

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NA SUB-BACIA DO ALTO IGUAÇU: RECONSTRUÇÃO HISTÓRICA A PARTIR DE N-ALCANOS EM SEDIMENTOS FLUVIAIS

Leslie Ch. Velarde Chumbe¹; Sandro Froehner²& Aluana Ariane Schleider²

Resumen: Este estudio evaluó la influencia antrópica en la sub-cuenca alta del río Iguazu mediante el análisis de perfiles de n-alcanos (n-C15-n-C30) en un testigo sedimentario (80 cm). Las muestras seccionadas en 20 intervalos (4cm), luego fueron sometidas a extracción de Bligh e Dyer, fraccionamiento en columnas de sílice/alúmina y a la cuantificación por GC-ES. Los índices diagnósticos (CPI, TAR, Paq, LMW/HMW) revelaron predominancia de cadenas cortas (n-C17, 58-66 %) en 36-44 cm (producción acuática), mientras que las cadenas largas (n-C27-n-C30, 80%) dominan en las capas 8-32 cm y 60-64 cm (aporte terrestre). Los valores de CPI₁>1 y TAR <1 hasta 64 cm confirmaron una producción autóctona; CPI₂ e TAR > 1 en las capas mas profundas realzan la influencia terrestre. Los picos de Paq > 0,4 em 32 cm e 60-64 cm sugieren eventos de proliferación de macrófitas. La relación de LMW/HMW descartó contaminación por petróleo significativa. Se concluye que la erosión, producción autóctona y las actividades antrópicas urbanas moldean las firmas orgánicas de los sedimentos, con picos históricos de degradación asociados a presiones antrópicas.

Palavras-Clave – biomarcadores, influencia antropogénica, ambiente acuático

Resumo: Este estudo avaliou a influência antrópica na sub-bacia alta do rio Iguaçu mediante a análise de perfis de n-alcanos (n-C15-nC30) em testemunho sedimentar (80 cm). As amostras, seccionadas em 20 intervalos (4 cm), foram submetidas à extração de Bligh e Dyer, fracionamento em colunas de sílica/alumina e quantificação por GC-ES. Índices diagnósticos (CPI, TAR, Paq, LMW/HMW) revelaram predominância de cadeias curtas (n-C17, 58–66 %) em 36–44 cm (produção aquática), enquanto cadeias longas (n-C27- n-C30, 80 %) dominaram em 8–32 cm e 60–64 cm (aporte terrígeno). Valores de CPI₁>1 e TAR <1 até 64 cm confirmaram produção autóctone; CPI₂ e TAR > 1 nas camadas mais profundas realçaram influência terrestre. Picos de Paq > 0,4 em 32 cm e 60–64 cm sugeriram episódios de proliferação de macrófitas. A relação LMW/HMW descartou contaminação petrolífera significativa. Conclui-se que erosão, produção autóctone e atividades antrópicas urbanas moldam a assinatura orgânica dos sedimentos, com picos históricos de degradação associados a pressões antrópicas.

Palavras-Chave – biomarcadores, influência antrópica, ambiente aquático

INTRODUÇÃO

A sub-bacia do Alto Iguaçu enfrenta degradação ambiental intensificada por descargas de efluentes urbanos/industriais e uso intensivo do solo (De Moraes *et al.*, 2024; Leithold, 2017;

1) Mestranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), Universidade Federal do Paraná, Campus Centro Politécnico, Curitiba, PR, leslie02.vch@gmail.com

2) Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, froehner@ufpr.br

2) Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, aluana.schleider@gmail.com

Mizukawa, 2016). Esses fatores afetam diretamente a qualidade da água e a dinâmica sedimentar, elementos chave para o equilíbrio ecológico da bacia (Wohl *et al.*, 2015). Estudos prévios focaram em contaminantes convencionais, mas a aplicação de n-alcanos como proxies para a reconstrução histórica de impactos antrópicos permanece inexplorada nesta bacia. Sedimentos atuam como arquivos ambientais, registrando mudanças na vegetação, poluição e aportes orgânicos (Martins *et al.*, 2023), sendo os n-alcanos biomarcadores ideais para discriminar fontes biogênicas (ceras cuticulares de plantas vasculares) (Eglinton e Hamilton, 1967) e antrópicas (derrames de petróleo, efluentes) (Das *et al.*, 2022).

Os sedimentos destacam-se por sua importância na transferência de contaminantes e na manutenção da qualidade da água nos rios (Bilotta e Brazier, 2008; Owens *et al.*, 2005; Viers *et al.*, 2009). Eles funcionam como arquivos ambientais, preservando registros históricos da vegetação, dos níveis de poluição, dos aportes de matéria orgânica e das variações hidrológicas (Martins *et al.*, 2023; Majorošová *et al.*, 2023). Para discriminar essas fontes de matéria orgânica, utilizam-se marcadores geoquímicos reconhecidos como traçadores eficientes dos processos biogeoquímicos, possibilitando a reconstrução de mudanças ambientais e de influências antrópicas anteriores à incorporação sedimentar (Zhang *et al.*, 2023).

Dentre esses marcadores, os n-alcanos são amplamente empregados (Maioli *et al.*, 2010). Suas principais fontes naturais são as plantas, especialmente a biossíntese de ceras cuticulares em plantas vasculares (Assunção *et al.*, 2017; Makou *et al.*, 2018), enquanto as fontes antrópicas relacionam-se sobretudo à produção industrial, ao descarte de águas residuais, à queima de combustíveis fósseis e a derrames de petróleo (Das *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2015). A distribuição de n-alcanos nos sedimentos fluviais reflete processos naturais da bacia como os geomorfológicos, ecológicos e hidrológicos (Wang *et al.*, 2020) e seu estudo envolve índices diagnósticos capazes de inferir a origem da matéria orgânica, tanto as contribuições terrestres ou aquáticas, e os possíveis processos de degradação ou preservação (Meyers, 2003).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo reconstruir variações temporais da influência antrópica mediante análise combinada de distribuição de n-alcanos e seus índices diagnósticos (CPI, Tar, Paq, LMW/HMW) em testemunho sedimentar.

MATERIAIS E MÉTODOS

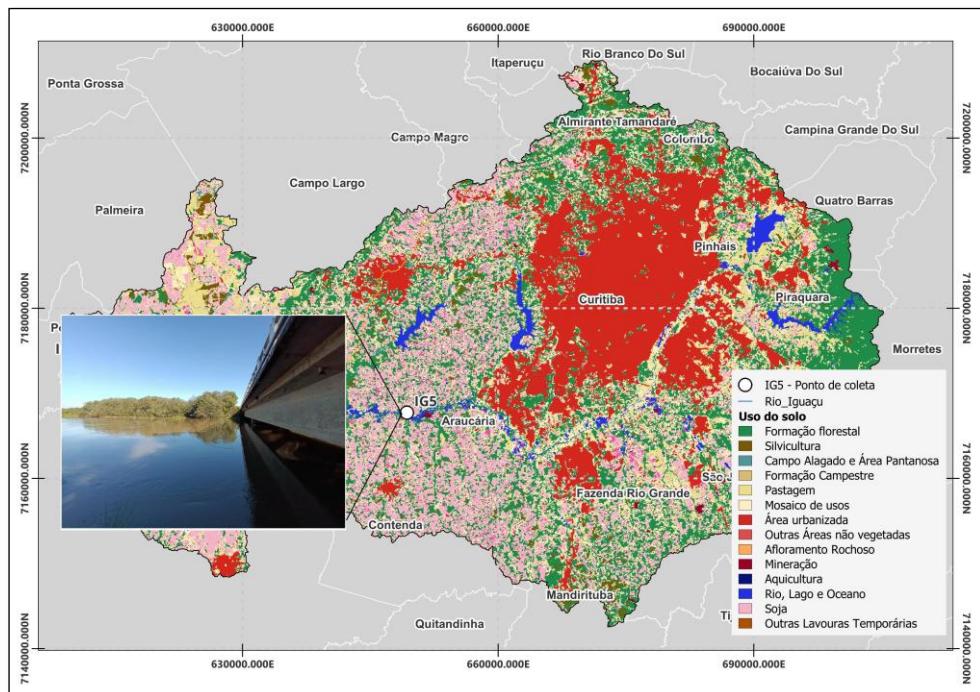
Área de estudo

A sub-bacia alta do rio Iguaçu localiza-se na Região Metropolitana de Curitiba (RMC, Paraná, Brasil), caracteriza-se como uma bacia urbana crítica sob intensa pressão antrópica abrangendo uma área de 914 km² de área urbanizada (MAPBIOMAS, 2020), concentra cerca de 28 % da população do estado (~3 milhões de habitantes, IBGE, 2021) e responde por 43 % do PIB estadual (IPARDES, 2013), configurando-se como polo industrial mais relevante do estado do Paraná (SEMA, 2013). Contudo, 51 % da população não possui acesso a esgotamento sanitário (SNIS, 2020), cenário agravado pelo crescimento urbano acelerado, o que impõe pressões severas sobre os recursos hídricos (IPARDES, 2013).

Desde 2005, seis pontos de monitoramento da qualidade da água estão estabelecidos na sub-bacia alta do Iguaçu (Porto *et al.*, 2007; Fernandes *et al.*, 2010; Paiva, 2012). Dentre eles, para este estudo foi selecionado o ponto IG5 (Araucária-PR) por apresentar transição crítica: a montante (descargas urbanas) e a jusante (abastecimento público). Ainda, no trecho intermediário, a água é utilizada para fins agrícolas. O ponto IG5 está localizado no município de Araucária (UTM: 649.296,458 m E, 7.167.732,331 m N) (Figura 1). Sua área de drenagem é de 2.330 km² (Fernandes *et al.*, 2014; Coaliar, 2013; SUREHMA, 1992). Do ponto de vista sócio-econômico destaca-se a

indústria como atividade principal, enquanto o uso do solo é dominado pela agricultura (Almeida, 2024), refletindo conflitos característicos de bacias urbanizadas.

Figura 1 - Localização da área de estudo e ponto de coleta (IG5)



Coleta do sedimento

Um testemunho sedimentar de 80 cm de profundidade foi coletado no ponto IG5 do rio Iguaçu, em setembro de 2024 utilizando um tudo de PVC para amostragem. Imediatamente após a coleta, o testemunho foi selado e armazenado a -20°C . No laboratório, o testemunho foi aberto verticalmente e foi seccionado em 20 subamostras a cada 4 cm. Em seguida, as amostras congeladas foram liofilizadas, maceradas em almofariz de porcelana e acondicionadas em papel-alumínio. O sedimento seco e homogeneizado foi então utilizado para extração de hidrocarbonetos saturados.

Análise de n-alcanos

O processo de extração dos lipídeos total (Total Lipids Extraction -TLE) seguiu o protocolo sugerido por Bligh e Dyer (1959). Já o fracionamento, utilizou-se a metodologia proposta por Słowakiewicz *et al.* (2014). Para a extração do TLE, foram utilizados aproximadamente 2 gramas de sedimento seco, no qual, foi adicionado 10 ml de uma solução tampão KH_2PO_4 (0,05 M, pH 7), metanol e clorofórmio na proporção 4:10:5 (v/v/v). A mistura foi submetida a ultrassom (30 min; extração final de 20 min) e centrifugação (3.000 rpm, 5 min) em três ciclos. Os sobrenadantes foram combinados, lavados com tampão e clorofórmio, tratados com cobre para remoção de compostos sulfurados e, após 24 h, o solvente foi evaporado para obtenção do TLE.

O TLE foi dissolvido em 1 ml DCM:MeOH (2:1), sendo que 500 μL , foram utilizados para a próxima etapa do fracionamento. Uma coluna cromatográfica de sílica gel foi construída para a obtenção dos lipídios simples, glicolipídios e fosfolipídios utilizando uma solução de clorofórmio: ácido acético (99:1), acetona e metanol, respectivamente. Os lipídios simples foram subdivididos em fases neutras e ácidos graxos livres em coluna de sílica, com clorofórmio saturado em hidróxido de

amônio e clorofórmio: ácido acético (99:1), respectivamente. Em seguida, a fração neutra passou por coluna de alumina para separar componentes apolares (hexano:DCM, 9:1) e polares (DCM:MeOH, 1:2). Finalmente, a fração apolar foi tratada em coluna de sílica com sulfato de sódio para remoção de água residual, evaporada e rediluída em 150 µL de hexano para injeção no cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas (GC/EM). Para análise cromatográfica, utilizou-se uma coluna capilar 5-MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm; 5 % difenil, 95 % dimetilpolisiloxano) e hélio como gás-carreador (1 ml/min). Injetaram-se 1 µL em modo splitless, com pulso de 25 psi por 0,5 min, seguindo o programa de temperatura: 70 °C (2 min), seguida de uma taxa de aquecimento de 20 °C/min até 130 °C. Posteriormente, aplicou-se uma nova taxa de aquecimento de 4 °C/min até atingir 300 °C, temperatura está mantida por 25 minutos. A identificação dos n-alcanos C10-C30 baseou-se em padrão externo de 5 µg, e a integração de picos foi feita pelo software do equipamento comparando tempos de retenção.

Cálculo de porcentuais relativos

As áreas de pico de cada homólogo foram somadas e convertidas em percentuais relativos sobre o total de n-alcanos identificados, conforme:

$$\%C_n = \frac{\text{Área } C_n}{\sum \text{Áreas } C_i} * 100 \quad (1)$$

Onde Cn representa o n-alcano com cadeia de n carbonos, e Ci corresponde ao somatório das áreas de todos os n-alcanos considerados.

Cálculo dos índices de diagnóstico

Diversos índices de n-alcanos foram calculados para quantificar e compreender as fontes naturais e antropogênicas que contribuem ao sistema fluvial, a saber: o Índice de Preferência de Carbono (CPI), o quociente TAR, o índice Paq e a relação LMW/HMW.

Índice de Preferência de Carbono (IPC)

O IPC reflete a predominância de n-alcanos de cadeia ímpar sobre pares, comumente associado a fontes biológicas terrestres. Ele foi calculado conforme a la equação:

$$IPC_1 = \frac{1}{2} \left[\sum \left(\frac{C_{15} + C_{17} + C_{19} + C_{21} + C_{23}}{C_{14} + C_{16} + C_{18} + C_{20} + C_{22}} \right) + \sum \left(\frac{C_{15} + C_{17} + C_{19} + C_{21} + C_{23}}{C_{16} + C_{18} + C_{20} + C_{22} + C_{24}} \right) \right] \quad (2)$$

$$IPC_2 = \frac{1}{2} \left[\sum \left(\frac{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}{C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}} \right) + \sum \left(\frac{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}{C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34}} \right) \right] \quad (3)$$

Onde $IPC_1 \leq C_{24}$ e $IPC_2 \geq C_{24}$

Proporções terrestres/Aquáticas (TAR)

O TAR permite estimar a contribuição relativa de material terrestre em comparação ao material aquático. Ele é expresso pela seguinte equação:

$$TAR = \frac{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}{C_{15} + C_{17} + C_{19} + C_{21} + C_{23}} \quad (4)$$

Proxies Acuáticos (Paq wax)

O Paq indica a proporção relativa de n-alcanos aquáticos (plantas macrófitas) em relação aos compostos de origem terrestre. Ele é determinado como:

$$Paq \max = \frac{C_{23} + C_{25}}{C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29}} \quad (5)$$

LMW/HMW

A razão LMW/HMW expressa o balanço entre n-alcanos de baixo e alto peso molecular, associada à diferenciação de fontes (petrogênicas e biogênicas) por meio da seguinte fórmula:

$$\frac{\text{LMW}}{\text{HMW}} = \frac{\Sigma < \text{C}21}{\Sigma > \text{C}23} \quad (6)$$

RESULTADOS

A distribuição vertical de n-alcanos (C15-C30) no testemunho do ponto IG5, revelou padrões estratigráficos distintos, refletindo variações nas fontes de matéria orgânica ao longo do perfil sedimentar (Figura 2) e de forma complementar na Tabela 1. Nas camadas superiores (8–24 cm), observou-se predominância de cadeias longas (HMW: $\sum \text{C}21\text{--C}30$), com picos de 58,5% em 8–12 cm e 80,2% em 28–32 cm, destacando-se os homólogos n-C27 e n-C29. Contudo, uma transição abrupta ocorreu em 32–36 cm, onde a contribuição de HMW caiu para 26,1%. Nas seções de 36–44 cm, detectou-se dominância exclusiva de cadeias curtas (LMW: $\sum \text{C}15\text{--C}20$), com o homólogo n-C₁₇ representando 58,6% (36–40 cm) e 66,1% (40–44 cm) do total de n-alcanos. Em contraste, nas camadas profundas (60–64 cm), identificou-se apenas cadeias longas, sendo n-C₂₈ o homólogo predominante (28,3%). A base do testemunho (76–80 cm) exibiu máxima contribuição terrígena, com HMW representando 96,5% do perfil. Essa alternância entre assinaturas aquáticas (LMW) e terrígenas (HMW) demonstra sensibilidade aos processos ambientais, sendo os máximos de n-C₁₇ (36–44 cm) e n-C₂₇–C₃₀ (28–32 cm e 76–80 cm) indicativos de mudanças críticas nas fontes orgânicas.

DISCUSSÃO

Os índices diagnósticos de n-alcanos (Figura 3) revelaram mudanças temporais nas fontes de matéria orgânica no testemunho IG5, vinculando as pressões antrópicas e processos naturais da bacia do Alto Iguaçu. O Índice de Preferência de Carbono (IPC), definido como a razão entre a abundância relativa de n-alcanos lineares ímpares e seus homólogos pares, é empregado em diversos ambientes aquáticos para diferenciar a origem da matéria orgânica. Valores de $\text{IPC} > 4$ indicam predomínio de material terrestre; valores entre 1 e 3 sugerem aporte de matéria orgânica aquática; e valores ≤ 1 podem refletir material de origem antrópica (Aboul e Simoneit, 1996; Bray e Evans, 1961)). Neste estudo, calcularam-se duas variantes: $\text{IPC}_1 \leq \text{C}24$ e $\text{IPC}_2 \geq \text{C}24$ representando n-alcanos de cadeia curta a média e n-alcanos de cadeia média a longa

O IPC_1 apresentou valores > 1 em 36 cm, 64 cm com pico de 6 em 76-80 cm, indicando aporte terrígeno dominante nas camadas profundas (Aboul e Simoneit, 1996; Bray e Evans, 1961). Já o IPC_2 variou entre 1,0 e 3,0 em 68–76 cm, sugerindo contribuição mista (aquática/terrestre (Aboul e Simoneit, 1996; Bray e Evans, 1961)). A razão TAR (terrígeno/aquático) corroborou esses padrões: valores < 1 entre 8-64 cm confirmam produção autóctone dominante durante a fase de urbanização intensa (Bourbonniere e Meyers, 1996), enquanto TAR > 1 em 68–76 cm reflete influxo terrestre histórico, possivelmente associado a cobertura vegetal preservada antes da expansão metropolitana (Chevalier *et al.*, 2015). O índice Paq calculado através da relação entre os n-alcanos de cadeia média com um número ímpar de carbonos (n-C₂₃ e n-C₂₅), tipicamente provenientes de macrófitos e macroalgas, e os de cadeia longa (n-C₂₇ a n-C₃₁), característicos das plantas vasculares. Os valores Paq $< 0,1$ estão associados à MO alóctone; valores entre 0,1 e 0,4 sugerem fontes mistas; e valores $> 0,4$ são típicos da MO autóctone, associada a macrófitos submersos e flutuantes (Ficken *et al.*, 2000).

Neste estudo, revelou $\text{Paq} < 0,1$ a 64 cm (matéria alóctone), valores de 0,1–0,4 em 8, 20 e 44 cm e em 68–76 cm (fontes mistas), e $\text{Paq} > 0,4$ em 32 e 60–64 cm, destacando picos de contribuição de macrófitas.

Por fim, a relação LMW/HMW (cadeias de baixo e alto peso molecular) auxilia na identificação de aportes bióticos e contaminantes. Valores < 1 geralmente correspondem a n-alcanos de origem biológica (plantas superiores, bactérias sedimentares); valores ≈ 1 indicam procedência petrolífera ou planctônica; e valores > 2 sinalizam presença de petróleo fresco (Gearing *et al.*, 1976; Commendatore *et al.*, 2000). A variação dessa relação com a profundidade reflete a interação entre as fontes de aporte e os processos de transformação durante deposição e enterramento (Wang *et al.*, 2020).

Tabela 1 – Percentagem da distribuição de n-alcanos no testemunho IG5

Profundidade (cm)	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	Cadeias curtas	Cadeias longas
8-12	1.1	2.6	23.0	4.5	6.1	4.3	9.2	6.5		7.9	7.4	7.2	8.1	4.4	7.6		41.5	58.5
20-24	2.3	3.5	21.9	3.8	5.6	4.8	7.3	9.9		9.0	7.0	5.5	7.2	4.3	7.8		42.0	58.0
28-32			9.9		9.9					25.2		22.3	17.8			15.0	19.8	80.2
32-36			45.8	28.1						5.6	6.7	6.9			6.9		73.9	26.1
36-40			58.6	26.0	15.5												100.0	0.0
40-44			66.1	33.9													100.0	0.0
44-48			33.7	17.3	2.3	6.2		4.8	0.0	6.2	6.4	7.2	6.5	4.0	5.5	0.0	59.4	40.6
48-52			16.0														84.0	16.0
52-56		7.1			8.1					22.2		32.3		17.5		12.9	15.2	84.8
60-64									20.6			26.4	24.7	28.3				100.0
64-68	0.5	1.2	30.3	14.3	0.0	2.1	3.1	6.0	17.6		5.6	4.8	5.1	3.8	5.5		48.4	51.6
68-72			0.1	0.1							0.1	0.1	0.1	0.1	0.3		0.2	0.8
76-80				0.5	2.9				29.3	4.0		5.1		3.9	51.3	2.9	3.5	96.5

Figura 2 – Perfil da distribuição de n-alcanos no testemunho (IG5)

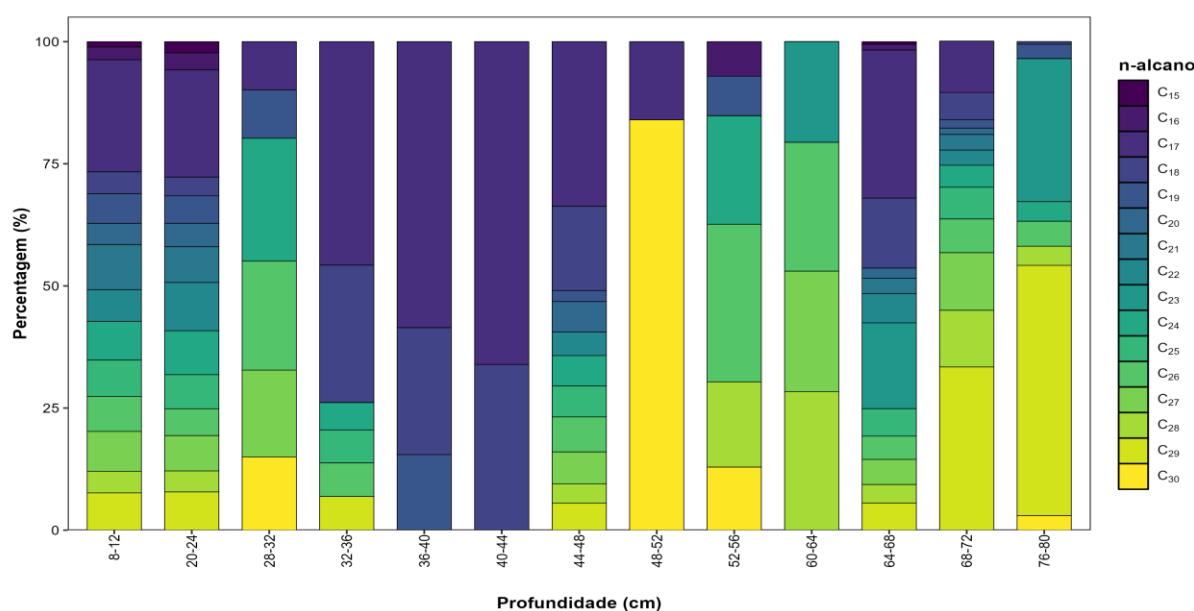
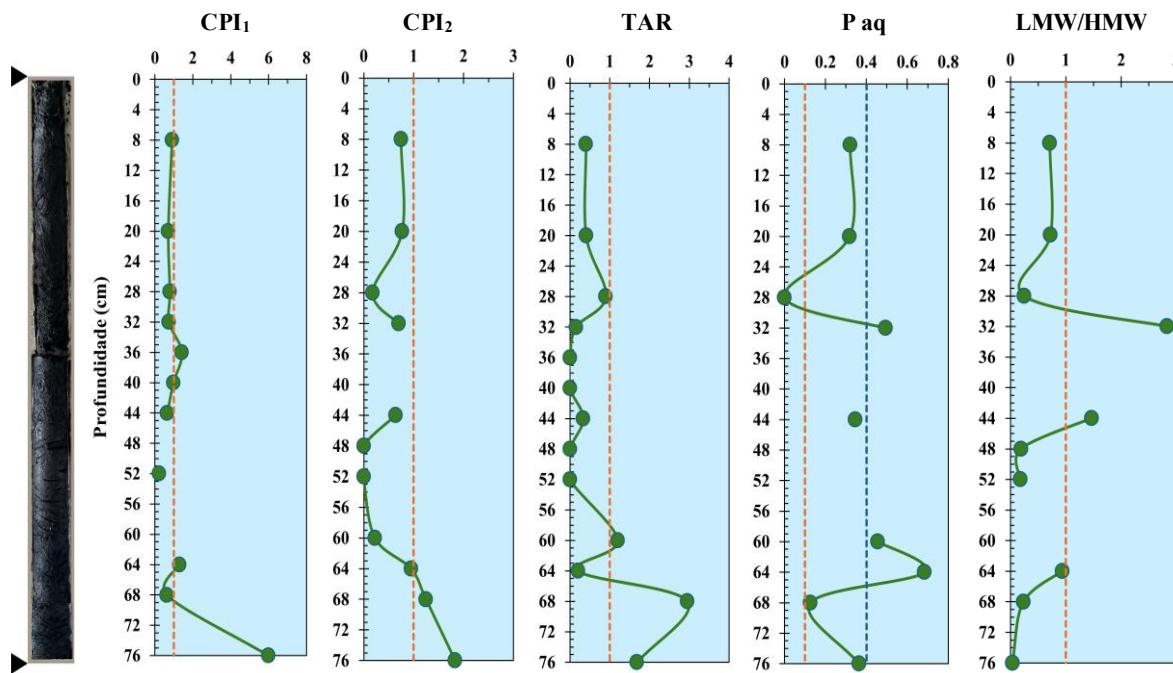


Figura 3 - Perfil de profundidade dos índices de n-alcanos no testemunho



CONCLUSÕES

O perfil sedimentar revela claras oscilações entre contribuições terrígenas e aquáticas ao longo do perfil sedimentar. As seções intermediárias (36–44 cm) apresentam forte predominância de n-C17 com aproximadamente 58–66 %, indicando aporte orgânico aquático ou microbiano, enquanto as camadas superiores (8–32 cm) e profundas (60–64 cm) registram elevados percentuais de cadeias longas (até 80 %), sinalizando forte influência de matéria vegetal vascular e erosão de solos. Os índices IPC₁ e IPC₂ confirmam o predomínio de material terrestre na base do testemunho (IPC₁>1 e IPC₂ entre 1,0–3,0), ao passo que valores de TAR<1 até 64 cm e Paq<0,1 em 64 cm reforçam a importância da produção autóctone e de matéria alóctone nos níveis médios. Episódios pontuais de Paq>0,4 (32 e 60–64 cm) apontam para contribuição significativa de macrófitas, e a relação LMW/HMW sugere ausência de influxos expressivos de petróleo fresco. Esses resultados demonstram como as variações na dinâmica de fontes como erosão, produção local e impactos antrópicos urbanos moldam a composição orgânica dos sedimentos no trecho pós-RMC do rio Iguaçu.

REFERÊNCIAS

- ABOUL-KASSIM, T.A.T.; SIMONEIT, B.R.T. (1996). "Lipid geochemistry of surficial sediments from the coastal environment of Egypt I. Aliphatic hydrocarbons - characterization and sources". Marine Chemistry, 54(1–2), pp. 135–158.

ASSUNÇÃO, M.A. et al. (2017). "Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments collected from mangroves with different levels of urbanization in southern Brazil". Marine Pollution Bulletin, 119(1), pp. 439–445.

- BILOTTA, G.S.; BRAZIER, R.E. (2008). “*Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota*”. *Water Research*, 42(12), pp. 2849–2861.
- BLIGH, E.G.; DYER, J. (1959). “*A rapid method of total lipid extraction and purification*”. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), pp. 911–917.
- BOURBONNIERE, R.A.; MEYERS, P.A. (1996). “*Anthropogenic influences on hydrocarbon contents of sediments deposited in eastern Lake Ontario since 1800*”. *Environmental Geology*, Springer-Verlag.
- BRAY, E.E.; EVANS, E.D. (1961). “*Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds*”. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22(1), pp. 2–15.
- COALIAR. (2013). Resolução Nº04 do Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira - Coaliar, de 11 de julho de 2013. Instituto das Águas do Paraná / Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira.
- COMMENDATORE, M.G.; ESTEVES, J.L.; COLOMBO, J.C. (2000). “*Hydrocarbons in Coastal Sediments of Patagonia, Argentina: Levels and Probable Sources*”. *Marine Pollution Bulletin*, 40(11), pp. 989–998.
- DAS, N.; BHUYAN, B.; PANDEY, P. (2022). “*Correlation of soil microbiome with crude oil contamination drives detection of hydrocarbon degrading genes which are independent to quantity and type of contaminants*”. *Environmental Research*, 215, p. 114323.
- DE CARVALHO ALMEIDA, C. (2024). *Water Quality Management, Governance and Socio-Hydrology: Strategies for an Urban Basin*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DE MORAIS, T.P. et al. (2024). “*Assessing the pollution and ecotoxicological status of the Iguaçu River, southern Brazil: A review*”. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 20(5), pp. 1280–1305.
- EGLINTON, G.; HAMILTON, R.J. (1967). “*Leaf epicuticular waxes*”. *Science*, 156(3780), pp. 1322–1335. DOI: 10.1126/science.156.3780.1322
- FERNANDES, C.V.S.; AZEVEDO, J.C.R.; PORTO, M.F.A. (2014). *Integra 2: Bases Técnicas para Integração de Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos*. [S.l.: s.n.].
- FERNANDES, C.V.S. et al. (2010). *Projeto Integra - Disponibilidade Hídrica para Aplicação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos: Quantidade e Qualidade de Água*. Relatório de Avaliação (No. 01). Curitiba.
- FICKEN, K.J. et al. (2000). “*An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes*”. *Organic Geochemistry*, 31(7–8), pp. 745–749.
- GEARING, P. et al. (1976). “*Hydrocarbons in northeast Gulf of Mexico shelf sediments: a preliminary survey*”. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40, pp. 1005–1017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *Estimativas de população*. Disponível em: <URL>. Acesso em: nov. 2023.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. (2013). *Indicadores de desenvolvimento sustentável por bacias hidrográficas do estado do Paraná*. Curitiba: IPARDES. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/>. Acesso em: 7 abr. 2025.

LEITHOLD, J. (2017). *Variabilidade espacial e temporal da Matéria Orgânica no ecossistema aquático nas Bacias Hidrográficas do alto e médio Iguaçu*. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná.

MAIOLI, O.L.G. et al. (2010). “*Pollution source evaluation using petroleum and aliphatic hydrocarbons in surface sediments from two Brazilian estuarine systems*”. *Organic Geochemistry*, 41(9), pp. 966–970.

MAJOROŠOVÁ, K. et al. (2023). “*Vyhodnocení fluviálních sedimentů a paleoekologická rekonstrukce prostoru ulice Křenová v Brně*”. *Geological Research in Moravia and Silesia*, 30(1–2), pp. 56–65.

MAKOU, M. et al. (2018). “*Plant Wax n-Alkane and n-Alkanoic Acid Signatures Overprinted by Microbial Contributions and Old Carbon in Meromictic Lake Sediments*”. *Geophysical Research Letters*, 45(2), pp. 1049–1057.

MAPBIOMAS – Projeto MapBiomass. (2020). *Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil*. Disponível em: <URL>. Acesso em: mai. 2021.

MARTINS, C. et al. (2023). “*Earthquake, floods and changing land use history: A 200-year overview of environmental changes in Selenga River basin as indicated by n-alkanes and related proxies in sediments from shallow lakes*”. *Science of the Total Environment*, 873, p. 152713.

MEYERS, P.A. (2003). “*Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes*”. *Organic Geochemistry*, 34(2), pp. 261–289.

MIZUKAWA, A. (2016). Avaliação de contaminantes emergentes na água e sedimento na bacia do alto Iguaçu/PR. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná.

OWENS, P.N. et al. (2005). “*Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues*”. *River Research and Applications*, 21(7), pp. 693–717.

PAIVA, J.B.D. et al. (2012). *Projeto Integra - Disponibilidade Hídrica para Aplicação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos. Quantidade e Qualidade de Água*. Projeto concluído.

PORTO, M.F.A. et al. (2007). *Bacias Críticas: Bases Técnicas para a definição de Metas Progressivas para seu Enquadramento e a Integração com os demais Instrumentos de Gestão*. Projeto concluído.

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2013). *Bacias Hidrográficas do Paraná – Série Histórica*. Curitiba: SEMA. Disponível em: <https://www.paranagua.pr.gov.br/>. Acesso em: 7 abr. 2025.

SŁOWAKIEWICZ, M. et al. (2014). “*Holocene Intertidal Microbial Mats of Qatar and Their Implications for Petroleum Source Rock Formation in Carbonate-Siliciclastic-Evaporite Systems*”. EAGE Publications.

SNIS – Sistema Nacional de Informações de Saneamento. (2020). *Série histórica*. Disponível em: <URL>. Acesso em: abr. 2021.

SUREHMA – Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente. (1992). *Bacia do Rio Iguaçu - Portaria SUREHMA N° 020/92, de 12 de maio de 1992*. Instituto Água e Terra (IAT). Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/enquadramento_b_iguacu_0.pdf. Acesso em: 24 abr. 2025.

VIERS, J.; DUPRÉ, B.; GAILLARDET, J. (2009). “*Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database*”. *Science of the Total Environment*, 407(2), pp. 853–868.

WANG, C. et al. (2020). “*Sources and historical sedimentary record: Temporal variability of n-alkane and PAHs from the Yellow River Estuary, China*”. *Applied Geochemistry*, 114, p. 104475.

WOHL, E. et al. (2015). “*The natural sediment regime in rivers: Broadening the foundation for ecosystem management*”. *BioScience*, 65(4), pp. 358–371.

YANG, Y. et al. (2015). “*Abundance and diversity of soil petroleum hydrocarbon-degrading microbial communities in oil exploring areas*”. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(4), pp. 1935–1946.

ZHANG, L. et al. (2023). “*The response of soil respiration to land-use change depends on soil microbial community being regulated by edaphic factors in the Loess Plateau, China*”. *Land Degradation and Development*, 34(15), pp. 4781–4792.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudos.