

ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA DO IGARAPÉ REDENÇÃO EM RIO BRANCO-AC

FERNANDA LIMA ROCHA¹, ANIELY ARAÚJO PORTO², JOSÉ GENIVALDO DO VALE MOREIRA³
E RODRIGO OTÁVIO PERÉA SERRANO⁴

¹Bel. e mestranda em Ciência, Inovação e Tecnologia para Amazônia, UFAC, Rio Branco-AC, nandalimar.eng@gmail.com;

²Bel. e mestranda em Geografia, UFAC, Rio Branco-AC, anielyporto98@gmail.com;

³Dr. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFAC, Rio Branco-AC, jose.moreira@ufac.br

⁴Dr. em Mecânica, Prof. PGCITA/PPGGE, UFAC, Rio Branco-AC, rodrigo.serrano@ufac.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
06 a 10 de outubro de 2025

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo estimar o tempo de concentração (T_c) da Bacia Hidrográfica do Igarapé Redenção (BHIR), localizada em Rio Branco, Acre. A bacia com uma área de aproximadamente 201,44km², apresenta escassez de informações hidrológicas detalhadas, o que dificulta o planejamento de obras de drenagem e manejo hídrico. Para suprir essas lacunas, foram aplicadas as equações empíricas de Kirpich e de Ven te Chow, subdividindo a bacia em onze sub-bacias para obter estimativas mais precisas. Os resultados mostraram valores semelhantes entre as duas equações, com a fórmula de Kirpich apresentando tempos de concentração menores, indicando escoamento superficial mais rápido. Essa diferença pode influenciar diretamente o dimensionamento de obras de drenagem, uma vez que menores tempos de concentração indicam maior risco de picos de vazão em menor tempo, exigindo soluções hidráulicas mais robustas e rápidas para evitar alagamentos. O estudo contribui para o acervo técnico da região, fornecendo subsídios para o planejamento e a mitigação de impactos associados a eventos hidrológicos extremos.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento; declividade; escoamento superficial.

ESTIMATE OF THE TIME OF CONCENTRATION OF THE IGARAPÉ REDENÇÃO BASIN IN RIO BRANCO-AC

ABSTRACT: This study aimed to estimate the time of concentration (T_c) of the Igarapé Redenção Watershed (BHIR), located in Rio Branco, Acre. The basin, with an area of approximately 201.44 km², lacks detailed hydrological information, which hinders the planning of drainage works and water management. To address these gaps, the empirical equations of Kirpich and Ven Te Chow were applied, subdividing the basin into eleven sub-basins to obtain more accurate estimates. The results showed similar values between the two equations, with the Kirpich formula yielding shorter times of concentration, indicating faster surface runoff. This difference can directly influence the design of drainage works, as shorter times of concentration suggest a higher risk of peak flows in a shorter period, requiring more robust and rapid hydraulic solutions to prevent flooding. The study contributes to the technical knowledge of the region, providing support for planning and mitigating impacts associated with extreme hydrological events.

KEYWORDS: Geoprocessing; slope; surface runoff.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é reconhecida como uma unidade de gestão de recursos hídricos, conforme estabelecido pela Lei nº 9.433/97, regulamentada pela Agência Nacional das Águas (ANA). Nas últimas décadas, observa-se o crescimento de estudos voltados à gestão integradas das bacias, diante do aumento do consumo de água, impulsionado pelo aprimoramento no desenvolvimento de projetos de desenvolvimento urbano mais eficientes (MOTA; KOBUYAMA, 2015).

Entre os parâmetros hidrológicos essenciais para o planejamento e a gestão de bacias destaca-se o tempo de concentração (T_c), definido como o intervalo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante do divisor de águas alcance o exutório, ou seja, o ponto de saída da bacia hidrográfica (TERRA et al., 2007). O T_c exerce papel fundamental no dimensionamento de estruturas de drenagem, na definição de intervalos de monitoramento hidrológico e na implementação de sistemas de alerta para eventos extremos, como inundações (MOTA; KOBİYAMA, 2015).

Apesar da sua relevância, muitas bacias hidrográficas, especialmente em regiões amazônicas carecem de monitoramento sistemático, o que dificulta a obtenção de dados confiáveis para subsidiar o planejamento e o manejo adequado. Uma alternativa amplamente utilizada para suprir essa lacuna é a aplicação de equações empíricas, concebidas a partir de observações práticas do comportamento hidrológico de bacias naturais (CHOW, 1962). Entre essas fórmulas, destacam-se as propostas por Kirpich e Ven te Chow, desenvolvidas com base em análises de bacias rurais nos Estados Unidos e aplicadas em diferentes contextos hidrológicos (ALMEIDA et al., 2013).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo estimar o tempo de concentração (T_c) da bacia hidrográfica do Igarapé Redenção (BHIR), localizada em Rio Branco, Acre, utilizando as equações empíricas de Kirpich e Ven te Chow. Para tal, foram empregados softwares de geoprocessamento e de modelagem hidrológica, buscando maior confiabilidade nos resultados e na análise comparativa dos métodos. A estimativa do T_c é uma etapa fundamental no dimensionamento de estruturas de drenagem, no planejamento do uso e ocupação do solo urbano, além de contribuir para a mitigação de impactos associados a eventos hidrológicos extremos, como alagamentos e inundações que vêm se intensificando ao longo dos anos.

MATERIAL E MÉTODOS

Segundo Barrela (2001), a bacia hidrográfica pode ser definida como o conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, formada nas regiões mais elevadas do relevo por divisores de água. Assim, as águas das chuvas podem escoar superficialmente, formando os riachos e rios, ou infiltram no solo, alimentando os lençóis freáticos e nascentes. Já para Pinto et al. (2016, p.38) a bacia hidrográfica é “a área geográfica coletora de água de chuva que, escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada”. Nota-se, portanto, que as definições apresentam nuances diferentes conforme a abordagem do autor. Embora apresentem abordagens distintas, ambos os conceitos convergem para a compreensão da bacia como unidade natural de coleta e escoamento das águas.

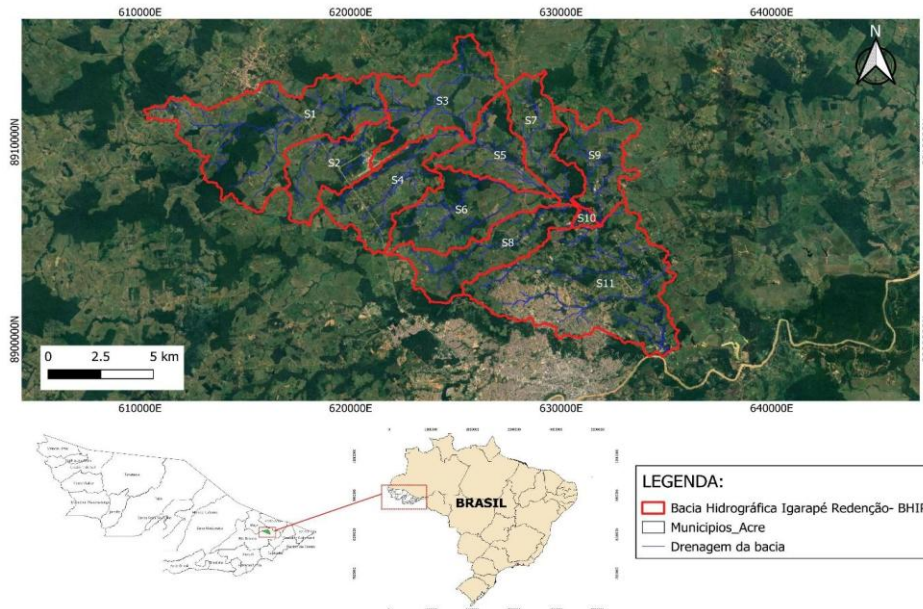
As bacias hidrográficas são sistemas abertos, caracterizados pelo equilíbrio dinâmico entre entrada e saída de fluxos hídricos (LIMA; ZAKIA, 2000). Diversos fatores, como cobertura vegetal, relevo, clima e intervenções antrópicas, influenciam diretamente o comportamento hidrológico (TUCCI, 2004). A Bacia Hidrográfica do Igarapé Redenção (BHIR), objeto deste estudo, está localizada em Rio Branco, capital do Acre, e tem seu exutório desaguando no rio Acre.

Uma característica marcante da bacia é que o fluxo de água é fortemente afetado pela cobertura vegetal e pelos índices pluviométricos registrados na região (ACRE, 2010). Conforme, Araújo et al. (2022), a bacia apresenta predominância de áreas de pastagem (70,2%), seguidas por cobertura vegetal densa (15,1%) e áreas urbanizadas (14,7%). Além disso, Brito (2023) destaca que a bacia do Igarapé Redenção apresenta elevada vulnerabilidade à perda de solos, devido à predominância de solos arenosos e sedimentares, o que, associado à intensa precipitação, contribui para o carreamento de sedimentos.

A análise do T_c envolve múltiplos parâmetros, incluindo uso e cobertura do solo, comprimento do rio principal, forma da bacia e intensidade de precipitação, tornando o processo complexo (ARAÚJO, 2011). De acordo com Mota e Kobiyama (2015), bacias com maior permeabilidade apresentam maior infiltração e, conseqüentemente, T_c mais elevado. Por outro lado, o aumento de áreas impermeabilizadas, como ocorre em zonas urbanizadas, reduz o tempo de concentração devido ao incremento do escoamento superficial (TUCCI, 2004).

Para a delimitação da bacia hidrográfica, utilizou-se o software QGIS 3.40.4 o que possibilitou o download de imagens de satélite da NASA por meio do plugin *SRTM Downloader*, com resolução espacial de 30m. Com essa imagem, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), adotando-se o sistema de coordenadas geográficas ESPG:31979 – SIRGAS 2000 / UTM ZONE 19S.

Figura 1 – Localização e Delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé Redenção – Rio Branco/AC



Fonte: Autor, 2025.

Em seguida, foi realizado o tratamento das imagens, com as correções necessárias do relevo e drenagem. Os arquivos trabalhados em formato raster (tiff) foram transformados para formato vetorial *shapefile*, o que possibilitou um estudo mais detalhado, em decorrência da representação mais realista da área estudada.

Com o auxílio do software HEC-HMS, versão 4.9, a bacia hidrográfica foi subdividida em 11 sub-bacias menores, visando obter parâmetros hidrológicos mais detalhados e gerar os dados necessários para os cálculos do Tempo de Concentração (T_c).

A estimativa do T_c foi realizada com base em fórmulas empíricas amplamente aplicadas na hidrologia. A equação de Kirpich, desenvolvida a partir de análises em bacias rurais nos Estados Unidos (ALMEIDA et al., 2013), é expressa por:

$$t_c = 0,0663 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$$

Onde t_c refere-se a tempo de concentração, em horas (para minutos multiplicou-se por 60 min), L é o comprimento da bacia do curso d'água do ponto a montante até o ponto de exutório da bacia em quilômetros (km) e o S é a inclinação do caminho de fluxo mais longo (m/m).

Adicionalmente, foi aplicada a equação de Ven te Chow, recomendada para bacias com áreas de drenagem entre 2 e 50 km² (DUARTE et al., 2024):

$$t_c = 0,160 \times L^{0,64} \times S^{-0,32}$$

Onde t_c refere-se a tempo de concentração, em horas (para minutos multiplicou-se por 60 min), L é o comprimento da bacia do curso d'água do ponto a montante até o ponto de exutório da bacia em quilômetros (km) e o S é a inclinação do caminho de fluxo mais longo (m/m)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise morfométrica indicou que a Bacia Hidrográfica do Igarapé Redenção (BHIR) possui uma área aproximada de 201,44 km², com um comprimento do talvegue principal em torno de 22,93 km e declividade média de 0,0094 m/m. Grande parte de extensão territorial é caracterizada como área predominantemente rural, com cobertura vegetal natural, o que contribui para a redução do escoamento superficial, devido ao aumento das taxas de evapotranspiração e infiltração (TUCCI, 2004). Essa característica sugere que a resposta hidrológica da bacia tende a ser mais lenta, com menores picos de vazão durante eventos de precipitação.

A aplicação das equações empíricas de Kirpich e Ven te Chow possibilitou estimar o tempo de concentração (Tc) de cada sub-bacia. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados estimados do Tc pelas fórmulas de Kirpich e Ven te Chow

Sub-bacia	Comprimento do fluxo principal (km)	Declividade (m/m)	Tc (h)		Tc (min)	
			Kirpich	Ven te Chow	Kirpich	Ven te Chow
SUB_01	14.314	0.004	4.4	5.2	261	311
SUB_02	9.205	0.004	3.2	4.0	190	239
SUB_03	7.614	0.006	2.3	3.1	139	184
SUB_04	9.475	0.004	3.0	3.8	183	231
SUB_06	11.229	0.004	3.7	4.5	221	270
SUB_05	8.860	0.005	2.7	3.5	161	208
SUB_08	11.852	0.003	4.1	5.0	249	299
SUB_07	9.197	0.004	3.0	3.8	180	228
SUB_09	7.987	0.005	2.6	3.3	153	200
SUB_10	2.095	0.005	0.9	1.4	53	83
SUB_11	15.636	0.003	4.9	5.7	295	345

Os valores de Tc variaram entre 0,9 h (53 min), na sub-bacia SUB_10, e 4,9 h (295 min), na SUB_11, para a fórmula de Kirpich, enquanto os valores obtidos pela equação de Ven te Chow foram ligeiramente superiores, variando de 1,4 h (83 min) a 5,7 h (345 min).

Essa diferença entre os métodos já era esperada, pois a fórmula de Kirpich tende a gerar valores menores, uma vez que foi desenvolvida para bacias rurais com escoamento rápido (ALMEIDA et al., 2013). Já a equação de Ven te Chow, recomendada para áreas menores e com diferentes condições hidrológicas, considera uma resposta mais lenta do escoamento (ALMEIDA et al., 2013). Apesar das diferenças, os resultados apresentaram tendências semelhantes, confirmando a consistência das estimativas.

A análise geral indica que a BHIR apresenta valores elevados de Tc, corroborando a presença de áreas permeáveis que favorecem a infiltração e retardam o escoamento superficial (CHOW, 1962). Condição positiva do ponto de vista hidrológico, pois permite maior tempo de resposta durante eventos de chuva intensa, possibilitando a adoção de medidas preventivas e reduzindo o risco de enchentes súbitas.

Os resultados evidenciam que o tempo de concentração apresenta pouca variabilidade entre as sub-bacias, logo identificamos resultados semelhantes. Além disso, a BHIR apresenta valores elevados para o tempo de concentração, indicando uma dinâmica hidrológica mais lenta diante de uma precipitação (CHOW, 1962). Corroborando com essa característica um alto Tc, também é possível a realização de medidas preventivas uma vez que, com o Tc alto o tempo de resposta é maior. Igualmente, boa parte da água precipitada não é escoada e sim infiltrada aumentando sua capacidade de infiltração e ocasiona picos de vazão abaixo da média.

CONCLUSÃO

A análise do tempo de concentração (T_c) da Bacia Hidrográfica do Igarapé Redenção (BHIR) demonstrou que os valores estimados pela equação de Kirpich foram sistematicamente inferiores aos obtidos pela equação de Ven te Chow, ainda que ambas sejam recomendadas para bacias com características semelhantes às estudadas. Essa diferença confirma a influência dos pressupostos de cada modelo sobre os resultados e evidencia a necessidade de avaliar múltiplas metodologias para obter estimativas mais robustas.

Os resultados obtidos indicam que a BHIR apresenta tempos de concentração elevados, refletindo uma dinâmica hidrológica relativamente lenta, associada à predominância de áreas permeáveis e cobertura vegetal significativa. Essa característica favorece a infiltração e reduz os picos de vazão, contribuindo para menor vulnerabilidade a enchentes repentinas. Contudo, o avanço da urbanização pode alterar esse comportamento, tornando indispensável o monitoramento contínuo.

Diante da intensificação de eventos hidrológicos extremos observada nos últimos anos, torna-se essencial ampliar os estudos sobre variáveis hidrológicas e aplicar ferramentas de geoprocessamento e modelagem para subsidiar o planejamento urbano e o manejo preventivo dos recursos hídricos.

Além disso, a escassez de dados hidrológicos no estado do Acre reforça a relevância de pesquisas como esta, que contribuem para o acervo técnico e oferecem suporte à elaboração de projetos de drenagem e políticas públicas voltadas à mitigação de impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

- ACRE. Governo do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000): Documento Síntese. 2 ed. Rio Branco: SEMA. 2010. 356 p.
- ARAÚJO, Laís Medeiros de; MEDEIROS, Gerson Araujo de; SERRANO, Rodrigo Otávio Peréa. Análise morfométrica da bacia hídrica do Igarapé Redenção, Rio Branco, estado do Acre, Brasil. *Jornal de Engenharia Pesquisar*, v. 2, n. 16, 2022
- ALMEIDA, I. K.; ANACHE, J. A. A.; ALMEIDA, V. R.; SOBRINHO, T. A. Estimativa do tempo de concentração em bacia hidrográfica. XX Simpósio Brasileiro de Recurso Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. Anais [...]. Bento Gonçalves: ABRH, 2013.
- CHOW, V.T. Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basis. *Engineering Experiment Station Bulletin n. 462*. Urbana, III.: University of Illinois College of Engineering, 1962. 104p.
- LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.
- MOTA, A. A.; KOBIYAMA, M. Reconsiderações sobre a fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 1, p. 55-59, 2015.
- SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos*. Porto Alegre, RS: ABRH. Vol. 10, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 5-23, 2005.
- SILVA, A.; TERRA, VSS; VIEGAS FILHO, J. S. Determinação do tempo de concentração da bacia montante do arroio chasqueiro. In: *Congresso de Iniciação Científica-CIC*. 2007.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2004. 943 p.