

ESTIMATIVA DAS COTAS DE ALERTA E DE EMERGÊNCIA : BACIA DO RIO APODI- MOSSORÓ

Bárbara Stephanie de Souza Anízio¹ ; Joana Darc Freire de Medeiros² & Adelenia Gonçalves Maia³

RESUMO – Este trabalho estimou cotas de alerta e de emergência de cheia em pontos estratégicos da bacia do rio Apodi-Mossoró, localizada no semiárido do Rio Grande do Norte, região vulnerável a extremos hidrológicos devido à irregularidade das chuvas. A metodologia envolveu a análise estatística de cotas máximas anuais obtidas em estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN). Foram analisadas as estações de Pau dos Ferros, Pedra de Abelhas e Governador Dix-Sept Rosado, utilizando-se métodos de determinação dos tempos de recorrência através da análise de frequência das cotas máximas anuais. Os resultados mostraram diferenças significativas entre as estações, indicando que algumas seções apresentam risco de inundação para eventos com tempos de recorrência inferiores a 20 anos. Verificou-se também a necessidade de ajustes das cotas a partir de informações topográficas e da ocupação das margens fluviais, visando maior representatividade das condições reais de inundação. Conclui-se que a metodologia aplicada, atrelada a outros estudos, constitui uma importante ferramenta para o monitoramento hidrológico e a gestão de riscos, podendo subsidiar ações da defesa civil e o aprimoramento de sistemas de alerta de cheias na bacia.

Palavras-Chave –cheia; cota de alerta; Bacia Apodi-Mossoró

ABSTRACT - This study estimated flood warning and emergency levels at strategic points in the Apodi-Mossoró River basin, located in the semi-arid region of Rio Grande do Norte, Brazil, an area highly vulnerable to hydrological extremes due to irregular rainfall patterns. The methodology involved the statistical analysis of annual maximum water levels obtained from fluviometric stations operated by the National Water Agency (ANA) and the Water Management Institute of Rio Grande do Norte (IGARN). The stations of Pau dos Ferros, Pedra de Abelhas and Governador Dix-Sept Rosado were analyzed using frequency analysis and return periods to define preliminary warning and emergency levels. The results revealed significant differences among the stations, indicating that some sections are already susceptible to flooding during events with return periods shorter than 20 years. The study also highlighted the need for adjustments based on topographic information and riverbank occupation conditions to better represent real flooding scenarios. It is concluded that the proposed methodology, combined with additional studies, represents an important tool for hydrological monitoring and flood risk management, supporting civil defense actions and improving flood warning systems within the basin.

Key-words – floods; warning system; Apodi-Mossoró river basin

¹) Dep. De Engenharia Civil e Ambiental/UFRN, Lagoa Nova, Natal/RN, CEP 59078-970; bstephanie2796@gmail.com

²)Dep. De Engenharia Civil e Ambiental/UFRN, Lagoa Nova, Natal/RN, CEP 59078-970; joanadarc.medeiros@gmail.com

³) Dep. De Engenharia Civil e Ambiental/UFRN, Lagoa Nova, Natal/RN, CEP 59078-970; adelenia.maia@ufrn.br

1. INTRODUÇÃO

As inundações são os desastres naturais mais recorrentes no Brasil, com impactos mais intensos em regiões onde os sistemas de monitoramento e gestão de riscos ainda são insuficientes. O semiárido nordestino, caracterizado pela elevada variabilidade das precipitações, alternando longos períodos de seca com chuvas intensas e concentradas, associado às altas taxas de evapotranspiração, apresenta vulnerabilidade intrínseca a eventos hidrológicos extremos (SOUZA e LIMA, 2016). Nesse contexto, a bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró destaca-se não apenas por sua importância hidrológica, mas também pela vulnerabilidade das populações que vivem às suas margens frente aos eventos de cheia (CUNHA, 2010).

A ocorrência de chuvas intensas em curtos intervalos de tempo favorece o rápido escoamento superficial e o aumento abrupto dos níveis dos rios, dificultando a previsão e a gestão de eventos extremos. Historicamente, a bacia tem registrado episódios frequentes de cheias, com impactos socioeconômicos significativos, incluindo danos à infraestrutura urbana, prejuízos à agricultura e riscos à saúde pública. Situações semelhantes observadas em bacias hidrográficas análogas do semiárido reforçam a magnitude desses eventos e a necessidade de ações preventivas eficazes.

Diante desse cenário, a estimativa das cotas de cheia e a avaliação da vulnerabilidade tornam-se fundamentais para o planejamento de medidas de prevenção e mitigação. As cotas de alerta e de emergência, associadas a sistemas de monitoramento hidrológico, correspondem a níveis críticos do rio que, quando atingidos, devem acionar um conjunto de ações coordenadas de prevenção e resposta, com o objetivo de reduzir os impactos das inundações sobre a população, a infraestrutura e as atividades econômicas. A definição dessas cotas depende da análise de séries históricas hidrológicas e do uso de ferramentas como geotecnologias e modelos hidrológicos, embora limitações na rede de monitoramento ainda representem um desafio para a bacia do Apodi-Mossoró.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo estimar as cotas de alerta de cheia e de emergência em pontos estratégicos da bacia do rio Apodi-Mossoró, subsidiando o monitoramento hidrológico e a tomada de decisão na gestão de riscos de inundação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A bacia do rio Apodi-Mossoró ocupa uma área aproximada de 14.276 km² (Figura 1), correspondendo a cerca de 26,8% do território do Rio Grande do Norte, e abrange municípios

relevantes como Mossoró, Apodi e Caraúbas, sendo essencial para o abastecimento humano, irrigação, pecuária e diversas atividades econômicas. Sua dinâmica hidrológica influencia diretamente a qualidade de vida da população e o desenvolvimento regional, historicamente condicionado tanto pela escassez quanto pelos excessos hídricos. A bacia apresenta relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, com áreas mais acentuadas próximas às nascentes, e solos com baixa capacidade de infiltração, favorecendo o escoamento superficial rápido e aumentando a suscetibilidade a cheias repentinas. Esse cenário é agravado pela ocupação desordenada, especialmente em áreas de várzea e preservação permanente, intensificando os riscos de inundação. O clima semiárido, marcado por longos períodos secos e chuvas irregulares concentradas entre janeiro e maio, contribui para a ocorrência de eventos extremos, nos quais precipitações intensas e de curta duração provocam elevações rápidas no nível dos rios, afetando áreas urbanas e rurais da bacia.

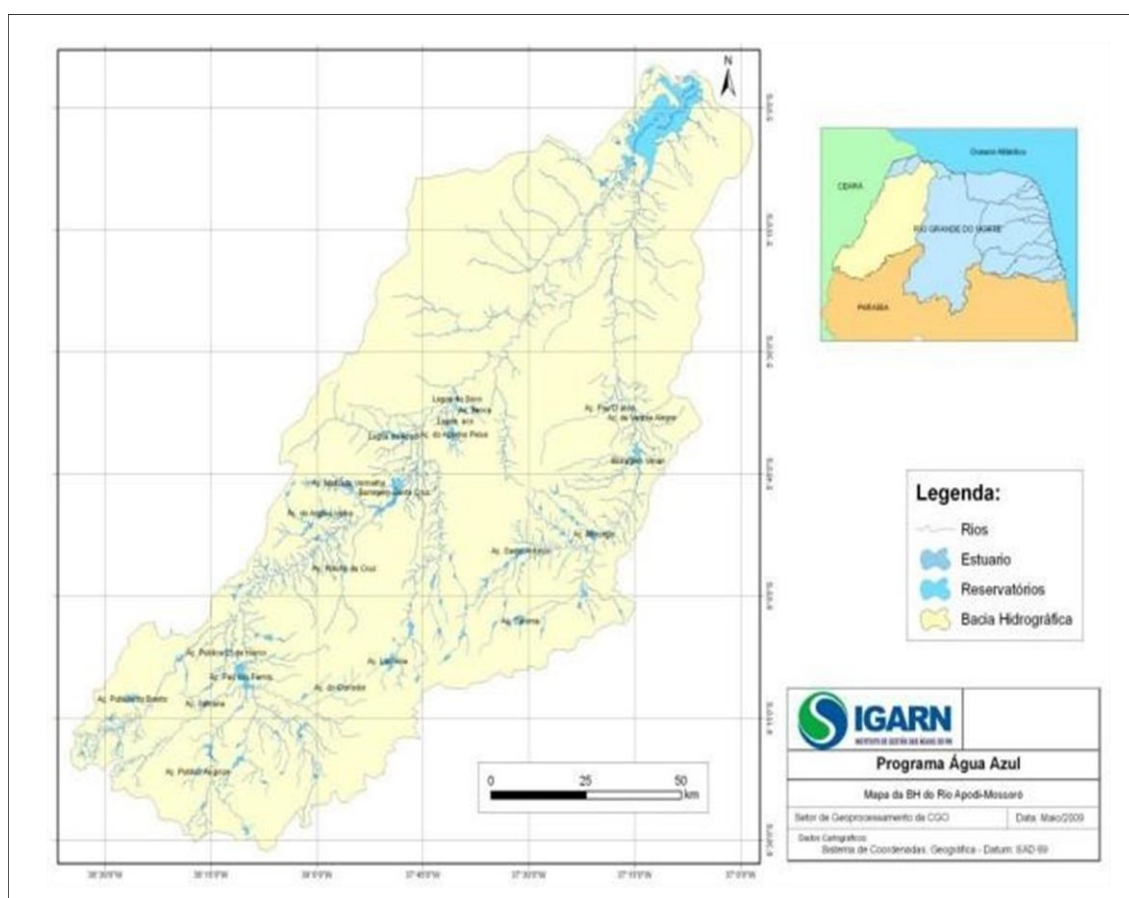


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró (Fonte: IGARN, 2009)

2.2 Análise Estatística dos dados

A análise estatística dos dados hidrológicos da bacia do rio Apodi-Mossoró foi estruturada a partir de uma abordagem criteriosa de seleção de estações fluviométricas, tratamento das séries históricas e aplicação de métodos estatísticos voltados à análise de eventos extremos. Inicialmente, procedeu-se ao levantamento das estações disponíveis na bacia por meio da plataforma HidroWeb, da Agência Nacional de Águas (ANA), complementada por informações do Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN).

A seleção das estações considerou critérios de localização geográfica e consistência das séries históricas, buscando representar diferentes trechos da bacia (alto, médio e baixo curso) e garantir dados confiáveis. A distribuição espacial adequada é determinante para captar a variabilidade hidrológica ao longo do sistema fluvial. Com base nesses critérios, foram selecionadas três estações estratégicas: Pau dos Ferros, no alto curso; Pedra de Abelhas, na porção central; e Governador Dix-Sept Rosado, no baixo curso, conforme ilustrado na Figura 2.

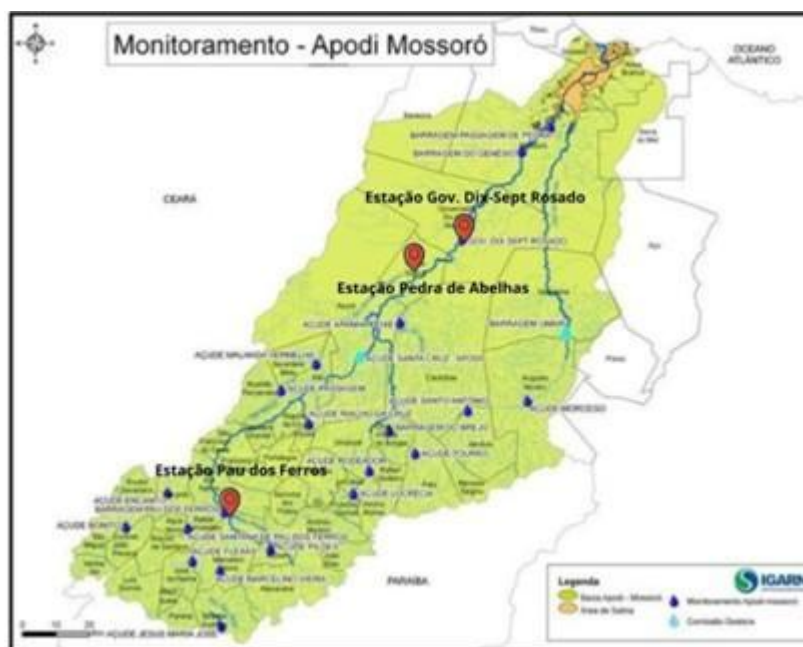


Figura 2 - Bacia Apodi-Mossoró e sua rede hidrográfica com as 3 estações destacadas

Com as estações definidas, realizou-se a coleta dos dados na plataforma HidroWeb (ANA, 2025). Para cada estação, foram obtidos os valores de cotas diárias máximas registradas a cada ano,

ou seja, o maior nível do rio observado em cada período de 12 meses. As séries analisadas totalizaram 47 anos para a estação de Pau dos Ferros, 63 anos para a estação de Pedra de Abelhas e 39 anos para a estação de Governador Dix-Sept Rosado, garantindo uma base consistente para a análise de frequência de cheias.

Os dados coletados foram organizados em planilhas eletrônicas, permitindo sua sistematização e tratamento. Antes da aplicação dos métodos estatísticos, foi realizada uma etapa de verificação da consistência das séries, com a identificação e exclusão de registros incompletos ou inconsistentes. Foram desconsiderados anos com ausência de dados em períodos chuvosos críticos, bem como aqueles com registros insuficientes ou concentrados na estiagem, uma vez que tais situações comprometeriam a identificação dos picos de cheia e introduziriam vieses na análise.

Após o tratamento, os valores válidos de cotas máximas anuais foram organizados em planilha eletrônica para a análise de frequência. Em seguida, aplicou-se o critério de Kimball para o cálculo da frequência empírica, relacionando a ordem de cada valor ao número total de observações. Essa fórmula permite entender quantas vezes um certo nível do rio pode se repetir ao longo do tempo. Primeiro, cada valor da cota máxima foi classificado por ordem decrescente, sendo o maior valor o de ordem 1, o segundo maior de ordem 2, e assim por diante. Depois disso, foi usada a seguinte fórmula (Equação 1) para calcular a frequência de recorrência de cada valor.

$$Fr = O / (N + 1) \quad \text{_____} \quad (1)$$

Onde, O é a ordem do valor na lista ordenada; N é o número total de anos da série. A partir dessa frequência, foi possível calcular o tempo de recorrência (Equação 2):

$$Tr = 1 / Fr \quad \text{_____} \quad (2)$$

Nesse sentido, definiram-se duas categorias principais de referência para a gestão de riscos. A cota de alerta, que corresponde ao nível a partir do qual a Defesa Civil começa a tomar as devidas providências, tais como avisar e remover a população. E a cota de emergência, que representa um patamar crítico, associado à iminência ou ocorrência de inundações significativas, exigindo ações imediatas como evacuação de áreas, resgates e ativação de planos de contingência.

Neste trabalho, foram adotados, de forma preliminar, os tempos de recorrência de 10 anos para a definição da cota de alerta e de 20 anos para a definição da cota de emergência, com o objetivo de avaliar a aplicabilidade da metodologia proposta. Esses valores não representam critérios universais para a definição dos níveis de alerta, uma vez que a escolha das cotas operacionais deve considerar também aspectos locais de vulnerabilidade, como a ocupação das margens do rio, a presença de residências, equipamentos públicos, vias de acesso e demais infraestruturas suscetíveis à inundação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estação Fluviométrica de Pau dos Ferros (Código: 37030000)

No trecho superior da bacia, representado pela estação de Pau dos Ferros, foram analisados os registros de uma série de 47 anos, retirada da série histórica de 1973 a 2024. A cota máxima anual mais elevada observada em todo o período analisado foi de 596 cm, ocorrida em 1974, com tempo de recorrência estimado em 48 anos. O perfil transversal da seção (Figura 3) mostra que níveis acima dos 577 cm extravasam o leito maior do rio e ocupa as várzeas de inundação. Na figura 3 também são apresentadas as cotas de alerta e de emergência, com tempos de recorrência de 10 e 20 anos, respectivamente. Ambas as cotas se encontram abaixo do nível de extravasamento, ficando a cota de emergência muito próxima deste limite.



Figura 3 - Seção transversal do rio na localidade da estação Pau dos Ferros

3.2 Estação Fluviométrica de Pedra de Abelhas (Código: 37080000)

A estação de Pedra de Abelhas, localizada no médio curso da bacia, reflete as condições hidrológicas influenciadas pela área de contribuição a montante. No período de 1937 a 2024 foram analisados os dados de 63 anos. O nível mais crítico atingido em toda a série histórica foi de 750 cm em 1944. Este pico de cheia apresenta um tempo de recorrência estimado em 64 anos, sendo o evento de maior magnitude. A menor cota máxima anual observada na série foi de 64 cm e ocorreu em 2012.

A curva de permanência das vazões máximas anuais mostra que nesta seção o rio apresenta níveis acima dos 600 cm em menos de 10% dos anos analisados. Pelo perfil transversal da seção, o nível máximo levantado foi de 695 (figura 4), que não necessariamente representa a cota a partir da qual as margens são inundadas, visto que para este levantamento é necessário aumentar o monitoramento do perfil da seção transversal. A figura 4 também apresenta as cotas de alerta e de emergência levantadas a partir da metodologia apresentada.

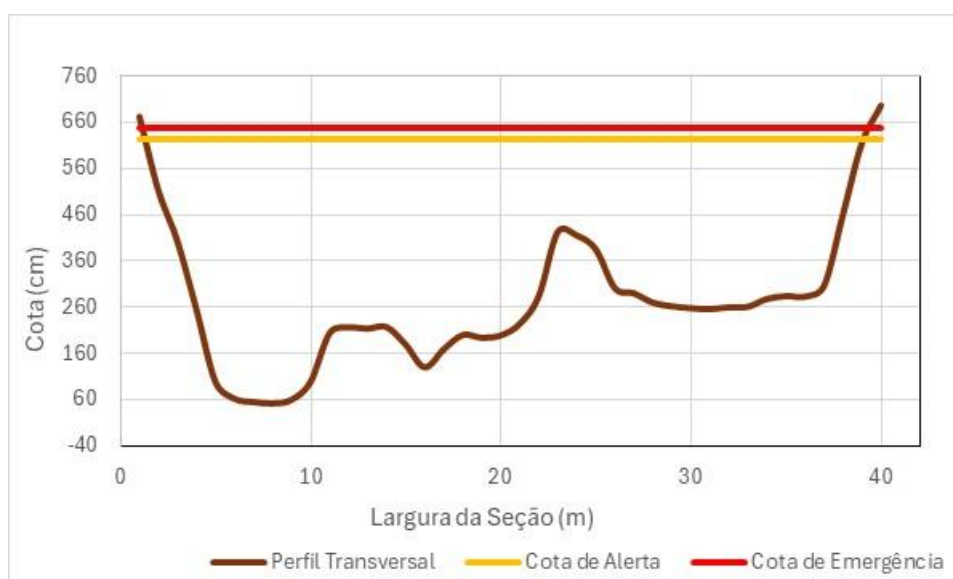


Figura 4 - Seção transversal do rio na localidade da estação Pedra de Abelhas

3.3 Estação Fluviométrica de Governador Dix-Sept Rosado (Código: 37084000)

No baixo curso da bacia, a estação de Governador Dix-Sept Rosado concentra o volume de escoamento de toda a área de drenagem, refletindo em vazões potencialmente mais elevadas. Os dados de uma série histórica de 39 anos (1986-2024) indicam que o pico máximo em todo o período

analisado foi de 671 cm em 2008, com Tr de 40 anos. A menor cota máxima anual registrada nesta estação foi de 38 cm, em 2014.

Este trecho do rio, por ser o receptor final de toda a drenagem da bacia, é frequentemente o mais suscetível a grandes inundações, especialmente em áreas urbanas que se desenvolveram nas planícies de inundação. As cotas elevadas e a recorrência significativa de eventos extremos nesta estação reforçam a urgência na implementação de medidas estruturais e não estruturais de mitigação de riscos, incluindo o planejamento do uso e ocupação do solo e a criação de planos de contingência. A seção transversal (Figura 5) indica que cotas superiores a 530 cm já inundam as margens direita do rio. A cota de alerta se encontra abaixo do nível de extravasamento, no entanto a cota de emergência apresenta o nível superior à cota de extravasamento.

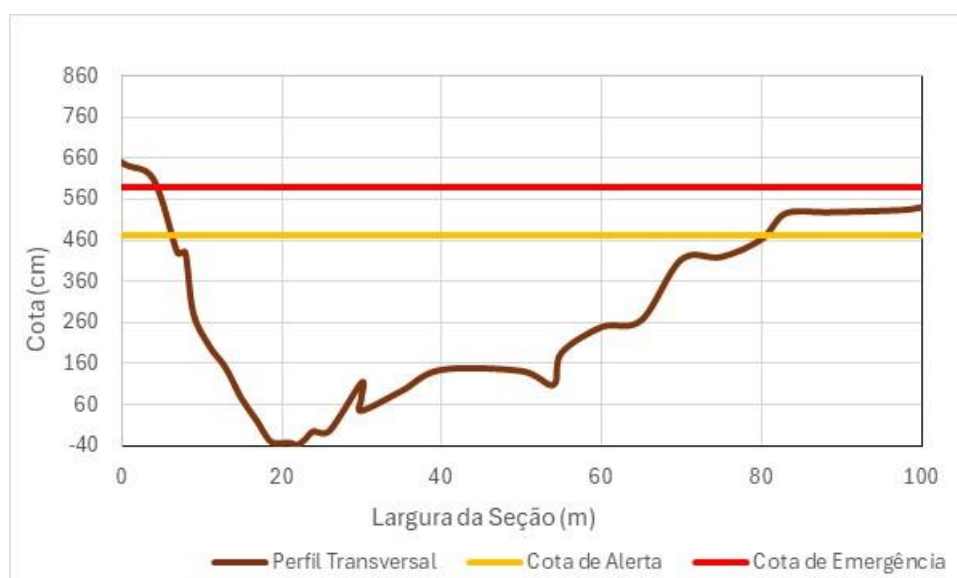


Figura 5 - Seção transversal do rio na localidade da estação Gov. Dix-Sept Rosado

A tabela 1 apresenta os valores das cotas para os diferentes tempos de recorrência, representando as cotas de alerta e de emergência das seções.

Tabela 1 – Cotas de emergência e alerta das estações estudadas.

Estação	Tr (anos)	Cota (cm)	Tipo de cota	Atinge o nível de extravasamento
Pau dos Ferros	10	468	Alerta	Não
	20	566	Emergência	Não (no limite)
Pedra de Abelhas	10	622	Alerta	Não
	20	647	Emergência	Não
Gov. Dix-Sept Rosado	10	471	Alerta	Não
	20	590	Emergência	Sim

A metodologia que usamos para estimar as cotas de alerta e emergência, baseada nos tempos de recorrência, é uma ferramenta estatística valiosa para gerenciar riscos de cheias. No entanto, é importante reconhecer que sua aplicação na prática, ao lidar com a realidade de uma bacia hidrográfica, tem suas limitações. Em algumas estações que analisamos, percebemos que os níveis de alerta e emergência levantados não necessariamente se encontram nos níveis adequados, quando comparamos com a cota de extravasamento.

Na estação de Pau dos Ferros, os níveis apresentaram bons resultados, considerando as diferentes funções das cotas de alerta e de emergência, no entanto em Pedra de Abelhas estes níveis ficaram muito abaixo do esperado, visto que o levantamento da seção transversal não chegou a um nível que indicasse a cobertura de toda a calha menor do rio. Na estação Governador Dix-Sept Rosado o nível de emergência ficou acima da cota de extravasamento, o que indica que, se ela fosse usada, as ações de emergência, como evacuação de áreas, só seriam acionadas após o extravasamento do rio. Assim, existe a necessidade de ajustar as cotas de alerta e de emergência com base em dados e informações de campo.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos evidenciaram diferenças significativas entre as seções fluviométricas analisadas, demonstrando que algumas áreas da bacia do rio Apodi-Mossoró já apresentam risco de inundação para eventos com tempos de recorrência inferiores a 20 anos. As análises mostraram que os níveis estimados para as cotas de alerta e emergência nem sempre coincidem com as cotas de extravasamento observadas nas seções transversais, indicando limitações da utilização exclusiva de critérios estatísticos na definição operacional desses níveis. Na estação de Pau dos Ferros, os valores

estimados mostraram-se compatíveis com as características da seção analisada, enquanto em Pedra de Abelhas os níveis calculados permaneceram abaixo das condições esperadas de extravasamento, evidenciando a necessidade de maior detalhamento topográfico da seção. Já na estação de Governador Dix-Sept Rosado, a cota estimada para emergência apresentou valor superior ao nível de extravasamento da margem, indicando a possibilidade de ocorrência de inundação antes do acionamento das medidas emergenciais. Esses resultados reforçam a importância da integração entre análises estatísticas, características geométricas das seções e ocupação das margens fluviais para a definição mais representativa das cotas operacionais de alerta e emergência.

A metodologia utilizada nesta pesquisa deve ser compreendida como um ponto de partida para a análise dos níveis de alerta e emergência na bacia. Entretanto, os estudos precisam ser aprofundados por meio da ampliação e detalhamento dos dados das seções transversais do curso d'água nas estações fluviométricas. Além disso, a definição final das cotas de alerta e emergência requer análises mais detalhadas da ocupação das margens fluviais, permitindo identificar os níveis a partir dos quais a população, as infraestruturas urbanas e as atividades econômicas passam a ser efetivamente impactadas pelas inundações.

Outro passo fundamental consiste em integrar esses níveis de referência aos treinamentos e protocolos de atuação das equipes responsáveis pela gestão de riscos, de modo a tornar os sistemas de alerta mais eficientes e operacionais. Para isso, é essencial a atuação coordenada entre órgãos de monitoramento hidrológico, Defesa Civil, prefeituras, Corpo de Bombeiros, instituições ambientais e gestores de recursos hídricos, garantindo ações preventivas, comunicação eficiente com a população e respostas rápidas em situações de emergência.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **HidroWeb**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 01 jun. 2025.
- CUNHA, L. G. **Hidrografia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- IGARN – Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Apodi-Mossoró**. Natal, RN: IGARN, 2009.
- SOUZA, M. J. L.; LIMA, C. M. Gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas: desafios e inovações. **Geografia e Pesquisa**, v. 14, n. 2, p. 133-148, 2016