



VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE JARDINAGEM DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE COMO FONTE DE FENÓIS TOTAIS POR MEIO DE EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM

¹Alexandre Santuchi da Cunha, ²Nicolly Lopes Lima Santos, ³Gabriela Akemi Sakaguti Costa, ⁴Luiza Sanches Pereira, ⁵Vitor Seichi Kakizaki, ⁶Míriam Tvrzská de Gouvêa

¹Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, e-mail: alexandre.santuchi@mackenzie.br; ²Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, e-mail: nicollylopes.ls23@gmail.com; ³Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, e-mail: gabisakaguti@gmail.com; ⁴Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, e-mail: sanchespereiraluiza@gmail.com; ⁵Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, e-mail: vitorseichi@gmail.com; ⁶Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, e-mail: miriam.gouvea@mackenzie.br

*Gestão Ambiental e Políticas Ambientais
Inovação tecnológica para sustentabilidade*

Resumo

Resíduos de jardinagem gerados em *campi* universitários são frequentemente tratados como materiais de descarte, embora possam conter compostos de interesse para rotas de valorização ambiental. Este trabalho avaliou resíduos vegetais de varrição do campus Higienópolis da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) como fonte de fenóis totais. A biomassa foi seca, triturada, homogeneizada e submetida à extração assistida por ultrassom (EAU) em banho, utilizando água deionizada como solvente. A extração foi conduzida a 40 kHz, 270 W e 40 °C por 20 min, com razão sólido/solvente de 1:10. Após centrifugação, filtração e concentração, o extrato foi analisado pelo método de Folin-Ciocalteu, com leitura em UV-Vis a 760 nm. A curva analítica de ácido gálico apresentou $R^2 = 0,998$. O teor de fenóis totais, expresso em equivalentes de ácido gálico, foi de $803,1 \pm 0,6$ mg EAG L⁻¹, com coeficiente de variação de 0,07%. Os resultados indicam que os resíduos de jardinagem avaliados apresentam potencial como matriz para prospecção de compostos redutores, contribuindo para estudos de valorização química, economia circular e sustentabilidade institucional.

Palavras-chave: Bioativos; Compostos fenólicos; Economia circular; Folin-Ciocalteu; Resíduos vegetais urbanos.

Introdução

A gestão de resíduos orgânicos em instituições de ensino superior representa uma oportunidade para integrar sustentabilidade, pesquisa aplicada e formação experimental. Em *campi* universitários, resíduos provenientes de podas, varrição e manutenção de áreas verdes são gerados continuamente e, muitas vezes, considerados materiais de baixo valor agregado. Sob a perspectiva da economia circular, esses resíduos podem ser investigados como fontes de compostos químicos de interesse (Ferreira-Santos *et al.*, 2020; Mota *et al.*, 2025).



No *campus* Higienópolis da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), ações voltadas ao mapeamento e à valorização de resíduos orgânicos vêm sendo desenvolvidas desde 2022, evidenciando a importância de caracterizar esses materiais e investigar alternativas de aproveitamento compatíveis com a realidade institucional (Mota *et al.*, 2025). Contudo, ainda são limitadas as informações sobre o potencial desses resíduos como fonte de compostos fenólicos obtidos por rotas simples, aquosas e de menor impacto ambiental.

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários vegetais associados à defesa das plantas, com interesse tecnológico por sua atividade antioxidante e possíveis aplicações em alimentos, cosméticos, fármacos e bioprodutos (Ferreira-Santos *et al.*, 2020; Yusoff *et al.*, 2022). Em resíduos de jardinagem, a diversidade de folhas, galhos, sementes e fragmentos vegetais pode favorecer a presença desses compostos. Nesse contexto, a extração assistida por ultrassom (EAU) tem sido estudada para intensificar sua recuperação em matrizes vegetais, pois a cavitação acústica favorece a transferência de massa entre sólido e solvente (Vernès *et al.*, 2019; Flores *et al.*, 2021; Dias; Aguiar; Rostagno, 2021).

A quantificação de fenóis totais pode ser realizada pelo método de Folin-Ciocalteu, baseado na redução do reagente em meio alcalino e na formação de complexo azul avaliado por espectrofotometria, em comparação com curva de ácido gálico (Singleton; Rossi, 1965; Silveira, 2013; Kupina *et al.*, 2019; Lucas *et al.*, 2022). Entretanto, por estar relacionado à capacidade redutora total da amostra, o método não identifica moléculas fenólicas individualmente e pode sofrer contribuição de outras substâncias redutoras (Pico *et al.*, 2020).

Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar resíduos de jardinagem da UPM como fonte de fenóis totais, utilizando EAU com água deionizada e quantificação pelo método de Folin-Ciocalteu. A proposta dialoga com a Agenda 2030 ao investigar o reaproveitamento de resíduos lignocelulósicos locais em uma lógica de bioeconomia circular, aproximando-se dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 7, 9 e 12 (ONU, 2015).

Metodologia

A pesquisa foi conduzida em caráter experimental e quantitativo. A biomassa avaliada correspondeu a resíduos vegetais de varrição e jardinagem coletados no *campus* Higienópolis da UPM, em continuidade às ações de caracterização e valorização de resíduos orgânicos da instituição (Mota *et al.*, 2025). O material foi seco, triturado e homogeneizado para favorecer o contato entre matriz sólida e solvente (Dias; Aguiar; Rostagno, 2021; Yusoff *et al.*, 2022). A extração foi realizada com água deionizada como solvente, na razão sólido de 1:10 (g mL⁻¹).



A suspensão foi submetida à EAU em banho ultrassônico termostatzado, operando a 40 kHz, 270 W e 40 °C durante 20 min. Após a sonicação, a suspensão foi centrifugada, filtrada a vácuo, concentrada em evaporador rotativo sob vácuo a 50 °C e armazenada sob refrigeração.

Figura 1: Etapas da extração de compostos a partir de resíduos de jardinagem: (a) biomassa residual; (b) amostra após ultrassom; (c) extrato após centrifugação e filtração; (d) extrato concentrado.



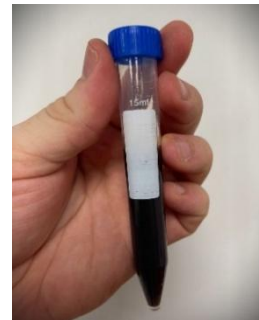
(a)



(b)



(c)



(d)

A determinação dos fenóis totais foi realizada pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Singleton; Rossi, 1965; Silveira, 2013; Kupina *et al.*, 2019; Lucas *et al.*, 2022), utilizando curva de calibração com padrões de ácido gálico entre 25 e 250 mg L⁻¹. Para a reação, foram adicionados 500 µL da solução padrão, do branco ou da amostra, 2,0 mL de água ultrapura, 500 µL do reagente de Folin-Ciocalteu e 5,0 mL de carbonato de sódio 7% (m/m), com volume final de 12,0 mL. As soluções foram mantidas por 30 min a 40 °C, protegidas da luz, centrifugadas e analisadas por UV-Vis a 760 nm. Para a biomassa de varrição, foi realizada uma extração, e o extrato obtido foi analisado em triplicata analítica. Os resultados foram corrigidos pelo fator de diluição 10 e expressos em mg EAG L⁻¹.

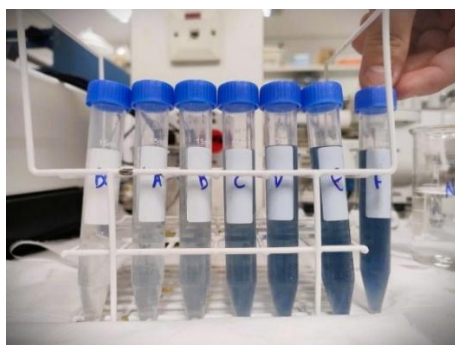
Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta a curva de calibração obtida com ácido gálico na faixa de 25 a 250 mg L⁻¹. As médias de absorbância para as concentrações de 25, 50, 100, 150, 200 e 250 mg L⁻¹ foram, respectivamente, 0,148; 0,265; 0,516; 0,811; 1,011; e 1,258. A regressão linear apresentou R² = 0,998, indicando boa linearidade para a quantificação dos extratos pelo método de Folin-Ciocalteu. A equação da curva analítica foi descrita por $A = 0,0026 + 0,005C$, em que A representa a absorbância e C a concentração de ácido gálico em mg L⁻¹.

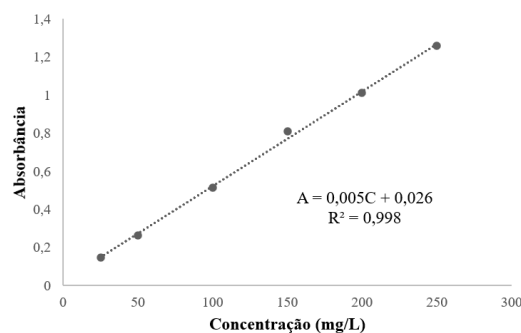
O extrato de resíduos de jardinagem apresentou teor médio de fenóis totais de $803,1 \pm 0,6$ mg EAG L⁻¹, com coeficiente de variação de 0,07% (Tabela 1). A baixa dispersão entre as triplicatas analíticas indica boa repetibilidade da reação colorimétrica e da leitura em UV-Vis, embora não represente a variabilidade de extrações independentes.



Figura 2: Determinação de fenóis totais: (a) branco e padrões de ácido gálico; (b) curva de calibração.



(a)



(b)

Tabela 1: Teor de fenóis totais no extrato de resíduos de jardinagem obtido por EAU

Amostra	Triplicata 1 (mg EAG L ⁻¹)	Triplicata 2 (mg EAG L ⁻¹)	Triplicata 3 (mg EAG L ⁻¹)	Média ± DP (mg EAG L ⁻¹)	CV (%)
Resíduos de jardinagem	802,4	803,4	803,4	803,1 ± 0,6	0,07

O valor obtido indica que o extrato aquoso dos resíduos de jardinagem apresentou resposta expressiva no método de Folin-Ciocalteu. Para comparação, Lucas *et al.* (2022) relataram $143,11 \pm 0,19$ mg EAG L⁻¹ para extrato de berinjela e $65,03 \pm 1,15$ mg EAG L⁻¹ para extrato de erva-cidreira. Embora as matrizes e condições experimentais sejam distintas, o teor de $803,1 \pm 0,6$ mg EAG L⁻¹ obtido neste estudo sugere resposta analítica relevante para um resíduo urbano-institucional heterogêneo. O resultado também se aproxima do observado para resíduos de *Pinus* avaliados no mesmo projeto, com 823 mg EAG L⁻¹, indicando potencial comparável ao de biomassas vegetais mais específicas.

A resposta observada pode estar associada à diversidade de folhas, galhos, sementes e fragmentos vegetais presentes no resíduo de varrição, favorecendo a presença de compostos redutores com resposta positiva ao método de Folin-Ciocalteu. A EAU mostrou-se adequada como etapa inicial de valorização química, pois foi conduzida em condição relativamente branda, com 20 min de sonicação a 40 °C, e com água deionizada como solvente, o que contribui para o caráter sustentável da rota (Flores *et al.*, 2021; Yusoff *et al.*, 2022).

Apesar do resultado promissor, algumas limitações devem ser consideradas. O método de Folin-Ciocalteu é simples e amplamente utilizado, mas sua resposta está relacionada à capacidade redutora total da amostra. Assim, substâncias como ácido ascórbico, açúcares redutores, aminoácidos e outros compostos presentes na matriz vegetal podem contribuir para o sinal analítico (Kupina *et al.*, 2019; Pico *et al.*, 2020). Portanto, o resultado deve ser interpretado como teor de fenóis totais expresso em equivalentes de ácido gálico, e não como identificação ou quantificação específica de moléculas fenólicas.



Neste trabalho, os dados foram apresentados em mg EAG L⁻¹ de extrato, o que é adequado para a comparação entre extratos obtidos no mesmo conjunto experimental. Para comparações mais amplas com a literatura, recomenda-se que estudos futuros também expressem os resultados em base de massa seca de biomassa, além de avaliar atividade antioxidante e identificar os principais compostos por técnicas cromatográficas. Além disso, como os resultados foram obtidos a partir de uma extração analisada em triplicata analítica, estudos futuros devem incluir extrações independentes para avaliar a variabilidade do processo e matéria prima, e ampliar a representatividade estatística dos dados.

Considerações Finais

Os resíduos de jardinagem da UPM apresentaram potencial como fonte de fenóis totais. A EAU com água deionizada, seguida da quantificação pelo método de Folin-Ciocalteu a 760 nm, resultou em teor médio de 803,1 ± 0,6 mg EAG L⁻¹, com coeficiente de variação de 0,07%. A curva analítica construída com ácido gálico apresentou R² = 0,998, indicando linearidade adequada na faixa de concentração utilizada.

Os resultados sugerem que resíduos vegetais de varrição e jardinagem do *campus* Higienópolis demonstram potencial para futura valorização química, especialmente como matriz para obtenção de compostos redutores expressos como fenóis totais. Contudo, estudos adicionais são necessários para avaliar o rendimento global do processo, expressar os resultados em base de massa seca, investigar a atividade antioxidante, identificar os compostos bioativos presentes e analisar a viabilidade tecnológica da rota proposta.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Sustentabilidade da Gerência de Responsabilidade Social e Filantropia (GERSF) do Instituto Presbiteriano Mackenzie (IPM) pelo apoio institucional, técnico e pela infraestrutura laboratorial concedida.

Referências

DIAS, A. L. B.; AGUIAR, A. C.; ROSTAGNO, M. A. Extraction of natural products using supercritical fluids and pressurized liquids assisted by ultrasound: current status and trends. **Ultrasonics Sonochemistry**, Amsterdam, v. 74, p. 105584, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105584>.

FERREIRA-SANTOS, P.; ZANUSO, E.; GENISHEVA, Z.; ROCHA, C. M. R.; TEIXEIRA, J. A. Green and sustainable valorization of bioactive phenolic compounds from *Pinus* by-



products. **Molecules**, Basel, v. 25, n. 12, p. 2931, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.3390/molecules25122931>.

FLORES, E. M. M.; CRAVOTTO, G.; BIZZI, C. A.; SANTOS, D.; IOP, G. D. Ultrasound-assisted biomass valorization to industrial interesting products: state-of-the-art, perspectives and challenges. **Ultrasonics Sonochemistry**, Amsterdam, v. 72, p. 105455, 2021. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105455>.

KUPINA, S.; FIELDS, C.; ROMAN, M. C.; BRUNELLE, S. L. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: single-laboratory validation, First Action 2017.13. **Journal of AOAC International**, Oxford, v. 102, n. 1, p. 320-321, 2019. DOI:
<https://doi.org/10.1093/jaoac/102.1.320>.

LUCAS, B. N.; DALLA NORA, F. M.; BOEIRA, C. P.; VERRUCK, S.; ROSA, C. S. da. Determination of total phenolic compounds in plant extracts via Folin-Ciocalteu's method adapted to the usage of digital images. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 42, e35122, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.35122>.

MOTA, G. C. C.; ALVES, N. C.; VILLEGAS, B.; GUIDA, M. M.; TIRELLI, M. A.; TVRZSKÁ DE GOUVÊA, M. Valorização de resíduos de jardinagem da Universidade Presbiteriana Mackenzie: desafios e perspectivas para o campus de Higienópolis. In: ANAIS DO XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA (COBEQ). Belo Horizonte: Galoá, 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015.

PICO, J.; PISMAG, R. Y.; LAUDOUZE, M.; MARTINEZ, M. M. Systematic evaluation of the Folin-Ciocalteu and Fast Blue BB reactions during the analysis of total phenolics in legumes, nuts and plant seeds. **Food & Function**, Cambridge, v. 11, p. 9868-9880, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0FO01857K>.

SILVEIRA, A. L. C. Validação de métodos para a determinação de compostos fenólicos em melancia. 2013. Dissertação (Mestrado em Inovação e Qualidade na Produção Alimentar) – Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.11/2158>. Acesso em: 27 jul. 2026.

SINGLETON, V. L.; ROSSI JUNIOR, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

VERNÈS, L.; ABERT-VIAN, M.; EL MAËTAOUI, M.; TAO, Y.; BORNARD, I.; CHEMAT, F. Application of ultrasound for green extraction of proteins from spirulina: mechanism, optimization, modeling, and industrial prospects. **Ultrasonics Sonochemistry**, Amsterdam, v. 54, p. 48-60, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.016>.

YUSOFF, I. M.; TAHER, Z. M.; RAHMAT, Z.; CHUA, L. S. A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. **Food Research International**, Essex, v. 157, p. 111268, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111268>.