

Relação cota-vazão e ajuste da curva-chave: estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Acre, Brasil

O monitoramento das informações hidrológicas é essencial ao planejamento sustentável e ao gerenciamento dos recursos hídricos. A curva-chave é uma ferramenta importante de gestão, pois através dela é possível estimar a vazão de um rio a partir do nível da água (cota), e vice-versa, possibilitando planejamento urbano a partir da compreensão do comportamento hidrológico do curso d'água. Assim, o objetivo central do presente trabalho foi elaborar a curva-chave para cinco pontos ao longo do rio Acre, utilizando dados das estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, localizadas em Rio Branco, Brasília, Xapuri, Assis Brasil e Boca do Acre-AM, a fim de subsidiar a tomada de decisões, especialmente no que diz respeito ao planejamento de ações concernentes à segurança hídrica. Os resultados mostraram-se satisfatórios, com R^2 acima de 0,94, sendo a curva-chave bem ajustada. Destacou-se a curva-chave atinente ao trecho que compreende a capital acreana, Rio Branco, dada pela equação $Q=0,406 (H+2,3)^{2,95}$, com R^2 de 0,948 e coeficiente de eficiência NS. A análise, para um período de 20 anos, permitiu constatar mudanças no traçado da curva-chave, relacionado com as alterações do curso d'água. Dessa forma, se conclui que a curva-chave é instrumento que auxilia na gestão dos recursos hídricos, pois facilita a estimativa de vazões, mas vale ressaltar a necessidade de continuidade das medições das vazões regulares in loco, devido à dinâmica das características hidráulicas e geométricas do rio ao longo do tempo.

Palavras-chave: Relação cota-vazão; Curva-chave; Rio Acre.

Quota-flow ratio and key-curve adjustment: case study in the hydrographic basin of the Acre River (Acre, Brazil)

The monitoring of hydrological information is essential for sustainable planning and management of water resources. The key-curve is an important management tool because it allows to estimate the flow of a river from the water level (quota), and vice versa. Thus, the central aim of this work was to elaborate the key-curve for five points along the Acre River, using data from the fluviometric stations of the National Agency for Water and Basic Sanitation, located at Rio Branco, Brasília, Xapuri, Assis Brasil, and Boca do Acre-AM. The results were satisfactory, with R^2 above 0.94, and the key-curve was well adjusted. The key-curve related to the stretch corresponding to the Acre capital, city of Rio Branco, was in evidence, with data calculated using the equation $Q=0.406 (H+2.3)^{2.95}$, with R^2 of 0.948. The analysis for a period of 20 years showed changes in the tracing of the key-curve, related to changes in the watercourse.

Keywords: Quota-flow ratio; Key-curve; Acre River.

Topic: Engenharia de Recursos Hídricos

Received: 11/12/2021

Approved: 12/01/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Daniela Silva Tamwing 
Universidade Federal do Acre, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-0855-7789>
eng_danitamwing@gmail.com

Carolina de Lima Accorsi Montefusco 
Universidade Federal do Acre, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7453872548802883>
<https://orcid.org/0000-0003-1495-2814>
carolaccorsi@hotmail.com

Orlan Omar Aguiar Irueta 
Centro Universitário Uninorte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9103294455053295>
<https://orcid.org/0000-0002-3480-773X>
orlanaguiar@hotmail.com

Anderson Azevedo Mesquita 
Universidade Federal do Acre, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2100248144035271>
<https://orcid.org/0000-0003-0947-8070>
amgeoufac@hotmail.com

Rodrigo Otávio Peréa Serrano 
Universidade Federal do Acre, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2301206666665823>
<https://orcid.org/0000-0002-7786-8305>
ropereas@gmail.com

José Genivaldo do Vale Moreira 
Universidade Federal do Acre, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0089308420221409>
<https://orcid.org/0000-0002-2994-8482>
genivaldofac@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.001.0011

Referencing this:

TAMWING, D. S.; MONTEFUSCO, C.; IRURETA, O. O. A.; MESQUITA, A. A.; SERRANO, R. O. P.; MOREIRA, J. G. V.. Relação cota-vazão e ajuste da curva-chave: estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Acre, Brasil. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.1, p.129-140, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.001.0011>

INTRODUÇÃO

O monitoramento das variáveis hidrológicas é essencial para o planejamento urbano sustentável, com vistas ao gerenciamento das bacias hidrográficas, conforme regulamenta a Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, conhecida por Leis das Águas do Brasil. Tal monitoramento tem como finalidade buscar soluções frente às consequências dos eventos hidrológicos extremos, bem como auxiliar na gestão e manejo dos recursos hídricos para os diversos usos (DIAS et al., 2019).

Para o monitoramento, faz-se necessário o registro e a quantificação das variáveis hidrológicas, bem como o uso de ferramentas ao conhecimento da que remetem relação cota-vazão dos cursos de água, possibilitando o planejamento urbano e a concepção de projetos hidráulico-hidrológicos mais assertivos (ADAMI et al., 2013).

A curva-chave é a ferramenta que relaciona a cota e a vazão de um curso d'água, sendo utilizada para estimar a vazão a em função do nível da água (cota), e vice-versa, construída a partir de dados fluviométricos de uma série histórica (NOVO et al., 2019).

Sabe-se que o conhecimento sobre as vazões é fundamental para rotinas de monitoramento e cálculos hidrológicos. Entretanto, os técnicos encontram, muitas vezes, dificuldades para a aferição *in loco* das cotas e das vazões, pois o procedimento é oneroso e a logística comumente dificultada e perigosa, especialmente mediante a ocorrências de eventos danosos. Dessa forma, a utilização de ferramentas como a curva-chave se apresenta como viável e, em muitos casos, essencial ao gerenciamento dos recursos hídricos (SANTOS et al., 2019).

Apesar da problemática acerca dos recursos hídricos estar presente ano após ano no cotidiano da população acreana, a maioria dos estudos e instrumentos técnicos remetem à decisão a partir das cotas registradas. Isso dificulta quando se pretende analisar situações ou cenários em que o volume de água é importante, a exemplo das ações voltadas ao abastecimento populacional, entre outros. Vale ressaltar que, geralmente, tanto a Lei das Águas quanto outros instrumentos de gestão dos recursos hídricos se referam à vazão como unidade preponderante. Neste caso, a curva-chave se apresenta como um mecanismo essencial (NOVO et al., 2019; ROLIM et al., 2020; TAMWING et al., 2021).

A ocorrência frequente de cheias e consequentes inundações registradas no rio Acre tem relação comumente atribuída, entre outros, à ocupação desordenada do solo. Em Rio Branco, cidade com maior densidade populacional ao longo da área que compreende a bacia hidrográfica do rio Acre, a maioria das áreas recorrentemente afetadas por eventos hidrológicos extremos estão localizadas em sua planície de inundação (DUARTE, 2011; ALBUQUERQUE, 2018; TAMWING et al., 2021). Apesar da importância de estudar o nível atingido pela água, há de se destacar que o volume é, sobretudo, basilar.

Desse modo, neste estudo buscou-se analisar a associação entre cota e vazão, estabelecendo-se uma relação denominada curva-chave, obtida através de análise estatística de séries históricas registradas em estações fluviométricas ao longo do rio Acre, a fim de subsidiar a tomada de decisões, especialmente no que diz respeito ao planejamento de ações concernentes à segurança hídrica.

METODOLOGIA

Área de Estudo

A pesquisa se concentrou na bacia hidrográfica do rio Acre, representada na Figura 1. Até o município de Rio Branco, a referida bacia hidrográfica possui aproximadamente 23.433 km² de área de drenagem e até sua foz, no rio Purus, totaliza 35.792 km², sendo cerca de 79% de sua área no estado do Acre, 8% no estado do Amazonas, 7% no Peru e aproximadamente 6% na Bolívia (LATUF, 2011; TAMWING et al., 2021).

A bacia hidrográfica do rio Acre destaca-se com média de chuvas anual em torno de 1.900 mm, tendo os meses janeiro e fevereiro com maior concentração de chuvas, enquanto os meses de julho e agosto destacam-se como mais secos. Quanto ao clima, de acordo com a classificação de Köppen, a região é apresentada como quente e úmido (TAMWING et al., 2021).

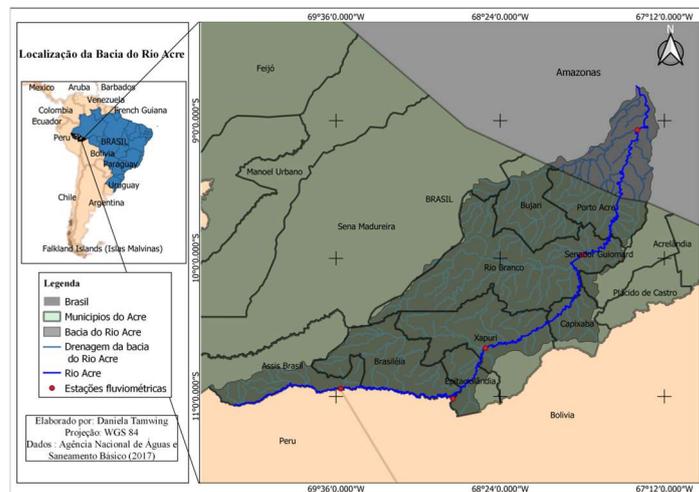


Figura 1: Delimitação da área de estudo, bacia hidrográfica do rio Acre.

Para determinar a curva-chave de cada estação fluviométrica em destaque, foram coletados os dados de cota e vazão obtidos no site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Portal *HidroWeb*.

Foram selecionados os dados atinentes às cinco estações fluviométricas, sendo quatro localizadas no território acreano (Rio Branco, Brasiléia, Xapuri e Assis Brasil) e uma em território amazonense (Boca do Acre), conforme descrito na Tabela 1. Para cada estação, foram selecionados os dados com os pares de valores cota-descarga obtidos no banco de dados no Portal *HidroWeb*.

Tabela 1: Dados das Estações Fluviométricas na bacia hidrográfica do rio Acre.

Código	Nome Estação	Latitude	Longitude	Área de drenagem (km ²)	Série temporal de dados
13600002	Rio Branco	-9,975	-67,8008	23500	08/1967 a 02/2020
13470000	Brasiléia	-11,0178	-68,745	7020	07/1982 a 03/2020
13550000	Xapuri	-10,6511	-68,5075	8270	08/1967 a 03/2020
13450000	Assis Brasil	-10,9436	-69,5656	3760	07/1983 a 03/2020
13650000	Floriano Peixoto	-9,0667	-67,3969	34400	07/1967 a 10/2020

Fonte: Tamwing et al. (2021).

A seleção das estações, bem como o período utilizado das séries históricas se deu pela qualidade de dados para posterior modulação estatística, descartando-se as estações e anos com muitas falhas de

registros.

Na construção da curva-chave associa-se biunivocamente os dados de vazão a cota referente formando o par ordenado do gráfico Q x H. Desse modo, a partir de uma modelação matemática dada pela equação em forma de potência (Eq. 1) traça-se a curva com maior aderência aos pontos obtidos (NAGHETTINI et al., 2007; SEFIONE, 2002). A equação é expressa por:

$$Q = a(H - H_0)^n \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

a e n – Coeficientes de ajuste para o traçado da curva-chave;
H – Cota referente a uma vazão Q;
H₀ – Cota referente a vazão nula;
H em metros e Q em m³/s.

As constantes *a* e *n* podem ser determinadas usando-se o método dos mínimos quadrados ou a partir de ferramentas iterativas. Isso também pode ser determinado por tentativa e erro para determinar a constante H₀ (PORTO et al., 2001).

De acordo com Collischonn et al. (2013), a equação supracitada é a mais utilizada, pois é que mais se assemelha ao tipo de relação entre o nível de água e a vazão como as equações de escoamento em regime permanente e uniforme, além da fórmula de Manning ou Chezy.

Segundo Jaccon et al. (1989), a relação entre cota (H) e vazão (Q), além da equação exponencial (Eq. 1), tem a expressão polinomial (Eq.2) bastante utilizada, em que são mais frequentes as representações do polinômio de segundo grau (parabólica).

$$Q = a_0 + a_1H + a_2H^2 + \dots + a_nH^n \quad (\text{Eq. 2})$$

onde:

*a*₀, *a*₁ ..., *a*_{*n*} – Coeficientes de ajuste para o traçado da curva-chave;
H – Cota referente a uma vazão Q;
H em metros e Q em m³/s.

Para a obtenção da equação que gerou a curva com o ajuste mais coerente aos dados, utilizou-se a ferramenta de linha de tendência do *Microsoft Excel*, do tipo potência, uma vez que o método exige demasiada rotina de cálculos. Conforme Jaccon et al. (1989), a análise matemática do coeficiente obtido com a melhor regressão linear é representada pelo coeficiente de determinação R², que indica a proporção da variância explicada pelo ajuste da curva.

Para o ajuste da curva-chave foi utilizado o Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NS). Segundo Baltokoski et al. (2010), o coeficiente NS é um dos critérios estatísticos mais importantes para avaliar o ajuste de modelos hidrológicos. O NS é um coeficiente adimensional, dado pela seguinte equação:

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_{med} - Q_{cal})^2}{\sum(Q_{med} - Q_{med})^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde:

*Q*_{med} – Vazão observada;
*Q*_{cal} – Vazão calculada a partir da equação encontrada;

De acordo com Silva et al. (2008), para resultados de NS maior que 0,75 o desempenho do modelo é considerado bom e, para valores entre 0,36 e 0,75 o desempenho é considerado aceitável. Já para valores

inferiores a 0,36 o modelo é julgado como não recomendado.

A curva-chave foi representada de forma gráfica com os valores de cota (H) no eixo das ordenadas e os valores de vazão (Q) no eixo das abscissas, que segundo Sefione (2002), é um dos métodos mais utilizados pelos hidrólogos no Brasil. Desse modo, para o traçado da curva-chave nessa representação, seguiu-se os seguintes procedimentos: Organização dos pares de valores cota-descarga das estações fluviométricas da ANA; Filtragem dos erros a fim de eliminar os erros identificados e observações que foram realizadas no mesmo dia; Cálculo de uma cota chamada “cota auxiliar”, dada pela expressão $h - h_0$, onde h_0 é um valor arbitrado; Modelagem dos pares ordenados em um gráfico bidimensional (cota auxiliar, vazão); Determinação da equação da curva e dos parâmetros a e n , conforme a Eq. 1, se deu por meio de uma linha de tendência do tipo potência, a partir do parâmetro h_0 , encontrado por tentativa e erro; Verificação do R^2 e NS a partir das equações obtidas na linha de tendência do tipo potência. Nos casos que não se obteve um resultado aceitável, foi utilizado a linha de tendência do tipo polinomial de segundo grau, conforme a Eq. 2; Cálculo da vazão estimada (Q_{calc}) através da equação encontrada; Elaboração do gráfico do tipo dispersão e plotar duas séries de dados, a primeira com os dados extraídos da ANA e a segunda do tipo Q_{calc} x Cota Auxiliar, sendo a segunda plotada no formato linha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos procedimentos metodológicos destacados, permitiu-se estimar as equações da curva-chave da relação cota-vazão nos cinco pontos estudados da bacia hidrográfica do rio Acre, permitindo uma análise importante no âmbito da gestão dos recursos hídricos para a região.

Na Figura 2, apresenta-se a curva-chave para os dados anotados na cidade de Rio Branco, através da estação fluviométrica 13600002, para a qual foram utilizados 267 pares de valores biunívocos da relação cota-descarga. A partir do ajuste de tendência de potência, obteve-se o coeficiente de eficiência NS igual a 0,96 demonstrando que a equação estimada foi satisfatória.

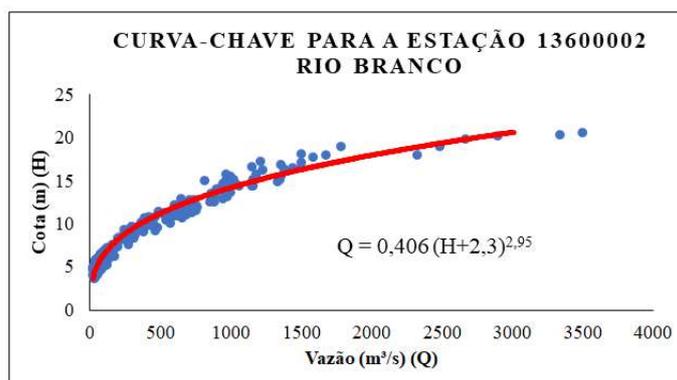


Figura 2: Curva-chave da relação cota-vazão na cidade de Rio Branco, estação 13600002.

A Figura 3 traz a representação gráfica da curva-chave do rio Acre, a partir dos dados da estação fluviométrica 13470000, localizada na cidade de Brasília, da qual foi possível a verificação de 151 pares de valores. A expressão que se mostrou mais satisfatória foi a equação do tipo polinomial de segundo grau, com NS de 0,98 destacando-se como o maior entre os demais obtidos neste estudo.

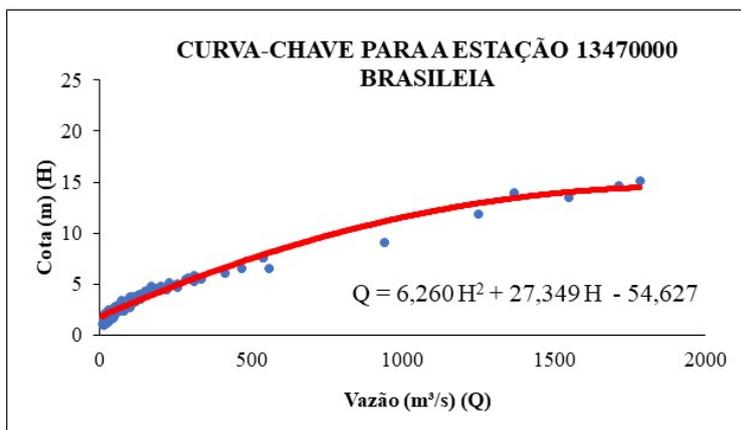


Figura 3: Curva-chave da relação cota-vazão na cidade de Brasileia, estação 136470000.

Ao analisar 264 pares ordenados de vazão e cota da estação fluviométrica 13550000, instalada na cidade de Xapuri, traçou-se a curva-chave expressa pela equação do tipo polinomial de segundo grau, obtendo-se NS de 0,90, demonstrando que os dados estudados apresentaram curva significativamente ajustada (Figura 4).

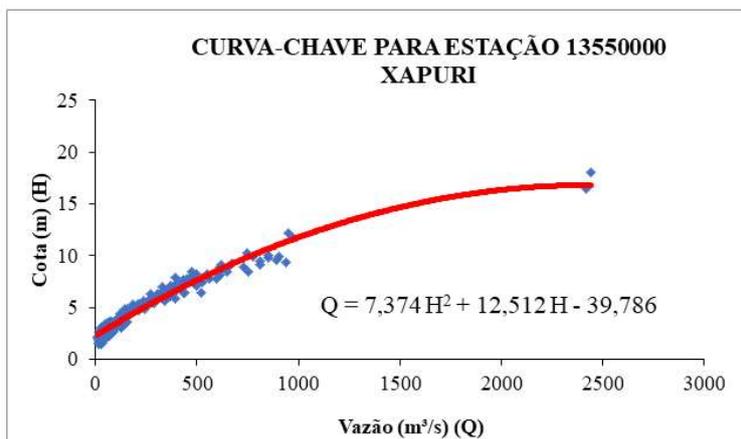


Figura 4: Curva-chave da relação cota-vazão na cidade de Xapuri, estação 13550000.

A curva-chave obtida pela análise dos 116 pares ordenados (vazão e cota) da estação fluviométrica 13450000, localizada no município de Assis Brasil, é expressa pela equação do tipo polinomial de segundo grau, com NS de 0,96 (Figura 5). Dentre as estações analisadas e expressas por equações polinomiais, esta apresentou menor valor para o R^2 (0,957), bem como a menor quantidade de dados, entretanto, representa bom ajuste (DINIZ et al., 2021).

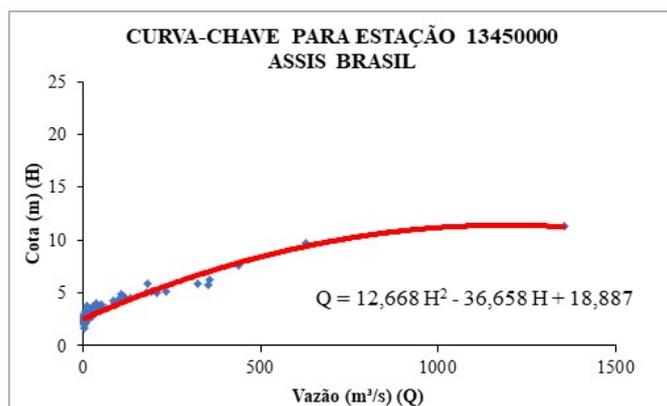


Figura 5: Curva-chave da relação cota-vazão na cidade de Assis Brasil, estação 13450000.

A Estação Fluviométrica 13650000, denominada Floriano Peixoto, instalada em Boca do Acre, no Amazonas, é a única fora da delimitação territorial do estado do Acre que foi incluída neste estudo. Assim como a curva-chave da estação de Rio Branco, a equação da estação Floriano Peixoto foi expressa pela equação do tipo potencial (Figura 6), com NS de 0,96.

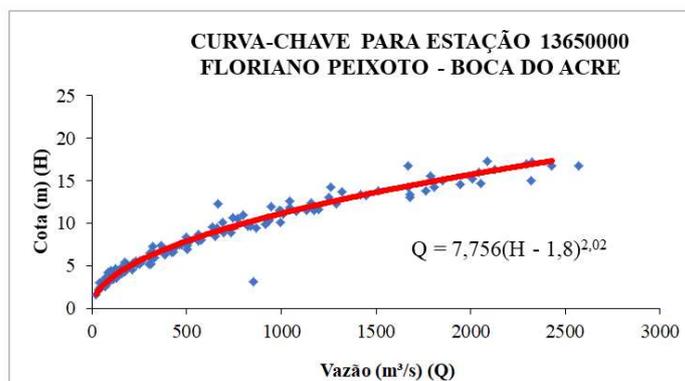


Figura 6: Curva-chave da relação cota-vazão na cidade de Boca do Acre, estação 13650000.

Compilando as informações das equações, Tabelas 2 e 3 apresentam a curva-chave de potência e polinomial, respectivamente, utilizadas em cada estação, assim como os coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 2: Equações das curvas-chaves do tipo potencial.

Código	Nome Estação	Equação da Curva	R^2
13600002	Rio Branco	$Q = 0,406(H + 2,3)^{2,95}$	0,948
13650000	Floriano Peixoto	$Q = 7,756(H - 1,8)^{2,02}$	0,959

Tabela 3: Equações das curvas-chaves do tipo polinomial.

Código	Nome Estação	Equação da Curva	R^2
13470000	Brasileia	$Q = 6,260 H^2 + 27,349H - 54,627$	0,985
13550000	Xapuri	$Q = 7,374 H^2 + 12,512H - 39,786$	0,974
13450000	Assis Brasil	$Q = 12,668 H^2 - 36,658H + 18,887$	0,957

Conforme pode ser verificado na Tabela 2, a estação fluviométrica de Rio Branco apresentou H_0 negativo. Este é um parâmetro desconhecido, que é arbitrado durante a modelagem matemática, podendo ser entendido como a leitura do nível da água quando a vazão é nula. De acordo com Porto et al. (2001), o H_0 pode assumir valores positivos e negativos, e isso terá relação com a posição zero da escala em relação ao fundo do rio.

Os valores obtidos de R^2 foram elevados, o que demonstra que não há variações significativas dos dados das estações fluviométricas com o traçado curva-chave a partir da linha de tendência do tipo potência e polinomial (REITZ et al., 2014; ROLIM et al., 2020).

Destaca-se que a curva-chave que apresentou o menor valor de R^2 , dentre as estações com equações expressas do tipo polinomial, foi a de Assis Brasil, localizada no trecho da cabeceira rio Acre, onde se registrou as menores vazões atinentes aos dados analisados. Essa estação também teve a menor quantidade de dados analisados, o que pode ter interferido para uma melhor eficiência do traçado da curva-chave.

A estação fluviométrica localizada em Boca do Acre apresentou o maior coeficiente de determinação, R^2 de 0,959 dentre as estações com equações expressas do tipo potência, indicando que a

modelagem para o traçado da curva-chave esclarece cerca de 96% da variação dos valores de vazão em relação a variável cota do rio (GANDRA et al., 2015; SILVA JUNIOR et al., 2020).

A curva-chave é um importante recurso auxiliar para estimativa da vazão em relação à cota, bem como para auxiliar na gestão dos recursos hídricos. Historicamente, no Acre, utiliza-se o valor das costas como instrumento de apoio à decisão tanto no meio científico quanto administrativo, mas sabe-se, todavia, que as vazões são variáveis importantes, uma vez que se referem ao volume registrado em determinada seção de um rio, tornando-se elemento preponderante (RESENDE et al., 1988; MONTEFUSCO et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2021).

Conforme Jaccon et al. (1989), a vazão do rio está relacionada não apenas com o nível de água, mas também pelas características geométricas do canal, bem como aos parâmetros hidráulicos e geotécnicos do curso d'água. Desse modo, é importante considerar que o curso do rio se altera ao longo do tempo, e isso depende do material presente em seu leito, o que reflete no traçado da curva, ou seja, na relação entre a vazão e a cota, dependendo da série histórica analisada (BONFANTI et al., 2020; ACCORSI et al., 2021; SANTOS et al., 2021).

Neste sentido, é importante destacar que, de acordo com Albuquerque (2018) e Tamwing et al. (2021), no ano de 2015 foi registrada a maior cota do rio Acre medida na cidade de Rio Branco, com valor de 18,40 m. A partir da curva-chave obtida para a cidade de Rio Branco (expressa na Figura 2 e na Tabela 2) estima-se uma vazão de aproximadamente 3.094,84 m³/s. Entretanto, o estudo realizado por Tamwing et al. (2021) destaca que os registros oficiais apontam para o valor de 3.208,13 m³/s, ou seja, 3,6% superior ao valor estimado. A cota estimada para a vazão máxima registrada é de aproximadamente 18,65 m e, portanto, superior a cota registrada. Daí a importância de se considerar também a vazão no processo decisório incluído na gestão dos recursos hídricos, uma vez que ela considera outros fatores.

Adicionalmente, a Figura 7, apresenta a mudança das curvas-chave, traçadas em períodos de 20 em 20 anos, a partir da série histórica obtida na estação fluviométrica 13600002, no trecho do rio Acre que compreende a capital do Estado, Rio Branco.

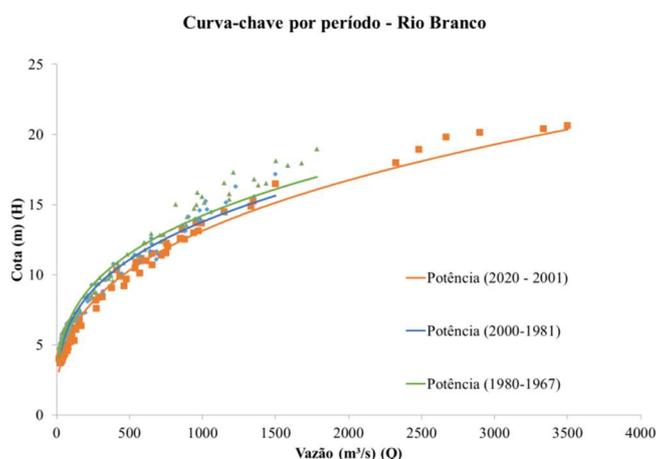


Figura 7: Curva-chave para os períodos de 1967-1980, 1981-2000, e 2001-2020 da estação fluviométrica, localizada em Rio Branco, Acre.

Conforme evidenciado na Figura 7, comparando-se o período de 1967 a 1980 com o período de

2001 a 2020 é possível constatar aumento da vazão considerando-se um nível de água (cota) constante. Destaca-se que no último período analisado, houve registro dos eventos extremos de enchentes, como a que ocorreu em 2015, sendo a maior cota registrada no rio Acre, em Rio Branco, com aproximadamente 18,40 m (ALBUQUERQUE, 2018).

Para o traçado das curvas no período de 1967-1980, 1981-2000 e 2001-2020, apresentados na Figura 7, foi utilizada a equação do tipo de potência, mantendo fixo o valor de H_0 , no qual se obteve as equações expressas na Tabela 4.

Tabela 4: Equações da Curva Chave por período.

Período	Nome Estação	Equação da Curva	R ²
1967 - 1979	Rio Branco	$Q = 0,218(H + 2,3)^{3,15}$	0,971
1980 - 1999	Rio Branco	$Q = 0,263(H + 2,3)^{3,12}$	0,967
2000 - 2020	Rio Branco	$Q = 0,697(H + 2,3)^{2,81}$	0,976

Desse modo, verifica-se se que ocorreu uma mudança na curva-chave referente ao rio Acre ao longo dos anos. É importante considerar que o curso d'água sofre alterações ao longo do tempo, tais como as características hidráulicas e geométricas da seção transversal do rio. Isso impacta diretamente nas relações entre a vazão a cota. Dentre as causas associadas às alterações geomorfológicas e geotécnicas que, conseqüentemente, impactam nas variáveis cota e vazão estão o assoreamento, movimento de massas etc. (BONFANTI et al., 2020; ACCORSI et al., 2021; SANTOS et al., 2021).

A partir dos dados históricos das cotas observadas na capital, Rio Branco, verifica-se que, em relação as cheias, a cota de alerta do município de Rio Branco é 13,50 m e a cota de transbordamento de 14,0 m. Logo, a partir desta cota a população residente nas áreas de risco começa a sofrer os impactos. Os registros de cheias que atingem tais valores de referências são recorrentes (ALBUQUERQUE, 2018; OLIVIERA et al., 2021).

Por outro lado, é comum se registrar, no município de Rio Branco, períodos de estiagem intensa comprometendo, entre outros, o abastecimento de água e outros componentes da segurança hídrica. Historicamente a estiagem mais severa ocorreu no ano de 2016, quando atingiu o nível de 1,30 m. Até aquele momento, a menor cota havia sido registrada em 2012, com 1,52m (BUFFON et al., 2018).

Neste sentido, a curva-chave apresenta-se como importante instrumento ao planejamento de ações voltadas à mitigação dos impactos associados à ocorrência de eventos hidrológicos na bacia do rio Acre, sobretudo aqueles com características mais severas, além de permitir o planejamento coerente de ações como o abastecimento das cidades. O estudo conduzido por Tamwing et al. (2021), por exemplo, destaca os valores mais evidentes de vazão para os pontos fluviométricos apresentados no presente estudo.

A partir da curva-chave ajustada, é possível obter os valores associado de vazão, e vice-versa, servindo de apoio à tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos. Considerando que a cidade de Rio Branco é a capital do Estado do Acre, com maior população entre os municípios, além de se destacar por muitos outros fatores, são apresentados os valores estimados de vazão associados às cotas de alerta e transbordamento, bem como maior e melhor valor registrados (Tabela 5). Para as demais estações, o

processo é inteiramente análogo, a partir das curva-chave estimada para cada uma delas, conforme Tabela 2 e Tabela 3.

É importante destacar que, para a obtenção dos valores inversos, ou seja, estimar o valor da cota a partir de certo valor de vazão, basta utilizar as técnicas acerca da função inversa das equações expressas pela curva-chave para as estações em estudo (Tabela 2 e Tabela 3).

Tabela 5: Estimativa da vazão a partir da curva-chave para a rio Acre, na cidade de Rio Branco.

Descrição	Cota (m)	Vazão Estimada (m ³ /s)
Cota de alerta	13,50	1.394,97
Cota de transbordamento	14,00	1.529,25
Maior cota registrada (2015)	18,40	3.094,84
Menor cota registrada (2016)	1,30	17,77
Cota média da série	6,52	249,84

Tamwing et al. (2021) apontaram as vazões máximas e mínimas na série histórica entre 1967 a 2020, evidenciando diferença nos valores registrados de vazão e aqueles estimados e elencados na Tabela 5, para a cidade de Rio Branco. As diferenças podem estar associadas a fatores que atuam sobre os processos hidrológicos da bacia hidrográfica em estudo, a exemplo dos movimentos de massa, assoreamento etc. (BONFANTI et al., 2020; ACCORSI et al., 2021; SANTOS et al., 2021).

É importante ressaltar que a relação precisa entre a vazão escoada e a cota linimétrica é um processo complexo, sendo importante que a leitura e interpretação da curva-chave sejam feitas juntamente com a análise dos parâmetros hidráulicos do escoamento do canal da seção analisada, bem como as suas propriedades geométricas, geotécnicas e hidrológicas (JACCON et al., 1989).

Dias et al. (2019) reiteram a importância de uma análise e interpretação da curva-chave criteriosa, considerando todas as informações disponíveis, histórico de pesquisa e relatórios de inspeção, mudanças na régua e na posição transversal e possíveis mudanças nas condições de fluxo perto do local estudado.

CONCLUSÕES

A partir das séries históricas analisadas foi possível encontrar a curva-chave expressa pela equação do tipo potência e polinomial dos trechos do rio Acre, localizados nos municípios de Rio Branco, Brasiléia, Xapuri, Assis Brasil e Boca do Acre. Os valores de R² de cada curva estimada foram elevados, que elas apresentam boa representatividade da relação dos dados de vazão e de cota.

O leito móvel da bacia sedimentar do rio Acre proporcionou pequenas alterações em sua curva-chave, observando-se uma tendência de aumento da vazão nos últimos 20 anos analisados. Destaca-se a curva-chave do trecho do rio Acre que compreende a capital acreana, Rio Branco, que refletiu em mudanças no traçado da curva-chave, com aumento da vazão a um nível de água constante.

Desse modo, mesmo considerando que a curva-chave como uma alternativa que facilite a estimativa de vazões, é necessária que continue sendo realizadas medições vazões regulares in loco, devido à dinâmica das características hidráulicas e geométricas do rio ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

próximas três décadas na cidade de Rio Branco, Acre, Brasil. In: MOREIRA, J. G. V.; SERRANO, R. O. P.. **Desenvolvimento Científico e Tecnológico no Brasil: Interdisciplinaridade 2**. Rio Branco: Stricto Sensu, 2021.

ALBUQUERQUE, R. E. S.. **Os fatos sociais do enfrentamento da alagação de 2015 em Rio Branco-AC**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Plano estadual de recursos hídricos do Acre – Rio Branco**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2012.

ACRE. Secretaria de Estado de Planejamento. **Acre em números**. Rio Branco, 2017.

ADAMI, M. V. D.; BELLADONA, R.; OLIVEIRA, R. B.; VARGAS, T.; SANTOS, S. L.; ZAGO, M. A.; FRIZZO, E. E.. Curva Chave: estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Sepultura, Caxias do Sul – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20. **Anais**. Bento Gonçalves, 2013.

BALTOKOSKI, V.; TAVARES, M. H. F.; MACHADO, R. E.; OLIVEIRA, M. P.. Calibração de Modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos Rios Conrado e Pinheiro – Pato Branco (PR). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, p.253-261, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100026>

BONFANTI, D. C.; LIMA, F. T. B.; FERREIRA, L. C. A.; SANTOS, W. L.. A dinâmica fluvial do rio Acre: uma análise ambiental do trecho urbano da cidade de Rio Branco-AC. **Revista Geonorte**, v.11, p.154-174, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2020.V.1.N.37.154.174>

BUFFON, F. T.; BONOTTO, G.. Ferramentas de apoio na operação do sistema de alerta da bacia do Rio Acre do serviço geológico do Brasil – SGB/CPRM. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1. **Anais**. Porto Alegre, 2018.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F.. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre, 2013.

DIAS, L. C.; FERNANDES, L. L.; LOPES, D. F.. Elaboração e extrapolação de curvas-chave na Região Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.6, p.2285-2301, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.6.p2285-2301>

DINIZ, E. S.; THIELE, J.. **Modelos de regressão em R**. Viçosa, 2021.

DUARTE, A. F.. As chuvas e as vazões na bacia hidrográfica do rio Acre, Amazônia Ocidental: caracterização e implicações socioeconômicas e ambientais. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v.6, n.12, p.161-183, 2011.

JACCON, G.; CUDO, K. J.. **Hidrologia, Curva-Chave - Análise e traçado**. Brasília: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, 1989.

LATUF, M. O.. **Modelagem Hidrológica Aplicada ao Planejamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Acre**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, 2011.

MONTEFUSCO, C. L. A.; TAMWING, D. S.; CRUZ, W. M.; MOREIRA, J. G. V.; SERRANO, R. O. P.. Direito e diretrizes de acesso à água: contexto geral e abordagem para a cidade de

Rio Branco, Acre, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v.18, n.37, p.171-190, 2021.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A.. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte, 2007.

NOVO, E. C.; HORA, M. A. G. M.. Estabelecimento das Curvas-Chave, geração das séries de vazões e estimativa das vazões máximas outorgáveis nos postos da sub-bacia Guapi-Macacu, RJ. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v.14, n.4, p.464-482, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2019.v14n4.1585>

OLIVEIRA, A. V.; SERRANO, R. O. P.; MESQUITA, A. A.; MOREIRA, J. G. V.. Temporal trend and estimation of the hydrological risk of maximum rainfall and flow extremes in the city of Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.36, n.4, p.1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v04n02a08>

PORTO, R. L. L.; ZAHED FILHO, K.; SILVA, R. M.. **Medição de Vazão e Curva-chave**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

REITZ, K.; DIAS, S. F.. Análise comparativa da aplicação de métodos de calibragem de curvas-chave de estações instáveis na análise de consistência de dados fluviométricos da estação barreirinha, no rio Auti-Paraná, na bacia hidrográfica do rio Amazonas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.19, n.1, p.155-163, 2014.

RESENDE, M.; MACHADO, R. P.. Cotas fluviométricas do rio Acre, suas causas e implicações na política de colonização. **Acta Amazônica**, v.18, n.4, p.85-92, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921988183092>

ROLIM, P. A. M.; QUEIROZ, J. C. B.; JESUS, E. S.; OLIVEIRA, L. L.. Uso da modelagem hidrológica para calibração de curva-chave de vazão em Rio Amazônico com efeito remanso. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.5, p.273-283, 2020. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0026>

SANTOS, C. O.; FERREIRA, J. A.. Método do flutuador como ferramenta para monitoramento do comportamento hidrológico de córrego urbano. **Holos Environment**, v.19, n.4, p.614-639, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v19i4.12355>

SANTOS, W. L.; OLIVIERA, R. F.; CRISOSTOMO, C. A.. Dinâmica hidrossedimentológica do médio rio Acre: Investigação inicial do processo de assoreamento. **Revista GeoUECE**, v.10, p.57-66, 2021.

SEFIONE, A. L.. **Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SILVA, P. M. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G.. Modelagem da hidrógrafa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.258-265, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000300006>

SILVA JUNIOR, M. A. B.; FONSECA NETO, G. C.; CABRAL, J. J. S. P.. Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE. **Revista de Geografia**, v.37, n.1, p.222-240, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.239373>

TAMWING, D. S.; MONTEFUSCO, C. L. A.; SERRANO, R. O. P.; MESQUITA, A. A.; MOREIRA, J. G. V.. Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do rio Acre. **Research, Society and Development**, v.10, n.17, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24461>

GANDRA, C. F. A. T.; DAMÉ, R. C. F.; SIMONETE, M. A.. Predição da precipitação a partir das coordenadas geográficas no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.3, p.848-856, 2015.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).
The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157212866057601025/>