

A estiagem de 2023 como evento hidrológico severo na bacia do Amazonas.

The 2023 drought as hydrologic extreme event in Amazon Basin.

Jussara Socorro Cury Maciel, doutora, Serviço Geológico do Brasil – SGB

jussara.maciell@sgb.gov.br

Luciana da Silva Loureiro, geógrafa, Serviço Geológico do Brasil – SGB

luciana.loureiro@sgb.gov.br

Renato Cruz Senna, mestre, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - Inpa

renato.senna@inpa.gov.br

Andre Luis Martinelli Real dos Santos, doutor, Serviço Geológico do Brasil – SGB

andre.santos@sgb.gov.br

Resumo

Os processos de enchente e vazante são eventos comuns em qualquer sistema hidrológico. Em alguns casos, em função de condições naturais ou antrópicas, tais eventos podem ocorrer de maneira extrema, trazendo diversos prejuízos à população. Na região Amazônica, a proximidade das comunidades com os cursos d'água e a sua alta dependência dos rios como vias de transporte, tornam a população ainda mais suscetível a eventos extremos como cheias e inundações. Este artigo visa demonstrar a evolução do evento da estiagem de 2023 na Bacia do Amazonas, que contempla os rios Solimões-Amazonas, Negro, Purus, Madeira e Branco, bem como retratar os eventos climáticos ocorridos que provocaram o evento severo na região e o papel do monitoramento hidrológico nesse contexto. Este estudo analisou os relatórios técnicos de Monitoramento climático da Bacia Amazônica e também boletins técnicos de monitoramento hidrológico da Bacia do Amazonas de 2023, emitido pelo Serviço Geológico do Brasil.

Palavras-chave: Vazante; Bacia do Amazonas; Monitoramento Hidrológico.

Abstract

Flood and drought processes are common events in any hydrological system. In some cases, due to natural or anthropogenic conditions, these events can occur in an extreme way, causing a great deal of damage to the population. In the Amazon region, the proximity of communities to watercourses and their high dependence on rivers for transportation make the population even more susceptible to extreme events such as floods. This article aims to demonstrate the evolution of the 2023 drought event in the Amazon Basin, which includes the Solimões-Amazonas, Negro, Purus, Madeira and Branco rivers, as well as portraying the climatic events that caused the severe event in the region and the role of hydrological monitoring in this context. This study analyzed the Amazon Basin technical reports on climate monitoring and also technical bulletins on hydrological monitoring in 2023 issued by the Geological Survey of Brazil.

Keywords: *Drought; Amazon Basin; Hydrological Monitoring*

1. Introdução

As enchentes e secas fazem parte do sistema hidrológico da Amazônia; esta região depende dos ciclos de cheia e vazante para manter certo equilíbrio, [1] mas nas últimas décadas, eventos hidrológicos extremo afetaram a bacia amazônica causando danos sociais consideráveis às populações ribeirinhas, ocasionando dificuldades no transporte e navegação, escassez de alimento e água.

Neste sentido, a população afetada da Amazônia carece de melhores condições locais para uma adaptação ao regime hidrológico anualmente vivenciado pela população que tende a seguir os rios como parte da moradia e subsistência.

De acordo com [2] Marengo *et al* 2011, os registros fluviais apontam, que em média, a Amazônia passa por um evento extremo, ou seja, uma seca ou enchente, a cada 10 anos. A seca de 2010 começou durante um evento de El Niño no início do verão de 2010 e depois tornou-se mais intensa no inverno e primavera seguintes. O impacto dessa seca foi perceptível nos níveis baixos do rio Amazonas e seus afluentes.

[3] Tian *et al* 2021, identificaram quatro eventos de seca severa na Amazônia (1996, 1998, 2010 e 2016) correlacionadas com nível das águas superficiais da bacia amazônica, que ocorreram principalmente na região nordeste da bacia. Segundo [4] Yu *et al* 2017, durante os períodos de seca, a precipitação e umidade ficam mais baixas do que em outros períodos, enquanto as temperaturas do ar ficam mais altas, variando de acordo com a cobertura do solo.

Certos estudos consideram que os ciclos hidrológicos dos grandes rios na Bacia Amazônica integram anomalias de temperaturas superficiais no mar (TSM) do Pacífico Equatorial (El Niño, La Niña) do Atlântico Tropical. As anomalias de TSMs desses oceanos provocam mudanças nas circulações atmosféricas e nos regimes pluviométricos em grandes áreas da Bacia Amazônica [5].

Em 2023, o processo de enchente da maioria das estações monitoradas pelo Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) do Amazonas atingiram níveis considerados normais para os períodos de cheia, considerando os dados das séries históricas dessas estações disponíveis além do SAH, no Sistema Hidro-Telemetria da Agência Nacional de Águas - ANA. Contudo, conforme apontado por grande parte dos meteorologistas em reportagens sobre o evento da estiagem de 2023 [6], ocorreram os fenômenos climáticos El Niño e aquecimento das águas do Atlântico Norte, de forma simultânea, em que as precipitações registradas ficaram abaixo da média que resultaram em níveis baixos e descidas acentuadas, principalmente no mês de setembro, que ocasionou a maior vazante já registrada em grande parte dos postos monitorados no Amazonas, tais como Manaus, Manacapuru, Itacoatiara, Parintins, Humaitá, Beruri e Careiro da Várzea. Em Rondônia, Porto Velho também registrou a maior estiagem e, no Pará, com as estações de Óbidos e Almeirim, conforme aponta o SGB, 2023 [7].

Desta forma, o presente artigo destaca inicialmente o comportamento climático da região em 2023, por meio da consulta aos Boletins de Monitoramento Climáticos de grandes bacias, a fim de identificar o que impulsionou o evento da estiagem e na sequência, este estudo traz o diagnóstico hidrológico dos principais rios da bacia do Amazonas, com o levantamento das cotas mínimas apontadas em 2023, por meio da análise do Boletim de monitoramento dos rios da bacia do Amazonas e das previsões elaboradas pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM durante a vazante de 2023.

2. Procedimentos metodológicos

Para a composição e reunião de informações deste estudo, na parte climática, foram consultados os relatórios técnicos de Monitoramento climático de grandes bacias hidrográficas da Bacia Amazônica, intitulado de Boletim de Monitoramento Climático, elaborados pelos meteorologistas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – Inpa e para a temática de hidrologia, foram consultados os boletins técnicos de monitoramento hidrológico que fazem parte do Sistema de Alerta Hidrológico do Serviço Geológico do Brasil - SGB para a Bacia do Amazonas. Na Figura 1 tem-se o resumo do método utilizado para esta pesquisa.

Para esse estudo e análise hidrológica, foi considerado como bacia do Amazonas a região que contempla as bacias dos rios Branco, Negro, Solimões, Purus e Madeira [7], como ilustrado na Figura 2. Quanto ao período principal de observação, tem-se o ano de 2023, destacando principalmente os meses de julho a novembro, que normalmente representam o período de estiagem ou vazante nesta bacia.

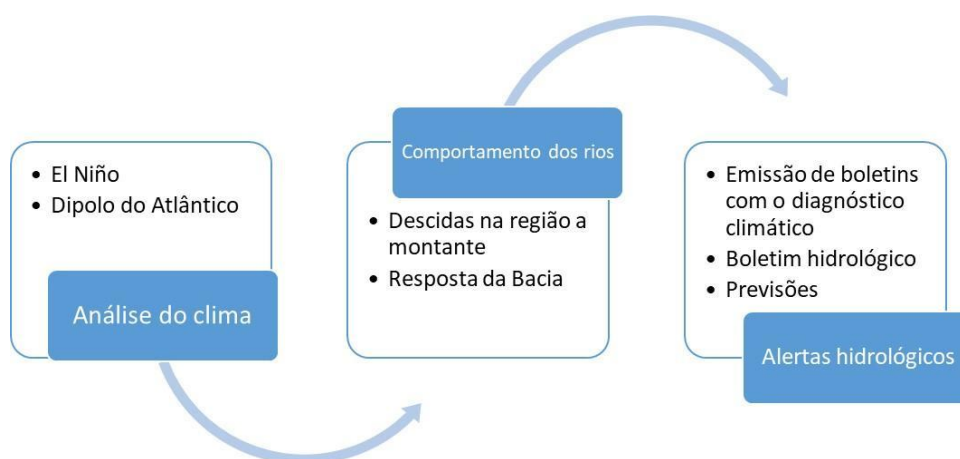


Figura 1: Sequência da análise de dados para o estudo da estiagem de 2023. Fonte: Autores.

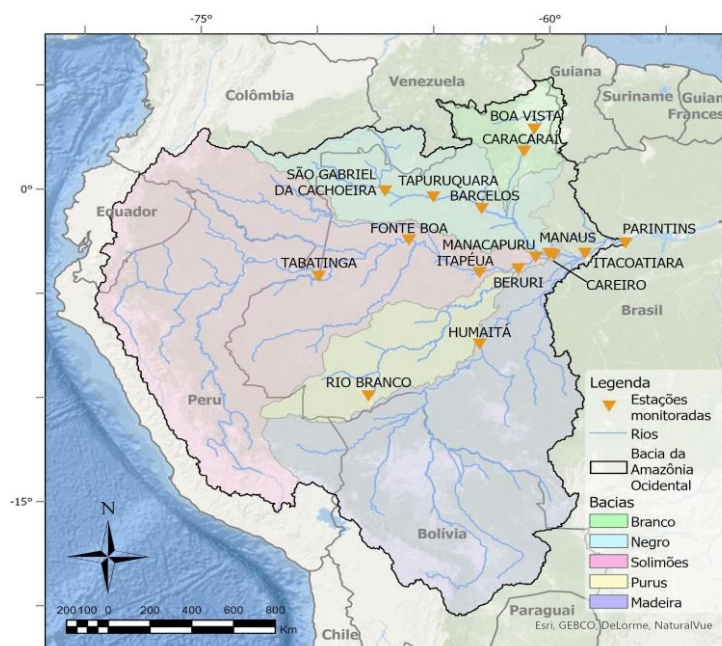


Figura 2: Bacia do rio Amazonas. Fonte: SGB (2023).

3. Aspectos Climáticos da Bacia do Amazonas em 2023.

Segundo [8] Senna *et al* (2023), entre janeiro de 2023 a abril de 2023, grandes áreas da bacia Amazônica ocidental (região que drena até as proximidades de Manaus) apresentaram volumes de chuva acima da climatologia normalmente observada no período, contudo também apresentaram precipitação abaixo da média, como é o caso da região sul da bacia do Amazonas em janeiro, da região de cabeceira (Andes) em fevereiro, a bacia do Branco RR em março e a parte norte e oeste da bacia em abril (Figura 3). Nos meses de maio, junho e julho as anomalias de precipitação, no caso abaixo da média, se espalharam em mais áreas da bacia até atingir quase sua totalidade em junho de 2023. No mês julho de 2023, o comportamento das chuvas sobre a Bacia Amazônica apresentou déficit (laranja) de precipitação caracterizando o curso principal do Amazonas em território brasileiro, tais como os rios Aripuanã, Beni, Branco, Coari, Curuá Una, Guaporé, Içá, Iriri, Japurá, Javari, Ji-Paraná, Juruá, Juruena, Jutai, Madeira, Mamoré, Marañon, bacias da margem esquerda do Amazonas no nordeste do Amazonas, nordeste e noroeste do Pará, Napo, Negro, Purus, Tapajós, Tefé, Teles Pires, Ucayali, Xingu e curso principal do Solimões (Figura 4).

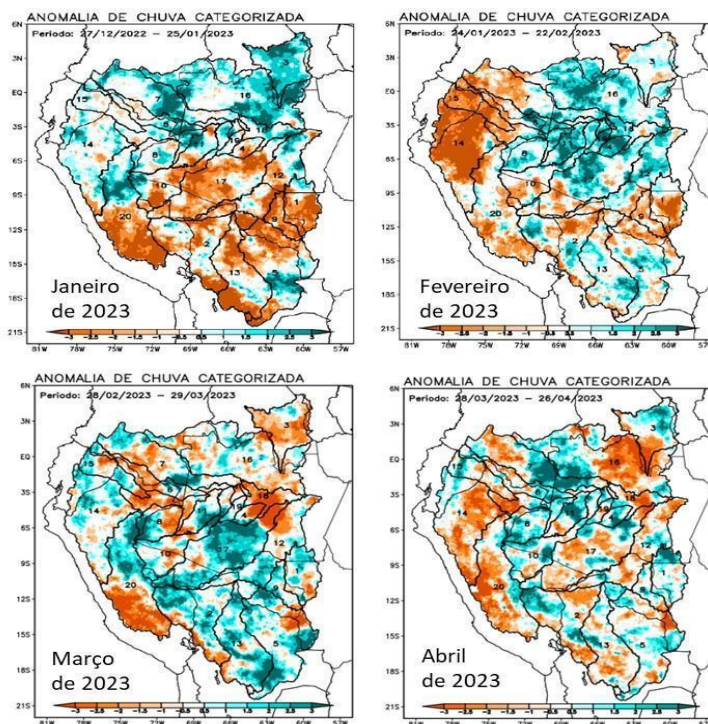


Figura 3: Acumulado de precipitação nos meses de janeiro a abril de 2023. Fonte: Cptec *apud* Senna *et al* (2023).

Durante o mês de agosto, estação seca em grande parte da região, são observados os menores volumes de precipitação sobre diversas bacias da área de monitoramento, volumes mais elevados nas bacias localizadas no norte e noroeste da região e os menores no extremo sul da área monitorada [8]. Os volumes mais baixos, com mediana inferior a 35 mm, sobre os principais rios da bacia do Amazonas, acumulados em 30 dias (Figura 3).

No mês de setembro de 2023, chuvas abaixo da climatologia predominaram em toda região, caracterizando todas as bacias monitoradas com déficit de precipitação. Os fenômenos El Niño (aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico) e aquecimento anômalo das águas superficiais do Atlântico Tropical Norte favorecem uma condição de subsidência

(movimento vertical do ar de cima para baixo) sobre grande parte da região inibindo a formação de nuvens e por consequência redução dos volumes de chuva observados [8]. Tais fenômenos permaneceram nos meses seguintes de outubro e novembro de 2023 (Figura 5).

Durante o mês de setembro de 2023, as condições oceânicas, bastante anômalas, eram observadas sobre os oceanos Pacífico e Atlântico. Sobre o Pacífico (Figura 6), presença do evento El Niño (aquecimento) afetando os padrões de circulação atmosférica, com incremento substancial da convecção próximo a longitude de data (160 - 180W) e sobre parte da Amazônia Oriental era possível identificar incremento da subsidência sobre a Amazônia Oriental.

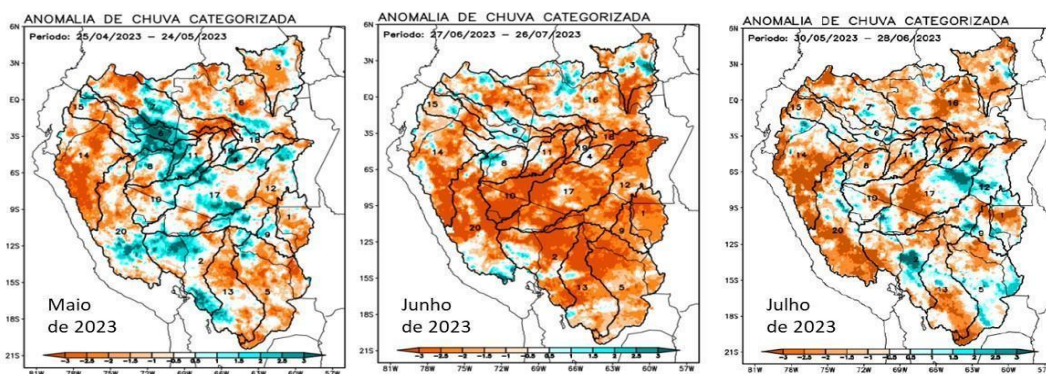


Figura 4: Acumulado de precipitação nos meses de maio a julho de 2023. Fonte: Cptec *apud* Senna *et al* (2023).

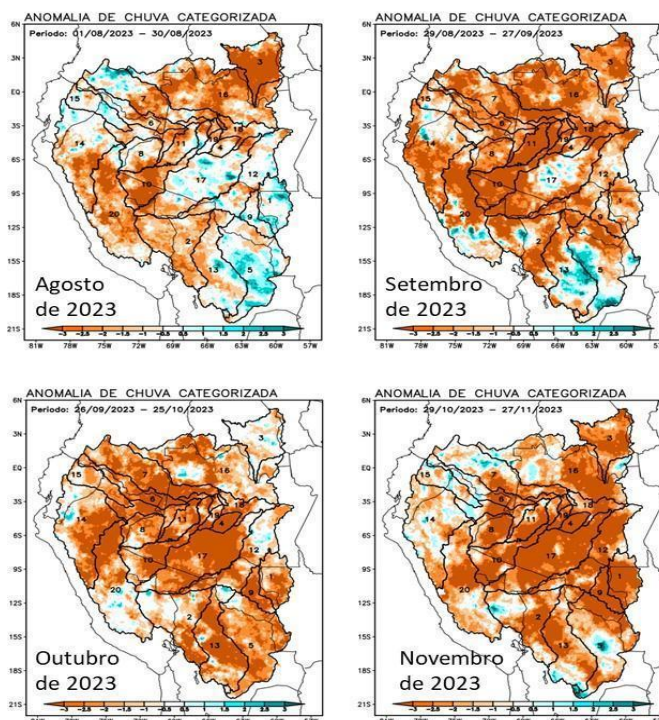


Figura 5: Acumulado de precipitação nos meses de agosto a novembro de 2023. Fonte: Cptec *apud* Senna *et al* (2023).

A Figura 7, apresenta o corte meridional (circulação de Hadley) onde evidencia claramente esta padrão de circulação fortemente afetado onde pela climatologia era esperado observar movimentos ascendentes (convecção) favoráveis a formação de nuvens sendo completamente suprimidos dando lugar a movimentos subsidentes, os quais suprimiram a formação de nuvens e ocorrências de chuvas naquela região, decorrentes do evento de aquecimento das águas

superficiais que era observado no Oceano Atlântico Tropical Norte, afetando assim o transporte de umidade atmosférica que naturalmente deveria ocorrer da Amazônia Oriental em direção à Amazônia Ocidental, com o consequente déficit de precipitação observado nas duas regiões [8].

Esses padrões climatológicos, observados desde o início de 2023, determinaram a grande magnitude do evento de estiagem observado deste ano, que configurou como a maior vazante de toda a história de monitoramento hidrológico do estado do Amazonas.

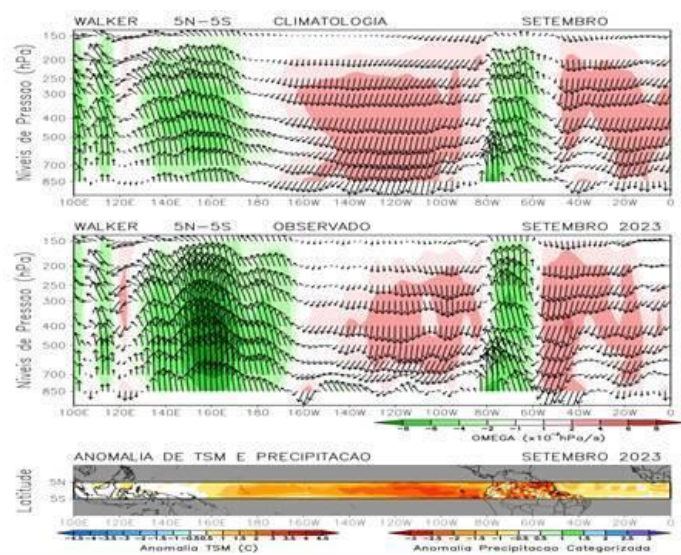


Figura 6: Circulação de Walker (zonal) durante o mês de setembro afetada pelas condições do Oceano Pacífico, quadro superior - climatologia, quadro central - circulação observada no ano de 2023; quadro inferior - anomalias de temperatura superficial sobre os oceanos e anomalia categorizada de precipitação sobre o continente. Fonte: Dados coletados do NOAA e Merge, figura gerada pelos autores (2023).

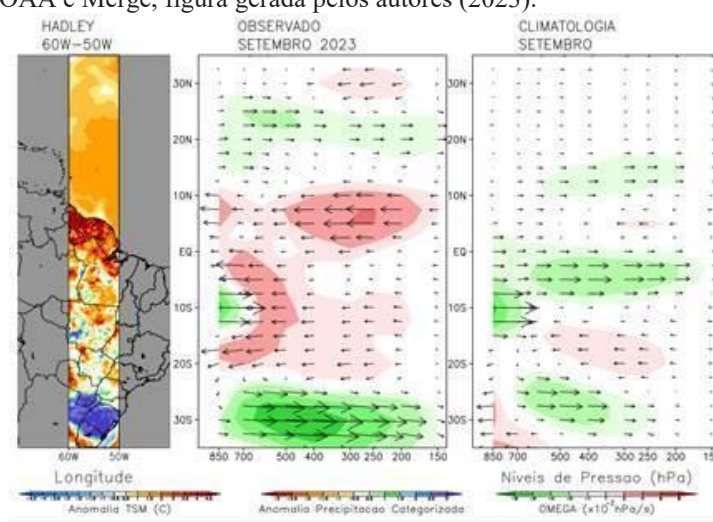


Figura 7: Circulação de Hadley (meridional) durante o mês de setembro afetada pelas condições do Oceano Atlântico, quadro direito - climatologia, quadro central - circulação observada no ano de 2023; quadro esquerdo - anomalias de temperatura superficial sobre os oceanos e anomalia categorizada de precipitação sobre o continente. Fonte: Dados coletados do NOAA e Merge, figura gerada pelos autores (2023).

4. Monitoramento da estiagem de 2023

O evento de vazante de 2023 representou para o estado do Amazonas o maior e mais impactante evento de estiagem de toda sua história de monitoramento hidrológico. Dos seus 62

municípios, 60 tiveram situação de emergência reconhecida. Na capital do estado, Manaus, onde os dados de níveis de rio são registrados desde 1902, o nível do rio Negro foi o mais baixo de todos os registros anteriores, confirmando 2023 como a maior vazante dos últimos 121 anos na região. A estiagem mais severa também foi apontada nos municípios de Manacapuru, Careiro, Itacoatiara, Humaitá, Beruri e Parintins no Amazonas e em Porto Velho em Rondônia e em Óbidos e Almeirim no Pará.

O rio Solimões é o principal formador do rio Amazonas, o comportamento do rio Solimões em seu trecho mais a jusante representa bem o que ocorre ao longo do trecho mais Ocidental do rio Amazonas. De acordo com [7] SGB (2023), para a bacia Solimões, foram registrados os níveis abaixo da faixa da normalidade desde julho e em meados de agosto e setembro apresentou descidas acentuadas nas estações de Tabatinga, Fonte Boa, Itapeua e Manacapuru (Figura 8). Em Tabatinga, o nível mais baixo do ano no Solimões ocorreu em 16/10/23, registrando -75 cm, a segunda maior vazante já registrada neste posto. Em Fonte Boa, o nível mais baixo ocorreu em 19/10/23, registrando 8,63 m, a segunda maior vazante desta estação. Em Itapeua, o Solimões atingiu seu nível mais baixo de 2023, no dia 23 de outubro, com a cota de 146 cm, 15 cm acima da maior vazante já registrada. Em Manacapuru, o rio atingiu a cota 3,11 em 26/10/23, registrando assim o menor nível da série histórica de 52 anos.

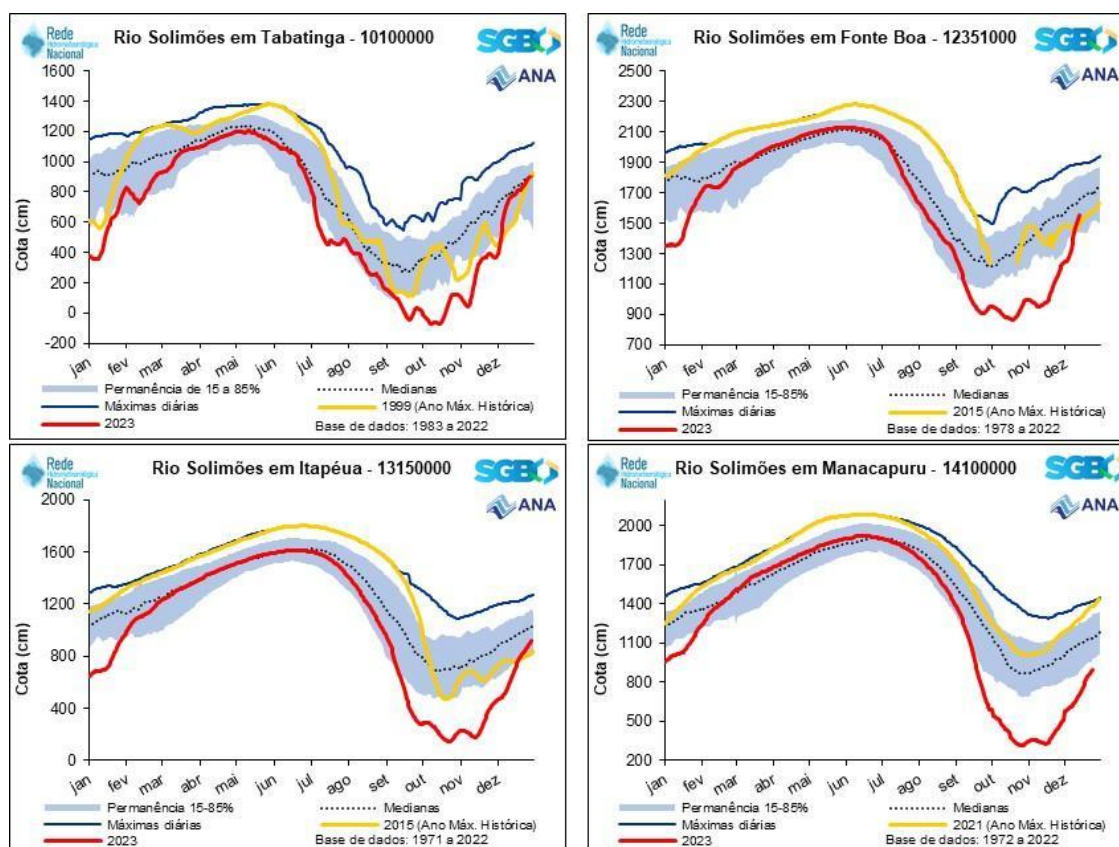


Figura 8: Cotagramas das estações monitoradas do rio Solimões em 2023. Fonte: Adaptado de SGB (2023).

No rio Negro, na região a montante, chamada de Alto Rio Negro tem regime hidrológico diferenciado das demais bacias, em que o pico da cheia ocorre em julho, o início da vazante em agosto e intervalo das mínimas desse período geralmente ocorre em fevereiro do ano seguinte. Contudo, logo no início do processo de recessão, segundo [7] SGB (2023), o rio Negro nas estações de São Gabriel da Cachoeira, Tapuruquara em Santa Isabel do Rio Negro e Barcelos

apresentou descidas acentuadas e os níveis registrados ficaram abaixo da faixa da normalidade nos meses de setembro, outubro e novembro de 2023. Em São Gabriel da Cachoeira, os níveis registrados nos meses de setembro e outubro, revelaram que o rio Negro alcançou o intervalo das mínimas, como ilustra a Figura 9.

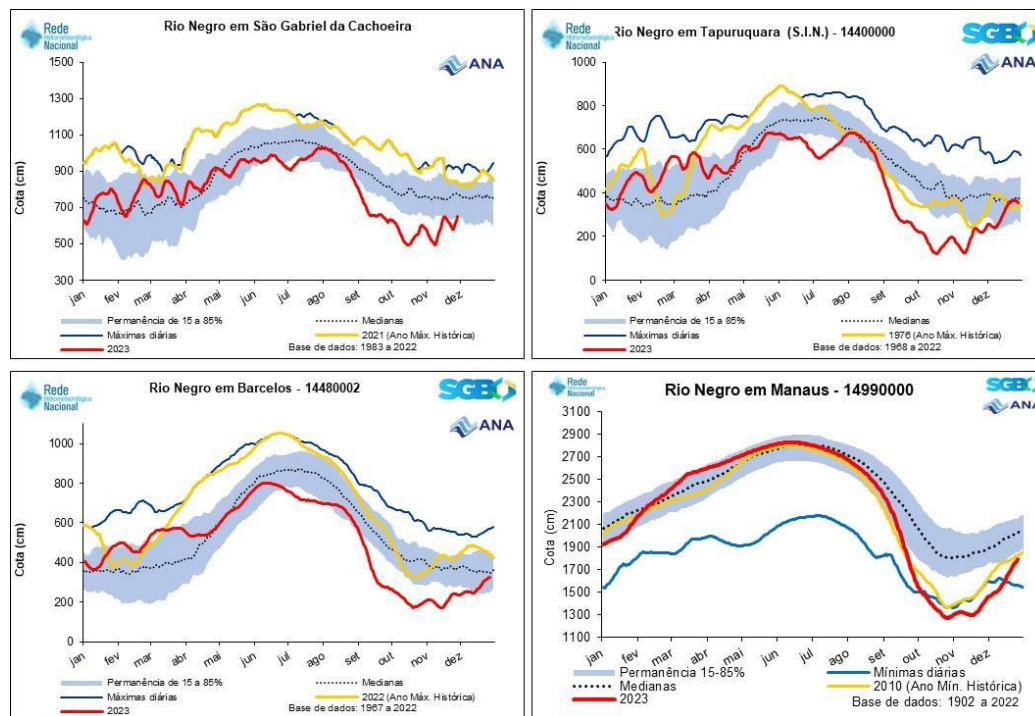


Figura 9: Cotogramas das estações monitoradas do rio Negro em 2023. Fonte: Adaptado de SGB (2023).

Ainda conforme [7] SGB (2023), na estação do Porto de Manaus, localizada no rio Negro registrou a mínima história de 12,70 m em 26/10/23, em uma série de dados de 121 anos, se compararmos com a vazante de 2010, considerada até então a maior seca da região, revelou uma diferença de 93 cm. Manaus está localizada na bacia do rio Negro, mas recebe muita influência do rio Solimões, que apresentou descidas acentuadas em setembro e os postos de monitoramento atingiram as mínimas na segunda quinzena de outubro com uma diferença de dias para Manaus. Esta estação apresentou descidas diárias acentuadas (na ordem ou acima de 30 cm) no mês de setembro por 14 dias seguidos (Figura 10), que impactou o processo de vazante na região. Com essas descidas, o nível do rio Negro nesta estação ficou abaixo do intervalo das mínimas históricas nos meses de outubro e novembro de 2023.

A figura 11 destaca a região do Porto de Manaus, no centro da cidade, em dois momentos, na cheia de 2021, onde atingiu a cota de 30,02 m e na ocasião da estiagem de 2023, com cota de 12,70 m, entre os dois eventos, registrando uma variação no nível do rio Negro de 17,82m.

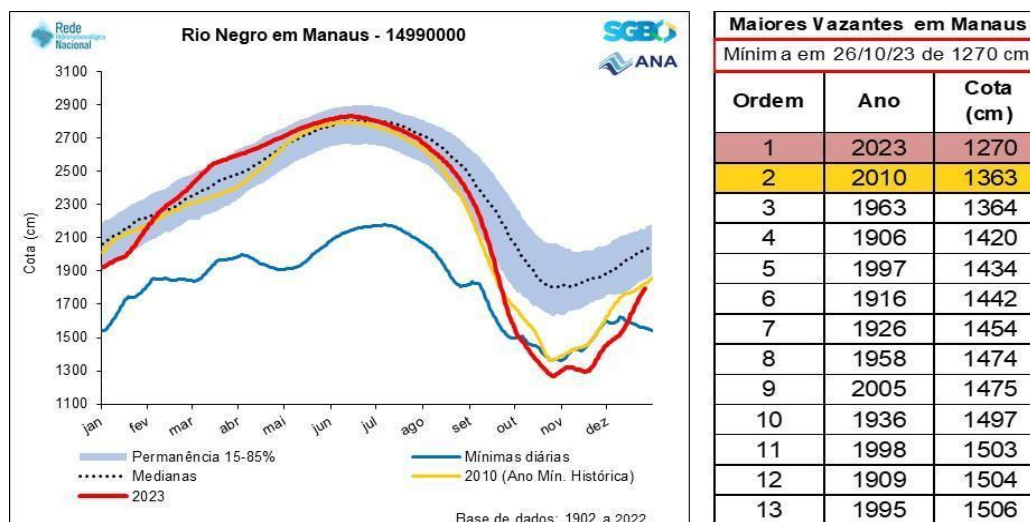


Figura 10: Cotagrama da Estação de Manaus com a evolução da vazante de 2023, quadro resumo com as maiores vazantes deste posto hidrológico. Fonte: SGB (2023).



Figura 11: Porto de Manaus na ocasião da maior cheia de 2021 e maior vazante em 2023. Fonte: Autores (2023).

O rio Madeira também sofreu uma estiagem severa em Porto Velho e Humaitá os menores níveis já registrados ocorreram no mês de outubro nestas estações de monitoramento; em 08/10 atingindo a cota mínima de 1,10 m em Porto Velho e 13/10 registrando o menor nível de 8,10 m em Humaitá [7].

Na estação de Careiro da Várzea, a cota mínima de 30 cm foi registrada em 24/10/23, superando a de 25/10/2010 que havia sido de 125 cm. Em Itacoatiara, o Amazonas registrou o nível mínimo de 36 cm em 26/10/23, a maior vazante já registrada no posto, superando a de 24/10/2010 em 55 cm. Em Parintins, os níveis registrados ficaram negativos, foi registrada a cota mínima de -217 cm em 25/10/23, a maior vazante da série histórica. Em Óbidos, o rio Amazonas atingiu a cota de -96 cm 09/11/2023, o menor nível já registrado em Almeirim, atingiu em 18/11/2023 a cota de 143 cm, apontando 2023 como a maior vazante desta calha [7].

O Quadro 1 destaca os níveis mínimos históricos atingidos em 2023, onde grande parte das estações monitoradas do rio Amazonas acompanhou o processo de descida acentuada das regiões a montante, por exemplo Careiro da Várzea, Itacoatiara e Parintins registraram as mínimas históricas em 2023, da mesma forma as estações de Óbidos e Almeirim que apresentaram as cotas mínimas neste ano e em Santarém que registrou a 8ª maior vazante com o nível de 14 cm [7].

Quadro 1: Cotas mínimas históricas anteriores e atingidas em 2023.

Estações	2023			Ano da mínima anterior	Nível máximo em 2023
	Data da Mínima	Cota mínima (cm)	Relação com a cota mínima anterior (cm)		
Beruri (Purus)	23/10/23	401	117	2010 (518)	2065
Porto Velho (Madeira)	08/10/23	110	30	2022 (140)	1575
Humaitá (Madeira)	13/10/23	810	23	1969 (833)	2308
Manacapuru (Solimões)	26/10/23	311	81	2010 (392)	1920
Manaus (Negro)	26/10/23	1270	93	2010 (1363)	2830
Careiro (P. Careiro)	24/10/23	30	95	2010 (125)	1601
Itacoatiara (Amazonas)	26/10/23	36	55	2010 (91)	1377
Parintins (Amazonas)	25/10/23	-217	31	2010 (-186)	830
Óbidos (Amazonas)	09/11/2023	-96	-52	1997 (-44)	769
Almeirim (Amazonas)	18/11/2023	143	81	2015 (224)	659

Fonte: Dados do Boletim de Monitoramento do SGB (2023), organizado pelos Autores.

5. Previsões realizadas no período da vazante.

Durante o evento da vazante, o Serviço Geológico do Brasil incluiu no Boletim de Monitoramento, a apresentação de previsões utilizando o Modelo Cota-cota, utilizando a previsão de precipitação por ensemble a partir do modelo GEFS.

Além do modelo de previsão cota-cota, utilizou-se também o modelo hidrológico *Soil Moisture Accounting Procedure - SMAP*, calibrado utilizando-se algoritmo genético MOPSO [9] na previsão de níveis com horizonte de até 15 dias. Para essa previsão, são utilizados, além dos dados hidrológicos de níveis e vazões, os dados de evapotranspiração *Operational Simplified Surface Energy Balance - SSEBOP* [10], estimativas de chuvas utilizando-se o produto MERGE/INPE [11] e previsão de chuvas por Ensemble com modelo meteorológico *Global Forecast System - GEFS* [12]. Importante lembrar que o modelo de previsão GEFS não fornece apenas uma única saída de previsão de chuvas, mas um conjunto (ou Ensemble) de 20 previsões.

Neste sentido, destacam-se as previsões [7] de Tabatinga no rio Solimões (Figura 12) por ser região de cabeceira representa o que pode acontecer nos próximos dias na bacia do Solimões e demais rios que são influenciados por esta calha. Outra previsão [7] importante apresentada pelo SGB foi para o rio Negro em Manaus, exemplificada na Figura 13 para o mês de dezembro.

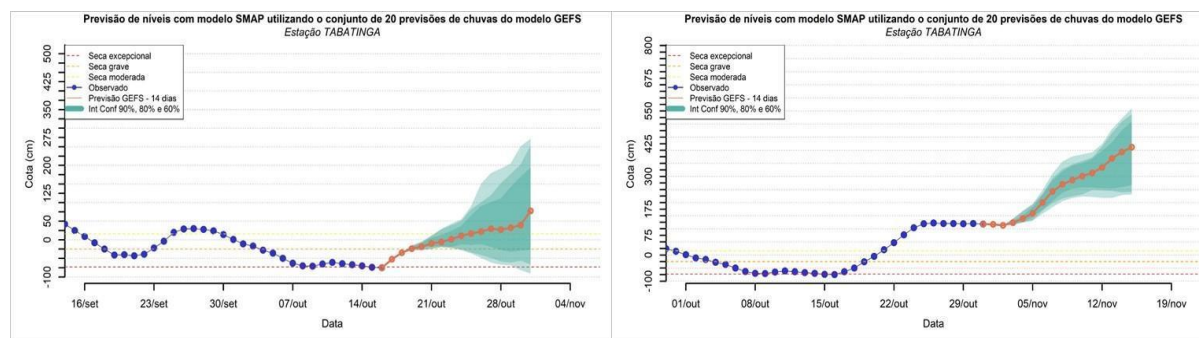


Figura 12: Previsões apresentadas para o Rio Solimões em Tabatinga em outubro e novembro de 2023. Fonte: Adaptado de SGB (2023).



Figura 13: Previsão do nível do Negro para Manaus em dezembro de 2023. Fonte: Adaptado de SGB (2023).

6. Considerações Finais

A vazante de 2023 foi severa para todo Estado do Amazonas e ainda configurou um evento regional, uma vez que cidades de outros estados da região norte também foram impactadas e apresentaram níveis dos mais baixos já registrados. Considerando as informações climáticas, esse sistema foi afetado principalmente pela ausência de chuvas a partir do segundo semestre pelo efeito do El Niño, somado ainda às altas temperaturas motivadas por outro fenômeno que seria o aquecimento dos oceanos no Atlântico Norte. Na ocasião da estiagem de 2023, esses eventos ocorreram simultaneamente, algo ainda não registrado em outras secas hidrológicas.

Diante dos impactos gerados pela vazante severa para a região, sistemas de alerta, boletins semanais e modelos de previsão de níveis ou cotas de rios são importantes para o monitoramento e acompanhamento por parte dos tomadores de decisão e até mesmo para a população no sentido de se preparar para as dificuldades relacionadas aos eventos climáticos de seca, como o caso do abastecimento, transporte e serviços que nessa região estão interligados com os rios da bacia hidrográfica.

Referências

- [1] SILVA, J. S. CALMANT, S. SEYLER, F. Variabilidade espacial do nível d'água na bacia amazônica durante eventos extremos. In: **Secas na Amazônia: causas e consequências**. Oficina de Textos, 2013, p. 209-212.
- [2] MARENGO, J.A; TOMASELLA, J. ALVES, L. M; SOARES, W. R; RODRIGUES, D. A. The drought of 2010 in the contexto of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical research letters**, v.38, n.12, 2011.
- [3] TIAN, K; WANG, Z; LI, F; GAO, Y; XIAO, Y; LIU, C. Drought events over the Amazon river basin (1992 – 2019) as detected by the climate-driven total water storage change. **Remote Sensing** 13 (6) p. 1124, 2021.
- [4] YU, Z; WANG, J; LIU, S; RENTCH, J. S; SUN, P; LU, C. Global gross primary productivity and water use efficiency changes under drought stress. **Environ. Res. Lett.**2017, 12, 014016.

[5] SCHÖNGART, J; JUNK, W. J. Clima e hidrologia nas várzeas da Amazônia Central. **Várzeas Amazônicas: Desafios para um Manejo Sustentável**, p. 44-65, 2020.

[6] CASEMIRO, P. Quatro rios da Bacia Amazônica chegam ao menor nível histórico em setembro de 2023. In: **Reportagem para o Globo.com G1 em Meio Ambiente**. Publicada em 7 de outubro de 2023. Disponível em www.g1.globo.com.

[7] SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB. **59º BOLETIM DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO AMAZONAS**. Sistema de Alerta Hidrológico – SAH Amazonas. Dezembro de 2023. Disponível em <https://www.sgb.gov.br/sace/amazonas/>

[8] SENNA, R. C.; CARVALHO, L. R. R.; DALLAROSA, R. L. G. **Boletim de Monitoramento Climático de Grandes Bacias**, Volume 3, Número 41. Repositório Inpa. 2023. Disponível em <https://repositorio.inpa.gov.br/>

[9] NASCIMENTO, L. S. V. D., REIS JÚNIOR, D. S., & MARTINS, E. S. P. R. (2009). Avaliação do algoritmo evolutivo MOPSO na calibração multiobjetivo do modelo SMAP no estado do Ceará. Disponível em repositorio.ufc.br.

[10] SENAY, G. B.; BUDDE, M.; VERDIN, J. P.; MELESSE, A. M. A coupled remote sensing and simplified surface energy balance approach to estimate actual evapotranspiration from irrigated fields. **Sensors**, v. 7, n. 6, p. 979-1000, 2007. <https://doi.org/10.3390/s7060979>.

[11] ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G. de; VILA, D. A. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **Weather Forecast**, v. 25, n. 3, 2010.

[12] ZHU, Y.; ZHOU, X.; LI, W.; HOU, D.; MELHAUSER, C.; SINSKY, E.; PEÑA, M.; FU, B.; GUAN, H.; KOLCZYNSKI, W.; WOBUS, R.; TALLAPRAGADA, V. Toward the improvement of subseasonal prediction in the National Centers for Environmental Prediction Global Ensemble Forecast System. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 123, n. 13, p. 6732-6745, 2018. <https://doi.org/10.1029/2018JD028506>.