

IX-014 – ESPACIALIZAÇÃO E PRECIPITAÇÃO MÉDIA DOS EVENTOS EXTREMOS NA BACIA DO ALTO VALE DO ITAJAÍ

Bruno Henrique Abatti⁽¹⁾

Graduando de Engenharia Sanitária na Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Gabriele Vanessa Tschöke⁽²⁾

Professora no departamento de Engenharia Sanitária, Universidade do Estado de Santa Catarina, mestre em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

Endereço⁽¹⁾: Rua . Dr. Getúlio Vargas, 2822 - Bela Vista - Ibirama – SC – CEP: 89140-000 – Brasil – Tel: (47) 9 9601-3143 – e-mail: bruno_abatti@hotmail.com

RESUMO

O estado de Santa Catarina, mais especificadamente a região do Vale do Itajaí, possui um extenso histórico de ocorrência de desastres hidrológicos. No Alto Vale do rio Itajaí foi implementado um sistema composto por três barragens de controle de cheias. Os eventos de inundação continuam recorrentes mesmo após a construção das barragens. Inclusive, o extravasamento da capacidade dos reservatórios do rio Itajaí do Sul e Itajaí do Oeste vem ocorrendo com uma frequência bienal. Observando esta frequência de superação dos reservatórios, surge o interesse em quantificar as precipitações desencadeadoras de extravasamentos nos vertedores dos reservatórios e consequentemente de inundações no Alto Vale do rio Itajaí. Portanto, a partir dos métodos do polígono de Thiessen, de interpolação pelo inverso da distância ao quadrado, de interpolação pelo inverso da distância e pela média aritmética simples, as precipitações médias de três eventos foram quantificadas na bacia. Notou-se que um evento de aproximadamente 83 mm de precipitação média na bacia já superou a capacidade do reservatório Sul e elevou o rio Itajaí do Sul no município de Rio do Sul em mais de 2m de sua capacidade. Constatou-se, também, que os valores da precipitação média na bacia do Alto Vale do rio Itajaí obtidos por quatro diferentes métodos ficaram muito próximos.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação Média, Inundações, Alto Vale do rio Itajaí.

INTRODUÇÃO

As atividades de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, gerenciamento dos resíduos sólidos e manejo de águas pluviais integram o saneamento básico. A Lei de Saneamento^[1], apesar de inserir a drenagem e o manejo de águas pluviais, não contempla questões importantes relacionadas ao tema como o combate a inundações e prevenção de riscos^[2]. As inundações acarretam em danos econômicos, sociais e ambientais e são cada vez mais recorrentes. Com o objetivo de alterar esta tendência é necessário incorporar, no manejo das águas, alguns princípios de controle de enchentes, sendo estes a não transferência do aumento de vazão devido à urbanização a jusante e a priorização da recuperação da infiltração natural da bacia.

O estado de Santa Catarina, em especial a região do Vale do Itajaí, possui um extenso histórico de ocorrência de desastres hidrológicos. Desde a formação das primeiras comunidades ocorrem inundações na região. Vale apontar que a forma e as características topográficas da bacia favorecem a ocorrências destes eventos.

Os impactos causados por estes desastres hidrológicos ressaltaram a importância do envolvimento de toda a comunidade técnico-científica para a compreensão destes fenômenos, a fim de melhorar a qualidade das informações e aumentar o poder de resiliência da sociedade diante de um evento hidrológico extremo^[3].

Os danos mais significativos causados pelas recorrentes inundações na bacia do rio Itajaí ocorreram em Blumenau, Itajaí, Gaspar e Rio do Sul. As quatro cidades possuem grande número de população e indústrias. São considerados como municípios prioritários para a adoção de medidas contra as enchentes^[4].

Para minimizar as influências causadas pelas cheias, foi implementado um sistema composto por três barragens de controle de cheias no Alto Vale do Itajaí. Estes reservatórios armazenam a água escoada superficialmente

durante os eventos de precipitações mais intensas, reduzindo os picos de vazão nos corpos. Estas barragens de contenção construídas nos afluentes de montante, o rio Itajaí do Sul, o rio Itajaí do Oeste e o rio Itajaí do Norte são as instalações mais representativas para o controle de enchentes na região. A soma das áreas de drenagem dessas três barragens é de 4.633km², equivalente a 31% da área total da Bacia do Rio Itajaí^[4].

Os eventos de inundação continuam recorrentes mesmo após a construção das barragens. Inclusive, o extravasamento da capacidade dos reservatórios do rio Itajaí do Sul e Itajaí do Oeste vem ocorrendo com uma frequência bienal.

Observando esta frequência de superação dos reservatórios, surge o interesse em quantificar as precipitações desencadeadoras de extravasamentos nos vertedores dos reservatórios e consequentemente de inundações no Alto Vale do rio Itajaí do Sul. Portanto, este trabalho objetiva quantificar e analisar a distribuição das precipitações médias deflagradoras de inundações na região do Alto Vale do Itajaí, assim como verificar a variabilidade da precipitação média quando estimada por diferentes métodos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisados três eventos de precipitação que desencadearam em inundações na região do Alto Vale do Itajaí, juntamente com a variação do nível dos reservatórios Sul e Oeste. Os eventos foram selecionados de acordo com a disponibilidade de dados e a magnitude da inundação.

Para a representação dos eventos foram elaborados mapas da espacialização da precipitação dos totais diários e do acumulado dos dias de maior intensidade. Estes foram desenvolvidos através de um software de sistema de informações geográficas (SIG), no qual, foram inseridas informações de 15 estações pluviométricas, a fim de realizar a interpolação dos dados por meio do método inverso do quadrado da distância (IQD). A espacialização da precipitação foi elaborada para a região do Alto Vale do Itajaí.

O banco de dados para espacialização da precipitação consiste nas séries históricas, presentes nas 15 estações localizadas na região do Alto Vale do Itajaí, disponibilizadas pelo Sistema Nacional de Informações Hidrológicas, coordenado pela Agência Nacional de Águas.

Através do método IQD, cada célula da bacia recebe um valor de precipitação, sendo que é atribuído maior peso às estações mais próximas. Dessa forma, a influência de um posto pluviométrico diminui conforme aumenta a distância entre o posto e o centro da célula^[5]. As ponderações e estimativas são realizadas para todas as células da bacia. São traçadas então as isoietas, que são linhas de mesma precipitação, que possibilitam a visualização da distribuição espacial do evento de precipitação. A precipitação média na bacia é calculada pela média das precipitações atribuídas a cada célula.

A partir da equação do método Inverso do quadrado da distância (IQD), o valor de precipitação atribuído a cada célula (x_p) é dado por

$$x_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \cdot x_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (1)$$

Onde x_i é a precipitação observada na estação i e d_i é a distância entre o posto pluviômetro amostrado ao centro da célula interpolada.

A precipitação média na bacia é a média dos valores de precipitação atribuídos a cada célula.

Verificou-se a sensibilidade das precipitações médias na bacia quando este método interpolador é submetido a potência 1, ou seja, alterou-se o método para apenas o inverso da distância (ID).

Para a comparação dos métodos de estimativa de precipitação média, aplicou-se também o método dos Polígonos de Thiessen, que consiste em estabelecer um fator de peso às médias de precipitação observadas nos

postos pluviométricos de acordo com a área de influência de cada posto^[6]. Os polígonos foram determinados através de um SIG, no qual, foram inseridos os postos pluviométricos e a delimitação da bacia do Alto Vale do Itajaí, através do algoritmo em específico, definiu-se automaticamente as áreas de influência de cada posto.

$$x_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot x_{pi}}{A} \quad (2)$$

Onde x_p é a precipitação média, x_{pi} é a precipitação observada no i ésimo posto pluviométrico, A_i é área de influência do posto i e A é a área total da bacia.

Por fim, a precipitação média foi calculada pelo método de média aritmética simples. Considerado o método mais simples entre as técnicas para determinação da precipitação média numa bacia hidrográfica, este método é limitado a bacias onde a distribuição espacial das estações pluviométricas é uniforme.

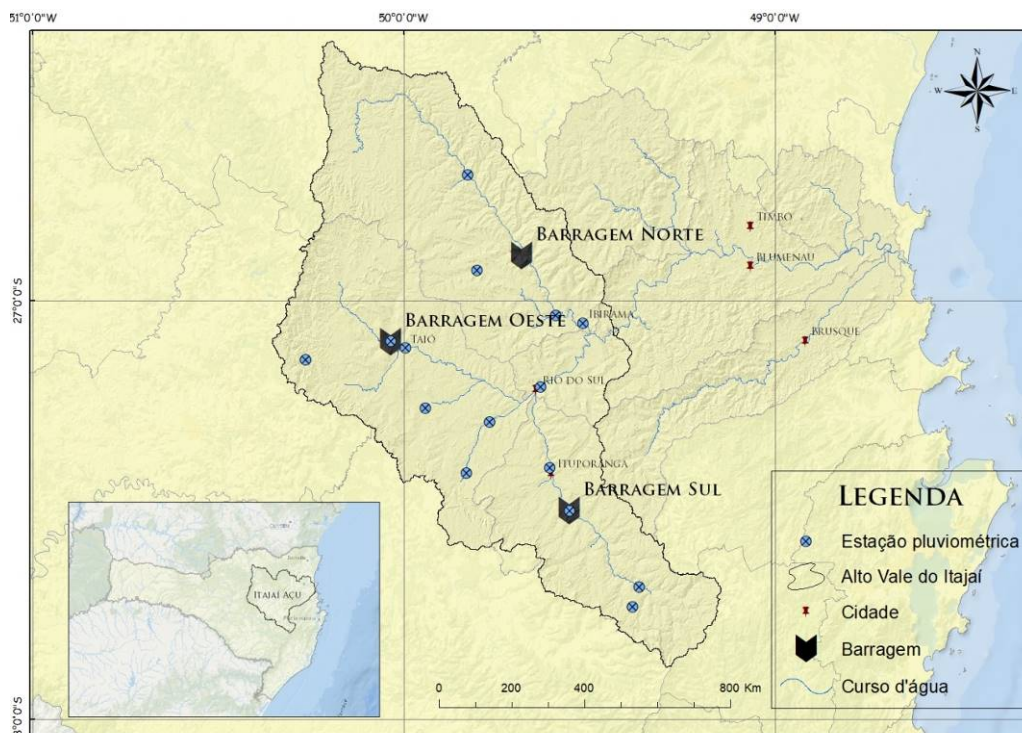


Figura 1: Alto Vale do Itajaí e as estações pluviométricas utilizadas para o cálculo da precipitação média e espacialização da precipitação

ANÁLISE DO EVENTO DE SETEMBRO DE 2011

Em setembro de 2011 houve um dos maiores eventos de inundação na região, tanto por seus volumes de precipitação quanto por seu grande impacto socioeconômico. Precipitações significativas iniciaram ao final do mês de agosto, nos dias 29, 30 e 31. Os resultados apontaram uma precipitação média acumulada de 83 mm. O volume precipitado nestes três dias foi suficiente para superar a capacidade do reservatório da barragem Sul no dia 31 de agosto onde o nível atingiu e superou os 29 metros. Este resultado revela a limitação deste reservatório. Eventos desta magnitude são recorrentes na região. O nível do rio Itajaí do Sul no município de Rio do Sul atingiu a marcação de 8,8m, sendo que a inundação no município é observada sempre que o nível supera os 6,5m.

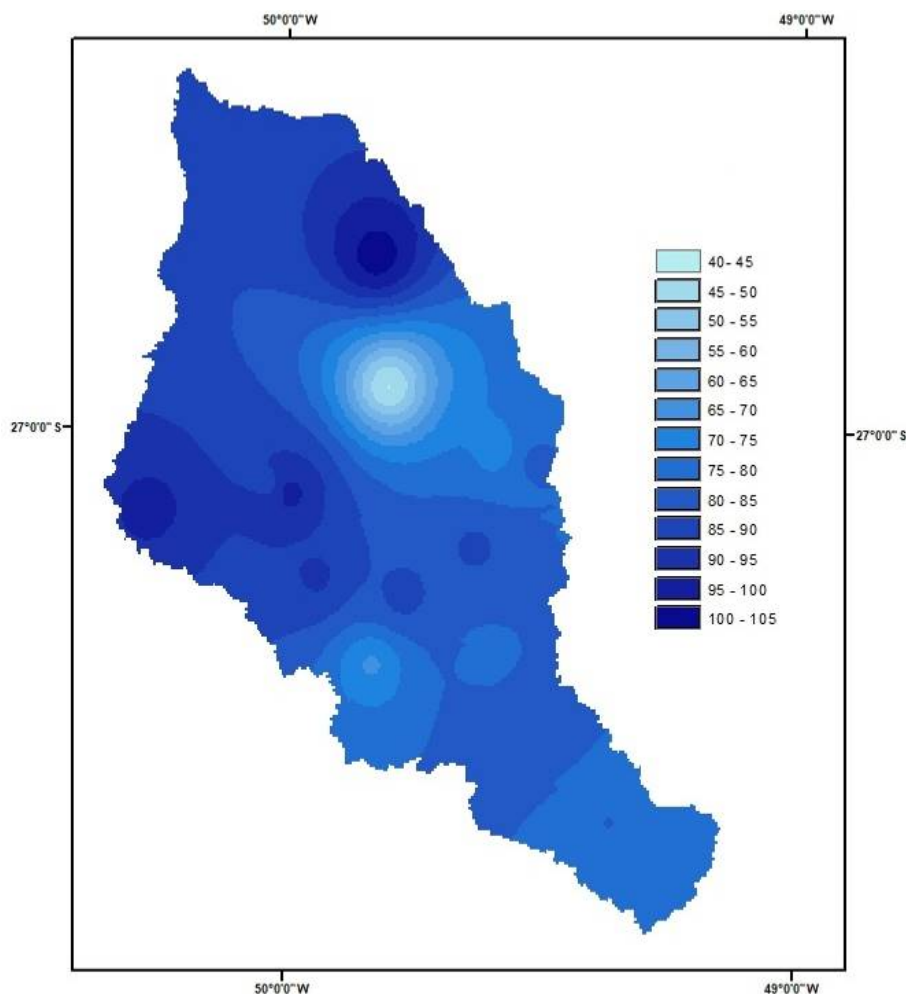


Figura 2: Precipitação acumulada dos dias 29 a 31 de agosto de 2011

Nos dias 1, 2, 3, 4 e 5 de setembro não ocorreram precipitações consideráveis, promovendo a redução do nível da lâmina d'água nos reservatórios Sul e Oeste, diminuindo suas ocupações da capacidade total para 76,9% e 59%, respectivamente. Após este período, nos dias 6, 7, 8 e 9, iniciaram precipitações significativas na região ocasionando a inundação. A precipitação média acumulada nestes dias foi de 211mm, com um pico de aproximadamente 100 mm no dia 9 de setembro.

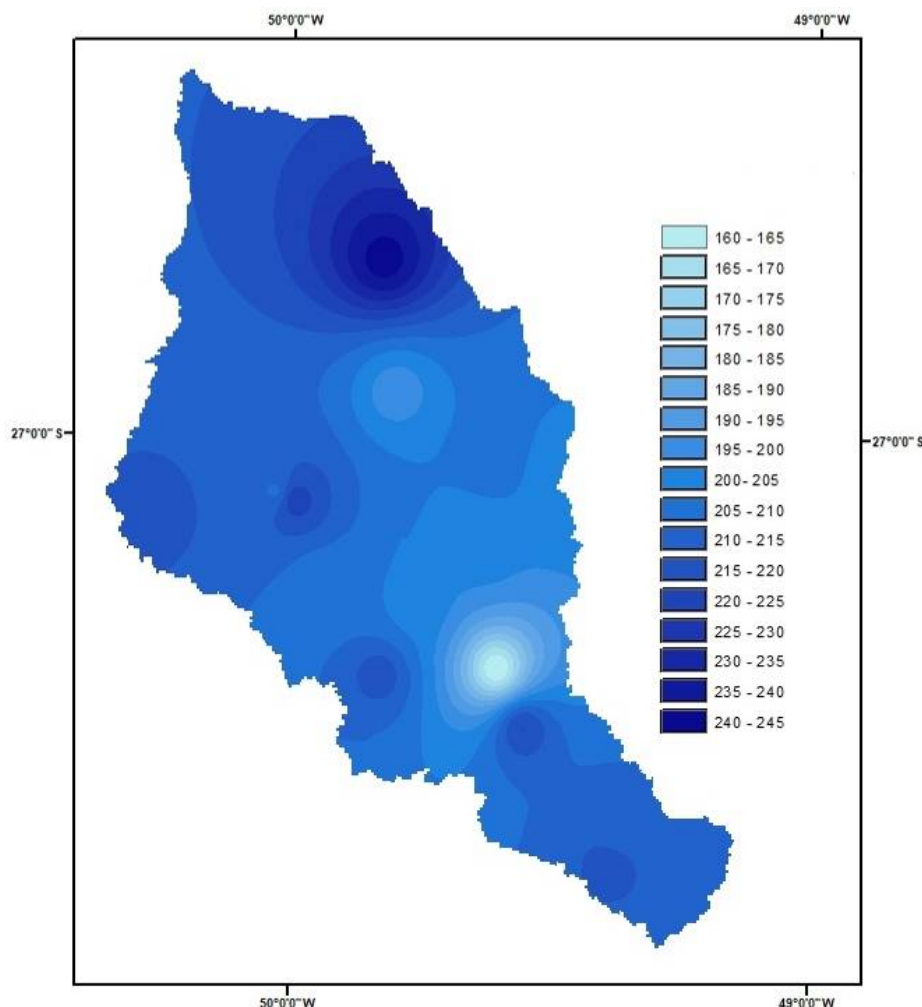


Figura 3: Precipitação acumulada dos dias 6 a 9 de agosto de 2011

Os reservatórios se encontravam com a lâmina da água no nível de 23m na Barragem Sul e 11,35m na Barragem Oeste no dia 6 de setembro, dia em que as precipitações observadas não ultrapassaram 45mm. No dia 8 de setembro tanto a capacidade total da Barragem Sul quanto da Barragem Oeste foram superadas, ocorrendo o vertimento em ambos os reservatórios. Nesta data a precipitação observada ultrapassou os 100 mm no Alto Vale do Itajaí. O pico da precipitação média neste período foi no dia 9 de setembro, onde os reservatórios já estavam completamente ocupados por volumes totais antecedentes. Nota-se que precipitações médias menores que 90 mm em três dias já esgotavam a capacidade dos reservatórios Sul e Oeste. Após estas precipitações o nível do rio Itajaí em Rio do Sul atingiu os 13m, demonstrando a magnitude do evento.

ANÁLISE DO EVENTO DE SETEMBRO DE 2013

Em setembro de 2013 mais uma vez a região do Alto Vale do Itajaí se encontrava em situação de emergência em diversos municípios. As precipitações mais intensas iniciaram nos dias 16 e 17 de setembro. A precipitação acumulada média nestes dois dias foi 47 mm, não promovendo impacto significativo na capacidade de armazenamento das barragens Sul e Oeste.

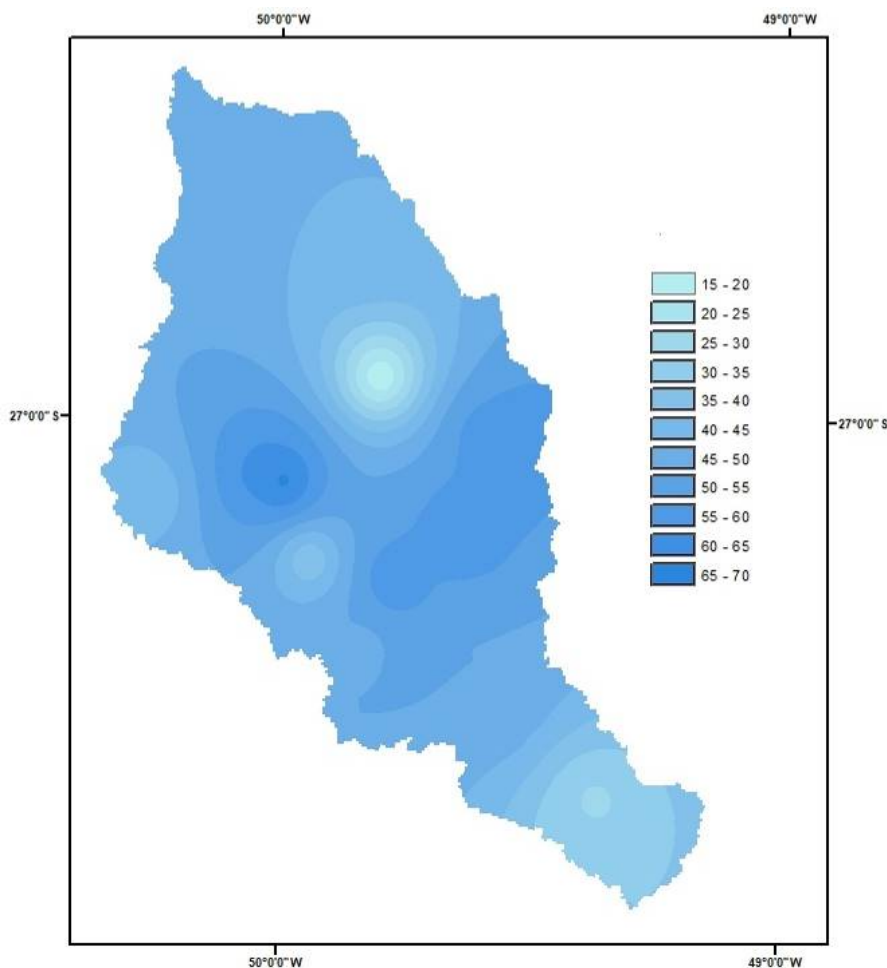


Figura 4: Precipitação acumulado dos dias 16 e 17 de setembro de 2013

Nos dias 20, 21, 22 e 23 de setembro houve uma precipitação acumulada, de cerca de 147mm. No dia 22, em ambos os reservatórios a capacidade foi superada. Este evento distingue-se dos demais observados pelo seu curto período, observa-se que com precipitações de grande magnitude em um pequeno espaço de tempo os reservatórios foram completamente inundados com uma precipitação total entorno de 200mm. Ressalta-se que as precipitações mais consideráveis foram distribuídas principalmente a montante dos reservatórios, comprometendo a capacidade de armazenamento para possíveis eventos futuros. No município de Rio do Sul, o rio Itajaí do Sul atingiu a marcação de 10,4m.

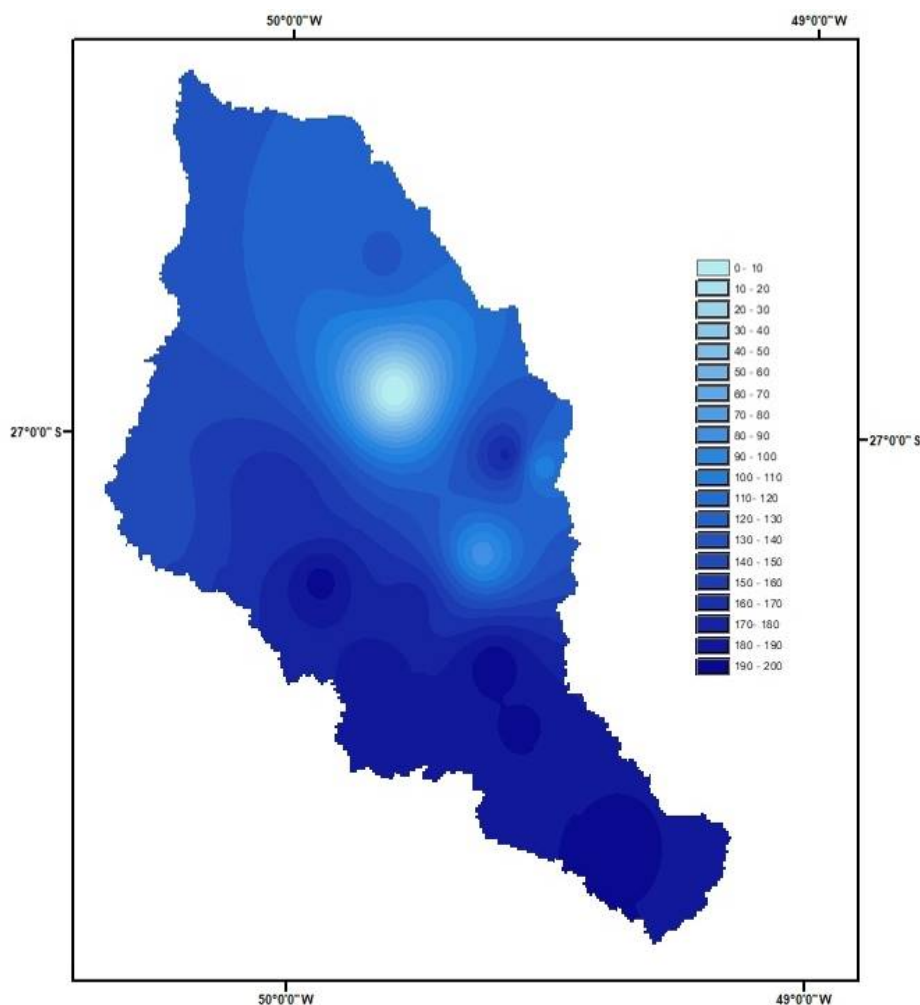


Figura 5: Precipitação acumulado dos dias 20 a 23 de setembro de 2013

ANÁLISE DO EVENTO DE OUTUBRO DE 2015

O evento de inundação sucedido na região do Alto Vale do Itajaí no ano de 2015, iniciou-se ao final do mês de setembro, nos dias 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30, em que ocorreram as primeiras precipitações significativas que desencadearam na inundação ocorrida neste ano. A precipitação acumulada média deste período foi de 111 mm, resultando no vertimento na barragem Sul. No reservatório do rio Itajaí do Oeste (Barragem Oeste) a altura da lâmina d'água alcançou os 13,20m (sendo o nível máximo sem vertimento igual a 19 metros).

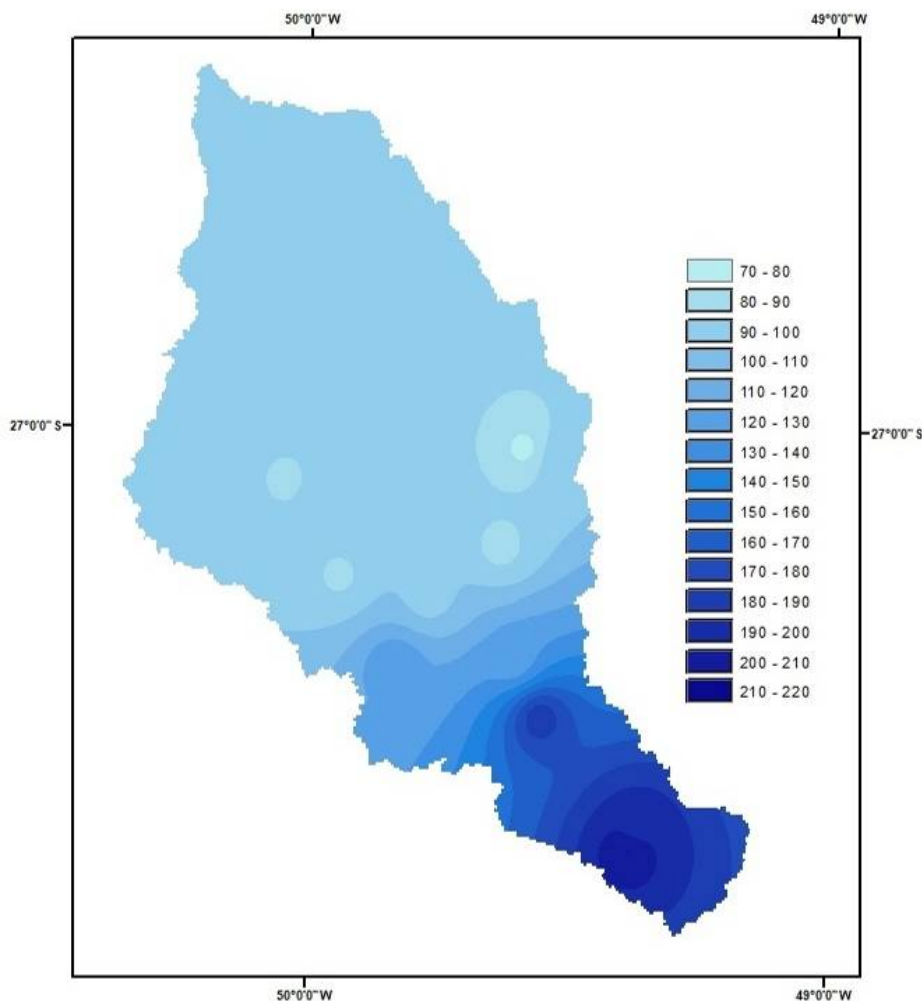


Figura 6: Precipitação acumulada dos dias 24 a 30 de setembro de 2015

Observou-se que nos primeiros dias do mês (1, 2, 3, 4, 5 e 6) de outubro houve uma baixa precipitação acumulada no Alto Vale do Itajaí. Neste período de pouca precipitação todas as comportas foram abertas, ocorrendo uma diminuição da água armazenada nas barragens Sul e Oeste, reduzindo a altura da lâmina d'água para 19,78m e 11m, respectivamente.

As precipitações dos dias 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 de outubro resultaram em um aumento do nível de armazenamento dos reservatórios de contenção de cheias, partindo do nível de 19,78m para 23,07m na Barragem Sul, enquanto que, na Barragem Oeste o nível d'água partiu de 11m para 16,25m.

Nos dias 14, 15, 16, 17, 18 e 19 a precipitação persistiu, logo o nível de água retida nos reservatórios continuou subindo, chegando a altura de 27,09m (Barragem Sul) e 19,52m (Barragem Oeste).

No fim do mês de outubro (20, 21, 22, 23, 24), período em que de fato ocorreu inundações significativas na bacia do Alto Vale do Itajaí, as precipitações acumuladas chegaram a cerca de 190mm. Ocorreu, então, o transbordamento tanto da barragem Sul quanto da barragem Oeste, visto que, ao início desta grande quantidade de precipitação estes já se encontravam com sua capacidade total reduzida. Portanto, as precipitações desencadeadoras do evento de inundação de 2015, não devem ser atribuídas apenas ao volume gerado ao fim do mês de outubro, uma vez que, ao final do mês de setembro deste ano, chuvas antecedentes já reduziam consideravelmente a capacidade de armazenamento dos reservatórios, assim potencializando a inundação ocorrida em outubro de 2015, onde o nível observado no Rio Itajaí do Sul foi de 10,7m.

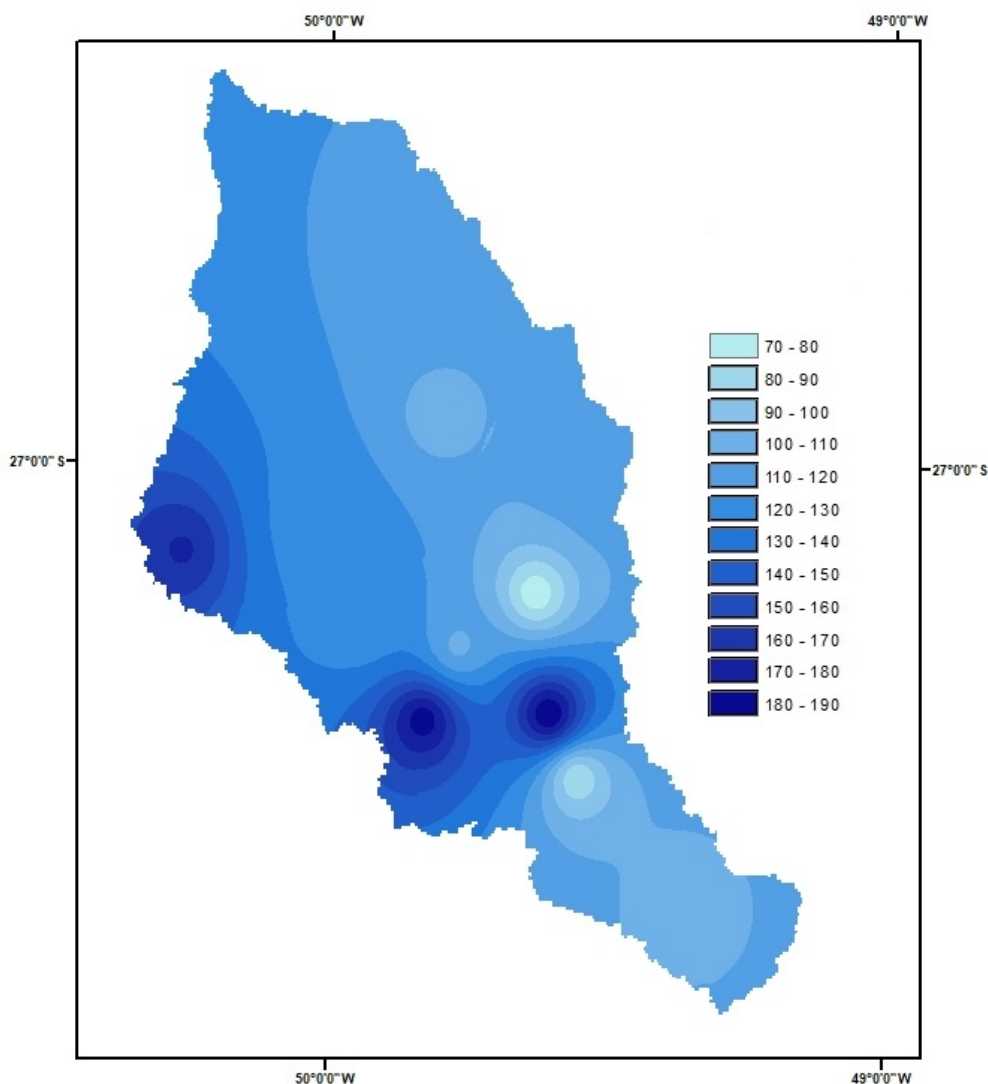


Figura 7: Precipitação acumulada dos dias 20 a 24 de outubro de 2015

ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA

A interpretação dos dados pluviométricos dos eventos hidrológicos se deve ao cálculo da quantidade de precipitação em uma determinada área, portanto, buscou-se demonstrar a variabilidade dos dados pluviométricos quando efetuado o cálculo por diferentes métodos. Ressalta-se que não se objetivou determinar qual método é o mais eficiente para representação da precipitação média, procurou-se evidenciar a variabilidade dos resultados pelas metodologias supracitadas.

Aplicando o método de média aritmética simples, constatou-se que para a conjuntura de estações pluviométricas e os eventos estudados na bacia do Alto Vale do Itajaí os valores de precipitação média se mostraram aceitáveis quando comparados aos outros métodos. Em geral, se observa uma pequena variação dos resultados obtidos quando comparados aos resultados alcançados pelos outros métodos analisados. Destaca-se que o evento em que o método obteve maior instabilidade, quando comparado aos outros valores obtidos, foi o evento de 2015, neste evento houve uma variação de aproximadamente 7% do valor obtido com a média aritmética simples frente aos outros métodos utilizados, a grande concentração de precipitação em alguns postos pluviométricos em específico podem ter contribuído para esta variação da precipitação média.

Utilizando o método dos polígonos de Thiessen se observou resultados significantemente consistentes, isso é, os resultados obtidos se aproximaram dos demais valores alcançados. Está convergência dos resultados obtidos demonstra a consistência das informações hidrológicas nos eventos hidrológicos extremos na bacia do Alto Vale do Itajaí, assim como manifesta as vantagens de se ter um número efetivamente representativo de estações de monitoramento hidrológico.

Ocupando os mapas especializados pelo método IQD, determinou-se a precipitação média. Espera-se que os resultados obtidos por este método sejam os mais representativos, visto que, este método efetivamente aplica a variabilidade espacial da precipitação ao longo da bacia, assim, espera-se que a precipitação média obtida por esta metodologia de fato represente a precipitação desencadeadora dos eventos hidrológicos extremos.

As tabelas 1, 2 e 3 evidenciam os resultados de precipitação média obtidos pelas metodologias abordadas no estudo.

Tabela 1: Valores de precipitação média obtidos no evento hidrológico de 2011.

Período	Método	Precipitação Média (mm)
29 a 31	Média Aritmética	82.32
	Polígonos de Thiessen	84.28
	IQD	82.78
	ID	82.3
6 a 9	Média Aritmética	209.34
	Polígonos de Thiessen	214.7
	IQD	210.84
	ID	208.73

Tabela 2: Valores de precipitação média obtidos no evento hidrológico de 2013.

Período	Método	Precipitação Média (mm)
16 e 17	Média Aritmética	47.33
	Polígonos de Thiessen	45.54
	IQD	47.1
	ID	47.33
20 a 23	Média Aritmética	153.55
	Polígonos de Thiessen	144.08
	IQD	146.8
	ID	148.57

Tabela 3: Valores de precipitação média obtidos no evento hidrológico de 2015.

Período	Método	Precipitação Média (mm)
24 a 30	Média Aritmética	117.67
	Polígonos de Thiessen	111.93
	IQD	111.34
	ID	109.17
1 a 6	Média Aritmética	25.08
	Polígonos de Thiessen	26.3
	IQD	25.37
	ID	24.98
7 a 13	Média Aritmética	124.26
	Polígonos de Thiessen	126.4
	IQD	125.49
	ID	124.06
14 a 19	Média Aritmética	97.77
	Polígonos de Thiessen	92.43
	IQD	94.84
	ID	100.5
20 a 23	Média Aritmética	122.6
	Polígonos de Thiessen	121.13
	IQD	122.371
	ID	123.23

Destaca-se que o fator preponderante na diferenciação dos métodos utilizados é quanto cada método leva em consideração a variabilidade espacial da precipitação para o cálculo da precipitação média da bacia, para os eventos analisados os métodos demonstraram concordância entre os resultados obtidos.

Presume-se que os métodos com maior detalhamento na definição da precipitação média na bacia são os Polígonos de Thiessen e o cálculo através do interpolador IQD, nesse contexto, percebe-se que exista uma grande concordância entre os resultados obtidos por essas duas metodologias. Expondo a capacidade destes dois métodos de representar de forma apropriada os valores de precipitação média em eventos hidrológicos extremos na bacia do Alto Vale do Itajaí.

CONCLUSÕES

A espacialização da precipitação média na bacia facilita a compreensão dos eventos de precipitação que desencadeiam em eventos de inundação na bacia, assim como, expõe a dinâmica dos reservatórios na mitigação de cheias. No Alto Vale do Rio Itajaí, notou-se que um evento de 83 mm de precipitação média na bacia já superou a capacidade de um dos reservatórios e elevou o rio Itajaí do Sul no município de Rio do Sul em mais de 2m de sua capacidade. A análise destes eventos demonstra a suscetibilidade do município de Rio do Sul, aqui especialmente abordado.

Entende-se que a precipitação, como variável climatológica, é o principal indicador na compreensão dos desastres hidrológicos, no entanto, evidencia-se que o entendimento de um evento hidrológico extremo se deve principalmente na percepção da relação da magnitude e espacialização da precipitação, com o sistema de contenção de cheias e com a vulnerabilidade da comunidade existente.

Quanto a quantificação da precipitação média na bacia do Alto Vale do Itajaí, verificou-se que os valores da precipitação média obtida pelos quatro métodos são muito próximos, apresentaram significativa convergência nos resultados obtidos, sendo que a maior variação foi de 7% entre os métodos analisados e a menor de 0.16%, demonstrando de forma breve a consistência dos dados hidrológicos observados, nos eventos de extrema precipitação analisados, bem como, evidenciando a aplicabilidade dos métodos referidos para o cálculo de precipitação média.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. (2007) Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.937, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF
2. SILVA, S. P. Ferramenta de apoio ao manejo de águas pluviais urbanas com base em indicadores de sustentabilidade – SAMSAP. 2016. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. 263 pag.
3. FRANK, B.; SEVEGNANI, L. Desastres de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política. Blumenau, Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.
4. JAPAN INTERNATIONAL COORPORATION AGENCY. Progress Report on the Itajaí River Basin Flood Control Project. Tokyo, Japão. 1986.
5. _____. Estudo preparatório para o projeto de prevenção e mitigação de desastres da bacia do Rio Itajaí. Santa Catarina. 2011.
6. AMORIM, R.C.F. et al. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. Acta Sci. Technol, Maringá, v. 30, n. 1, p.97-91, 2008.
7. PINTO, Nelson L. de Sousa et al. Hidrologia Básica. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1976.
8. GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. Hidrologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1988.