



## INICIAÇÃO DE ESTUDANTES DE GRADUAÇÃO EM MODELAGEM HIDROLÓGICA – CASO “CHEIAS DE MANAUS”

**Gabriel de Souza Cerveira Pereira** – Gabriel\_pereira123@hotmail.com  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS, Curso de Engenharia Civil  
Av. Gal. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000 – Campus Universitário, Setor Norte  
69077-00 – Manaus – Amazonas

**Ismael Botelho Alecrim** – Ismael\_Alecrim@hotmail.com  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS, Curso de Engenharia Civil  
Av. Gal. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000 – Campus Universitário, Setor Norte  
69077-00 – Manaus – Amazonas

**Renan Melo Bastos** – renanmelo\_bastos@hotmail.com  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS, Curso de Engenharia Civil  
Av. Gal. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000 – Campus Universitário, Setor Norte  
69077-00 – Manaus – Amazonas

**Elias Simão Assayag** – elias\_assayag@yahoo.com.br  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS, Departamento de Engenharia Civil  
Av. Gal. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000 – Campus Universitário, Setor Norte  
69077-00 – Manaus – Amazonas

**Resumo:** *O rio Negro apresenta um regime hidrológico anual de cheia e vazante muito bem definido, inclusive no baixo rio Negro onde fica localizada a cidade de Manaus. Em Manaus, as cotas mínimas do rio Negro não representam grandes problemas, no entanto, as grandes cheias são sim problemas para as áreas mais baixas da cidade, que ficam alagadas durante semanas. Com este trabalho, um grupo de alunos de graduação de engenharia civil foi iniciado no estudo de modelos hidrológicos, estudando e avaliando o modelo para previsão das cotas máximas do rio Negro no porto de Manaus, proposto por Ramiro Maio Neto, em 1994. O estudo mostrou a necessidade de desenvolver novos modelos capazes de trabalhar o atual regime hídrico da região, para previsão das cotas máximas com maior exatidão e antecedência suficiente para implementação de planos de emergência. Isso por si só já é um grande desafio. Fazer disso algo simples o suficiente para ser entendido e utilizado pela comunidade é um desafio maior ainda. Tudo isso despertou nos estudantes o interesse em prosseguir estudando os modelos hidrológicos.*

**Palavras-chave:** *Modelos hidrológicos, Cheias de Manaus, Baixo rio Negro.*

## 1. INTRODUÇÃO

Na Universidade Federal do Amazonas, o Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas (PESA) mantém o laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, onde alunos de graduação orientados pelos docentes desenvolvem, entre outras coisas, pesquisas relacionadas com os fenômenos hidrológicos que afetam a vida e o cotidiano dos municípios do Estado do Amazonas.

*Na Amazônia, com a sua extensa bacia hidrográfica, os rios possuem papel fundamental na vida das comunidades ribeirinhas, que marcam a paisagem desta região. Notadamente, a vida se divide em duas estações, o tempo das águas altas e o tempo das águas baixas. Esse regime hídrico sazonal afeta diretamente o cotidiano do homem amazônida, representando a maior ou menor quantidade de pescado, de água para abastecimento e outras necessidades, mobilidade (VIEIRALVES et al., 2013).*

O regime hidrológico dos rios da bacia do rio Amazonas se caracteriza por períodos de enchente e estiagem, que se alternam, formando um ciclo anual. Esses períodos são conhecidos como cheia e vazante respectivamente. Tomando como ponto de partida o nível mínimo de um determinado ano, o rio vai “enchendo” até que pare ao atingir uma cota máxima, esse é o período da cheia. Por sua vez, a vazante vai da cota máxima para a cota mínima, de onde se inicia um novo ciclo.

O rio Negro é um dos mais importantes rios da bacia do rio Amazonas. O rio Negro apresenta um regime hidrológico anual de cheia e vazante muito bem definido, inclusive no baixo rio Negro onde na margem esquerda, fica localizada a cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas. (Figura 1).

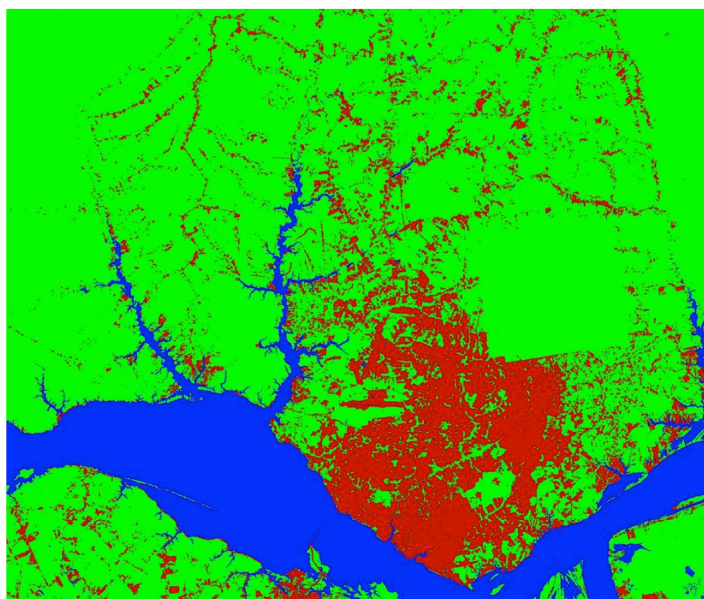


Figura 1 – Manaus - AM, margem esquerda do baixo rio Negro.

Especificamente em Manaus, as cotas mínimas do rio Negro não representam grandes problemas para a cidade. Por sua vez, as grandes cheias são sim problemas para as áreas mais baixas da cidade, que são alagadas durante semanas pelas águas do rio Negro. Entre outras coisas, o fenômeno provoca problemas no sistema de transporte coletivo, na circulação das pessoas nas ruas, inundação das redes subterrâneas de diversos prestadores de serviço (telefone, TV, Internet, abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem pluvial, etc), inunda lojas, prédios públicos e residências de pessoas em condições socioeconômicas menos privilegiadas (Figura 2).



Figura 2 – Av. Floriano Peixoto, no Centro de Manaus em 26/05/2012, ao fundo a Agência da Alfândega – Receita Federal.

Atualmente, para Manaus existe um sistema de alerta que toma por base observações dos níveis da água em estações fluviométricas a montante de Manaus, no rio Negro e rio Solimões. Esse sistema faz anúncios pela imprensa, mas não disponibiliza para a comunidade o modelo. Os primeiros anúncios, que são os mais importantes por conta da antecedência, em geral são sempre de eventos extremos, e a medida em que o tempo passa os resultados vão sendo calibrados, chegando até mesmo a acertar com grande exatidão a cota máxima, mas com antecedência apenas de dias.

Conhecer, entender, ter capacidade de explicar, planejar e preparar-se para conviver com as cheias em Manaus é algo extremamente importante para a comunidade local, ao





mesmo tempo que é um desafio. É muito interessante para o acadêmico de engenharia civil participar desse desafio, fazendo uso da ciência e da técnica, construindo conhecimento por meio da pesquisa, para em seguida levar isso para a comunidade por meio da extensão universitária, ao mesmo tempo em que enriquece a sua própria formação profissional.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver com estudantes do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, atividade de pesquisa com aplicação direta e imediata no Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas, como elemento integrante e modernizador do processo ensino-aprendizagem, tendo como tema central o fenômeno das cheias do baixo rio Negro em Manaus.

### **2.2 Objetivo Específico**

- Iniciar os participantes na prática da pesquisa de modelos hidrológicos, especificamente modelos para desencadear alertas de cheias. Despertar vocações para a pesquisa na área de recursos hídricos.
- Promover o conhecimento e consequente compreensão dos fenômenos anuais de cheias do Rio Negro, em Manaus AM.
- Capacitar os estudantes para atuar no Programa de Extensão em Saneamento em Manaus, especificamente com comunidades atingidas pelas cheias em Manaus AM.
- Antecipar a implementação parcial das metas 18 e 23 da Educação Superior segundo o novo Plano Nacional da Educação.

## **3. METODOLOGIA**

Considerando os objetivos definidos para a atividades e as demais condições de infraestrutura e pessoal disponível, foi definida a metodologia que presidiu as ações, que resumidamente consistiu em:

A atividade foi iniciada com uma busca na literatura técnica da área de recursos hídricos por um modelo hidrológico de previsão de níveis máximos do baixo rio Negro, preferencialmente na região de Manaus, capaz de gerar alertas de cheias com antecedência suficiente para desencadear os planos de emergências.

Para tanto, foi feita uma pesquisa bibliográfica detalhada, tendo sido identificado o artigo “As cheias de Manaus”, publicado em 1994 por Ramiro Fernandes Maia Neto, que apresenta um modelo hidrológico calibrado para previsão de enchentes em Manaus. Uma vez identificado e selecionado o modelo, se passou ao estudo da sua construção, formulação de cenários, entrada de dados, implementação e saída de dados.

O modelo adotado, consiste em entrar com as cotas do rio Negro máximas do rio Negro no porto de Manaus, do mês de março, abril e maio, para gerar a cota máximas do ano, de forma geral no mês de julho. Para a formulação do modelo o autor usou a série histórica de cotas máximas anuais de 1953 até 1993.

Uma vez que a equipe desenvolveu a capacidade de operar o modelo, foi obtida no banco de dados hidrológicos da Agência Nacional de Águas, HidroWeb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>) a série histórica de cotas do rio Negro, no porto de Manaus, para o período de 1994 a 2013. Com esses dados foram gerados os cenários para o referido período 1994-2013, com base nos dados dos mesmos meses de março, abril e maio, visando prever a cota máxima anual em junho.

Para o prever as cotas máximas no período de 1994 a 2013, entrando com as cotas do mês de março foi empregada a relação proposta no modelo, que consiste na equação:

$$y = 0,69x + 1069,9 \quad (1)$$

Em que  $y$  é a provável cota máxima do ano e  $x$  a cota do mês de março.

O processo foi repetido para os meses de abril e maio, utilizando respectivamente as equações:

$$y = 0,82x + 622,14 \quad (2)$$

e

$$y = 0,9x + 306,83 \quad (3)$$

Com os dados da série histórica real foi então calculada a diferença entre a cota máxima que realmente aconteceu e aquela dada pelo modelo, utilizando a expressão:

$$D = R - y \quad (4)$$

Em que  $D$  é a diferença,  $y$  é a cota máxima dada pelo modelo e  $R$  a cota máxima que realmente aconteceu em cada ano, no período de 1993 a 2014.

A margem de erro, segundo autor do modelo, entre a cota prevista e a real é de +/-35 cm para o mês de março, +/-30 cm para os meses de abril e maio. Também segundo o autor do modelo a confiabilidade para as previsões com as equações de março, abril e maio são respectivamente: 69%, 87% e 94%.

Assim, depois de calculado o  $D$  verificou-se a porcentagem de acertos e erro, para isso verificou-se se a diferença entre a cheia real e a provável estaria dentro da margem de erro do modelo. Em seguida, foi comparado o conjunto de resultados gerados no modelo com o conjunto de dados reais das máximas anuais, para avaliação da confiabilidade do modelo. Por fim, se fez a análise dos resultados e elaboração das conclusões.

#### 4. RESULTADOS

A partir dos dados referente ao mês de maio, período de 1994 a 2013, foram encontrados os resultados descritos nas tabelas 1, 2 e 3. A porcentagem de acertos foi de 50%.



Tabela 1 – Resultado para entrada de dados de março/1994-2000, cotas em cm.

<b>Ano</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
Cota máxima março (x)	2647	2311	2617	2636	2313	2645	2440
Cheia Provável (y)	2896,3	2664,5	2875,6	2888,7	2665,9	2895	2753,5
Cheia real R	2905	2716	2854	2896	2758	2930	2869
<b>diferença (R-y)</b>	<b>8,67</b>	<b>51,51</b>	<b>-21,63</b>	<b>7,26</b>	<b>92,13</b>	<b>35,05</b>	<b>115,5</b>

Tabela 2 – Resultado para entrada de dados de março/2001-2007, cotas em cm.

<b>Ano</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Cota máxima março (x)	2571	2516	2394	2391	2601	2638	2410
Cheia Provável (y)	2843,9	2805,94	2721,8	2719,7	2864,6	2890,1	2732,8
Cheia real R	2821	2891	2827	2713	2810	2884	2818
<b>diferença (R-y)</b>	<b>-22,89</b>	<b>85,06</b>	<b>105,24</b>	<b>-6,69</b>	<b>-54,59</b>	<b>-6,12</b>	<b>85,2</b>

Tabela 3 – Resultado para entrada de dados de março/2008-2013. Cotas em cm.

<b>Ano</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Cota máxima março (x)	2638	2746	2413	2492	2769	2691
Cheia Provável (y)	2890,12	2964,6	2734,9	2789,4	2980,5	2926,7
Cheia real R	2862	2977	2796	2862	2997	2933
<b>diferença (R-y)</b>	<b>-28,12</b>	<b>12,36</b>	<b>61,13</b>	<b>72,62</b>	<b>16,49</b>	<b>6,31</b>

Para a entrada de dados com cotas do mês de abril os resultados são mostrados nas Tabelas 4, 5 e 6. A porcentagem de acerto foi também de 50%

Tabela 4 – Resultado para entrada de dados de abril/1994-2000, cotas em cm.

<b>Ano</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
Cota máxima abril (x)	2761	2497	2702	2764	2497	2769	2656
Cheia Provável (y)	2886,2	2669,7	2837,8	2888,6	2669,7	2892,7	2800,06
Cheia real R	2905	2716	2854	2896	2758	2930	2869
<b>diferença (R-y)</b>	<b>18,84</b>	<b>46,32</b>	<b>16,22</b>	<b>7,38</b>	<b>88,32</b>	<b>37,28</b>	<b>68,94</b>

Tabela 5 – Resultado para entrada de dados de abril/2001-2007, cotas em cm.

<b>Ano</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Cota máxima abril (x)	2723	2696	2592	2566	2717	2725	2624
Cheia Provável (y)	2855	2832,86	2747,6	2726,3	2850,1	2856,6	2773,82
Cheia real R	2821	2891	2827	2713	2810	2884	2818
<b>diferença (R-y)</b>	<b>-34</b>	<b>58,14</b>	<b>79,42</b>	<b>-13,26</b>	<b>-40,08</b>	<b>27,36</b>	<b>44,18</b>

Tabela 6 – Resultado para entrada de dados de abril/2008-2013, cotas em cm.

Ano	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Cota máxima abril (x)	2700	2868	2654	2675	2923	2786
Cheia Provável (y)	2836,14	2973,9	2798,4	2815,6	3019	2906,7
Cheia real R	2862	2977	2796	2862	2997	2933
<b>diferença (R-y)</b>	<b>25,86</b>	<b>3,1</b>	<b>-2,42</b>	<b>46,36</b>	<b>-22</b>	<b>26,34</b>

Considerando a entrada de dados do mês de maio os resultados obtidos são mostrados nas Tabelas 7,8 e 9. A porcentagem de acertos foi de 80%.

Tabela 7 – Resultado para entrada de dados de maio/1994-2000, cotas em cm.

Ano	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Cota máxima maio (x)	2865	2653	2812	2884	2702	2901	2805
Cheia Provável (y)	2885,3	2694,5	2837,6	2902,4	2738,6	2917,7	2831,33
Cheia real R	2905	2716	2854	2896	2758	2930	2869
<b>diferença (R-y)</b>	<b>19,67</b>	<b>21,47</b>	<b>16,37</b>	<b>-6,43</b>	<b>19,37</b>	<b>12,27</b>	<b>37,67</b>

Tabela 8 – Resultado para entrada de dados de maio /2001-2007, cotas em cm.

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Cota máxima maio (x)	2787	2821	2764	2691	2808	2871	2776
Cheia Provável (y)	2815,13	2845,73	2794,4	2728,7	2834	2890,7	2805,23
Cheia real R	2821	2891	2827	2713	2810	2884	2818
<b>diferença (R-y)</b>	<b>5,87</b>	<b>45,27</b>	<b>32,57</b>	<b>-15,73</b>	<b>-24,03</b>	<b>-6,73</b>	<b>12,77</b>

Tabela 9 – Resultado para entrada de dados de maio/2008-2013, cotas em cm.

Ano	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Cota máxima maio (x)	2816	2914	2786	2828	2997	2924
Cheia Provável (y)	2841,23	2929,4	2814,2	2852	3004,1	2938,4
Cheia real R	2862	2977	2796	2862	2997	2933
<b>diferença (R-y)</b>	<b>20,77</b>	<b>47,57</b>	<b>-18,23</b>	<b>9,97</b>	<b>-7,13</b>	<b>-5,43</b>



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados do emprego do modelo para o regime hidrológico mais recente, se conclui que as porcentagens de acertos são bem menores do que as confiabilidades das equações informadas no modelo. As confiabilidades com entrada de dados dos meses de março, abril e maio são de 69%, 87% e 94% respectivamente, enquanto as porcentagens de acertos foram de 50%, 50% e 80%. Estes resultados mostram que o modelo se tornou ineficiente para o padrão hidrológico atual. Isso em parte se explica pelo fato do modelo ter sido construído e calibrado para o regime hidrológico da década de 90 do século passado e ainda não ter sido atualizado para condições hidrológicas mais recentes.

Nos últimos anos, no sistema hídrico formado pelo rio Amazonas e seus grandes tributários estão acontecendo eventos extremos tanto de máximos (cheias) quanto de mínimos (secas). Esse novo comportamento com períodos de retorno extremos certamente contribuiu para resultados previstos e reais tão divergentes. Considerando a dimensão tempo, quanto mais próximo da provável cheia máxima, maior a precisão das equações, porém resta menos tempo para as ações necessárias para enfrentar os problemas. O resultado advindo do mês de março apesar de mais impreciso, é considerado como a previsão mais importante das três, pois antecipa precocemente o fenômeno de tal forma que o tempo é suficiente para as ações necessárias.

Para os dias atuais, considerando os recursos atualmente disponíveis, um modelo matemático que usa uma equação linear para previsão de enchentes pode ser considerado muito simples e até mesmo ultrapassado para se prever um fenômeno tão irregular que está sujeito a constantes variações climáticas. Para melhor sucesso nestas previsões, é preciso utilizar modelos de regressões mais complexos, sendo capazes de acompanhar fielmente a nuvem de dados e de gerar resultados mais precisos em tempo hábil. Mas para Manaus, esse modelo ainda resta por ser construído.

Fora do modelo estudado, o atual sistema de alerta, adotado pelo Governo do Estado em parceria com o serviço geológico nacional, não vem se mostrando satisfatório e o modelo existente se mostrou impreciso. Certamente a solução não é simples e vai envolver tratamentos estatísticos e de modelagem computacional complexos. Isso por si só já é um grande desafio. Fazer disso algo simples o suficiente para ser entendido e utilizado pela comunidade é um desafio maior ainda. Tudo isso despertou nos estudantes o interesse em prosseguir estudando os modelos hidrológicos, em especial para a cidade de Manaus.

Para concluir, se registra aqui uma homenagem póstuma ao engenheiro Ramiro Maia Neto, que de forma pioneira, durante anos dedicou a sua vida profissional ao estudo dos rios da bacia do rio Amazonas, produzindo uma valiosa contribuição para o conhecimento, incluindo o modelo estudado neste trabalho.





## 6. REFERÊNCIAS

MAIA NETO, R.; LOPES, E. As Cheias de Manaus. A ÁGUA EM REVISTA, Belo Horizonte, v.1, n.2, p. 31-43, mar. 1994.

VIEIRALVES, G.; SOUZA, E.; ASSAYAG, E. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DOS NÍVEIS MÁXIMOS E MÍNIMOS AO LONGO DO RIO AMAZONAS. XLI – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Gramado: UFRS, 2013.

### INITIATION OF UNDERGRADUATE IN HYDROLOGICAL MODELLING – CASE "FULL OF MANAUS"

**Abstract:** *The Black River offers a full annual hydrological regime and vazante very well defined, including in the lower rio Negro where is located the city of Manaus. In Manaus, the minimum dimensions of the rio Negro do not pose major problems, however, the big floods are problems for the lower areas of the city, which are flooded for weeks. With this work, a group of undergraduate students of civil engineering was started in the study of hydrological models, studying and evaluating the model for prediction of the outer dimensions of the rio Negro in Manaus port, proposed by Ramiro May Neto, in 1994. The study showed the need to develop new models capable of working the current water regime in the region, for prediction of maximum dimensions with greater accuracy and advance enough for implementation of emergency plans. This in itself is already a big challenge. Make it something simple enough to be understood and used by the community is a bigger challenge. All this aroused students ' interest to continue studying the hydrological models.*

**Key-words:** *Hydrological models, full of Manaus, lower rio Negro.*