos.

De forma semelhante, Fernandes et al. (2020) relataram que extratos extraídos de *Syzygium cumini* com alto teor de fenólicos apresentaram FPS elevado, evidenciando que tais elementos contribuíram diretamente na fotoproteção. Moura (2020) complementa que variações na concentração de fenólicos em espécies de plantas diversas resultam em

modificações proporcionais tanto no FPS quanto na atividade antioxidante, sugerindo que o depósito desse metabólitos secundários pode ser um sistema de adaptação perante situações de mais exposição à radiação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu avaliar o potencial da Typha domingensis na fitorremediação de ambientes contaminados com o fármaco indometacina. Observou-se que a espécie apresentou boa adaptação às condições experimentais, com manutenção da estabilidade dos parâmetros físico-químicos do solo e capacidade de crescimento mesmo em contato com o contaminante.

Do ponto de vista fisiológico, verificou-se que a exposição ao fármaco estimulou o aumento na produção de compostos fenólicos e no fator de proteção solar (FPS) nas folhas, indicando ativação de mecanismos antioxidantes e fotoprotetores. Esses resultados reforçam a possibilidade de utilização da Typha domingensis como bioindicadora e como espécie promissora em sistemas de fitorremediação de águas residuais contendo contaminantes emergentes.

Entretanto, alguns aspectos merecem aprofundamento em pesquisas futuras, como a quantificação direta da remoção do fármaco, o acompanhamento em períodos mais longos e a investigação de outros biomarcadores fisiológicos. Dessa forma, o trabalho contribui para o avanço do entendimento sobre o uso de macrófitas aquáticas em tecnologias ambientais sustentáveis, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de alternativas viáveis ao tratamento de águas contaminadas por fármacos, com destaque para contextos de baixa cobertura de saneamento básico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Lutiane Queiroz de. 2010. “Vulnerabilidades Socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza”. Ceará: Instituto de Geociência e Ciência Exatas, Programa de pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista.

Apha, American Public Health Association. Baird, R., & Bridgewater, L. 2017. “Standard methods for the examination of water and wastewater”. *American Public Health Association*. https://doi.org/10.2105/ajph.51.6.940-a.

Bartha, B., C. Huber, e P. Schröder. 2014. "Uptake and metabolism of diclofenac in Typha latifolia − How plants cope with human pharmaceutical pollution". *Plant Science*.

Bila, Daniele Maia, e Márcia Dezotti. 2003. "Fármacos no meio ambiente". *Química nova* 26 (4): 523–30. https://doi.org/10.1590/s0100-40422003000400015.

Chandra, Ram, e Sangeeta Yadav. 2010. "Potential of Typha Angustifolia for Phytoremediation of Heavy Metals from Aqueous Solution of Phenol and Melanoidin". *Ecological Engineering* 36 (10): 1277–84. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.003.

Chengliang S, Stacia Dudley, John Trumble, e Jay Gan. 2018. "Pharmaceutical and Personal Care Products-Induced Stress Symptoms and Detoxification Mechanisms in Cucumber Plants". *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)* 234: 39–47. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.041.

Ebrahimzadeh, Mohammad Ali, Reza Enayatifard, Masoumeh Khalili, Mahdieh Ghaffarloo, Majid Saeedi, e Jamshid Yazdani Charati. 2014. "Correlation between Sun Protection Factor and Antioxidant Activity, Phenol and Flavonoid Contents of Some Medicinal Plants". *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR* 13 (3): 1041–47.

Fernandes, Artur Moura, Sônia Maria Costa Siqueira, Milena Lira Furtado, Alissa Ellen Queiroz Ribeiro Campos, Nádia Aguiar Portela Pinheiro, e Antônia Fádia Valentim De Amorim. 2020. "Avaliação das atividades antioxidante e fotoprotetora da espécie syzygium cumini(L.) Skeels". *Brazilian journals*. https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/16088/13167.

Iaqueli, André Luiz. 2016. "Wetlands construídos: aplicações, benefícios e vantagens do sistema". Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia". Portal Tratamento de Água. 2016. https://tratamentodeagua.com.br/artigo/wetlands-construidos-aplicacoes-beneficios-e-vantagens/.

Jeevanantham, S., A. Saravanan, R. V. Hemavathy, P. Senthil Kumar, P. R. Yaashikaa, e D. Yuvaraj. 2019. "Removal of Toxic Pollutants from Water Environment by Phytoremediation: A Survey on Application and Future Prospects". *Environmental Technology & Innovation* 13: 264–76. https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.12.007.

Moura, Merianne Mitamara Vasconcelos de. 2020. "Atividade Fotoprotetora De Extratos Vegetais: Uma Revisão Da Literatura". Repositorio UFPB. 2020. https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/16088/13167.

Mufarrege, María De Las Mercedes, Gisela Alfonsina Di Luca, Hernán Ricardo Hadad, e María Alejandra Maine. 2021. "Exposure of Typha Domingensis to High Concentrations of Multi-Metal and Nutrient Solutions: Study of Tolerance and Removal Efficiency". *Ecological Engineering* 159 (106118): 106118. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106118.

Patel, Manvendra, Rahul Kumar, Kamal Kishor, Todd Misna, Charles U. Pittman Jr, e Dinesh Mohan. 2019. “Pharmaceuticals of Emerging Concern in Aquatic Systems: Chemistry, Occurrence, Effects, and Removal Methods”. *Chemical Reviews* 119 (6): 3510–3673. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00299.

Slinkard, Karen, e Vernon L. Singleton. 1977. “Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods”. *American Journal of Enology and Viticulture* 28 (1): 49–55. https://doi.org/10.5344/ajev.1974.28.1.49.