ESTIMATIVA DA VAZÃO DE REFERÊNCIA PARA A OUTORGA DO DIREITO DE USO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NO RIO NEGRO

Janaína da Fonseca Barbosa[1]; Flávio Bernardo Silveira[2]; Rosana Picanço Gato[3]; Luiz Paulo Batista de Souza[4]; João D'Anuzio Menezes de Azevedo Filho[5]; Luciane Farias Ribas[6]; Joecila Santos da Silva[7]

RESUMO – Este estudo caracteriza o regime hidrológico da estação fluviométrica Cucuí, situada no alto Rio Negro, na bacia amazônica transfronteiriça, por meio da análise de séries históricas de vazões diárias, abrangendo cerca de 12.000 registros, no período de 1994 a 2024. Utilizando ferramentas estatísticas, foram elaborados o hidrograma médio anual, as curvas de máximas e mínimas anuais, além da curva de permanência, que permitiram determinar a vazão de referência Q95 com precisão. A Q95 calculada, de 1.144,7512 m³/s, atende integralmente ao Art. 8º, inciso XXVI, da Resolução CERH-AM nº 01/2016, que autoriza outorgas de direito de uso de água até 70% dessa vazão, promovendo o equilíbrio entre desenvolvimento e conservação. A estação Cucuí ganha relevância estratégica para o monitoramento de populações indígenas ribeirinhas, alertas precoces a estiagens climáticas intensificadas pelas mudanças globais e planejamento hídrico integrado.

Palavras-Chave: Vazão de referência; Q95; Rio Negro.

ABSTRACT – This study characterizes the hydrological regime of the Cucui river gauging station, located on the upper Black River in the transboundary Amazon basin, through the analysis of historical series of daily flows, encompassing approximately 12,000 records, from 1994 to 2024. Using statistical tools, the average annual hydrograph, the annual maximum and minimum flow curves, and the flow duration curve were developed, allowing for the precise determination of the reference flow Q95. The calculated Q95, of 1,144.7512 m³/s, fully complies with Article 8, item XXVI, of CERH-AM Resolution No. 01/2016, which authorizes water use rights up to 70% of this flow, promoting a balance between development and conservation. The Cucui station is gaining strategic importance for monitoring riverside indigenous populations, providing early warnings of droughts intensified by global changes, and enabling integrated water planning.

Keywords: Reference flow; Q95; Black River.

[1]Centro de Estudos Superiores de Parintins (CESP/UEA), Estrada Odovaldo Novo, nº 3578, Bairro Djard Vieira, CEP 69152-470, Parintins/AM, Brasil. Fone: (92) 99521-2719. E-mail: jdfb.mgr25@uea.edu.br.

[2]Centro de Estudos Superiores de Parintins (CESP/UEA), Estrada Odovaldo Novo, nº 3578, Bairro Djard Vieira, CEP 69152-470, Parintins/AM, Brasil. Fone: (92) 99436-4576. E-mail: fbs.mgr25@uea.edu.br.

[3]Centro de Estudos Superiores de Parintins (CESP/UEA), Estrada Odovaldo Novo, nº 3578, Bairro Djard Vieira, CEP 69152-470, Parintins/AM, Brasil. Fone: (92) 99105-1856. E-mail: rpg.mgr24@uea.edu.br.

[4]Centro de Estudos Superiores de Parintins (CESP/UEA), Estrada Odovaldo Novo, nº 3578, Bairro Djard Vieira, CEP 69152-470, Parintins/AM, Amazonas, Brasil. Fone: (92) 99332-9241. E-mail: lpbs.mgr24@uea.edu.br.

[5]Centro de Estudos Superiores de Parintins (CESP/UEA), Estrada Odovaldo Novo, nº 3578, Bairro Djard Vieira, CEP 69152-470, Parintins/AM, Amazonas, Brasil. Fone: (92) 99194-0823. E-mail: jdazevedo@uea.edu.br.

[6]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Avenida Sete de Setembro, nº 1975, Centro, CEP 69020-120, Manaus/AM, Brasil. Fone: (92) 99262-2285. E-mail: luciane.ribas@ifam.edu.br.

[7]Escola Normal Superior (ENS/UEA), Avenida Djalma Batista, nº 2470, Bairro Chapada, CEP 69050-030, Manaus/AM, Brasil. Fone: (92) 98120-8998. E-mail: jsdsilva@uea.edu.br.

1. INTRODUÇÃO

A bacia do Rio Negro, na região amazônica, abriga sistemas hídricos de elevada relevância socioambiental, especialmente para comunidades ribeirinhas que dependem diretamente dos recursos aquáticos para abastecimento, transporte, pesca e práticas culturais, em um contexto de forte sazonalidade hidrológica e vulnerabilidade a eventos extremos. Nesse cenário, o monitoramento hidrológico de longo prazo em estações fluviométricas da bacia, como Cucuí, constitui base essencial para a compreensão do regime de vazões, da variabilidade sazonal e de tendências associadas a mudanças climáticas e a pressões antrópicas regionais, fornecendo insumos para a gestão integrada dos recursos hídricos (Diniz, 2022).

A análise estatística de séries históricas, com elaboração de curvas de permanência e determinação de vazões de referência, como a Q95, tem sido amplamente empregada em estudos de regionalização e em avaliações de vazões mínimas em bacias amazônicas, destacando sua importância para o planejamento de usos múltiplos da água (Bendini; Tucci, 2007; Calina, 2016).

No alto Rio Negro, eventos hidrológicos extremos de seca e cheia podem comprometer o acesso à água de qualidade, afetar a navegabilidade e intensificar potenciais conflitos entre usos consuntivos e não consuntivos, exigindo instrumentos regulatórios baseados em indicadores hidrológicos robustos (Diniz, 2022; Gonzaga Silva, 2023). A carência de estudos aplicados que articulem dados hidrológicos consolidados, modelos de regionalização de vazões de referência e diretrizes normativas específicas à realidade amazônica configura um desafio central para o aperfeiçoamento de políticas públicas e para a efetiva implementação de instrumentos de gestão de recursos hídricos na região (Calina, 2016).

Nesse contexto, a Resolução CERH-AM nº 01, de 19 de julho de 2016, estabelece a vazão de referência Q95 como critério técnico para a análise de pedidos de outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio do Estado do Amazonas, definindo limites para derivações consuntivas e condicionando a concessão de novas outorgas à disponibilidade hídrica remanescente na bacia. A adoção da Q95 como parâmetro regulatório articula-se com iniciativas nacionais de regionalização de vazões mínimas e com estudos que discutem o papel de vazões de referência na proteção de ecossistemas aquáticos e na segurança hídrica em bacias hidrográficas brasileiras (Calina, 2016; Virgílio Neto, 2023).

No caso do Rio Negro, tal abordagem é particularmente relevante em áreas de fronteira e difícil acesso, como Cucuí, onde a escassez de estudos locais ainda limita a incorporação de evidências hidrológicas em processos decisórios de gestão e regulação (Diniz, 2022; Bendini; Tucci, 2023).

Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho é analisar o regime de vazões do Rio Negro na estação fluviométrica de Cucuí, a partir da série histórica, no período de 30 anos (1994 – 2024), visando à construção da curva de permanência e à determinação de indicadores hidrológicos relevantes para a gestão, com destaque para a vazão Q95.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O Rio Negro constitui o maior afluente de água negra do rio Amazonas, com área de bacia de aproximadamente 712.000 km² e vazão média de 28.000 a 40.000 m³/s (Filizola; Guyot, 2011), apresentando regime hidrológico marcado por pluviometria anual entre 2.200 e 2.500 mm, temperaturas médias de 26-33°C e dois picos de cheia distintos: um de baixa amplitude no início do ano e outro mais intenso entre maio e julho, influenciado por fenômenos como El Niño e La Niña (Diniz, 2022).

Situada em posição estratégica para captar o regime hidrológico do alto curso, antes da confluência com o rio Branco, a estação fluviométrica de Cucuí registra dados diários de cota e vazão desde a década de 1990, com série histórica consistente superior a 90% de completude, abrangendo eventos extremos como secas históricas e cheias sazonais (Diniz, 2022). Equipada com escalas para nível d'água, registradores e medições de descarga (classificação F-R-D pela ANA), serve de referência para modelagem de curvas-chave, hidrogramas e vazões de permanência na bacia amazônica setentrional (Bendini; Tucci, 2007).

O Rio Negro e sua estação fluviométrica de Cucuí desempenham papel fundamental na região amazônica, sustentando ecossistemas ricos em biodiversidade com águas negras oligotróficas que abrigam espécies endêmicas adaptadas à acidez e baixa turbidez, além de regular o fluxo hídrico para o médio curso, influenciando a dinâmica da bacia amazônica (Calina, 2016). Para comunidades indígenas e ribeirinhas do alto curso, como em São Gabriel da Cachoeira, o rio garante abastecimento, pesca artesanal, transporte fluvial e práticas culturais ancestrais, enquanto a estação Cucuí fornece dados essenciais para monitoramento de secas e cheias extremas, previsão de navegabilidade e planejamento de outorgas de água, mitigando impactos de mudanças climáticas na maior bacia hidrográfica do mundo (Diniz, 2022; Santos Júnior, 2022). Essa integração hidrológica e socioambiental reforça a importância estratégica da região para a segurança hídrica e conservação amazônica.

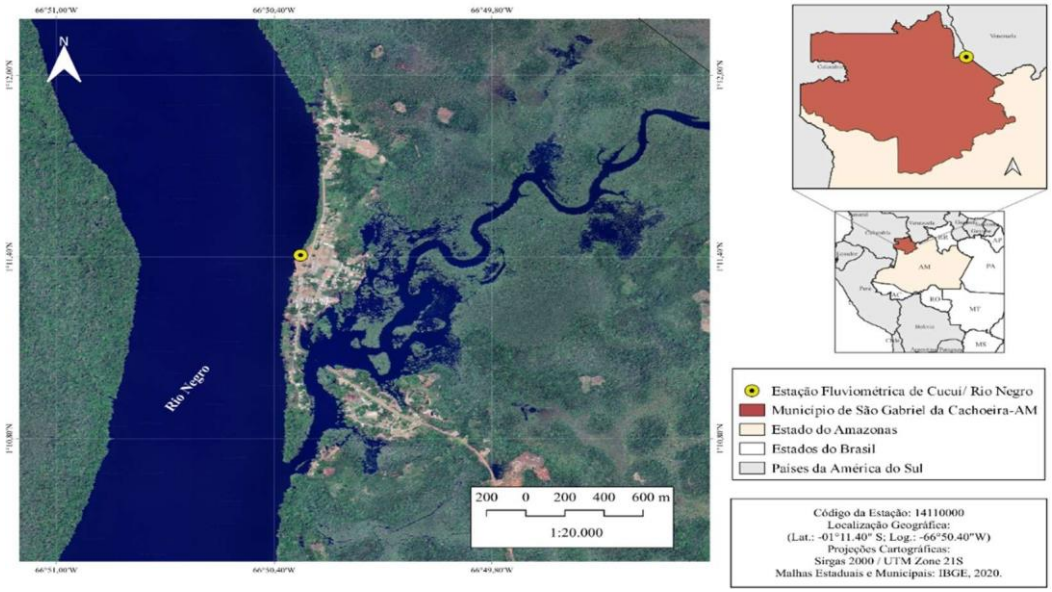


Figura 1. Área de estudo Rio Negro, em Cucuí (1994-2024).

2.2. Dados

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os dados de vazão da Estação Cucuí, cadastrada no banco de dados da ANA sob o código 14110000, obtida a partir do Portal Hidroweb (https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas), pertencente ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), e que disponibiliza uma gama de dados hidrológicos coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

A escolha da estação considerou como critério principal a quantidade de dados de vazão disponíveis pela estação, cujo período de dados compreende de 01/01/1994 a 31/12/2024 (adotou-se 30 anos como quantidade mínima de anos necessários).

Tabela 1. Estação fluviométrica Cucuí, do Rio Negro.

Estação	Código	Número de anos de dados de vazão disponíveis
Cucuí	14110000	30 anos

2.3. Métodos

A partir dos dados de vazão disponíveis da estação escolhida, procedeu-se com elaboração de três ferramentas gráficas: o hidrograma, o gráfico de vazões máximas e mínimas e a curva de permanência. Para o desenvolvimento destas foi utilizado o software Microsoft Excel (Microsoft 365), versão 16.0.19328.20244, 64 bits, desenvolvido pela Microsoft Corporation, na organização dos dados e geração dos gráficos.

2.3.1. Hidrograma

Este gráfico foi obtido a partir da ordenação, no Excel, dos dados de vazão de forma que cada coluna representasse um ano e cada linha dessa coluna, um dia. Sendo assim, uma matriz de 366 linhas (considerando o dia 29/fev) e Na (número de anos) colunas foi formada. De cada linha foi retirado seu valor médio, representando, assim, a vazão média daquele dia considerando todos os anos registrados, conforme equação 1, de Montgomery e Runger (2003).

$$q_{md} = \frac{\sum_{qd}}{n_{rd}} \quad (1)$$

Onde:

q_{md}: vazão média diária [m³/s];

q_d: vazão diária [m³/s]; e

n_{rd}: número de registros do dia.

O gráfico foi elaborado colocando no eixo das abscissas os dias equivalentes ao período de um ano inteiro, do dia 01/jan ao dia 31/dez. No eixo das ordenadas foram distribuídas as vazões médias diárias considerando todos os anos.

2.3.2. Máximas e Mínimas

Utilizando-se da mesma organização dos dados para o hidrograma, a obtenção dos valores máximos e mínimos, entretanto, foi feita a partir dos dados de cada ano, separadamente, onde foram extraídos os valores máximos e mínimos anuais e, para fins de otimização do potencial de análise, foram inseridas as linhas representativas da média de cada grupo (média das máximas e média das mínimas). Onde:

$\bar{q}máx$: vazão anual máxima [m^3/s];

$\bar{q}mín$: vazão anual mínima [m^3/s];

O gráfico foi elaborado colocando no eixo das abscissas os anos equivalentes ao período estudado. No eixo das ordenadas foram distribuídas as vazões máximas e mínimas considerando todos os anos.

2.3.3. Curva de Permanência

A curva de permanência é uma forma de visualizar quanto e por quanto tempo o rio tem determinada quantidade de água (ANA, 2022). A sua elaboração se deu, inicialmente, a partir da organização dos dados de vazão. Para a definição destas, adotou-se as equações 2, de Montgomery e Runger (2003).

$$A = qmáx - qmin \quad (2)$$

Onde:

A: amplitude das classes;

$qmáx$: vazão máxima registrada [m³/s]; e $qmín$: vazão mínima registrada [m³/s].

Em seguida, com auxílio do software Excel, ordenou-se as vazões de forma crescente, e atribuiu-se, a cada vazão, uma discriminação correspondente à sua posição na sequência, sendo 1 para a menor vazão registrada e nr para a maior vazão do conjunto. Sendo assim, calculou-se a frequência acumulada de cada vazão segundo as equações 3 e 4, de Montgomery e Runger (2003).

$$f = \frac{No}{nr} \quad (3)$$

$$f_{acum} = f + f_a \quad (4)$$

Finalmente, partiu-se para a determinação da permanência das vazões, conforme equação 5, de Montgomery e Runger (2003).

$$P = 1 - f_{acum} \quad (5)$$

Onde:

f: frequência de ocorrência da vazão;

nr: número de registros das vazões;

No: número de ocorrências da vazão;

fa: frequência da vazão analisada;

$facum$: frequência acumulada; e

P: permanência da vazão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do regime hidrológico

No hidrograma das vazões médias diárias do período de 1994 a 2024 (Figura 2), observam-se dois períodos hidrológicos bem definidos ao longo do ano, refletindo a forte sazonalidade típica do Rio Negro, na Estação Cucuí, localizada no estado do Amazonas. A planilha mostra dois períodos distintos: cheia entre março e julho, com pico aproximado em junho, e vazante de setembro a dezembro, com mínimas em torno de 963 m³/s nos dados recentes de 2024.O hidrograma abaixo apresenta como vazão máxima 9403 mNe³/s e mínima de 2400 m³/s. Essa assimetria no hidrograma, com recuo mais rápido, é típica de rios de águas pretas, influenciando ecossistemas de igapó e usos múltiplos como navegação.

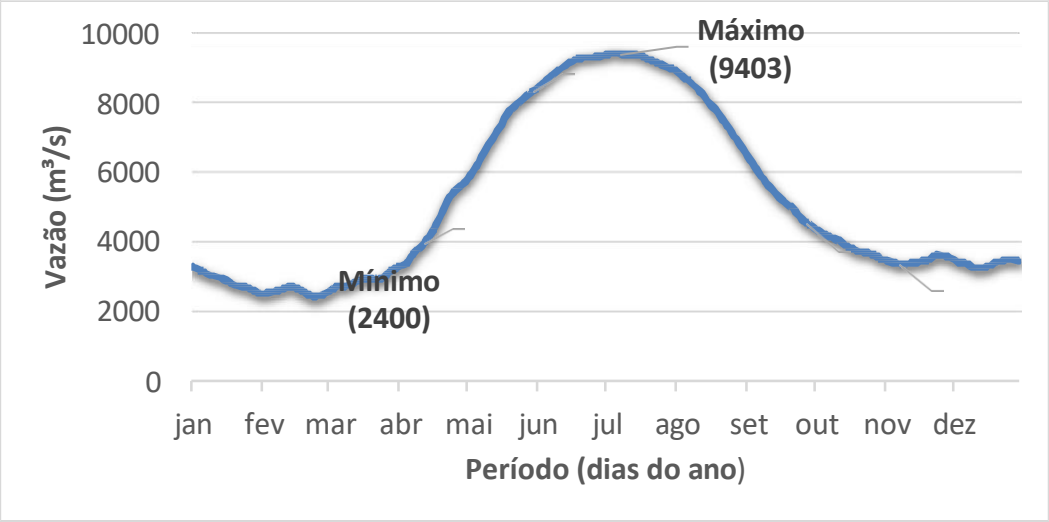


Figura 2. Hidrograma de vazões médias do Rio Negro, em Cucuí (1994-2024).

A dinâmica fluvial apresenta elevações duplas ao longo do ciclo anual, configurando um perfil hidrodinâmico característico da zona equatorial. Tal assimetria — com ascensões lentas seguidas de retrações abruptas — modula o regime de alagamentos, condicionando cadeias tróficas, atividades pesqueiras e mobilidade local. A vigilância sistemática detecta oscilações críticas, atenuando vulnerabilidades agravadas por alterações globais do clima.

Vazões mínimas garantem conectividade de igapós, sustentando espécies endêmicas e sequestro de carbono, enquanto cheias regulam umidade regional e chuvas globais. No contexto amazônico, o conhecimento hidrológico orienta planos contra estiagens, como em 2016 e 2023, promovendo gestão integrada.

3.2 Máximas e Mínimas

A Figura 3 apresenta a variação das vazões máximas e mínimas anuais obtidas a partir da série histórica (1994 - 2024) equivalente a 30 ano, na Estação Cucuí. A estudo sugere que a vazão máxima

ocorreu em 2018, com vazão de aproximadamente 12.029,89 m³/s, enquanto a vazão mínima ocorre em 1998, atingindo aproximadamente 318,63 m³/s. A média das máximas e mínimas anuais, calculadas nas colunas da planilha, indica amplitude hidrológica que subsidia o planejamento de estruturas e mitigação de extremos. Esses extremos orientam alocações sustentáveis, evitando concessões acima da capacidade durante secas.

Essas vazões extremas orientam outorgas e planejamento na sub-bacia do Negro, com Q95 mais restritiva que no baixo curso, protegendo ecossistemas de igapó e navegação ribeirinha. Dados da ANA via HidroAPP permitem modelagem de riscos, essenciais para comunidades indígenas e gestão transfronteiriça com a Colômbia e Venezuela.

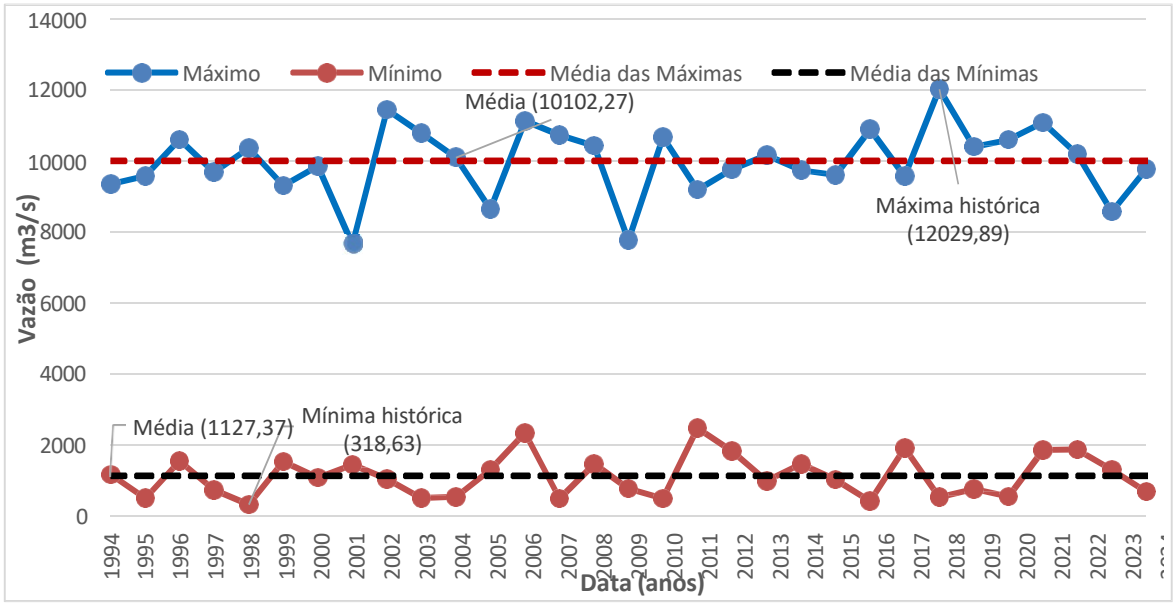


Figura 3. Vazões máximas e mínimas anuais médias do Rio Negro, na Estação Cucuí (1994–2024).

3.3. Vazão Outorgável no rio Negro, Estação Cucuí

A curva de permanência, elaborada a partir da ordenação crescente das vazões diárias nos registros históricos da Estação Cucuí, determina a vazão Q95 em 1144,7512 m³/s, valor superado em 95% do tempo analisado. Esse parâmetro, conforme o Art. 8º, inciso XXVI, da Resolução CERH-AM nº 01, de 19 de julho de 2016, define a vazão de referência para outorgas de direito de uso de águas superficiais no Amazonas, permitindo concessões seguras de até 70% dessa vazão para evitar déficits hídricos durante estiagens.

No rio Cucuí, essa Q95 garante o equilíbrio entre usos consuntivos e não consuntivos, protegendo a biodiversidade local do alto Rio Negro. O valor reduzido reflete a escala sub-bacia, com área de influência menor, mas reforça a gestão integrada, harmonizando outorgas *upstream* e *downstream* na bacia amazônica transfronteiriça. A adoção rigorosa desse critério minimiza riscos de

sobre-exploração, especialmente em cenários de secas prolongadas influenciadas por mudanças climáticas, promovendo sustentabilidade hídrica para comunidades indígenas e atividades econômicas locais.

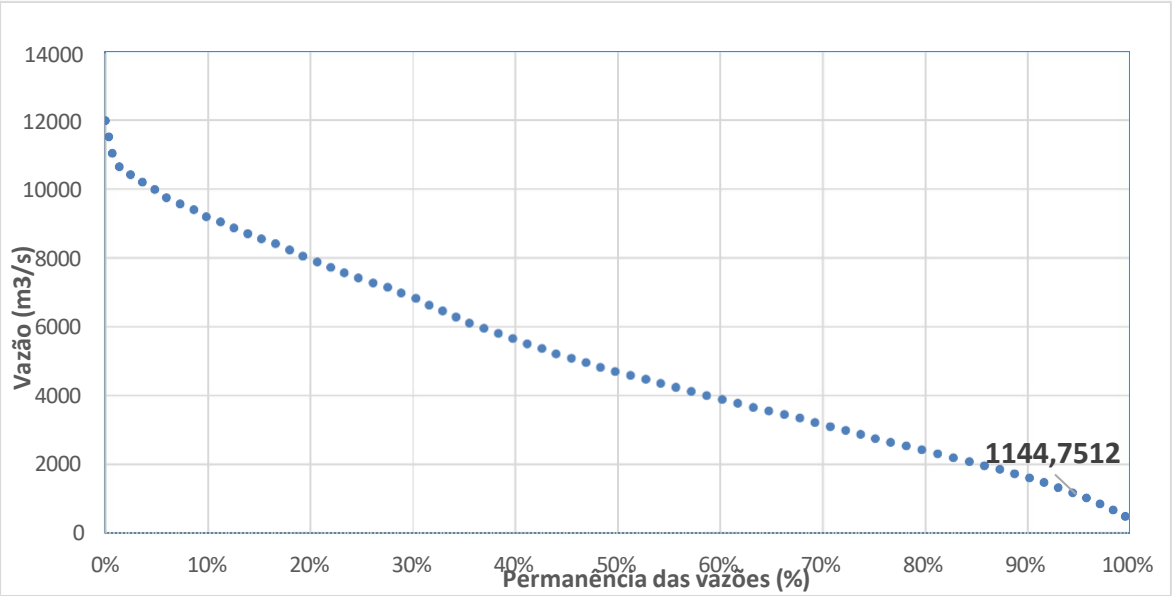


Figura 4. Curva de permanência do Rio Negro na Estação Cucuí (1994–2024).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos caracterizam um regime hidrológico perene com elevada sazonalidade na estação Cucuí, onde a vazão Q95 de 1.144,75 m³/s emerge como parâmetro regulatório central, limitando derivações consuntivas a 70% desse valor para compatibilizar demandas antrópicas com a proteção de vazões ecológicas.

A configuração bimodal do hidrograma médio, com elevações sustentadas entre março e julho e reduções críticas de setembro a dezembro, evidencia a sensibilidade do alto Rio Negro a oscilações pluviométricas, demandando planejamento prospectivo que incorpore vazões extremas em planos de bacias para prevenção de déficits hídricos e otimização de outorgas escalonadas.

Esta análise preenche lacunas locais ao sistematizar indicadores hidrológicos confiáveis, subsidiando o enquadramento de corpos d'água e a classificação de estações classe F-R-D, com potencial para modelagem regional de vazões mínimas em bacias transfronteiriças. Esses dados são fundamentais para atualização de curvas-chave e simulações de cenários climáticos, fortalecendo a governança participativa e a resiliência socioambiental no contexto amazônico.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal

de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Convênio CAPES/UNESP nº 951420/2023. Agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua (Mestrado Profissional em Rede Nacional) pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Agradecimentos à ANA pela cessão dos dados hidrológicos distribuídos gratuitamente. Reconhecemos o apoio financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), por meio dos projetos PARHINTINS e GRHAMA

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA*). Inventário das estações fluviométricas.* Brasília: ANA, 2009. Disponível em: https://www.ana.gov.br/arquivos/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2009/InventarioDasEstacoesFluviometricas.pdf. Acesso em: 05 jun. 2026.

BENDINI, H. E.; TUCCI, C. E. M. *Estimativa da variabilidade espacial de vazões mínimas na bacia do Paraná*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 12, p. 1-15, 2007.

CALINA, M. C. *Modelagem hidrológica para estimativa de vazões em bacias amazônicas*. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: https://ppgec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2016/calina.pdf. Acesso em: 05 jun. 2026.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO AMAZONAS (CERH-AM). *Resolução CERH-AM nº 01, de 19 de julho de 2016.* Manaus: IPAAM, 2016. Disponível em: https://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Res-CERH-01-16.pdf. Acesso em: 05 jun. 2026.

DINIZ, N. P. *Fluxo de sedimentos na bacia do Rio Negro, Amazonas, Brasil*. 2022. 68 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/9128/5/Dissertacao_NayaraDiniz_PPGGEO.pdf. Acesso em: 05 jun. 2026.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. *Fluxo de sedimentos em suspensão nos grandes rios da bacia Amazônica.* Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 41, n. 4, p. 566–576, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbgeo/a/H9RqgJd3FW6zhtYMpv3gngd/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 05 jun. 2026.

GONZAGA SILVA, M. *Análise de vazões mínimas em rios amazônicos.* 2023. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2023. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/4286/1/MARINOE_GONZAGA_SILVA.pdf. Acesso em: 05 jun. 2026.

MONTGOMERY, D. C. e RUNGER, G. C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.* Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003 (2ª Edição).

SANTOS JÚNIOR, J. A. *Outorga de lançamento de efluentes no rio Negro.* 2022. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: https://pos.uea.edu.br/data/area/dissertacao/download/52-2.pdf. Acesso em: 05 jun. 2026.