

## IV-078 – AQUISIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS DE UMA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADA

**Felipe Berti Previdi<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) e estudante de Engenharia Civil pela mesma instituição. Possui experiência em projeto de pesquisa científica de diagnóstico, planejamento e manejo de recursos hídricos, desenvolvendo técnicas de recuperação e monitoramento de áreas ripárias.

**Dionei Minuzzi Delevati**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Pelotas (UFPeL), mestre e doutor em Desenvolvimento Regional pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Professor adjunto do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias e do Mestrado em Tecnologia Ambiental da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Independência, 2293, Sala 5220 - Universitário – Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: (51) 8226-3504 - e-mail: [felipe@previdiengenharia.com](mailto:felipe@previdiengenharia.com)

### RESUMO

O presente trabalho aborda a calibração e instalação de uma estação de monitoramento hidrológico com a finalidade de obter uma série histórica de dados de precipitação, sedimentos em suspensão e nível d'água do Arroio Andréas, localizado no município de Vera Cruz-RS. A partir da obtenção dos dados coletados foi possível interpolar estes três parâmetros e determinar o hidrograma e o comportamento típico da rede de drenagem. Nas 15 precipitações registradas durante o estudo obteve-se os valores médios (hh:mm) de 4:03, 8:24, 13:58, 41:25, 49:42 e 54:00 para os tempos de pico, ascensão, retardo, concentração, recessão e base, respectivamente. Também foi observada uma relação direta entre a altura manométrica do recurso hídrico e a quantidade de sedimentos em suspensão na água. Ademais, foi possível estabelecer uma relação matemática entre o montante precipitado e o aumento de nível esperado para o arroio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Monitoramento hidrológico, hidrograma, hidrologia, bacia hidrográfica.

### INTRODUÇÃO

Na ciência é de vital importância a confiabilidade, clareza e consistência dos dados coletados, pois são através deles que os pesquisadores fazem as suas análises e realizam as suas conclusões. Em se tratando especificadamente da área da hidrologia, nota-se uma escassez tanto na disponibilidade quanto na qualidade de tais dados, realidade essa que pode ser atribuída a fatores como a ausência de incentivos financeiros para as pesquisas na área, bem como às dificuldades técnicas e operacionais a nível prático, refletindo-se na falta de redes de monitoramento hidrológico.

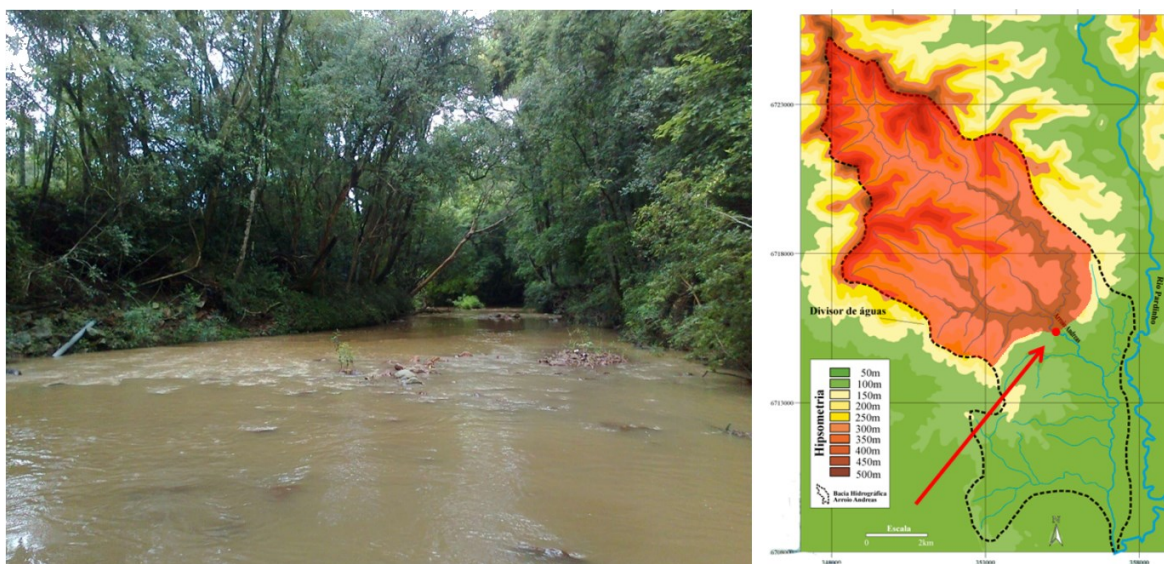
Atualmente há um consenso muito bem fundamentado no meio científico de que a bacia hidrográfica é a unidade ambiental mais adequada para o tratamento dos componentes e da dinâmica das interações concernentes ao planejamento e à gestão do desenvolvimento, especialmente no âmbito da região na qual a bacia está inserida. Uma ferramenta muito eficaz para o entendimento da bacia hidrográfica é o hidrograma, uma análise gráfica que correlaciona no tempo a pluviosidade com a vazão do recurso hídrico de algum determinado local. A distribuição desta vazão no tempo é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica, dependendo de um grande número de fatores como, por exemplo, o relevo e a cobertura superficial da bacia, modificações artificiais no rio e a distribuição e intensidade da precipitação.

Tendo em vista que dados hidrológicos são de suma importância para a compreensão, previsão, planejamento e prevenção de fenômenos potencialmente danosos à humanidade como, por exemplo a escassez hídrica, enchentes e erosão, o trabalho teve por objetivo a obtenção e interpretação de dados hidrológicos de um recurso hídrico através da instalação de uma estação de monitoramento fluviométrico automatizada para, então, interpolar os dados de precipitação, sedimentos e vazão adquiridos, com o intuito de determinar as características da bacia hidrográfica estudada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada uma estação de monitoramento hidrológico marca Solar Instrumentação modelo SL2000, instalada em 26 de agosto na sub-bacia do Arroio Andréas, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – RS, nas coordenadas geográficas 29°40'51.17"S 52°29'42.89"O e a uma altitude de 45 metros em relação ao nível médio do mar, abrangendo uma área total de drenagem de 5.251 hectares e com amplitude altimétrica de 411 metros. Da nascente até a estação de monitoramento o referido arroio possui 18,7 km de extensão e uma declividade média de 0,0174 m/m.

O local de instalação do sistema (composto por *datalogger*, sensor de nível, sensor de turbidez/sedimentos, pluviômetro basculante, painel fotovoltaico e bateria suplementar) foi determinado de acordo com a densidade e representatividade hídrica da rede de drenagem para a população e para a produção agrícola a nível regional. O principal recurso hídrico da sub-bacia é o Arroio Andréas que, conforme o IBGE (2010), abastece via rede geral mais de 7.200 domicílios da cidade de Vera Cruz, além suprir a demanda hídrica de mais de 1.000 domicílios rurais, cuja principal atividade econômica é a agricultura familiar em minifúndios. A Figura 1 ilustra as características gerais do recurso hídrico e da sua rede de drenagem.



**Figura 1:** À esquerda, a seção do Arroio Andréas junto ao local de instalação da estação de monitoramento. À direita, o mapa hipsométrico da sub-bacia, com o local de instalação indicado pela flecha. A área hachurada em vermelho corresponde à área de drenagem de 5.251 hectares contemplada pelo monitoramento.

Após todos os equipamentos devidamente calibrados e aferidos de acordo com manuais técnicos e bibliografia específica, conforme ilustra a Figura 2, procedeu-se com a instalação dos sensores de nível e turbidez, adequadamente protegidos de intempéries e fixados junto a um vergalhão galvanizado estaqueado no leito do Arroio Andréas, em uma seção de regime de escoamento laminar. O *datalogger* foi disposto no interior de uma caixa hermeticamente selada na companhia da bateria suplementar, enquanto o pluviômetro e o painel solar foram dispostos em um poste em local livre da interferência de árvores e voltado para a melhor incidência solar, conforme mostra a Figura 3.





**Figura 2:** Fenômenos hidrológicos controladamente simulados para a aferição e calibração dos sensores. À esquerda sedimentos em suspensão. No centro, diferentes colunas hidrostáticas em um cano de PVC. À direita, testes de sensibilidade do pluviômetro sendo realizados *in loco*.



**Figura 3:** À esquerda, o *datalogger* alocado junto à bateria suplementar dentro da caixa hermética. No centro, a cápsula protetora dos sensores de nível e sedimentos antes da instalação no leito do arroio. À direita, o poste com o painel fotovoltaico e pluviômetro devidamente montados no campo.

Com o sistema inteiramente instalado e operante configurou-se através do software SL-2000 Manager para que o *datalogger* coletasse os dados em intervalos de 30 minutos. O recolhimento das informações se deu através de um cabo do tipo “serial-usb”, que com o auxílio do software anteriormente discriminado transfere as informações do *datalogger* para o notebook em formato de arquivo de texto .txt, que posteriormente foram realocados para planilha eletrônica do Microsoft Excel 2013 afim de uma melhor interpretação e graficação dos hidrogramas.

Visitas *in situ* para as coletas das informações armazenadas e eventuais manutenções da estação foram programadas para ocorrer aproximadamente a cada 10 dias. Com o intuito de validar as calibrações realizadas nos sensores, em todas as inspeções *in loco* mediu-se com uma régua a profundidade do rio junto ao local de instalação do sensor competente para constatar se o nível observado correspondia ao valor indicado pelo *datalogger*. Também fora instalado um pluviômetro analógico lado do sistema digital para averiguar se a precipitação acumulada no período entre as visitas seria compatível com os números obtidos eletronicamente.

Visando a quantificação de tempo exato dos hidrogramas e a determinação dos seus respectivos centros de gravidade, após graficados em Microsoft Excel os mesmos foram realocados para o software AutoCAD 2014, onde foram utilizados prioritariamente os comandos *image raster*, *polyline*, *region*, *massprop* e *dimension*. Em todos os hidrogramas o chamado “ponto de inflexão” foi obtido de forma empírica, de acordo com a equação proposta por Ray Linsley:

$$D = 0,827 \times A^{0,2}$$

Onde “D” é o tempo em dias, contado a partir do pico do hidrograma, e “A” é a área da bacia em km<sup>2</sup>. Então:

$$D = 0,827 \times 52,51^{0,2}$$

$$D = 43,83 \text{ horas}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado das calibrações realizadas com os sensores, obteve-se um coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 99,95% para a equação de calibração do sensor de nível e de 99,91% para a equação do sensor de turbidez e sedimentos, enquanto para pluviômetro automático obteve-se uma precisão de 0,2mm de coluna d’água. Em todas as aferições analógicas realizadas nas oito visitas in loco constatou-se a validação dos dados obtidos digitalmente, com uma margem de erro de 1 centímetro para o nível d’água e 1,5 milímetros de precipitação acumulada.

A coleta das informações até o fechamento deste estudo perdurou por 61 dias, desde o dia 26 de agosto ao dia 26 de outubro. Neste período registrou-se uma precipitação acumulada de 510,8 milímetros distribuídos em 15 eventos climatológicos de maior expressão e que oscilaram o nível do arroio de 70,6 cm a até 462,3 cm, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1: Principais ocorrências de chuva durante o monitoramento.**

	Precipitação Acumulada (mm)	Nível Máximo do Arroio (cm)	Nível Inicial do Arroio (cm)	Amplitude de Nível (cm)	Duração (hh:mm)	Intervalo de Ocorrência
1	56,2	157,9	70,6	87,3	09:00	De 30/08 20:56 até 31/08 05:56
2	40,0	308,2	81,7	226,4	06:00	De 02/09 08:56 até 02/09 14:56
3	33,0	207,8	82,2	125,6	06:00	De 06/09 11:59 até 06/09 17:59
4	48,0	241,6	85,6	156,0	23:30	De 10/09 08:00 até 11/09 08:00
5	57,4	462,3	125,3	337,1	08:30	De 12/09 01:00 até 12/09 10:00
6	12,0	124,1	99,1	25,0	05:30	De 14/09 19:30 até 15/09 01:00
7	13,6	85,1	77,9	7,1	07:00	De 23/09 22:00 até 24/09 05:00
8	56,2	320,1	78,2	241,9	07:00	De 25/09 19:00 até 26/09 02:00
9	21,0	126,9	92,7	34,3	11:30	De 28/09 14:30 até 29/09 02:00
10	13,2	130,8	100,1	30,7	11:00	De 30/09 09:00 até 30/09 20:00
11	5,4	83,9	82,0	1,9	07:00	De 06/10 00:30 até 06/10 07:30
12	19,2	98,2	76,3	21,9	07:00	De 13/10 14:30 até 13/10 20:30
13	7,4	84,1	78,4	5,7	03:00	De 16/10 12:00 até 16/10 15:00
14	57,8	306,3	80,3	226,0	10:30	De 17/10 04:00 até 17/10 10:30
15	25,0	333,2	116,5	216,7	08:30	De 19/10 02:00 até 19/10 10:30

Cada evento de precipitação possibilitou a construção de seu respectivo hidrograma, conforme exemplifica a Figura 4, permitindo assim quantificar os valores de tempo utilizados para caracterizar os comportamentos da rede de drenagem estudada, conforme exibe a Tabela 2.

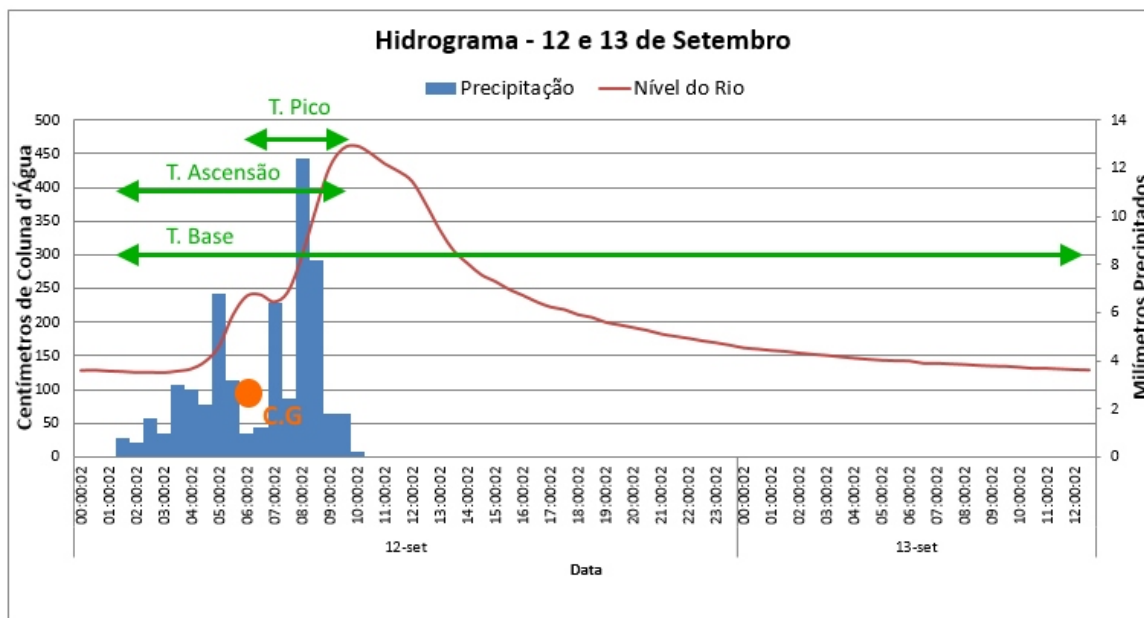


Figura 4: Exemplo de hidrograma obtido através dos dados coletados, juntamente com a indicação do centro de gravidade da precipitação e dos principais intervalos de tempo.

Tabela 2: Valores de tempo encontrados nos hidrogramas da sub-bacia do Arroio-Andréas.

	Hidrograma	Tempo de Retardo	Tempo de Pico	Tempo de Concentração	Tempo de Ascensão	Tempo de Base	Tempo de Recessão
1	30 Ago a 01 Set	12:26	3:00	42:27	6:00	63:00	51:51
2	02 Set a 05 Set	18:51	1:47	42:30	3:00	99:00	50:23
3	06 Set a 08 Set	20:32	2:54	43:38	6:00	90:30	46:53
4	10 Set e 11 Set	2:44	4:04	39:58	14:00	48:00	51:35
5	12 Set e 13 Set	9:44	3:22	43:24	9:00	36:30	49:38
6	14 Set a 16 Set	14:25	2:06	27:55	7:30	42:30	48:10
7	23 Set a 25 Set	9:51	6:12	48:50	11:00	27:00	49:13
8	25 Set a 28 Set	24:22	1:47	43:09	6:30	79:30	46:39
9	28 Set a 30 Set	11:48	4:56	44:09	12:00	46:30	50:37
10	30 Set a 02 Out	18:56	3:59	34:06	12:30	58:30	51:22
11	06 de Outubro	6:09	5:43	48:20	7:00	19:00	49:24
12	13 Out a 16 Out	26:13	4:27	40:42	8:30	76:00	50:02
13	16 Out e 17 Out	7:03	9:02	50:37	9:30	18:30	52:41
14	17 Out e 18 Out	15:06	5:49	33:12	10:00	74:30	51:44
15	19 Out e 20 Out	11:28	1:45	38:30	3:30	31:00	45:28
	MÉDIA	13:58	4:03	41:25	8:24	54:00	49:42

Observou-se, também, que a quantidade de sedimentos em suspensão apresentou correlação direta com o nível do arroio, conforme as figuras 5 e 6 exibem.

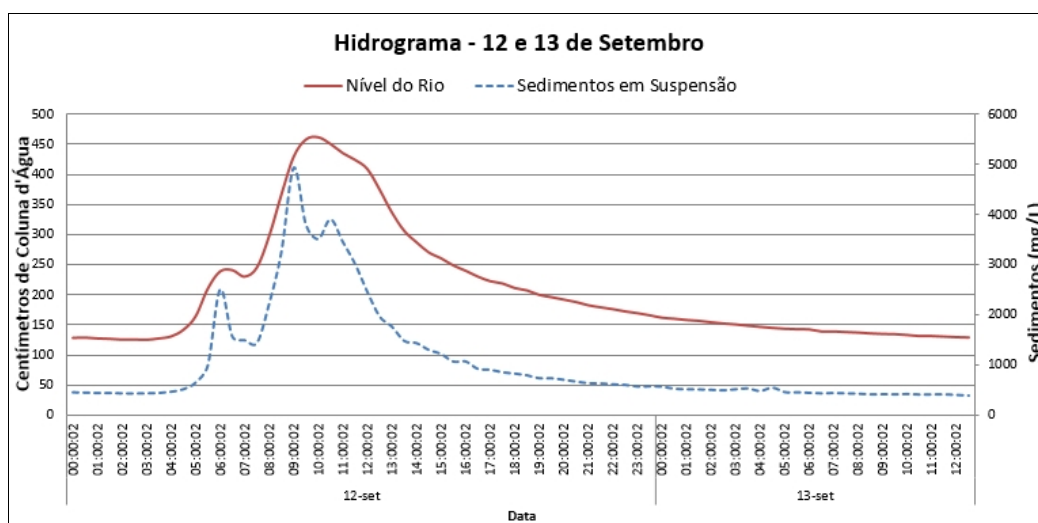


Figura 5: Relação entre o nível do Arroio Andréas e a quantidade de sedimentos em suspensão.

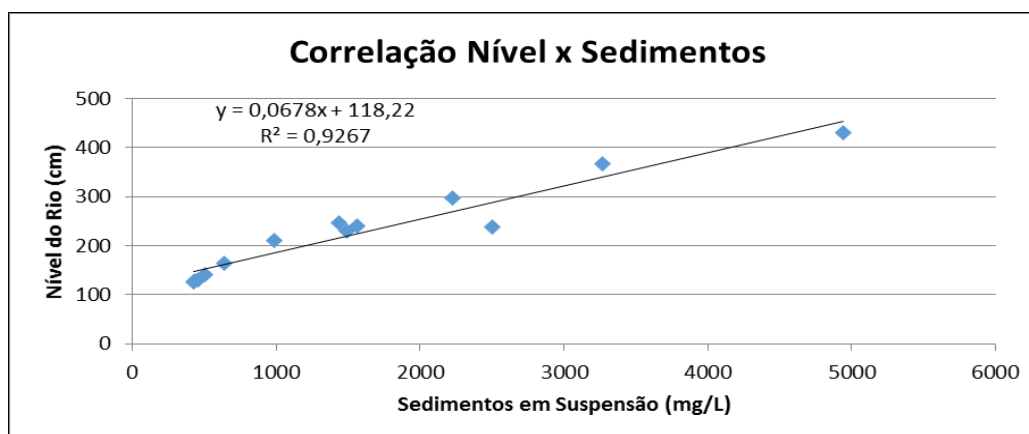


Figura 6: Linha de tendência entre o nível do Arroio Andréas e a quantidade de sedimentos em suspensão antes ilustrados na Figura 5.

Por fim, se buscou relacionar o aumento do nível do recurso hídrico com as diferentes precipitações acumuladas, anteriormente exibidas na Tabela 1.

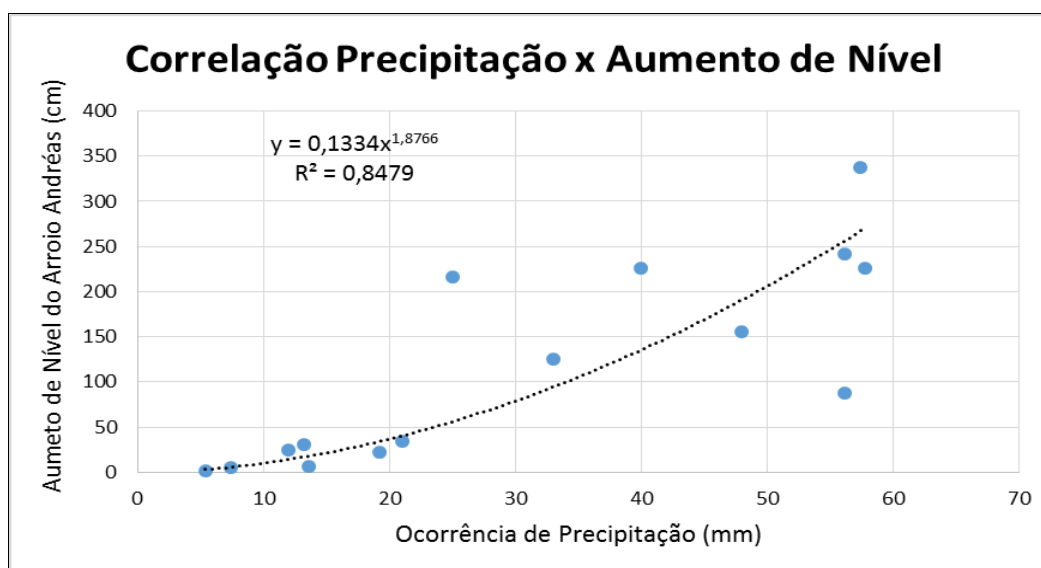


Figura 7: Correlação entre a precipitação acumulada e a variação do nível do Arroio Andréas.



## CONCLUSÕES

O alto grau do coeficiente de determinação na calibração dos sensores, juntamente com a proximidade das informações quando comparados com as medições analógicas validam a precisão e a confiabilidade dos dados obtidos pela estação de monitoramento.

Desde o início da precipitação até o Arroio Andréas atingir seu nível máximo delonga-se em média 8 horas e 24 minutos, e para voltar às condições anteriores são necessárias 54 horas contadas a partir do começo da chuva.

Para que a água precipitada no ponto mais distante na bacia chegue à estação de monitoramento são necessárias 41 horas e 25 minutos. No entanto, o escoamento superficial cessa 49 horas e 42 minutos após o início da chuva.

O aumento de nível do arroio pode ser estimado pela equação “ $y = 1,1334 x^{1,8766}$ ”, onde  $y$  é o aumento de nível esperado (em centímetros) e  $x$  é a precipitação registrada (em milímetros).

Observou-se uma correlação linear direta entre o nível do recurso hídrico e os sedimentos em suspensão na água, sugerindo o aprofundamento dos estudos na linha de pesquisa de lixiviação e perda de solos em trabalhos futuros.

Devido ao fato da chuva exibir uma grande variabilidade espacial seria necessário a instalação uma rede de pluviômetros a fim de representar com maior exatidão o volume de água precipitada na sub-bacia. Também se considera que houve um curto período de tempo de monitoramento, tendo em vista a variabilidade sazonal da chuva ao longo dos anos.

A partir de um estudo com maior período de coleta de dados seria possível determinar com maior precisão os comportamentos hidrológicos da rede de drenagem, e adjacente ao sistema de monitoramento poder-se-ia criar um sistema de alerta de eventos hidrológicos extremos, com a capacidade de dimensionar e calcular o tempo para a ocorrência de inundações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERTONI, Juan C.; TUCCI, Carlos E. M. “Precipitação”. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
2. CHEVALLIER, Pierre. “Aquisição e Processamento de Dados”. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
3. COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. 336 p.
4. IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/painel/>>. Acesso em: 29 de outubro de 2014.
5. SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antonio F. M. Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações. Ilhéus – BA: Editus, 2002. 289 p.
6. SOLAR Instrumentação Monitoração e Controle Ltda. Estação SL2000 NÍVEL E VAZÃO: Manual de Instruções. Florianópolis – SC.
7. SOLAR Instrumentação Monitoração e Controle Ltda. SL2000-TS Sensor de Turbidez e/ou Sedimentos: Manual de Instruções. Florianópolis – SC.
8. SILVEIRA, André L. L. da. “Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica”. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
9. TUCCI, Carlos E. M. “Fundamentos do Escoamento Não-Permanente”. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
10. World Meteorological Organization. Instruments and Observing Methods Report No. 39: Catalogue of National Standard Precipitation Gauges. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-39.pdf>>. Acesso em: 20 de outubro de 2014.