

MONITORAMENTO HIDROLOGICO DE BELO HORIZONTE: ESTUDO DE CASO

Rejane Siqueira^{1}; Ilda Aguiar² & Priscila Moura³*

Resumo – As grandes cidades brasileiras vêm passando ultimamente por grandes desafios na área de drenagem urbana em função do crescimento urbano acentuado e desordenado, acarretando eventos de inundação de grandes proporções. Neste contexto, a cidade de Belo Horizonte implantou um Sistema de Monitoramento Hidrológico com o intuito de minimizar os danos decorrentes destes eventos. O presente artigo pretende apresentar a validação de uma ferramenta de gestão disponível, os Gráficos de Risco, obtidos a partir de modelagem hidrológico/hidráulica, através dos dados monitorados.

Palavras-Chave – Inundação, Monitoramento, evento chuvoso.

A HYDROLOGICAL MONITORING BELO HORIZONTE: APPLICATION

Abstract – The main Brazilian cities area lately passing through major challenges in urban drainage due to the rapidly and disordered urban growth, that causes major flooding events. In this context, the city of Belo Horizonte implemented a hydrological monitoring system in order to minimize the damage caused by these events. This article aims to present the validation of an existing management tool called Risk charts, obtained from hydrological and hydraulic modeling, using the monitored data.

Keywords – Flood, Monitoring, Risk Alert.

1. INTRODUÇÃO

As grandes cidades brasileiras vêm passando ultimamente por grandes desafios na área de drenagem urbana em função do crescimento urbano acentuado e desordenado, que promove uma modificação no ciclo hidrológico, acarretando em eventos de inundação mais frequentes e de graves consequências.

Na cidade de Belo Horizonte, município que conta com 2.395.785 habitantes (IBGE, 2012), a realidade não é diferente, os problemas com inundações são frequentes. O município se localiza na bacia do rio São Francisco, tendo como principais bacias a do ribeirão do Onça e a do ribeirão Arrudas, afluentes do rio das Velhas. O território municipal se localiza em área bastante montanhosa, caracterizada pela presença de dezenas de cursos de água de pequeno porte, típicos de áreas montanhosas.

Visando diagnosticar as causas dos problemas de drenagem urbana de forma integrada aos demais sistemas urbanos, o Município iniciou em 1999 a elaboração do Plano Diretor de Drenagem, que na primeira etapa, concluiu os seguintes documentos e instrumentos de gestão: Caracterização

¹ Engenheira civil, Mestrando em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pela UFMG Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP. Avenida do Contorno, 5454 – Savassi – Belo Horizonte – MG – 30.110-036. Fone: (31) 3277-5171. E-mail: rejane.siqueira@pbh.gov.br

² Engenheira civil, Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP. Avenida do Contorno, 5454 – Savassi – Belo Horizonte – MG – 30.110-036. Fone: (31) 3277-5171. E-mail: ilda@pbh.gov.br

³ Professora Adjunta Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte – priscilla.moura@ehr.ufmg.br

das Bacias Elementares; Levantamento Cadastral da Micro e Macrodrenagem; Criação do Cadastro Georeferenciado de Informações de Drenagem - SIG Drenagem (Champs et 2001).

A partir de 2006 a segunda etapa do Plano Diretor de Drenagem foi iniciada, tendo como produtos: Modelagem Hidrológica e Hidráulica de todos os córregos canalizados; Carta de Inundações contendo a identificação de todas as áreas potencialmente suscetíveis às inundações com a respectiva associação de risco; Atualização do SIG-Drenagem e desenvolvimento do SIG no ambiente web; Proposição de Modelo de Gestão e Implantação do Programa de Monitoramento Hidrológico.

Dentre os produtos desenvolvidos na segunda etapa do Plano Diretor de Drenagem, destacamos a Carta de Inundação e o Programa de Monitoramento Hidrológico com o intuito de se realizar uma analogia entre os dados obtidos nestes produtos. Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar os dados fornecidos pelo Sistema de Monitoramento Hidrológico (dados de precipitação e nível d'água), em relação à Carta de Inundações de Belo Horizonte, no que se refere à validação dos gráficos de risco.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

O Sistema de Monitoramento Hidrológico implantando no município de Belo Horizonte começou a operar no mês de outubro de 2011, início do período chuvoso, tendo como principais objetivos:

- ✓ Acompanhar os eventos de precipitação e os níveis d'água dos córregos em tempo real;
- ✓ Permitir o diagnóstico permanente do sistema de drenagem;
- ✓ Calibrar os modelos hidrológico/hidráulicos das bacias do Município e validar o gráfico de risco da Carta de Inundações de Belo Horizonte;
- ✓ Subsidiar a elaboração de projetos de macrodrenagem;
- ✓ Disponibilizar dados para o Centro de Monitoramento e Alerta de Risco – CEMAR, sob a responsabilidade da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil – COMDEC, visando a antecipação de ações de proteção à população residente em áreas de risco de inundações e escorregamento.

Este sistema é composto por 42 estações, sendo 04 (quatro) climatológicas, 11(onze) pluviométricas e 27 (vinte e sete) fluviométricas, que foram implantadas em áreas estratégicas do Município. A definição da localização das estações foi baseada no diagnóstico do sistema de drenagem que gerou a Carta de Inundações de Belo Horizonte, na caracterização das bacias elementares considerando a representatividade dos dados, além de critérios de segurança dos equipamentos e interferências com arborização e edificações que prejudicassem o bom desempenho dessas.

As estações de monitoramento dispõem de sensores de precipitação do tipo báscula, sensores de nível (piezoresistivo ou ultrassônico) e sensor climatológico, que medem precipitação, nível dos cursos d'água, temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento. Os dados obtidos pelos sensores são transmitidos, via GPRS, de 10 em 10 minutos e posteriormente, armazenados e disponibilizados no Banco de Dados Hidrológicos - BDH em forma de tabelas, gráficos e relatórios.

A Figura 1 ilustra as estações de monitoramento 13 e 14 implantadas na Bacia do Córrego Cachoeirinha.



Figura 1 – Estação Fluviométrica 13 – Córrego Cachoeirinha / Av. Bernardo Vasconcelos e Pluviométrica 14

Visando a identificação do funcionamento dos canais, para a emissão de alertas à população e gestores, foram previamente caracterizados os níveis de alerta de cada trecho dos canais monitorados. Foi definido o alerta amarelo a partir de 50% da seção útil do canal, o alerta laranja a partir de 80% da seção útil do canal e o alerta vermelho, o nível de extravasamento do canal. Na Figura 2 é apresentada a seção do canal revestido aberto do córrego Cachoeirinha, identificando os níveis de alerta.

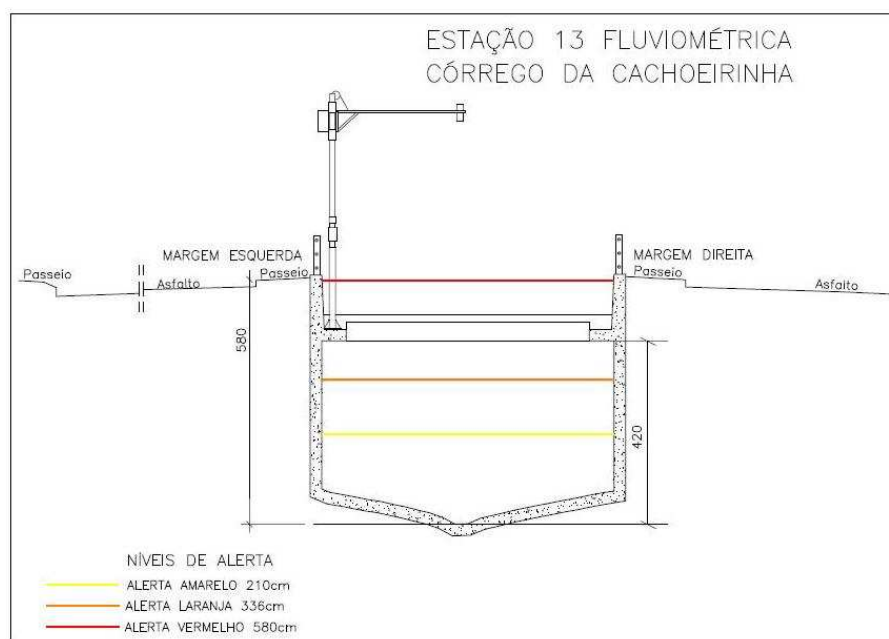


Figura 2- Seção do canal do córrego Cachoeirinha no trecho monitorado.

3. A CARTA DE INUNDAÇÕES DE BELO HORIZONTE

Conforme menciona SUDECAP (2009), a Carta de Inundações foi desenvolvida com base em resultados de estudos de modelagem matemática, hidrológica e hidráulica do sistema de macro drenagem da cidade de Belo Horizonte, nos quais foram identificados os trechos de canais com insuficiências hidráulicas, parametrizados em função das probabilidades de ocorrências de vazões extremas. Os trechos com insuficiências hidráulicas, identificados nos estudos de modelagem, foram verificados em campo por meio de visitas técnicas e confirmados pelos moradores locais.

Somou-se também ao material para desenvolvimento da metodologia, as manchas de inundação existentes nos produtos do Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte – DRENURBS, o qual estudou os córregos com calha em situação natural na cidade.

A partir do tratamento e avaliação dos estudos realizados, considerando as informações topográficas da cidade, geraram-se as superfícies ou planos de inundação (polígono elaborado pela interligação entre os pontos com informação de alturas ou níveis d'água), delimitando-se uma mancha de inundação.

A associação entre as manchas de inundação e alturas pluviométricas foi efetuada através da equação IDF (intensidade, duração e frequência de chuvas intensas) proposta por Pinheiro e Naghettini (1998) para a Região Metropolitana de Belo Horizonte, cujas curvas são apresentadas na Figura 3.

Assim, com base nas modelagens matemáticas desenvolvidas, foi possível atribuir os períodos de retorno em que os extravasamentos ocorrem. Com estas informações foram construídos os gráficos de riscos para as áreas potencialmente suscetíveis a inundação, onde a duração e altura da chuva foram associadas ao risco de inundação. Neste gráfico foram definidas 04 (quatro) faixas de riscos: Nível Crítico, Nível Emergencial, Nível de Alerta, Situação Normal, conforme Figura 4. O nível crítico foi definido de acordo com o Tempo de Retorno a partir do qual ocorre extravasamento conforme modelo matemático. Os demais níveis foram associados a tempos de retorno inferiores ao de extravasamento. Estes níveis não tem relação com aqueles relacionados à seção do canal do sistema de monitoramento, havendo correspondência somente do alerta vermelho do sistema de monitoramento com o Nível Crítico do Gráfico de Risco, que correspondem ao extravasamento do canal.

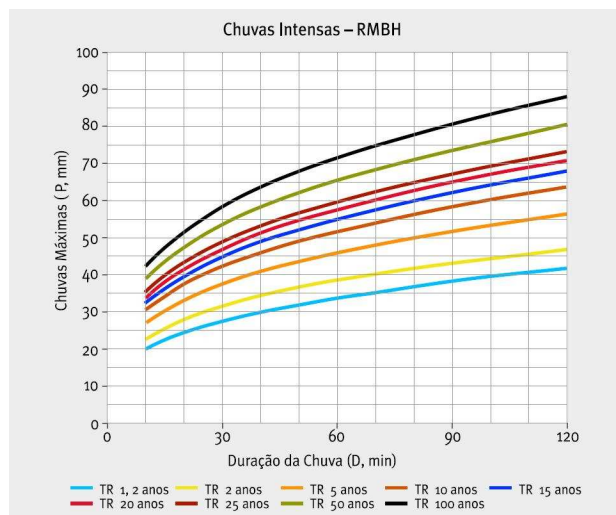


Figura 3 – Curvas IDF. Adaptado SUDECAP, 2009.

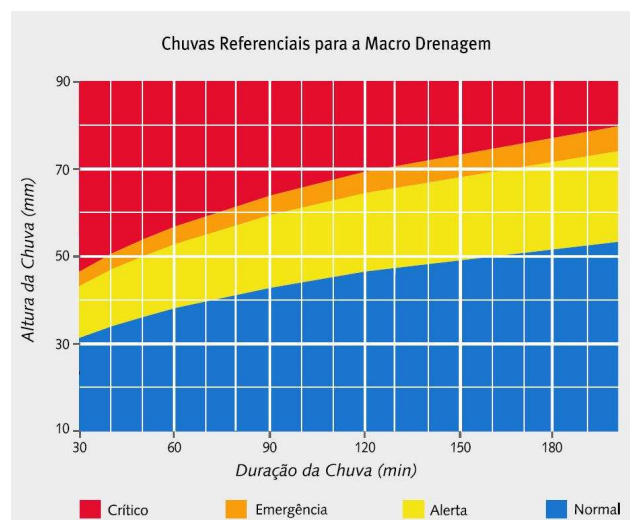


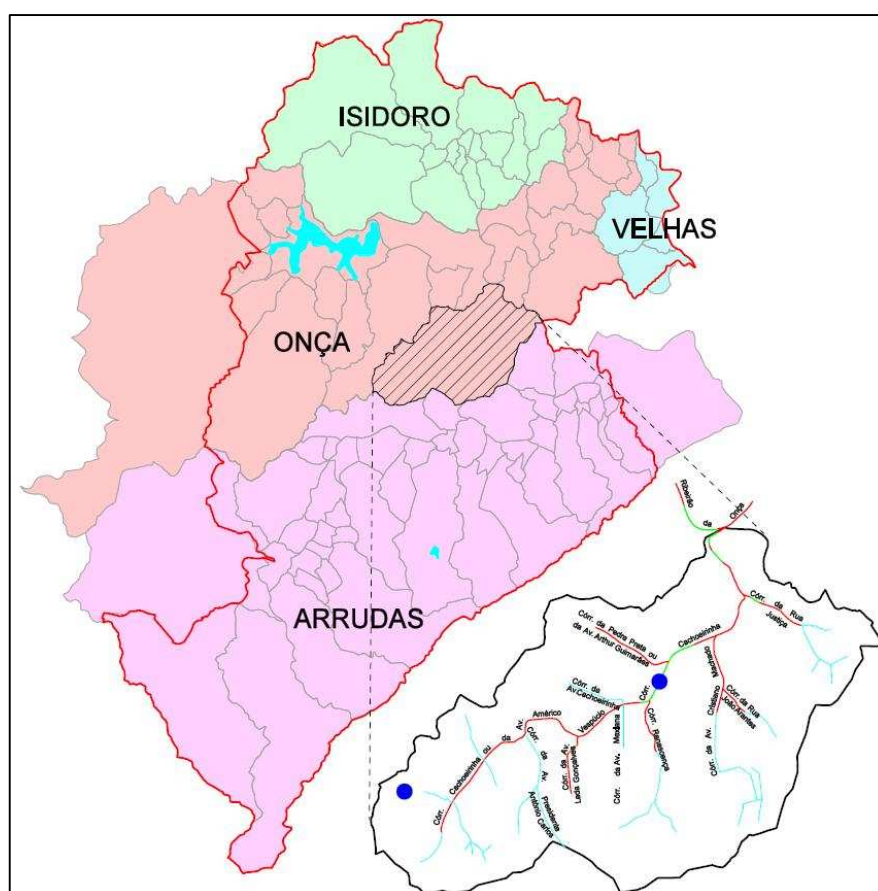
Figura 4 – Gráfico de Risco. Adaptado SUDECAP, 2009.

4. ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de validar o gráfico de risco da Carta de Inundações de Belo Horizonte, aplicando as variáveis precipitação e níveis d'água, obtidas por meio do Sistema de Monitoramento Hidrológico, foi destacado dentro do município de Belo Horizonte um trecho do Córrego Cachoeirinha, compreendido entre as estações 14 e 13, pertencentes à bacia de mesmo nome. A estação 13 registra dados de precipitação e nível d'água, e a estação 14, localizada na cabeceira da bacia, registra dados de precipitação. A Figura 5 apresenta o mapa do Município destacando a bacia com o trecho do Córrego Cachoeirinha e a localização das estações de monitoramento. Para fins de

Tabela 1 - Caracterização da Bacia do córrego Cachoeirinha

Item	Descrição	Unidade	Dados
L	Comprimento total do talvegue	m	7.790
L ₁	Comprimento do curso d'água principal	m	7.010
H	Diferença de cota entre a seção de controle e o ponto mais a montante da bacia	m	149
d	Declividade total da bacia (H/L)	m/m	0,0196
Área	Área da bacia elementar	ha	1.579



Foram selecionados, a partir do período monitorado, todos os eventos que geraram alertas na bacia do Cachoeirinha, sendo que em três deles ocorreu extravasamento (alerta vermelho), um deles gerou alerta laranja e cinco deles gerou alerta amarelo. Na tabela 2 são apresentados, em ordem cronológica, tais eventos, contendo a seguinte caracterização: data do evento, duração do evento, precipitação acumulada, intensidade média, nível d'água máximo e hora do pico. Constatou-se que para a maioria dos eventos, o alerta ocorreu antes do término dos mesmos. Portanto, acrescentamos à tabela a precipitação acumulada até o alerta e sua respectiva duração. Na coluna nível d'água estão destacadas as cores representativas da ocorrência de alerta.

Com o objetivo de compreender os eventos na sua distribuição temporal e a resposta da bacia, foram elaborados gráficos de todos os eventos, sendo apresentado na Figura 6 o gráfico relativo ao evento 1, ocorrido em 15/12/2011 e na Figura 7 o gráfico do evento 7, do dia

10/12/2012. Para os dois eventos os gráficos representam as precipitações das estações 13 e 14 a cada 10 minutos, a precipitação acumulada, o nível d'água registrado e os níveis de alerta.

Tabela 2 – Resumo dos eventos selecionados referentes às estações 13 e 14.

Evento	Data	Est.	D (min)	P _{Acum.} (mm)	I (mm/h)	Nível (cm)	Hora	P _{Acum.} Alerta (mm)	D _{Alerta} (mm)
1	15/12/11	13	230	43,0	22,4	215	11:30	34,4	200
		14	230	48,6	25,4			44,6	200
2	30/12/11	13	110	57,2	62,4	654	21:00	40,6	40
		14	140	37,6	32,2			28,2	40
3	29/01/12	13	110	25,6	27,9	259	21:30	22,8	100
		14	120	24,4	24,4			24,2	100
4	15/03/12	13	110	32,2	35,1	224	20:40	31,4	30
		14	100	37,6	45,1			23,2	30
5	04/11/12	13	60	22,0	44,0	246	20:50	18,6	30
		14	50	21,2	50,9			17,2	30
6	15/11/12	13	120	57,2	57,2	609	21:00	38,8	30
		14	100	47,2	56,6			31,8	40
7	10/12/12	13	50	51,8	124,3	457	20:40	51,8	50
		14	60	59,8	119,6			54,0	40
8	07/01/13	13	110	55,6	60,7	223	18:10	43,8	40
		14	90	38,6	51,5			31,2	50
9	20/01/13	13	50	47,2	113,3	656	21:00	44,8	30
		14	40	42,4	127,2			42,4	40

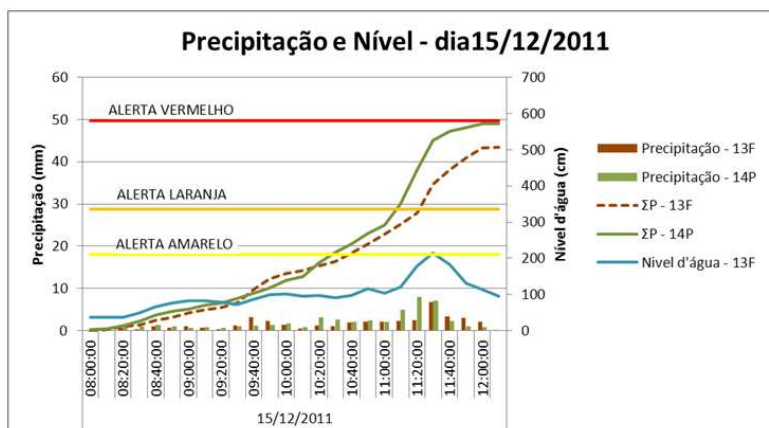


Figura 6 – Ietograma e variação do nível d'água do evento 1

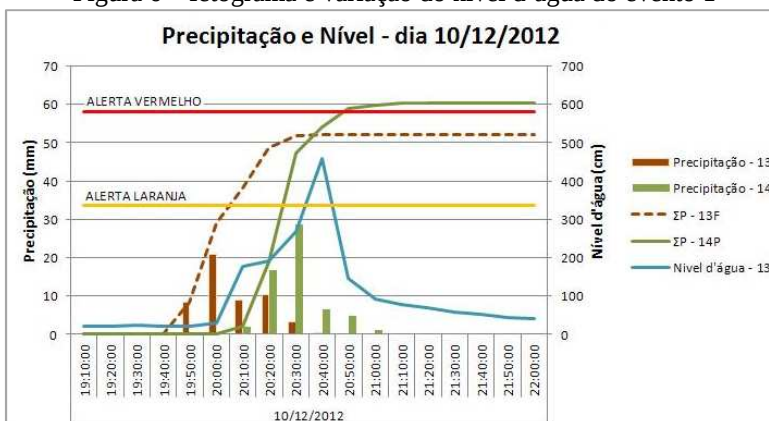


Figura 7 – Ietograma e variação do nível d'água do evento 7

Para avaliação dos dados reais frente ao Gráfico de Risco da Carta de Inundações, foram analisados os eventos selecionados considerando-se como representativo dos eventos as médias aritméticas das durações e a média ponderada pelo método de Thiessen da precipitação acumulada das estações 13 e 14, até o momento do alerta (mostrados na Tabela 3). Pelo método de Thiessen, observou-se que apenas as estações 13 e 14 influenciam na área drenada correspondente ao ponto de instalação da estação 13 e que estas correspondem a 52 e 48% da área drenada, respectivamente. Os dados dos nove eventos observados foram plotados sobre Gráfico de Risco da bacia em estudo, conforme mostra a Figura 8.

Tabela 3: Dados dos eventos ocorridos no Córrego Cachoeirinha

Evento	Est.	D _{Alerta} (mm)	P _{Acum.} Alerta (mm)	Média D _{Alerta} Média (mm)	Média P _{Acum.} Alerta (mm)	Evento	Est.	D _{Alerta} (mm)	P _{Acum.} Alerta (mm)	Média D _{Alerta} Média (mm)	Média P _{Acum.} Alerta (mm)
1	13	50	52,5	50	41,0	6	13	30	42,8	35	38,3
	14	50	28,6				14	40	33,4		
2	13	200	34,4	200	39,3	7	13	50	51,8	45	52,9
	14	200	44,6				14	40	54,0		
3	13	100	22,8	100	23,5	8	13	40	43,8	45	37,8
	14	100	24,2				14	50	31,2		
4	13	30	31,4	30	27,5	9	13	30	44,8	35	43,6
	14	30	23,2				14	40	42,4		
5	13	30	18,6	30	17,9						
	14	30	17,2								

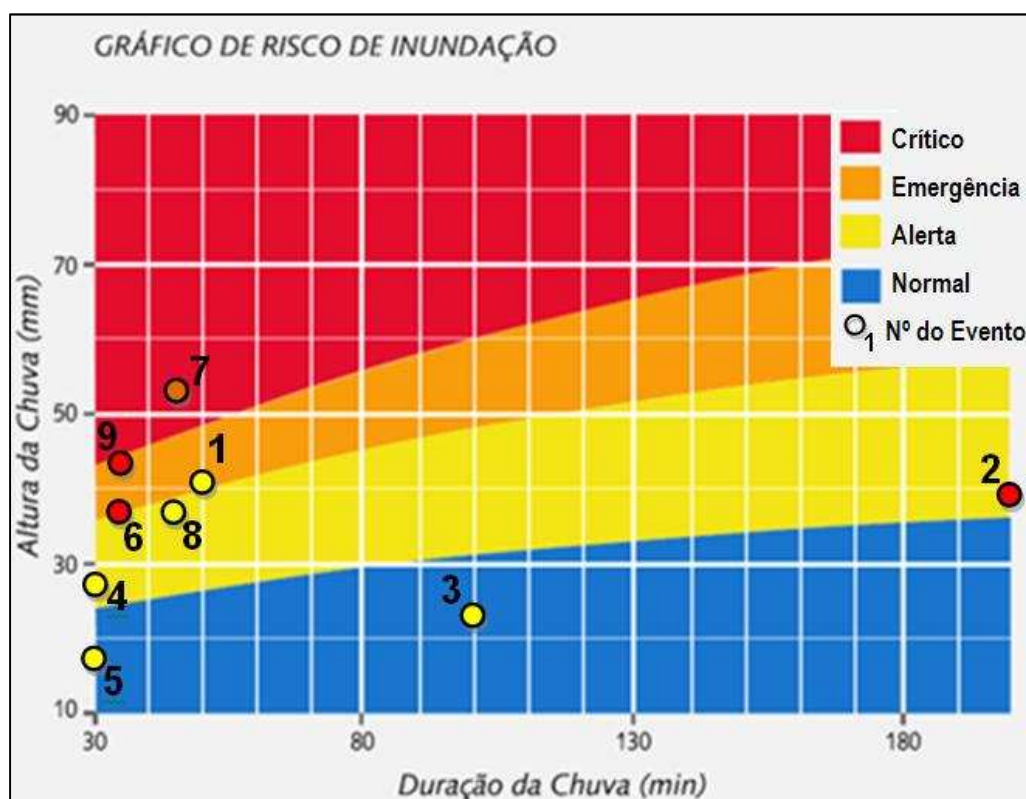


Figura 8 – Gráfico de Risco - Córrego Cachoeirinha

Ressalta-se que as cores correspondentes aos alertas não são coincidentes, à exceção do alerta vermelho, que corresponde ao extravasamento do canal para as duas metodologias. Pode-se observar que os eventos observados não validam o Gráfico de Risco de Inundação. Há eventos em que o alerta dado foi vermelho e no gráfico estes não correspondem a extravasamento, estando em nível de Emergência. O Evento 7 (Figura 7) se destaca dos demais: não houve transbordamento, fato corroborado por observações no local, entretanto observando-se o evento no Gráfico de Risco este corresponderia a um nível Crítico, portanto com extravasamento. Este evento teve grande defasagem do início da chuva nas duas estações, tendo a chuva se locomovido de jusante para montante, diferentemente dos demais eventos estudados.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma avaliação do Gráfico de Risco da bacia do Cachoeirinha a partir de eventos de precipitação com medições dos níveis d'água monitorados na mesma bacia. Com base nos nove eventos que geraram alerta de inundação, pôde-se observar que o Gráfico de Risco não indicaria alerta de extravasamento para os eventos em que inundações foram observadas.

Propõe-se, como ferramenta de gestão para a bacia do Cachoeirinha que o nível crítico passe a englobar a faixa alaranjada no Gráfico de Risco, gerando assim alertas de extravasamento mais próximos da realidade observada.

Os Gráficos de Risco são uma ferramenta importante para a emissão de alertas com antecedência para a população que vive nas áreas de risco de inundações. Recomenda-se que a validação dos Gráficos de Risco para todas as bacias em que ocorram inundações em Belo Horizonte devem ser realizadas a partir das observações obtidas até o momento e que à medida que novos dados forem sendo adquiridos os Gráficos de Risco devem ser gradativamente aprimorados. Além disso, recomenda-se que seja realizado o aprimoramento dos modelos hidrológico e hidráulico do município através da inclusão nestes dos eventos observados.

REFERÊNCIAS

CHAMPS, J. R., PEREZ, S. T. C., FRÓES, C. M. V. (2001) O planejamento do sistema de drenagem urbana na cidade de Belo Horizonte. In Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa. set. 2001.

PINHEIRO, M. M., NAGUETTINI, M. (1998) Análise regional da frequência e distribuição temporal das tempestades na região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 3 n.4 Out/Dez 1998.

SUDECAP (2009), Carta de Inundações de Belo Horizonte.