

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROJETO DE DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL

**PROGRAMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO
HIDROLÓGICO DO CAMPUS UFSC EM JOINVILLE**

RELATÓRIO PARCIAL

Alexandra Rodrigues Finotti

Anderson Wedderhoff Spengler

Antonio Augusto Medeiros Frohlich

Cesar Augusto Pompêo (Coordenação)

Gabriela Mota Zampieri

Giovani Gracioli

Nadia Bernardi Bonumá

Patrícia Kazue Uda

Patricia Orsi

Pedro Luiz Borges Chaffe

Renata Martins Pacheco

Simone Malutta

FLORIANÓPOLIS, OUTUBRO DE 2017.

SUMÁRIO

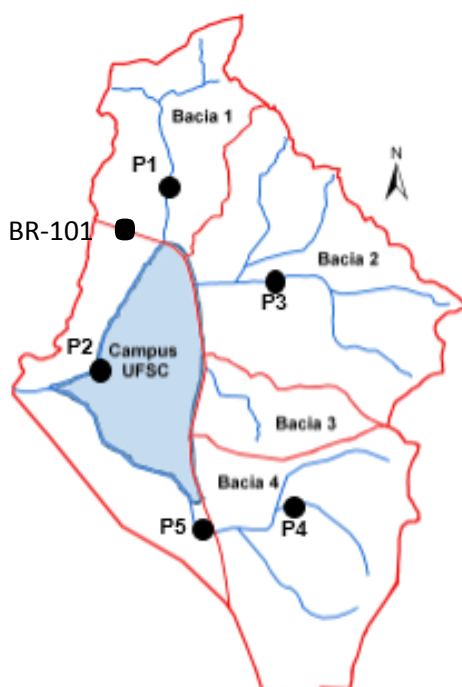
1	ANTECEDENTES.....	3
1.1	O processo de licenciamento ambiental	5
1.2	Conclusões de Estudo Hidrológico Simplificado	6
1.3	Medidas mitigatórias relativas ao licenciamento	7
2	A PROPOSTA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO.....	9
2.1	Metodologia.....	10
2.1.1	Desenvolvimento da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) e de sistema de armazenamento e consulta de dados on-line.....	10
2.1.2	Instalação de piloto de PCDs no Campus Trindade da UFSC.....	14
2.1.3	Instalação do sistema na bacia hidrográfica do Campus UFSC em Joinville.....	14
2.1.4	Operação experimental	15
3	RESULTADOS.....	15
3.1	Rede física de monitoramento na bacia hidrográfica.....	15
3.1.1	Configuração de cada estação.....	20
3.2	Procedimentos hidrológicos em campo e laboratório.....	26
3.2.1	Determinação de curvas-chave	26
3.2.2	Análises de tempos de concentração.....	32
3.2.3	Ensaio de solos e sedimentometria.....	36
3.3	Operação e manutenção do sistema.....	41
4	ESTÁGIO ATUAL.....	43
4.1	Alguns resultados do monitoramento	43
4.1.1	Quanto à hidrossedimentometria.....	44
4.1.2	Quanto ao sistema de transmissão	44
4.1.3	Produtor acadêmicos	45
4.2	Dificuldades	46
5	PRÓXIMOS PASSOS	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 ANTECEDENTES

O Programa de Controle e Monitoramento Hidrológico do Campus UFSC em Joinville tem por objetivo principal estabelecer e manter, em caráter permanente, uma rede de monitoramento das vazões e turbidez nos cursos d'água, bem como das precipitações pluviométricas na área da bacia hidrográfica onde encontra-se inserido o Campus da UFSC.

A área de implantação do Campus da UFSC em Joinville encontra-se delimitada a Leste pela Rodovia BR-101, ao Norte pelo rio Braço Comprido e ao Sul pelo rio da Lagoa¹, situando-se na região de confluência destes cursos d'água, conforme mostra a **Figura 1**.

Figura 1: Delimitação local da área de implantação do Campus da UFSC em Joinville e bacias hidrográficas contribuintes.



Em decorrência de sua reduzida extensão superficial – da ordem de 1,18 Km² –, e também das características do local – zonas de várzea pertencentes aos mencionados cursos d'água, e o barramento parcial representado pelo aterro onde percorre a Rodovia – é natural a presença lençol freático bastante elevado. Desta forma, sob efeito de cheias, a capacidade dos solos locais para infiltrar e armazenar parte do escoamento superficial é muito reduzida, encontrando-se sujeita a frequentes alagamentos.

¹ Estes cursos d'água integram a rede de drenagem do rio Pirai, afluente do Itapocu, situado na Região Hidrográfica 6, Baixada Norte, da Vertente Atlântica de Santa Catarina.

Um levantamento disponibilizado pela DIPLAN/UFSC, correspondente ao local de implantação do Campus, no qual se encontra delimitado também o maciço de terra destinado à construção do contorno ferroviário de Joinville, indica que os valores correspondentes a área de várzea, independentemente do estágio sucessional de recuperação, correspondem a 69% da superfície total, o que corrobora a afirmação anterior quanto à susceptibilidade a inundações frequentes em grande parcela da extensão da área.

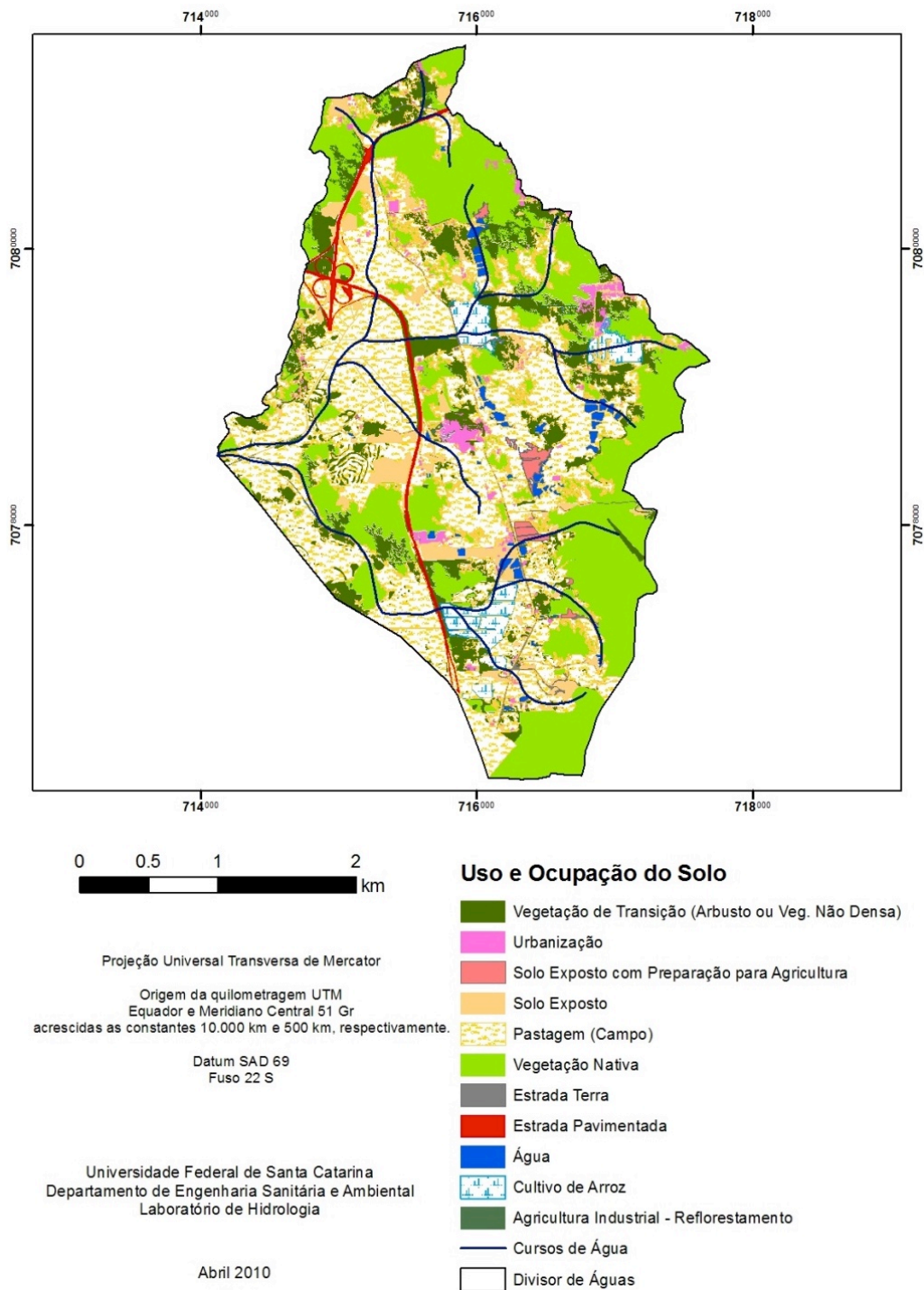
Informações obtidas por intermédio do Levantamento Planialtimétrico Cadastral, realizado em 2009, apontam a presença de diversas valas e canais. Algumas dessas, facilmente identificáveis pelo traçado, constituem-se remanescentes de sistema de drenagem destinado a permitir a realização de atividades agrícolas – historicamente, em decorrência de sua superfície significativamente plana, a área foi utilizada para plantio de arroz. Outras valas recebem descargas provenientes de bueiros e drenagem do trecho da rodovia BR-101 adjacente à área.

A **Figura 2** apresenta o resultado da interpretação de aerofotografias da bacia hidrográfica, nela indicando-se os padrões de uso e ocupação do solo. A interpretação, realizada em 2009, indica já naquele momento algumas áreas com ocupação de característica urbana, resultante do avanço do perímetro urbano a partir de outras bacias hidrográficas situadas à leste e não incluídas na figura. Claramente, este avanço da ocupação urbana se inicia a partir das zonas altas da bacia e, sob o ponto de vista hidrológico, indica elevação do risco de enchentes nas áreas mais baixas.

A evolução do processo de urbanização da área é esperada em decorrência do aspecto indutivo representado pela instalação do Campus da UFSC, bem como por unidades da indústria automotiva na região. Os impactos sobre os processos de cheias e inundações podem ser significativos, com elevação do escoamento superficial, decorrente da impermeabilização das superfícies resultante da urbanização, e inundações extensivas, devido ao relevo local bastante suave.

A necessidade de medidas preventivas para controle de descargas afluentes ao local do Campus da UFSC em Joinville, descargas estas que apresentam tendência à elevação, é apontada no Estudo Hidrológico Simplificado (EAS) realizado durante o processo de licenciamento para implantação do Campus. O Programa de Controle e Monitoramento Hidrológico do Campus UFSC constitui-se medida importante por oferecer elementos para planejamento e projeto de obras de controle de cheias e inundações, como também para alerta sob previsão de situações críticas.

Figura 2: Visão global dos padrões de uso e ocupação do solo para a bacia hidrográfica na qual se encontra o local de implantação do Campus da UFSC em Joinville



1.1 O processo de licenciamento ambiental

O processo de licenciamento ambiental necessário a implantação do Campus da UFSC em Joinville compreende um conjunto de estudos destinados a avaliar os impactos desta iniciativa, bem como a apresentação de medidas mitigadoras. Esses estudos

encontram-se reunidos no Relatório Técnico do Estudo Ambiental Simplificado (EAS) que integra os requisitos para obtenção da Licença Ambiental Prévia (LAP).

O EAS foi desenvolvido por uma equipe multidisciplinar da Universidade Federal de Santa Catarina, coordenado por comissão instituída pela Portaria nº 131/GR/2010. Teve seu início a partir do protocolo da Proposta de Termo de Referência (Ofício nº. 30/CEM/2009, em 11/12/2009), com a emissão de autorização para realização dos referidos estudos ambientais, mediante Ofício nº. 5.722/2009-GECON de 17/12/2009, e abertura de processo de licenciamento na Fundação Municipal de Meio Ambiente de Joinville – FUNDEMA, sob o registro: LIC nº 004117/ PLC nº 03338.

O EAS descreve as características do empreendimento, apresenta o diagnóstico ambiental da área de influência, a identificação e avaliação dos impactos ambientais, bem como as medidas e programas propostos para mitigar ou compensar os mesmos. O volume completo do Estudo Ambiental Simplificado para o Campus da UFSC em Joinville está disponível no site do repositório institucional da UFSC².

O Programa de Controle e Monitoramento Hidrológico do Campus UFSC em Joinville integra o processo para obtenção de Licença Ambiental Prévia, constituindo-se uma das medidas mitigadoras registrada no Estudo Hidrológico Simplificado que compõe o EAS. O Programa prevê um conjunto de iniciativas que têm por objetivo acompanhar a dinâmica do escoamento e a qualidade das águas nos cursos existentes na bacia hidrográfica, com a finalidade de subsidiar a definição de ações de controle e programas educativos voltados às comunidades locais.

A proposta de monitoramento hidrometeorológico, incluída no Estudo Hidrológico Simplificado como parte das medidas mitigatórias, tem por finalidade possibilitar um acompanhamento permanente da evolução dos reflexos da urbanização da bacia sobre as cheias e suas consequências para a área do Campus.

1.2 Conclusões de Estudo Hidrológico Simplificado

O Estudo Hidrológico Simplificado, aponta uma análise da urbanização esperada em resultado da implantação do Campus sobre as cheias e inundações. Dela destaca-se:

Em função dos cálculos apresentados, é fundamental ao ente responsável pelo disciplinamento do uso e ocupação do solo local, Instituto de Planejamento Urbano de Joinville, considerar a implementação de

² <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/125875>

medidas preventivas para controlar as descargas resultantes das sub-bacias contribuintes ao local de implantação do futuro Campus da UFSC em Joinville, descargas estas que apresentam tendência à elevação em decorrência da reorganização do uso e ocupação do solo advinda desta implantação.

A outra questão compreende a análise das descargas máximas previstas na confluência dos rios Braço Comprido e da Lagoa, visando uma futura readequação da seção de descarga no trecho logo a jusante até a confluência ao rio Piraí, evitando-se extravasamento além das zonas de inundação natural, ou, caso seja previsto, também nestes limites, em zonas especialmente destinadas à retenção de volumes escoados.

Estas recomendações resultam da avaliação do risco de ocorrência de eventos hidrológicos extremos e suas consequências sobre a área do Campus. Duas situações mencionadas no EAS merecem ser aqui retomadas. A cada horizonte de 10 anos há 94% de risco de ocorrência de eventos chuvosos com período de retorno 4 anos, para o qual estima-se uma cota máxima de inundação da ordem de 6 metros, caso a urbanização adensada se estenda em toda área da bacia hidrográfica à montante. Ainda que não seja esta a situação atual, a indução resultante da construção do Campus da UFSC, bem como de novas indústrias na região, poderá levar a este limite de ocupação. Já o risco de um evento de período de retorno 100 anos também a cada horizonte de 10 anos, é de 10% e cota de inundação a 6,6 metros, caso seja mantida a condição de ocupação do solo atual, e 7,8 metros, para urbanização extensa e adensada à montante. Ambas as situações consideram total retenção do volume de escoamento superficial no local de implantação do futuro Campus da UFSC em Joinville. Ainda que essa condição crítica esteja distante, é visível a necessidade de medidas preventivas à sua ocorrência no momento atual quando é viável realizar o planejamento da expansão urbana sobre bacia hidrográfica do Campus da UFSC em Joinville.

1.3 Medidas mitigatórias relativas ao licenciamento

O Estudo Hidrológico Simplificado indica a pertinência e necessidade de **disciplinamento do uso do solo**, bem como a adoção de outras medidas preventivas para **controle do escoamento superficial** em toda a superfície das bacias contribuintes ao local do Campus, visando à manutenção de condições de infiltração e armazenamento das águas de chuvas não muito distantes da situação atual. Além disso, o estudo também prevê a delimitação de áreas especialmente destinadas ao **armazenamento temporário de águas das chuvas** a ser prevista nas diretrizes de ocupação.

Dentre as Medidas Mitigadoras propostas pela UFSC durante o processo de licenciamento ambiental, encontra-se previsto um Programa de Controle e Monitoramento Hidrológico do Campus UFSC-Joinville. Para realização deste monitoramento, algumas atividades essenciais sob responsabilidade da UFSC foram apresentadas no documento:

- Cadastramento técnico com auxílio de GPS dos elementos de drenagem das sub-bacias (rios, córregos, lagoas, canais, bueiros, etc). Esta atividade foi parcialmente realizada em trabalho de conclusão de curso de graduação (Rigotti, 2010).
- Levantamento topográfico das sub-bacias para complementação do Aerolevanteamento de 2007 de posse do IPUJ. A Prefeitura Municipal (PM) de Joinville já dispõe de uma cartografia atualizada de todo o Município. Os levantamentos disponibilizados por intermédio desta cartografia provem informações atualizadas sobre os cursos d'água, entretanto, levantamentos *in loco* nas áreas à montante do Campus são de responsabilidade da PM de Joinville.
- Cadastramento técnico com auxílio de GPS quanto ao uso do solo nas bacias para complementação do aerolevanteamento realizado em 2007 e disponível junto ao Instituto de Planejamento Urbano de Joinville. O Estudo Ambiental Simplificado contemplou esta caracterização com os mapas, aerofotos disponíveis naquele momento, parcialmente complementada no trabalho de conclusão de curso de graduação já mencionado (Rigotti, 2010). As informações deverão receber atualização a partir da novos levantamentos aerofotogramétricos da Prefeitura Municipal de Joinville.
- Monitoramento e estudo hidrológico das descargas nos cursos d'água das sub-bacias. Esta é a ação que tem especificamente o objetivo de constituir o banco de dados sobre chuvas nas bacias e descargas nos cursos d'água, propiciando elementos de análise da evolução dos processos hidrológicos superficiais a partir da instalação do Campus.
- Parcerias e convênios entre instituições públicas e/ou privadas sem fins lucrativos de relativa influência na área de recursos hídricos e entidades de fomento à pesquisa e extensão, para desenvolvimento e aprimoramento do Programa de Controle e Monitoramento Hidrológico do Campus UFSC em Joinville.

2 A PROPOSTA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

O objetivo principal do **Programa de Controle e Monitoramento Hidrológico do Campus UFSC em Joinville** é realizar o monitoramento das vazões e turbidez nos cursos d'água, bem como das precipitações pluviométricas na área da bacia hidrográfica onde encontra-se inserido o Campus da UFSC.

Trata-se de uma atividade de caráter permanente, cujos resultados serão utilizados para compreender a dinâmica dos processos hidrológicos locais e propor medidas estruturais e não estruturais para controle de cheias e inundações na bacia. O monitoramento também deverá integrar um sistema de alerta de cheias e inundações, visando acompanhar, em tempo real, a dinâmica desses fenômenos decorrentes da alteração de uso das terras na área. As informações obtidas serão consolidadas na modelação matemática do processo chuva-vazão na bacia, possibilitando simulações de cenários com diferentes configurações de ocupação da bacia e suas consequências, possibilitando a análise de diferentes alternativas de controle de cheias e inundações.

Os resultados da modelação constituirão elementos muito importantes para a definição de ações preventivas e corretivas contra inundações, para planejamento e projeto de obras de controle de cheias, controle de sedimentos e para definição de formas de ocupação. A longo prazo, os resultados, consolidados em séries históricas, permitirão analisar a evolução real das descargas e transporte de sedimentos nos cursos d'água em decorrência de mudanças no uso e ocupação do solo da bacia, subsidiando outras medidas, além de constituírem permanentemente um sistema de alerta e previsão em eventos críticos .

A infraestrutura desenvolvida por meio deste projeto poderá ser futuramente estendida com a incorporação de sensores para monitoramento de parâmetros de qualidade da água. Tais informações possibilitarão melhorar o controle de lançamento de esgotos, a modelação da qualidade da água e a avaliação de medidas destinadas à redução da poluição hídrica, proporcionando elementos capazes de alimentar o processo de revitalização do curso d'água.

O processo de implantação do Programa encontra-se respaldado na pesquisa e na inovação. Na pesquisa sobre bacias hidrográficas experimentais, onde se monitoram, origem e mecanismos de formação do escoamento, modelando e analisando cenários Toebes e Ouryvaev (1970). Na inovação, quando a comunicação de Sistemas Distribuídos Complexos abraça o conceito das cidades inteligentes, conectando-se em redes.

2.1 Metodologia

O alcance do objetivo central encontra-se delineado no Projeto Institucional sob a forma de três grandes eixos de atividades:

- (a) Plataforma de Coleta de Dados (PCD), compreendendo a integração dos sensores ao sistema de transmissão de dados EPOSMote, desenvolvido pelo Laboratório de Integração Software/Hardware (LISHA/INE), o projeto e integração de módulo de alimentação e o projeto e implementação da PCD propriamente dita;
- (b) Instalação de piloto de PCDs no Campus Trindade da UFSC, incluindo desenvolvimento e aplicação de rede de sensores;
- (c) Integração do piloto à plataforma de IoT da UFSC (<https://iot.ufsc.br/>), a qual provê mecanismos de armazenamento, processamento e visualização das séries temporais produzidas pelo projeto;
- (d) Instalação do sistema na bacia hidrográfica do Campus UFSC em Joinville, com operação experimental e monitoramento permanente.

2.1.1 Desenvolvimento da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) e de sistema de armazenamento e consulta de dados on-line

Trabalhos realizados anteriormente junto ao Laboratório de Integração Software/Hardware (LISHA) da UFSC resultaram numa plataforma para o desenvolvimento de aplicações da tecnologia de redes de sensores sem fios (RSSF) adequada às necessidades deste projeto: o EPOSMote, apresentada na **Figura 3**.

Figura 3: Plataforma EPOSMote

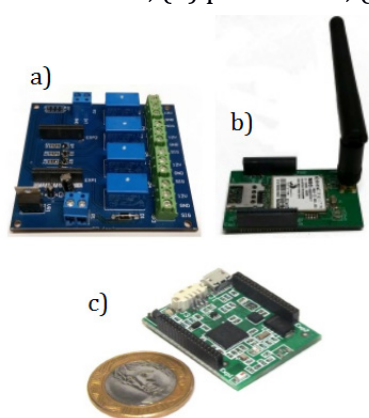


A plataforma do sistema EPOSMote (<http://epos.lisha.ufsc.br>), desenvolvida para suportar pesquisa e desenvolvimento na área de sensores sem fio (agricultura de precisão, internet das coisas, monitoramento inteligente etc.), está em sua terceira versão. Possui um microcontrolador ARM Cortex-M3 de 32 MHz, 32 KB de memória RAM e 512 KB de

memória Flash, além de comunicação sem fio IEEE 802.15.4, sensores de temperatura e umidade e uma unidade de medição inercial (IMU).

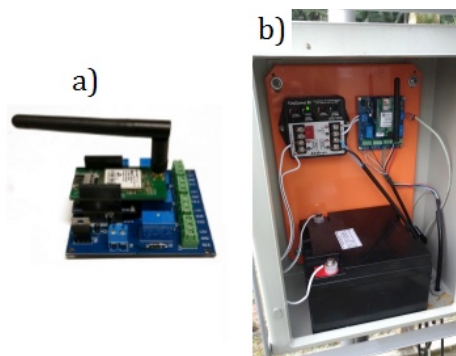
O sistema EPOSMote III é modular, aceitando o acoplamento de outras placas para estender sua capacidade de monitoramento e comunicação inicial. Para sua utilização no monitoramento hidrológico essa capacidade de extensão demandou a criação de duas placas auxiliares. A primeira, mostrada na **Figura 4a**, controla o acionamento dos sensores (pressão, turbidez e pluviômetro) e a outra, na **Figura 4b**, realiza a comunicação via rede de telefonia (GPRS). A **Figura 4c** mostra a plataforma EPOSMote III ao lado de uma moeda de um real para comparação de tamanho.

Figura 4: (a) placa auxiliar, (b) placa GPRS, (c) EPOSMote III.



Desta forma, o sistema EPOSMote III foi acoplado à placa de acionamento e à placa de comunicação GPRS colocada sobre o EPOSMote III. A **Figura 5a** mostra a configuração de montagem do final do hardware usado no projeto de monitoramento do Campus da UFSC em Joinville e a **Figura 5b** mostra o sistema montado e operando em campo já com o pluviômetro e os sensores conectados à placa de acionamento.

Figura 5: (a) Configuração final do sistema EPOSMote III e (b) Sistema operando em campo



O sistema EPOSMote III controla o acionamento dos relés para leitura dos sensores a cada 5 minutos e envia os dados coletados para um servidor localizado na UFSC por

transmissão via GPRS. Uma bateria de 26A mantém a fonte de energia para o sistema, alimentada por painel solar com controlador de carga. O custo para a fabricação do hardware utilizado no projeto é em torno de R\$300,00 (US\$ 100). A bateria próxima de R\$350,00, o controlador R\$150,00 e o painel solar R\$200,00. Logo, o custo de todo o sistema eletrônico é R\$ 900,00. No custo final de implantação de uma estação hidrológica incluem-se os sensores e a instalação.

A plataforma EPOSMote III é utilizada para a captura dos dados mensurados por três tipos de sensores: de nível, capacitivos, Keller, 46X, para obtenção das vazões nos córregos, de turbidez óticos, Campbell, OBS3+, para avaliação das taxas de transporte de sedimentos, e pluviômetros, de báscula dualBase, para caracterizar sua ocorrência na área do projeto.

As informações são transmitidas para a Plataforma de IoT da UFSC, hospedada pela SETIC no Campus da UFSC em Florianópolis por rede de telefonia (GPRS) com protocolo HTTPS e requisições de serviços através da API REST da plataforma, com segurança de criptografia com SSL sobre TCP/IP. A plataforma recebe os dados e os insere em bancos de dados de séries temporais. O formato dos dados enviados e recebidos pelo servidor faz parte da plataforma da UFSC chamada de SmartData.

SmartData é um conceito que traz respostas a algumas das questões mais complexas que emergiram durante a execução do Projeto de Sistemas Embarcados baseado em Componentes, objeto de pesquisa no LISHA desde 2001. Sistemas embarcados, há muito tempo, utilizam tecnologias de comunicação de dados, mas a atual escala de integração e a crescente demanda por funcionalidades avançadas por parte dos usuários vêm fazendo com que eles se tornem Sistemas Distribuídos Complexos. Os meios de transporte, os prédios, as fábricas, os hospitais e praticamente todo e qualquer sistema automatizado hoje faz uso de um grande número de processadores interconectados em múltiplas redes.

A distinção entre microcontrolador e microprocessador, no tocante ao software, foi praticamente eliminada e hoje os chips que controlam as “Coisas” são programados com utilização das mesmas linguagens de programação e as mesmas ferramentas utilizadas para o desenvolvimento de software de sistema em plataformas computacionais convencionais.

Não obstante, estes Sistemas Ciberfísicos (CPS, do inglês Cyber-Physical System), que são de fato as “Coisas” da Internet das Coisas, raramente aparecem nos demonstradores da primeira geração da IoT. Os motivos são evidentes: a Internet não foi

projetada considerando várias das características fundamentais dos CPS, tais como operação em tempo real, localização espacial, segurança e confiabilidade. SmartData aborda tais questões ao definir um conjunto de protocolos e mecanismos de sistema para a integração de CPS à Internet e à Nuvem através do paradigma de IoT, mas de uma forma mais robusta, predizível e confiável.

As estações de monitoramento fazem uso do IaaS (do inglês, Infrastructure as a Service) da UFSC para acessar a plataforma de SmartData que provê armazenamento (atualmente baseada no Apache Cassandra), processamento de alto desempenho (atualmente baseada no Apache Spark), análise de dados com a linguagem R, aprendizado de máquina (atualmente baseado na MLlib), e visualização (atualmente baseada no Grafana). Uma API Web RESTful (com JSON) interfaceia a plataforma para disponibilizar os dados. Dispositivos e softwares interagem com a plataforma utilizando TLS (do inglês, Transport Layer Security), certificados emitidos pela Infraestrutura de Chaves Públicas para Ensino e Pesquisa (AC ICPEdu) da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) ou simplesmente por requisições HTTPS.

A primeira fase do projeto consistiu na adaptação das tecnologias no contexto do projeto EPOSMote à aplicação de monitoramento de hidrossedimentométrico. Esta fase iniciou-se pelas atividades de especificação, prototipação e fabricação de placas eletrônicas e de software para integrar os sensores (pluviômetro e sensores de nível e turbidez) e um módulo de alimentação com painéis fotovoltaicos e bateria recarregável ao EPOSMote. Placas de expansão do EPOSMote que utilizam tecnologia de comunicação por rede celular GPRS estão sendo utilizadas para conectar as PCDs à Internet. O projeto também incluiu a especificação de uma caixa ambiental adequada à acondicionamento da PCD e acessórios.

Após a finalização das atividades de integração de hardware, tal qual citado acima, foram desenvolvidos componentes de software e hardware para implementar a comunicação de dados entre as PCDs e uma central de controle, através da Internet via Wi-Fi, o que visa baratear os custos fixos da comunicação.

Por fim, uma aplicação (software) na central de controle organiza os dados coletados em um banco de dados relacional. Estes dados podem ser visualizados em tempo real em interfaces gráficas com tecnologia Web em <http://iot.lisha.ufsc.br>. Especificamente para este projeto, são disponibilizados em planilhas diariamente em <http://www.neagua.ufsc.br>, do Núcleo de Estudos da Água (NEA/ENS). As planilhas, de

cada local de monitoramento, contém dados brutos, posteriormente analisados pela equipe do projeto.

2.1.2 Instalação de piloto de PCDs no Campus Trindade da UFSC

A aplicação piloto foi inicialmente instalada na bacia do Córrego Grande, em Florianópolis, para o monitoramento de níveis d'água e turbidez em dois córregos bem como de precipitações naquela bacia. Outras aplicações piloto com pluviômetros seguiram no próprio Campus João David Ferreira Lima, na Trindade, e no Sapiens Park. Todos operam regularmente e têm por objetivo testar a estabilidade dos sistemas de armazenamento e transmissão de dados e fornecer informações pluviométricas confiáveis para outras pesquisas. O monitoramento córregos também foi implantado no Campus Trindade em escala piloto e, naquele caso, incluíram-se sensores de ultrassom no monitoramento de níveis dos córregos.

2.1.3 Instalação do sistema na bacia hidrográfica do Campus UFSC em Joinville

A instalação do sistema na bacia hidrográfica do Campus UFSC em Joinville, BHCUI, demandou um conjunto de atividades específicas, como a escolha definitiva dos pontos de monitoramento de chuvas e também de nível e turbidez nos cursos d'água, a instalação da infraestrutura, dos sistemas EPOSMote e sensores, e a operação, incluindo-se saídas de campo para definição das curvas-chave dos córregos. Embora no Estudo Hidrológico Simplificado houvesse indicado oito pontos de monitoramento dos córregos, cinco foi o número escolhido neste momento.

A definição dos locais decorreu de diversas visitas durante as quais foi avaliada a forma física e a estabilidade das seções transversais escolhidas em cada córrego, a acessibilidade e a facilidade de instalação física. A preferência de locais baseou-se também em aspectos de segurança relativos à proteção dos equipamentos, motivo pelo qual todas as instalações de equipamentos, excetuando-se os sensores de nível, foram concretizadas em propriedades privadas sob consentimento dos proprietários.

As cinco estações do sistema de monitoramento da BHCUI dispõem de sensores de nível e de instalações para sensores de turbidez, dos quais três foram instalados até o momento. Outras instalações ou relocação destes sensores de turbidez poderão ser realizadas após análise dos resultados alcançados. Duas estações contam com pluviômetros e todas possuem o sistema EPOSMote para disponibilização de dados em tempo real.

2.1.4 Operação experimental

A operação do sistema engloba duas atividades: o acompanhamento permanente das informações fornecidas pelos sensores e o levantamento de curvas-chave correspondentes às seções do curso d'água.

As informações fornecidas pelos sensores são comparadas a registros manuais realizados nas visitas às estações de monitoramento. A análise dos dados inclui:

- Comparação dos dados do sensor de nível de água com os dados de régua limimétrica instaladas em campo;
- Comparação dos dados dos sensores de turbidez instalados em campo com os dados de turbidímetro de bancada e relação sedimento em suspensão;
- Comparação dos registros de um pluviômetro instalado experimentalmente em campo junto a outro instrumento de mesma natureza operado pela Defesa Civil de Joinville.

O levantamento de curvas-chave é atividade importante e permanente, uma vez que a curva-chave representa a relação entre o valor do nível d'água medido em uma determinada seção transversal do curso d'água e a correspondente descarga nesta seção. Para tanto, além da necessidade de que a definição da seção de instalação do sensor seja regular e estável, é necessário realizar os procedimentos destinados ao levantamento da curva-chave para a seção, sob situações diversas de escoamento. Como o Programa envolve o monitoramento em cinco seções de cursos d'água, o levantamento de curvas-chave representativas demandará tempo significativo, já que também depende de eventos pluviométricos diversos.

A avaliação do sistema compreende a análise de sua adequação às finalidades previstas. Desta forma, não será necessário que a operação do mesmo constitua uma série histórica de dados destinada à calibração e operação de modelos hidrológicos para representar o processo chuva-vazão na bacia, sendo esse um objetivo posterior. Neste aspecto, é importante que o sistema esteja operando continuamente sem falhas. Desta forma, se viabilizará a permanente consolidação de informações.

3 RESULTADOS

3.1 Rede física de monitoramento na bacia hidrográfica

As estações foram instaladas na bacia hidrográfica que drena ao Campus da Universidade Federal de Santa Catarina em Joinville (BHCUI), localizado na BR-101 proximidades do Km 51, no município de Joinville. A BHCUI faz parte da bacia hidrográfica

do Rio Piraí, afluente da margem esquerda do Rio Itapocú, na região Norte - Nordeste do Estado de Santa Catarina.

Os arranjos para instalação das estações pluviométricas e fluviométricas seguiram as recomendações da Agência Nacional de Águas, (ANA, 2014), também descritos em Santos et al., 2001, e apresentados da **Figura 6** à **Figura 9**.

Figura 6: Esquema para instalação de plataforma automática de coleta de dados com sensor de nível (Fonte: ANA, 2014).

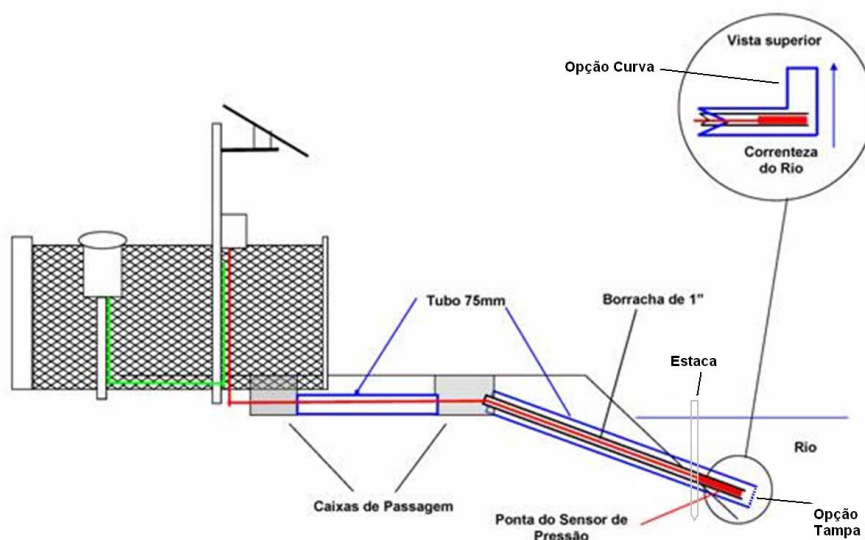


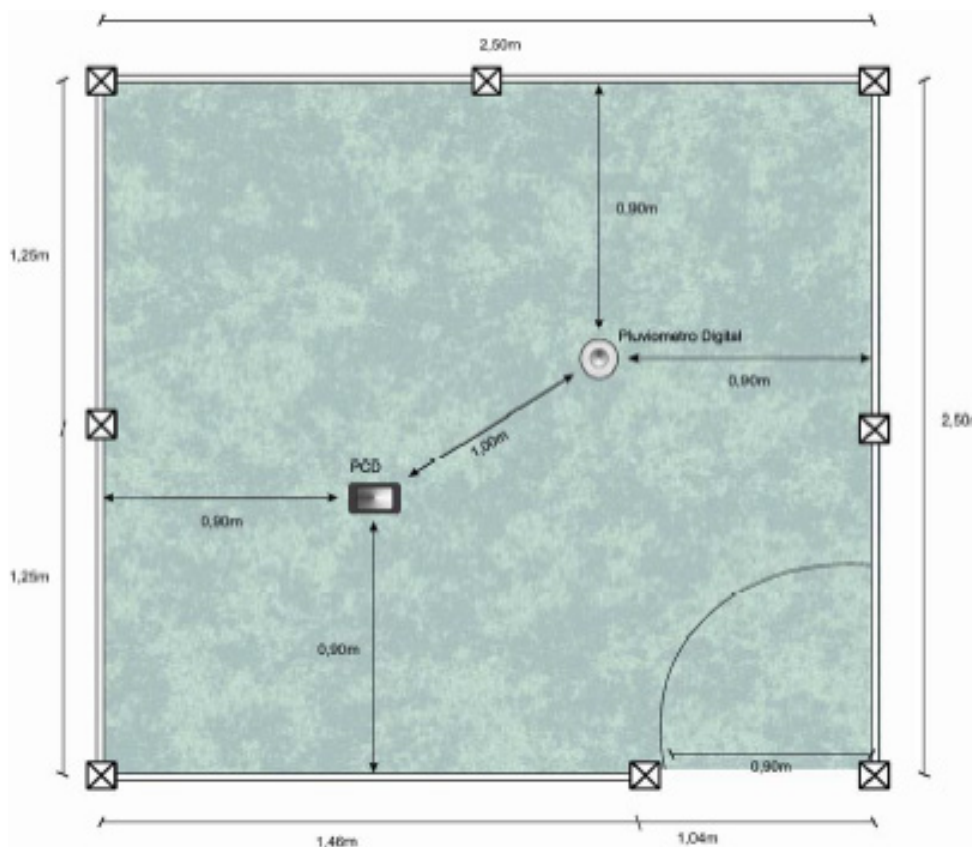
Figura 7: Exemplo de réguas instaladas seguindo os padrões da ANA (Fonte: ANA, 2014).



Figura 8: Exemplo de RN instaladas seguindo os padrões da ANA (Fonte: ANA, 2014).



Figura 9: Croqui da instalação do cercado (Fonte: ANA, 2014).



As instalações físicas das estações foram realizadas nos 5 pontos definidos em projeto, indicados na **Figura 10** e tendo registrados na **Tabela 1** suas localizações e datas de instalação dos sensores. Os pontos de monitoramento são apresentados separadamente da **Figura 11** à **Figura 14**.

Tabela 1: Localização e data de instalação dos sensores nos pontos de monitoramento

Ponto	Latitude	Longitude	Data da instalação		
			Sensor de nível	Sensor de turbidez	Pluviômetro
P1	26°22'58.13"S	48°50'30.66"O	26/01/2017	Não há	Não há
P2	26°23'37.35"S	48°50'49.34"O	11/02/2017	11/02/2017	11/02/2017
P3	26°23'22.70"S	48°49'58.71"O	18/01/2017	18/01/2017	18/01/2017
P4	26°24'29.33"S	48°50'9.67"O	Previsto out/2017	Não há	Não há
P5	26°24'22.62"S	48°50'18.99"O	01/04/2017	Não há	Não há

Na estação de número 4 (P4) ainda não foi possível realizar a instalação devido a transformação da seção transversal com assoreamento que demandou alteração da infraestrutura. Em agosto de 2017 o leito do curso de água retornou a sua seção, definindo-se para breve a instalação do sensor de nível.

Figura 10: Localização dos pontos de monitoramento na BHCUJ

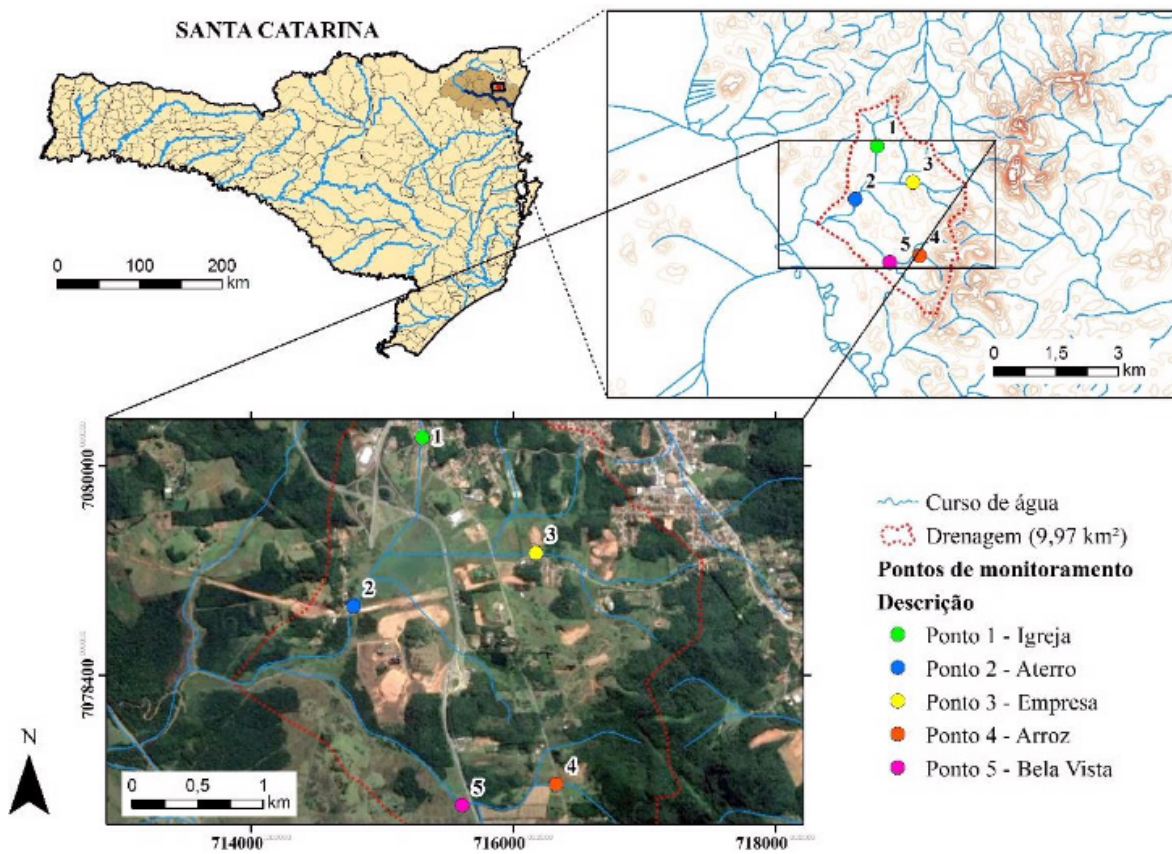


Figura 11: Ponto 1



Figura 12: Ponto 2



Figura 13: Ponto 3



Figura 14: Ponto 4



Figura 15: Ponto 5



3.1.1 Configuração de cada estação

Cada estação de monitoramento possui referência de nível, suporte para pluviômetro, caixa ambiental para armazenamento da bateria, controlador de carga, plataforma do sistema EPOSMote III e sensor de nível. Três estações incluem sensores de turbidez e duas, pluviômetros. As estações possuem réguas linimétricas em número conforme ao nível máximo indicado por moradores da região. Nas estações 1, 3 e 5 foram instalados 3 lances de réguas linimétricas; na estação 2, 4 lances; e na estação 5, apenas 2 lances. Todas as réguas possuem suporte em perfil de aço galvanizado e pintura resistente a UV.

As estações incluem áreas cercadas por tela metálica fixada em mourões de concreto e dotadas de portão para acesso, sendo instaladas ao lado dos córregos. No interior de cada estação foi colocado um poste para suporte da caixa ambiental e do painel solar. As tubulações que chegam até os pontos de monitoramento são em aço galvanizado. Uma caixa de passagem em plástico foi instalada entre o córrego e a estação. Para a fixação do sistema foram utilizadas braçadeiras, fixadores “parabolts”, cintas metálicas, conectores, e grampos metálicos. Todas as cinco estações contam também com uma referência de nível (RN54 na estação 1; RN57 na estação 2; RN55 na estação 3; RN56 na estação 4; e RN58 na estação 5) em suporte de concreto.

Durante o processo de instalação da infraestrutura física para as estações de monitoramento, foram também realizados levantamentos topobatimétricos nos locais destas instalações junto aos córregos. Ainda que esses levantamentos venham sendo repetidos durante os procedimentos para elaboração de curvas-chave, a seguir encontram-se apresentados os resultados daqueles levantamentos iniciais, bem como os perfis destas seções então gerados.

3.1.1.1 Ponto 1

A seção de monitoramento fluviométrico foi definida em frente à galeria de águas pluviais, 1 metro a frente das réguas linimétricas. O levantamento da seção foi realizado no dia 10/02/2017, e está apresentado na **Tabela 2** e **Figura 16**. O RN 54 está a 444 centímetros acima da régua (cota do dia 35,5 centímetros).

Figura 16: Perfil da seção de monitoramento fluviométrico do ponto 1

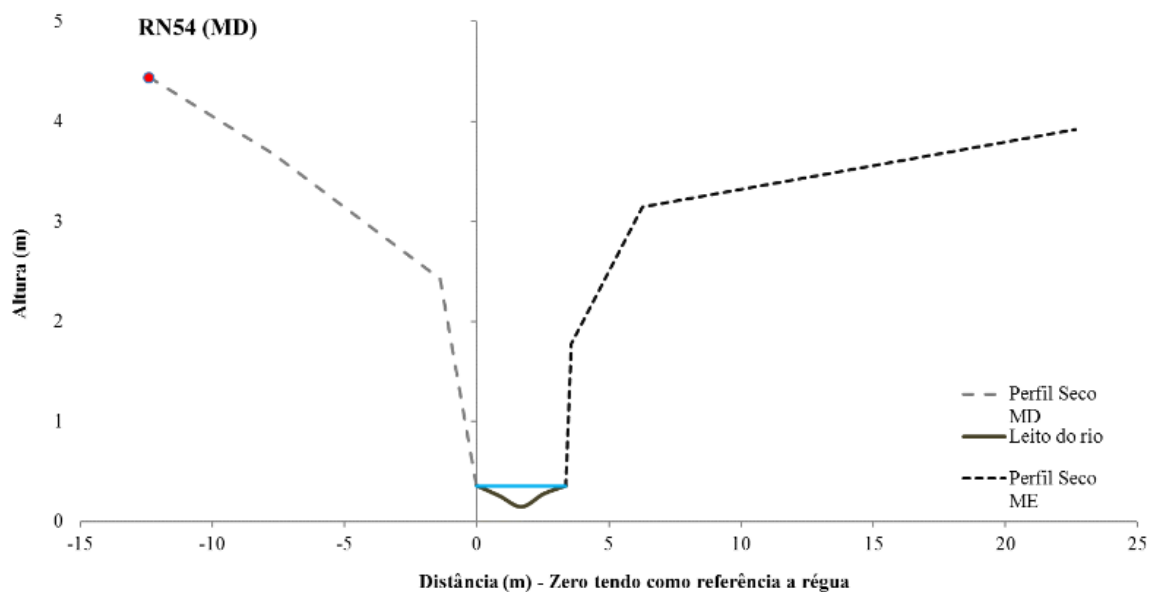


Tabela 2: Levantamento topobatimétrico da seção de monitoramento do ponto 1

Nome do Perfil	Ponto 1
Cidade:	Joinville
Data da medição	10/02/2017
Cota da régua (cm)	35,5
Nome do RN:	54
Distância	Altura em relação a cota da régua
-12,40	4,44
-7,70	3,68
-1,40	2,43
0,00	0,36
0,84	0,26
1,69	0,15
2,53	0,28
3,37	0,36
3,37	0,36
3,57	1,78
6,27	3,15
22,67	3,92
Fim da seção	Margem esquerda

3.1.1.2 Ponto 2

A seção de monitoramento fluviométrico foi definida atrás da seção de réguas, distante à 1 metro em relação as réguas linimétricas. O levantamento da seção foi realizado no dia 10/02/2017, e está representando na **Tabela 3** e **Figura 17**. O RN 57 está a 478 centímetros acima da régua (cota do dia 57centímetros).

Figura 17: Perfil da seção de monitoramento fluviométrico do ponto 2

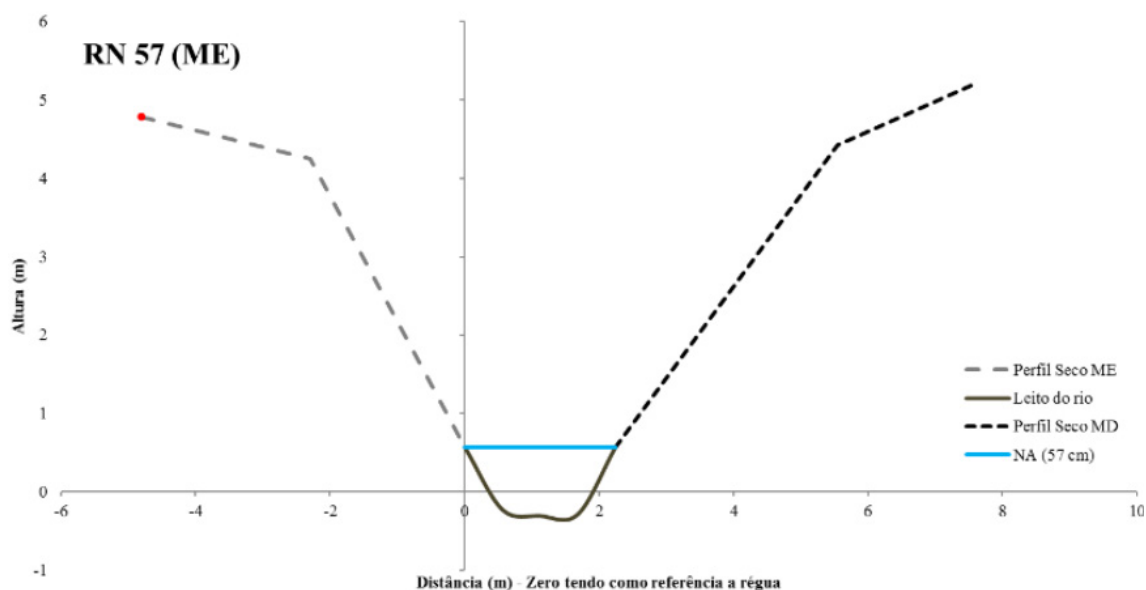


Tabela 3: Levantamento topobatimétrico da seção de monitoramento do ponto 2

Nome do Perfil	Ponto 2
Cidade:	Joinville
Data da medição	10/02/2017
Cota da régua (cm)	57
Nome do RN:	57
Distância	Altura em relação a cota da régua
-4,80	4,78
-2,30	4,25
0,00	0,57
0,56	-0,23
1,13	-0,31
1,69	-0,29
2,25	0,57
5,55	4,42
7,55	5,19
Fim da seção	Margem direita

3.1.1.3 Ponto 3

A seção de monitoramento fluviométrico foi definida em frente a seção de réguas, distante à 1 metro em relação as réguas linimétricas. O levantamento da seção foi realizado no dia 10/02/2017, e está apresentando na **Tabela 4** e **Figura 18**. O RN 55 está a 345 centímetros acima da régua (cota do dia 06 centímetros).

Figura 18: Perfil da seção de monitoramento fluviométrico do ponto 3

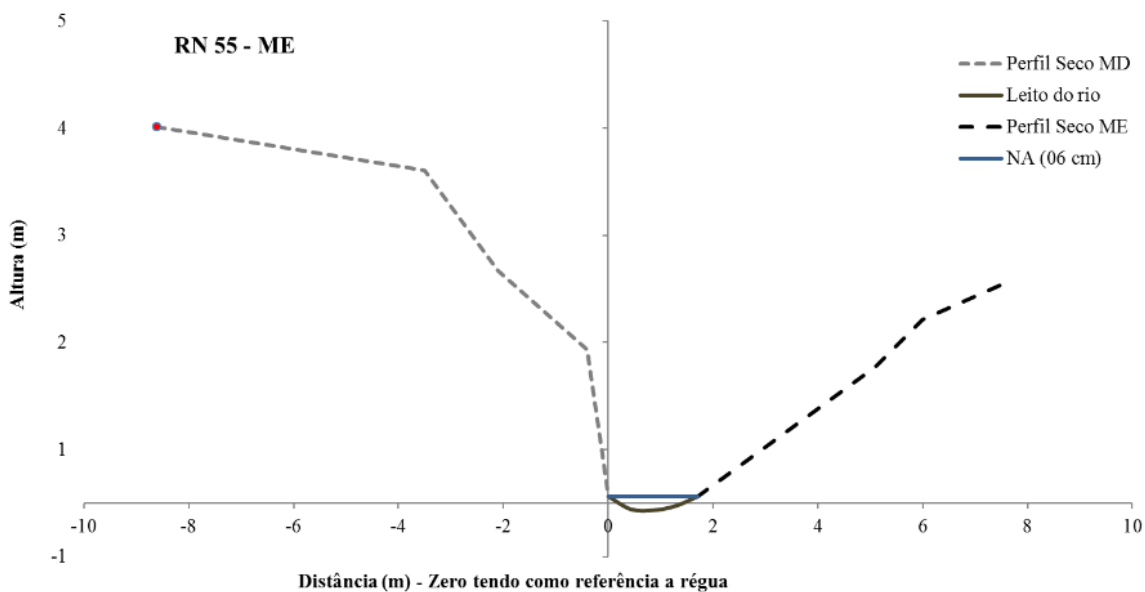


Tabela 4: Levantamento topobatimétrico da seção de monitoramento do ponto 3

Nome do Perfil	Ponto 3
Cidade:	Joinville
Data da medição	10/02/2017
Cota da régua (cm)	06
Nome do RN:	55
Distância	Altura em relação a cota da régua
-8,60	3,51
-3,50	3,11
-2,10	2,17
-0,40	1,43
0,00	0,06
0,43	-0,06
0,85	-0,07
1,28	-0,03
1,70	0,06
1,70	0,06
5,10	1,27
6,00	1,71
7,70	2,08
Fim da seção	Margem direita

3.1.1.4 Ponta 4

A seção de monitoramento fluviométrico foi definida em frente a seção de réguas, distante à 50 cm em relação as réguas linimétricas. O levantamento da seção foi realizado no dia 10/02/2017, e está representado na **Tabela 5** e **Figura 19**. O RN 56 está a 282 centímetros acima da régua (cota do dia 20 centímetros).

Figura 19: Perfil da seção de monitoramento fluviométrico do ponto 4

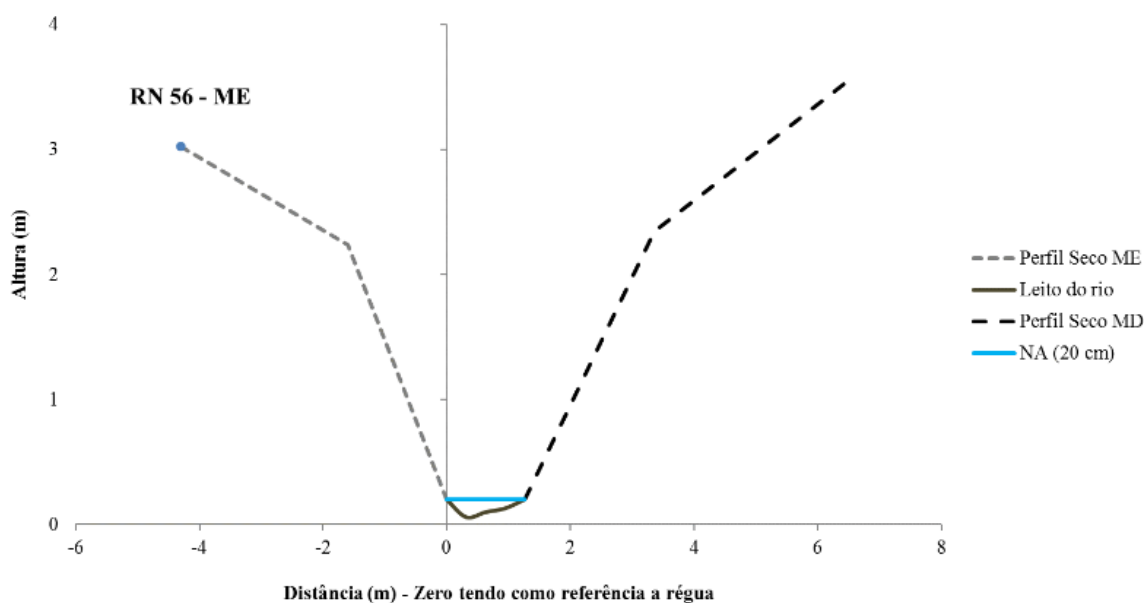


Tabela 5: Levantamento topobatimétrico da seção de monitoramento do ponto 4

Nome do Perfil	Ponto 4
Cidade:	Joinville
Data da medição	10/02/2017
Cota da régua (cm)	20
Nome do RN:	56
Distância	Altura em relação a cota da régua
-4,30	3,02
-1,60	2,24
0,00	0,20
0,32	0,06
0,63	0,10
0,95	0,13
1,26	0,20
3,36	2,35
6,56	3,58
Fim da seção	Margem direita

3.1.1.5 Ponto 5

A seção de monitoramento fluviométrico foi definida em frente a seção de réguas, distante à 1 metro em relação as réguas linimétricas. O levantamento da seção foi realizado no dia 10/02/2017, e está apresentado na **Tabela 6** e **Figura 20**. O RN 58 está a 369 centímetros acima da régua (cota do dia 12 centímetros).

Figura 20: Perfil da seção de monitoramento fluviométrico do ponto 5

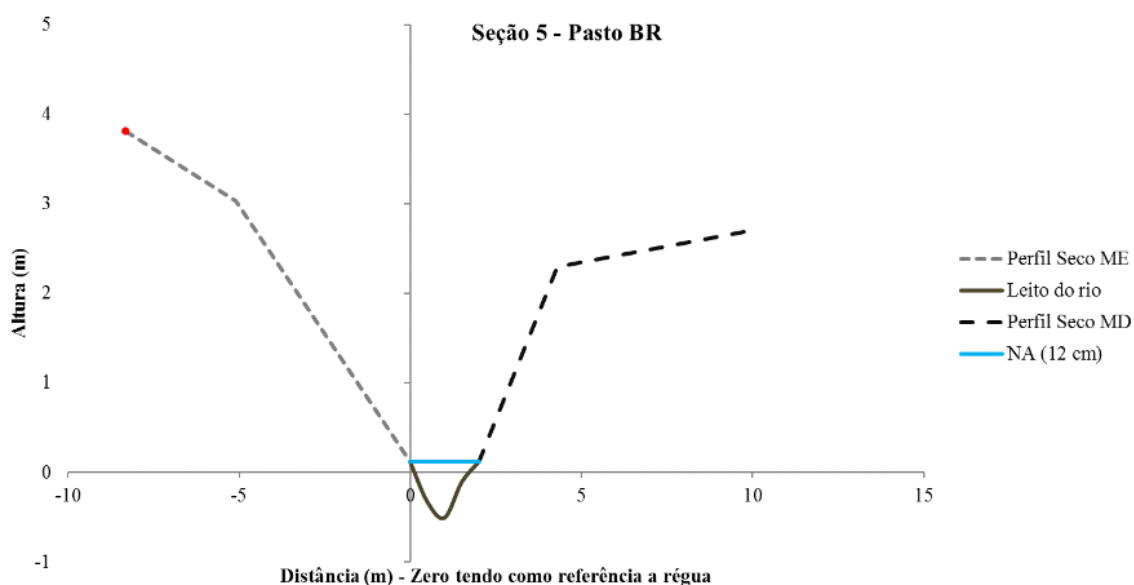


Tabela 6: Levantamento topobatimétrico da seção de monitoramento do ponto 5

Nome do Perfil	Ponto 5
Cidade:	Joinville
Data da medição	10/02/2017
Cota da régua (cm)	12
Nome do RN:	58
Distância	Altura em relação a cota da régua
-8,30	3,81
-5,10	3,03
0,00	0,12
0,50	-0,33
1,00	-0,51
1,50	-0,11
2,00	0,12
4,30	2,30
10,10	2,71
Fim da seção	Margem direita

3.2 Procedimentos hidrológicos em campo e laboratório

Após a instalação física dos sensores nos pontos de monitoramento iniciaram-se as medições de vazão, coleta de amostras para estimativa da concentração de sedimentos em suspensão, coleta de amostras do solo do leito, margens e da bacia caracterização desses sedimentos em laboratórios. Os métodos de medição de vazão e coletas de sedimentos seguiram o guia prático hidrossedimentológico (Carvalho *et al.*, 2000) e serão descritos posteriormente.

3.2.1 Determinação de curvas-chave

Durante as atividades para determinação de curvas-chave foram realizados novos levantamentos topobatimétricos nas seções de monitoramento. Da **Figura 21** à **Figura 26** constam imagens obtidas durante as atividades realizadas em campo e os resultados destes levantamentos.

Figura 21: Levantamento topobatimétrico P3 em campo



Figura 22: Levantamento topobatimétrico P4 em campo



Figura 23: Levantamento topobatimétrico do ponto P1 processado no *Software* AutoCad

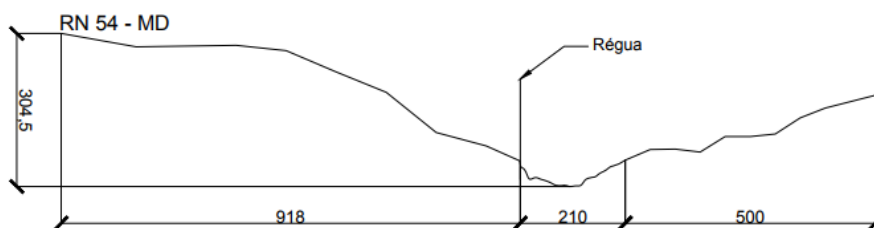


Figura 24: Levantamento topobatimétrico do ponto P2 processado no *Software* AutoCad

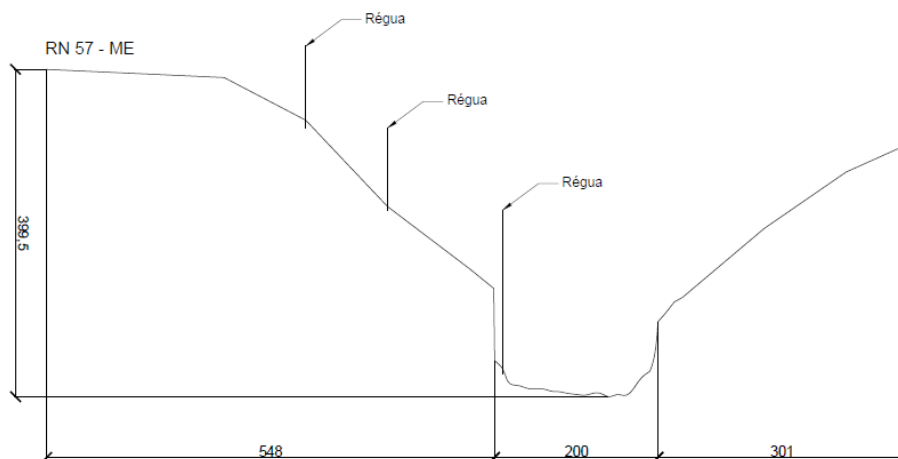
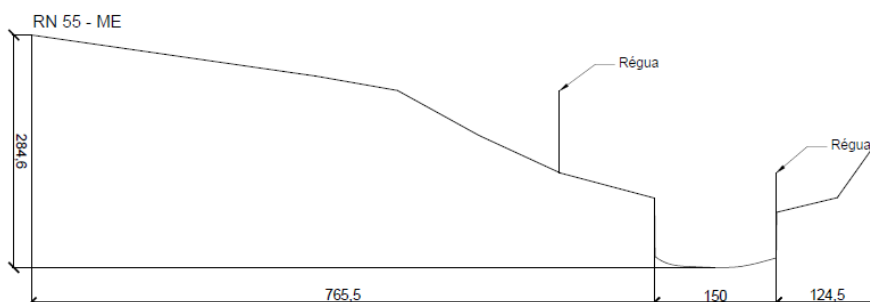
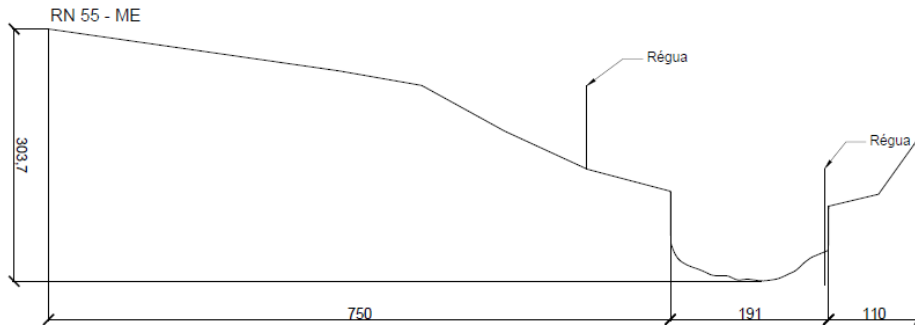


Figura 25: Levantamento topobatimétrico do ponto P3 processado no *Software* AutoCad



A seção transversal na estação 3 (P3) sofreu modificação por erosão, em decorrência de uma forte enxurrada, após a qual o nível do córrego resultou rebaixado de aproximadamente 41 centímetros. Esta modificação demandou a realização de novo levantamento topobatimétrico da seção do córrego, bem como novos levantamentos para reelaboração da curva-chave. Após o mês de março de 2017, quando ocorreu o evento e a consequente modificação, foi realizado o novo levantamento topobatimétrico, apresentado na **Figura 23**, que está sendo utilizado para os cálculos da curva-chave

Figura 26: Novo levantamento topobatimétrico do P3 processado no *Software* AutoCad



Para medição de vazão foi utilizado o método da seção média que determina a vazão por meio de vazões parciais calculadas para cada subseção entre verticais, partindo da largura, média das profundidades e média das velocidades (**Figura 22** e **Tabela 7**).

Figura 27: Método da seção média (Fonte: ANA, 2014).

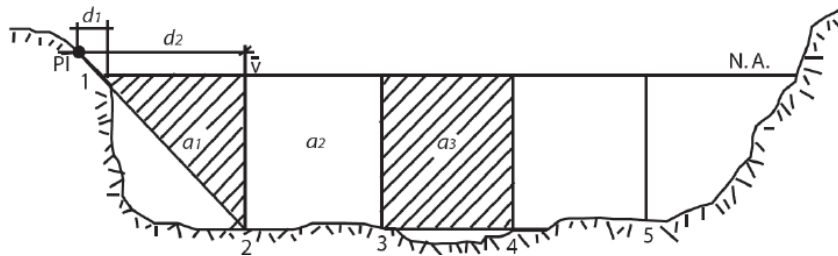


Tabela 7: Equações para cálculos de velocidade média vertical (Fonte: ANA, 2014).

n° de pontos	Posição na vertical em relação a profundidade (p)	Cálculo da velocidade média (V_m) na vertical	Profundidade (m)
1	0,6 p	$V_m = V_{0,6}$	0,15 - 0,6
2	0,2 e 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,8}) / 2$	0,6 - 1,2
3	0,2; 0,6; 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8}) / 4$	1,2 - 2,0
4	0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) / 6$	2,0 - 4,0
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F	$V_m = [V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f] / 10$	> 4,0

As medições de velocidade foram feitas com o micromolinetes hidrométrico marca Hidromet, com hélice de 5 centímetros para medição de vazão na profundidade de 0,05 a 1,5 metros, adquirido especialmente para este projeto (**Figura 28**).

Figura 28: Medições de velocidades realizadas com micromolinete



Para determinação das curvas-chave, diversas medições de velocidade e vazão foram realizadas nos pontos de monitoramento. Da **Tabela 8** até a **Tabela 11** constam as sínteses das medições de velocidade e parâmetros hidráulicos dos pontos de monitoramento. Nos resultados dessa análise de métodos de medição de velocidade, vazão e análise dos eventos foi possível construir as curvas-chave dos pontos de monitoramento nas estações 1, 2 e 3 (P1, P2, P3). Para o P4 e P5 ainda não foi possível finalizar este processo. A **Figura 29** a **Figura 32** mostram as curvas-chaves.

No P4, como houve movimentação do leito ainda não é viável fazer as medições visto que a relação cota-vazão vem se alterando constantemente. O P5, último ponto a ser instalado, é o mais distante da urbanização. Nele a intensidade de sinal GPRS é baixa e nesta estação houve diversos problemas elétricos, falhas na transmissão de dados, entre outros, motivo pelo qual deu-se ênfase à operação da estação. As medições serão retomadas durante o mês de outubro, quando tem início também o período de chuvas.

Tabela 8: Medições dos parâmetros hidráulicos no P1

P1					
Nº	Data	Cota Régua(cm)	Área (m ²)	Vel. média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
1	11/7/2016	34	0.21	0.05	0.011
2	1/18/2017	39	0.27	0.23	0.063
3	1/22/2017	34	0.22	0.05	0.010
4	1/25/2017	33	0.20	0.05	0.010
5	1/28/2017	37	0.26	0.26	0.068
6	3/29/2017	38	0.26	0.39	0.100
7	4/8/2017	53	0.35	0.86	0.305
8	4/8/2017	58	0.42	1.21	0.506
9	4/8/2017	72	0.86	1.47	1.298
10	4/8/2017	65	0.77	1.13	0.860

Tabela 9: Medições dos parâmetros hidráulicos no P2

P2					
Nº	Data	Cota Régua(cm)	Área (m ²)	Vel. média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
1	15/03/2017	54	1,04	0,12	0,126
2	18/03/2017	92	2,22	0,17	0,371
3	24/03/2017	130	3,22	0,20	0,675
4	28/04/2017	59	1,49	0,09	0,133

Tabela 10: Medições dos parâmetros hidráulicos no P3

P3 - antes do evento					
Nº	Data	Cota Régua(cm)	Área (m ²)	Vel. média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
1	07/11/2016	3	0,14	0,27	0,038
2	17/01/2017	13	0,33	0,20	0,065
3	18/01/2017	16	0,40	0,23	0,084
4	22/01/2017	5	0,24	0,20	0,043
5	25/01/2017	4	0,20	0,17	0,032
6	26/01/2017	87	1,65	0,34	0,545
7	26/01/2017	75	1,44	0,30	0,430
8	28/01/2017	19	0,37	0,59	0,209
9	28/01/2017	24	0,46	0,48	0,219

Tabela 11: Medições dos parâmetros hidráulicos no P3

P3 - depois do evento					
Nº	Data	Cota Régua(cm)	Área (m ²)	Vel. média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
1	15/03/2017	24	0,23	0,27	0,060
2	24/03/2017	25	0,32	0,46	0,143
3	28/03/2017	27	0,32	0,39	0,129
4	08/04/2017	44	0,65	0,51	0,354
5	08/04/2017	52	0,79	0,49	0,385
6	08/04/2017	57	0,92	0,50	0,452
7	08/04/2017	85	1,51	0,62	0,911

Foram feitos os cálculos do erro na cota máxima (EH_{máx}) e do erro médio (E_{med}), que são métodos de análise da curva-chave e estão apresentados na **Tabela 12**. Todos os dados utilizados e métodos estão descritos no Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia e Infraestrutura do Aluno Tiago Guizoni e em artigos enviados para XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, anexados a este Relatório em formato digital.

No P1 foram realizadas medições no intervalo de 34 a 72 cm. A vazão mínima observada foi de 0,100 m³/s e vazão máxima de 1,298 m³/s. No P2 as medições se deram no intervalo de 54 a 130 cm, com vazão mínima medida de 0,126 m³/s e máxima de 0,675 m³/s.

No P3 antes do evento que causou a erosão no ponto as medições variaram de 3 a 87 cm, com vazões mínimas e máximas de 0,032 e 0,545 m³/s respectivamente. E após o evento foram realizadas medições no intervalo de 24 a 85 cm, vale ressaltar novamente

que neste ponto houve um rebaixamento no fundo do leito de 41 cm. A vazão mínima observada foi de 0,060 m³/s e a máxima de 0,911 m³/s.

Figura 29: Curva-chave com extrapolações obtidas pelos métodos de Stevens, Logarítmica e Manning no P1

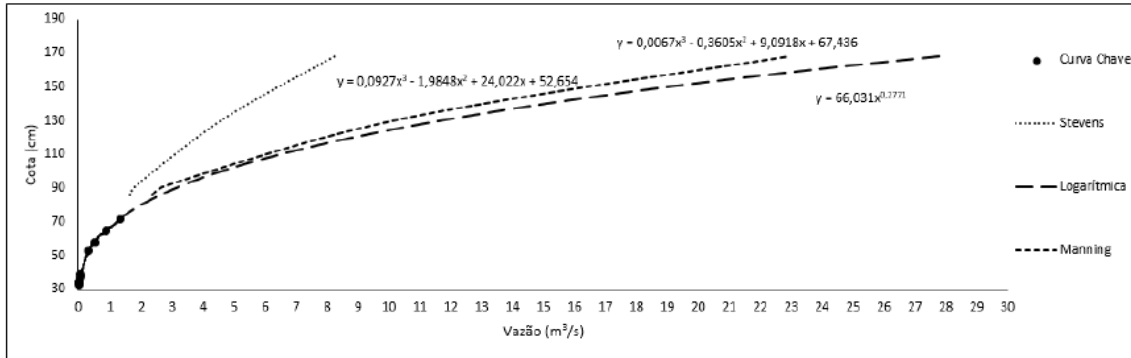


Figura 30: Curva-chave com extrapolações obtidas pelos métodos de Stevens, Logarítmica e Manning no P2

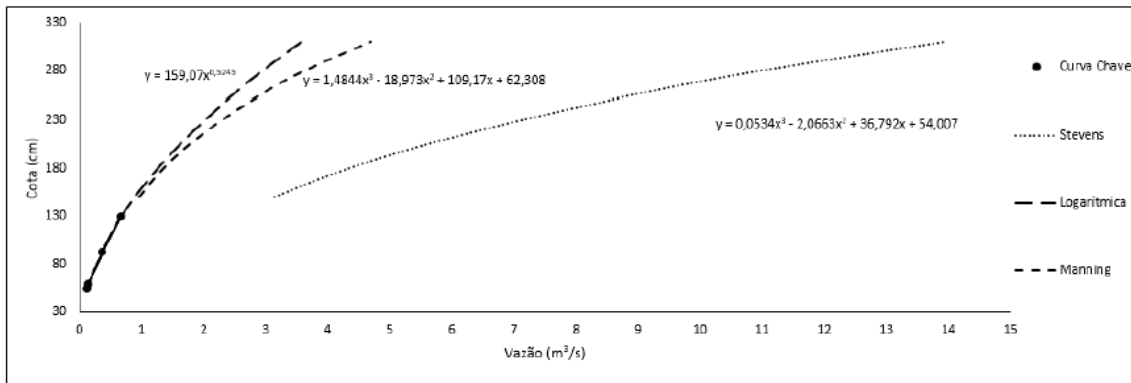


Figura 31: Curva-chave com extrapolações obtidas pelos métodos de Stevens, Logarítmica e Manning no P3 antes do evento que causou a erosão

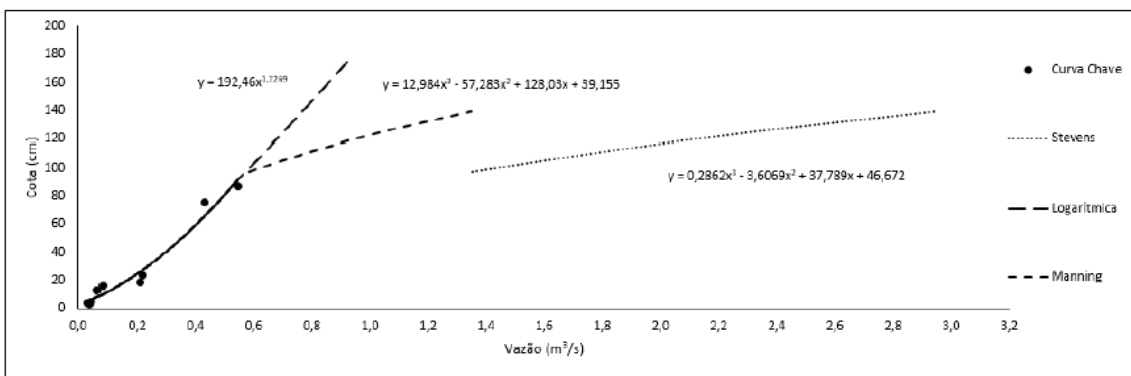


Figura 32: Curva-chave com extrapolações obtidas pelos métodos de Stevens, Logarítmica e Manning no P3 após o evento que causou a erosão

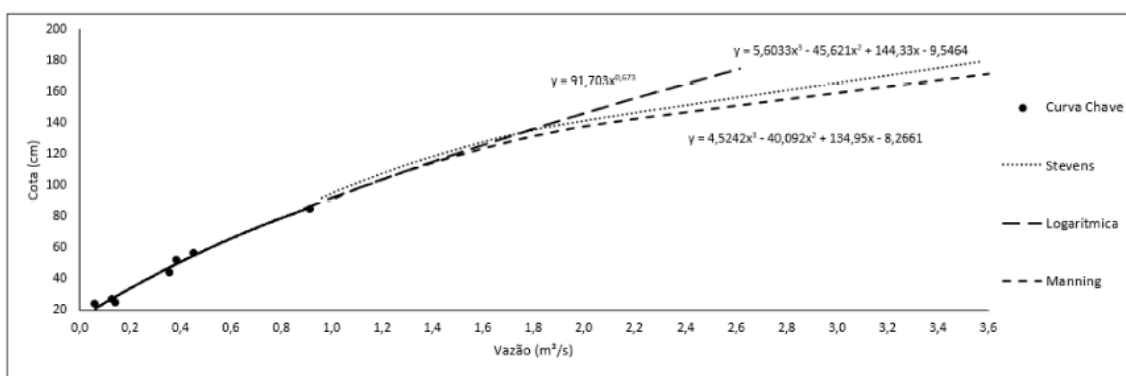


Tabela 12: Resumo das análises de erros

	P1		P2		P3 antes		P3 depois	
	Ehmax (%)	Em (%)	Ehmax (%)	Em (%)	Ehmax (%)	Em (%)	Ehmax (%)	Em (%)
Stevens	17,5	155,1	-271,6	800,7	-137,0	273,4	7,4	101,2
Logarítmico	0,1	630,1	0,8	35,1	4,0	4,5	1,9	21,6
Manning	-15,5	533,5	12,4	53,5	-3,3	42,5	3,3	16,4

3.2.2 Análises de tempos de concentração

Os tempos de concentração das sub-bacias foram estimados por análise de hidrogramas, utilizando-se cinco métodos diferentes descritos em Mccuen (2009), conforme representado na **Figura 33**. Os resultados para todas as sub-bacias constam da **Tabela 13** e **Tabela 14**.

Figura 33: Métodos de estimativa do tempo de concentração

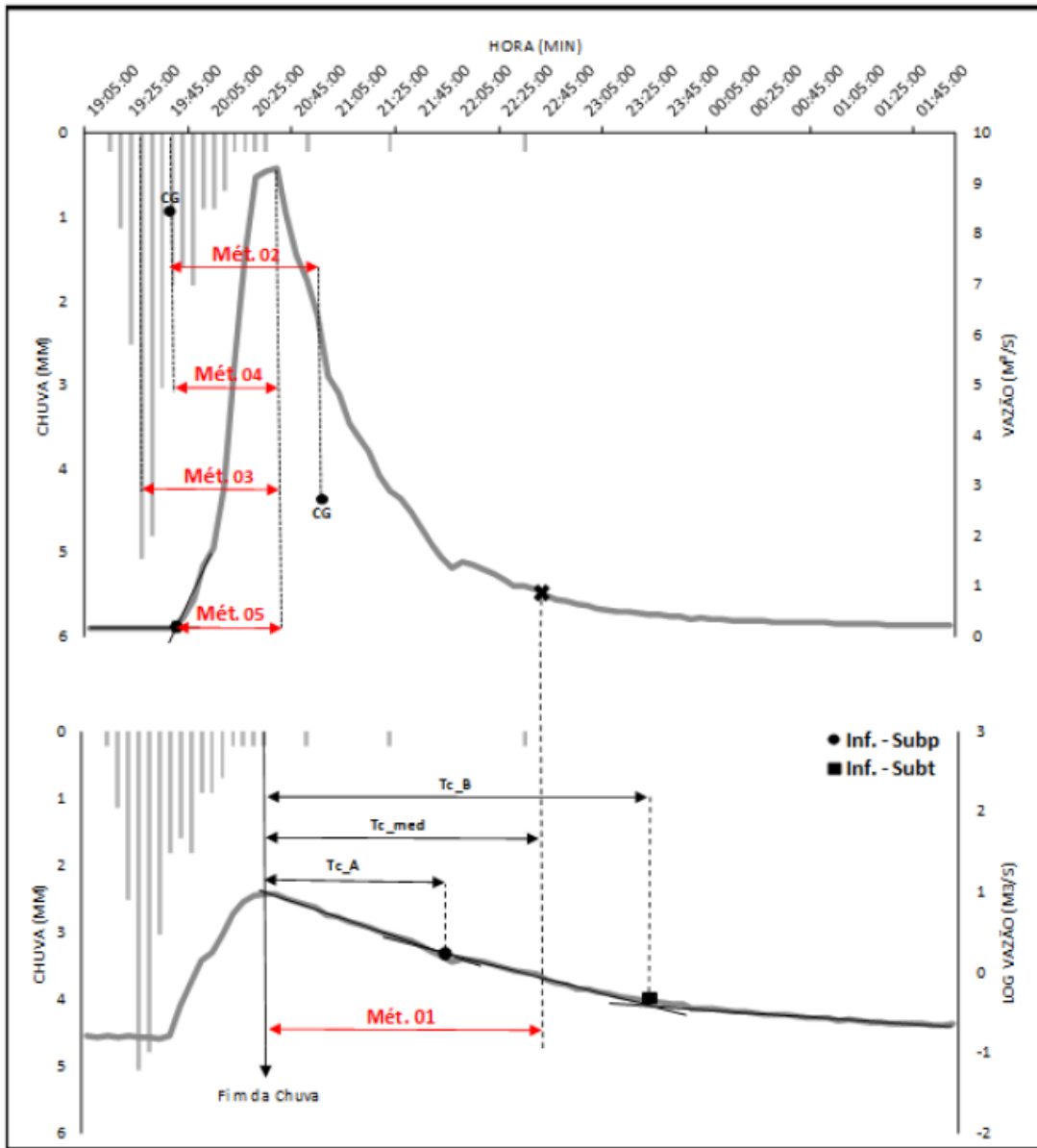


Tabela 13: Resumo das análises de erros para P1 e P2

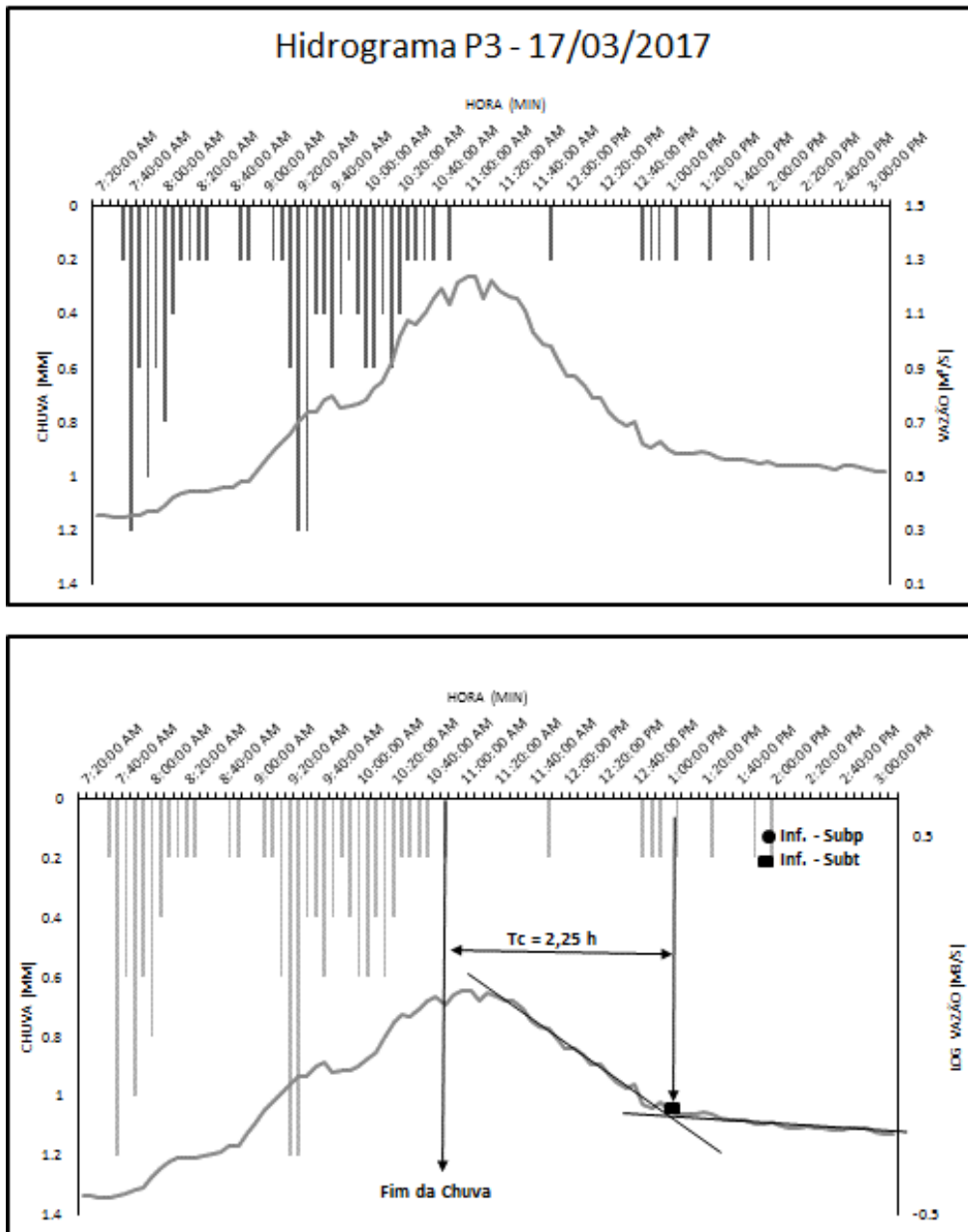
Bacias	N°	Método 01			Método 02 C. Hie. - C. Hid.	Método 03 Imáx - Qmáx	Método 04 C. Hiet. - Qmáx	Método 05 In. Ev. - Qmáx
		Final Prec. - Ponto de Inf.						
		Tc_A	Tc_B	Tc_med				
P1	1	2,33	-	2,33	1,75	1,92	1,82	2,42
	2	1,33	2,92	2,13	0,58	0,92	0,25	0,92
	3	1,58	2,67	2,13	1,83	1,25	1,58	0,42
	4	1,42	2,75	2,08	1,12	0,75	0,60	1,42
	5	2,42	-	2,42	1,88	2,92	2,17	2,33
	6	1,58	3,33	2,46	1,90	1,50	1,45	0,92
	7	2,42	-	2,42	1,80	1,67	1,37	0,75
	8	1,33	1,83	1,58	1,18	1,25	1,22	0,42
	9	2,17	-	2,17	1,68	2,42	1,77	1,08
	10	1,83	3,00	2,42	1,78	1,42	1,35	0,83
	11	1,42	3,25	2,33	2,08	3,58	2,17	2,17
	12	1,75	2,67	2,21	-	1,67	1,42	-
	13	2,58	-	2,58	1,33	0,50	1,08	1,83
	14	1,25	4,17	2,71	1,62	0,75	0,95	1,58
	15	2,08	5,42	3,75	3,00	1,00	3,35	6,00
	16	2,33	4,00	3,17	0,58	5,00	0,43	7,92
Médias				2,43	1,61	1,78	1,44	2,07
Desvio Padrão				20,02%	37,39%	66,82%	52,56%	102,58%
P2	1*	16,58	40,33	28,46	12,60	6,00	5,65	5,25
	2	17,50	-	17,50	8,37	4,92	4,73	5,00
	3*	12,08	34,25	23,17	13,52	7,17	7,13	7,58
	4	15,17	-	15,17	7,53	4,58	4,52	4,58
	5	12,33	-	12,33	6,37	5,08	5,03	5,17
	6*	14,58	41,50	28,04	12,05	4,92	4,27	5,08
	7*	13,75	26,67	20,21	8,00	3,92	3,93	7,08
	8	15,17	-	15,17	10,20	7,17	5,70	6,42
	9*	12,83	35,67	24,25	12,20	10,25	9,78	10,08
	10*	12,17	23,42	17,79	9,03	5,08	6,38	7,50
	11	16,00	-	16,00	9,83	8,00	6,58	6,75
	12*	20,92	43,33	32,13	12,18	3,00	2,75	7,92
	13*	14,17	27,67	20,92	10,10	4,33	4,87	5,92
	14*	11,00	18,42	14,71	9,82	10,42	9,47	9,67
	15	12,75	-	12,75	8,27	7,83	6,58	5,83
	16	14,42	-	14,42	7,03	5,83	5,38	6,67
	17	13,50	-	13,50	7,20	5,00	5,20	5,08
	18	12,67	-	12,67	7,33	6,00	6,08	4,83
	19	11,83	-	11,83	7,35	5,83	5,80	5,08
	20	15,92	-	15,92	8,40	7,25	6,93	6,17
Médias				18,35	9,37	6,13	5,84	6,38
Desvio Padrão				32,64%	23,01%	31,78%	28,86%	24,42%
Médias (Sem Eventos *)				14,30	7,99	6,14	5,69	5,60
Desvio Padrão (Sem Eventos *)				12,69%	14,75%	20,06%	14,03%	14,07%

Tabela 14: Resumo das análises de erros para P3 e P5

Bacias	N°	Método 01			Método 02 C. Hie. - C. Hid.	Método 03 Imáx - Qmáx	Método 04 C. Hiet. - Qmáx	Método 05 In. Ev. - Qmáx
		Final Prec. - Ponto de Inf.						
		Tc_A	Tc_B	Tc_med				
P3 Antes	1	2,42	8,17	5,29	2,43	1,33	1,27	2,17
	2	6,25	-	6,25	2,78	6,83	6,68	6,25
	3	5,83	6,83	6,33	4,60	2,83	2,52	2,83
	4	6,83	9,42	8,13	3,27	5,58	3,22	6,17
	5	7,67	-	7,67	3,10	3,58	3,05	6,17
	6	3,50	6,08	4,79	3,17	2,75	2,67	1,92
Médias				6,410	3,23	3,82	3,23	4,25
Desvio Padrão				20,25%	22,93%	53,08%	56,42%	50,62%
P3 Depois	1	2,83	-	2,83	1,52	1,17	1,17	1,00
	2	3,42	-	3,42	2,45	2,08	1,90	1,08
	3	2,25	-	2,25	1,63	3,33	1,92	3,25
Médias				2,833	1,87	2,19	1,66	1,78
Desvio Padrão				20,59%	27,24%	49,56%	25,78%	71,76%
P5	1	3,75	-	3,75	2,12	2,25	2,23	2,25
	2	4,00	-	4,00	2,80	5,00	4,15	5,17
	3	4,83	-	4,83	3,07	2,33	2,08	4,42
	4	2,33	8,25	5,29	4,02	2,25	2,75	3,50
	5	3,25	-	3,25	2,22	1,67	1,90	1,42
	6	5,75	-	5,75	3,12	3,67	3,88	4,50
	7	3,08	6,58	4,83	3,82	2,83	2,78	3,92
	8	4,67	-	4,67	2,68	3,58	3,27	3,33
	9	5,17	-	5,17	2,58	6,50	2,85	7,83
Médias				4,616	2,94	3,34	2,88	4,04
Desvio Padrão				17,36%	22,17%	46,53%	26,94%	45,43%

A *Figura 34* mostra um exemplo da análise do hidrograma para analisar o tempo de resposta nas sub-bacias.

Figura 34: Análise do tempo de concentração no P3

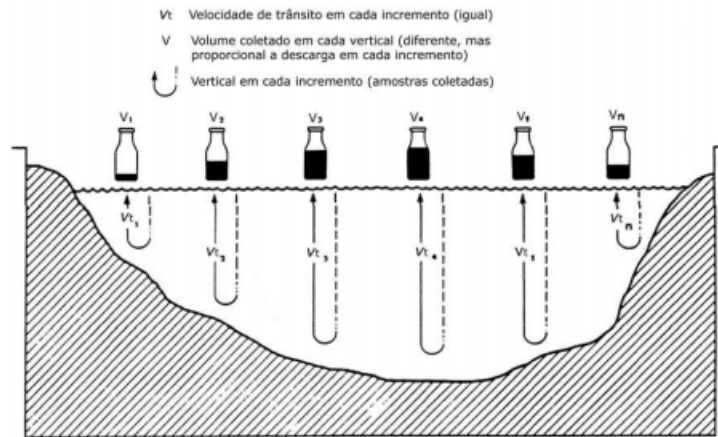


Os resultados dessa análise do tempo de concentração nas sub-bacias encontram-se detalhados nos produtos acadêmicos desenvolvidos pelos alunos, referenciados no item 4.1.3.

3.2.3 Ensaios de solos e sedimentometria

As coletas de amostra para determinação da Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS) seguem o método de amostragem Igual Incremento de Largura, ou IIL, que, conforme sua denominação consiste em dividir a seção transversal do curso d'água em subseções de iguais incrementos de largura, conforme exemplificado na **Figura 35**.

Figura 35: Coleta de amostras pelo método ILL (Fonte: Carvalho et al.,2000).



As amostras de sedimentos em suspensão foram realizadas com o amostrador DH48 (**Figura 36**), sendo posteriormente filtradas em laboratório. A **Figura 37** mostra o kit de filtração para determinação de sedimentos em suspensão e a **Figura 38**, as membranas utilizadas para estimativa da concentração de sedimentos em suspensão.

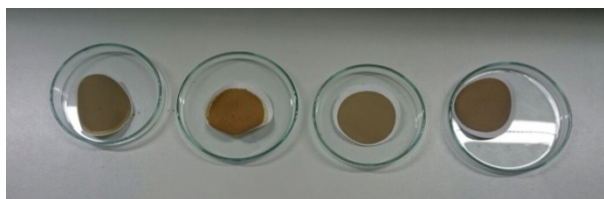
Figura 36: Amostrador DH 48



Figura 37: Kit de filtração para determinação do sedimento em suspensão



Figura 38: Membranas com material retido para determinar do sedimento em suspensão



A **Figura 19** mostra a correlação entre concentração de sedimento em suspensão e nível da régua em vários eventos.

Tabela 15: Resumo das análises de concentração de sedimento em suspensão

Ponto de Monitoramento P1			
Data	Hora	CSS (mg/L)	Régua (cm)
18-jan-17	19:45	24	39
22-jan-17	14:30	2	34
25-jan-17	09:50	6	34
26-jan-17	18:50	165	44
28-jan-17	15:22	17	37
15-fev-17	10:00	4	37
17-fev-17	10:26	4	35

Ponto de Monitoramento P2			
Data	Hora	CSS (mg/L)	Régua (cm)
15-fev-17	08:20	8	76
17-fev-17	08:25	18	55
18-fev-17	09:30	14	93
15-mar-17	17:00	13	54
24-mar-17	16:30	27	130

Ponto de Monitoramento P3			
Data	Hora	CSS (mg/L)	Régua (cm)
17-jan-17	11:50	9	14
18-jan-17	19:30	15	16
22-jan-17	14:02	14	6
25-jan-17	08:56	24	4
26-jan-17	18:30	885	88
26-jan-17	19:25	438	70
28-jan-17	14:50	99	24
28-jan-17	15:45	69	19
15-fev-17	09:15	2	7
17-fev-17	09:40	6	4

Com o objetivo de fazer uma análise mais detalhada dos processos de erosão e transporte de sedimento nas sub-bacias foram realizadas também as curvas granulométricas do solo da bacia, do solo do leito e da margens do canal. Com isto, em todos os pontos de monitoramento também estão sendo elaboradas as curvas

granulométricas do material do leito e das margens dos córregos. A **Figura 39** e **Figura 40** ilustram as curvas do ponto de monitoramento das estações 1 e 3 (P1 e P3).

As análises de solos foram realizadas seguindo a NBR 7217 – Determinação da composição granulométrica, NBR-6459 - Determinação do Limite de Liquidez de Solos e NBR-7180 - Determinação do Limite de Plasticidade de Solos.

Em todos os pontos de monitoramento também estão sendo elaboradas as curvas granulométricas do material do leito dos córregos. A **Figura 39** e **Figura 40** ilustram as curvas do ponto de monitoramento das estações 2 e 3 (P2 e P3).

Figura 39: Curva de distribuição granulométrica com de flocculante do leito do P1

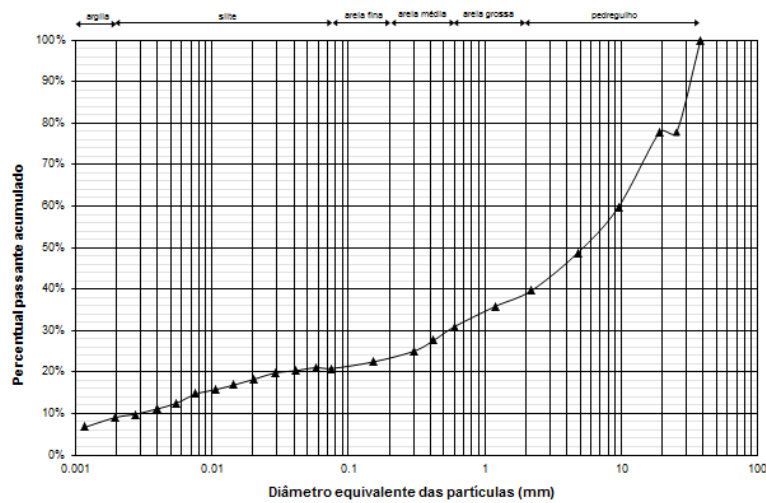
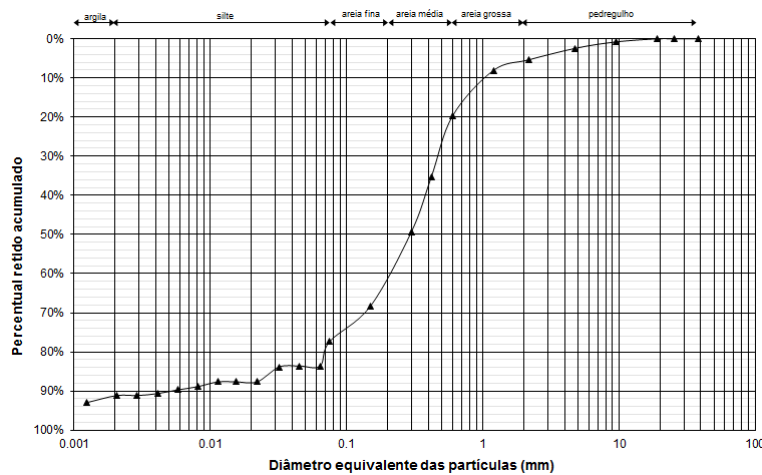


Figura 40: Curva de distribuição granulométrica com defloculante do leito do P3



Será também elaborado o mapa geotécnico e de erodibilidade na BHCUIJ. Para isto estão sendo coletadas amostras deformadas e indeformadas de solos. A **Figura 41** mostra a coleta de amostras indeformadas e a **Figura 42** e **Figura 43** mostra os ensaios para determinar as características do solo. A **Tabela 16** mostra os resultados dos ensaios das primeiras amostras de solo.

Com as coletas de amostras de solos em diferentes pontos da sub-bacia foi possível identificar os potenciais pontos de erosão concentrada nas sub-bacias. A **Figura 44** mostra um erosão concentrada próximo à estação de monitoramento 3 (P3).

Figura 41: Coleta de amostra indeformada



Figura 42: Ensaio realizados para determinação da granulometria, limite de plasticidade e liquidez dos solos da BHCUI



Figura 43: Resultado da distribuição granulométrica com defloculante do solo da BHCUI

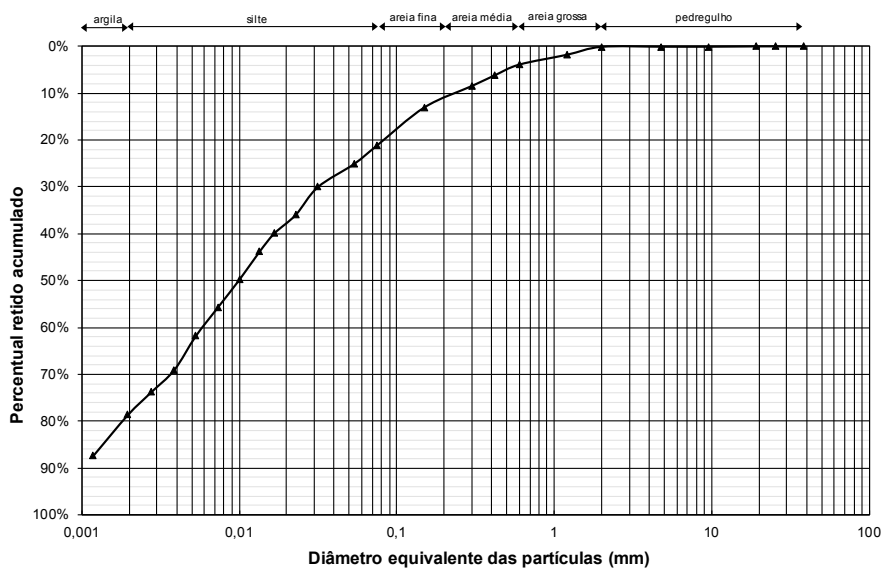


Tabela 16: Resultado dos limites dos índices de plasticidade do solo

Pontos	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)	Classificação
P1 - Prof. 1	44,5	41,5	3	Baixa plasticidade
P1 - Prof. 2	43,5	38,3	5	Baixa plasticidade
P2	54,9	35,4	19	Alta plasticidade
P3	47,5	38,6	9	Média plasticidade

Figura 44: Registro de erosão na BHCUIJ



3.3 Operação e manutenção do sistema

A operação do sistema é feita através de visitas semanais destinadas à realização de limpeza dos pluviômetros, régua linimétrica, sensores e painéis solares, bem como avaliação das condições gerais de conservação das instalações. A **Figura 45** mostra um pluviômetro aberto durante o processo de limpeza da báscula. A mesma figura exemplifica o nivelamento de régua linimétrica num dos pontos de monitoramento, após um evento extremo de precipitação.

Figura 45: Pluviômetro em processo de limpeza (à esquerda) e nivelamento de régua linimétrica após evento extremo (à direita).



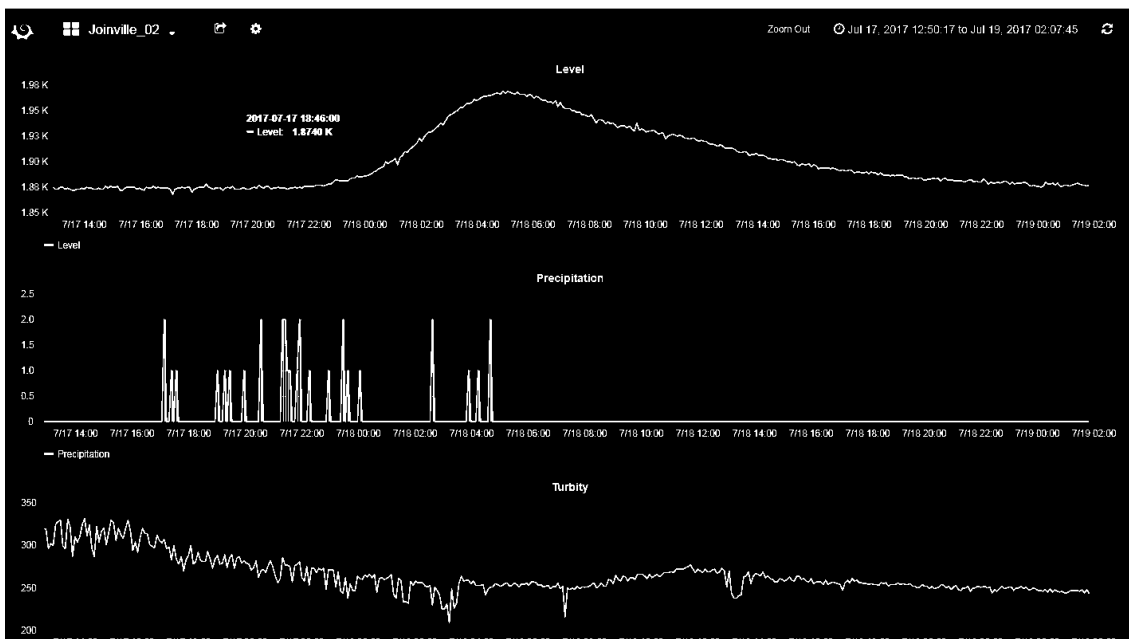
Há também situações inesperadas que demandam manutenção do sistema, conforme descrito a seguir. Em um evento extremo houve modificação da seção transversal do córrego no trecho da estação de monitoramento 3 (P3) e as instalações necessitaram ser refeitas porque os tubos de acesso onde são colocados os sensores ficaram acima do nível d'água. A **Figura 46** mostra o rebaixamento da seção do P3 e como os sensores expostos acima do nível d'água.

Figura 46: Material acumulado e rebaixado da seção do P3 após evento extremo



O monitoramento contínuo dos dados pode ser realizado a qualquer momento por intermédio da Plataforma Grafana de maneira visual (**Figura 47**).

Figura 47: Site Grafana com evento extremo no dia 18/07/2017 no P2



Pelo site do Núcleo de Estudos da Água³ (NEA) é possível gerar as planilhas de monitoramento para análise dos eventos como já mencionado anteriormente (**Figura 48**).

Figura 48: Disponibilização dos dados no site da Núcleo de Estudos da Água

	T	Name ^	Size	Last modified	
		Ana D'Ávila	1.51 MB	2017-06-21	
		Ana Davila New	1.42 MB	2017-09-06	
		Arquitetura	42 B	2017-09-06	
		Biblioteca	510.74 KB	2017-09-06	
		Carvoeira	1.23 MB	2017-09-06	
		Centeventos	42 B	2017-09-06	
		Corrego Grande	2.17 MB	2017-06-21	
		Corrego Grande New	323.71 KB	2017-09-06	
		ESMESC	55 B	2017-06-21	
		Esmesc New	1.24 MB	2017-09-06	
		Exulorio	1.11 MB	2017-09-06	
		Fapeu	1.55 MB	2017-09-06	
		Hu00	411.24 KB	2017-09-06	
		Hu01	634.33 KB	2017-09-06	
		Joinville01	462.28 KB	2017-08-28	
		Joinville01	546.16 KB	2017-09-06	
		Joinville02	1.51 MB	2017-08-28	
		Joinville02	1.54 MB	2017-09-06	
		Joinville03	1.03 MB	2017-08-28	
		Joinville03	1.11 MB	2017-09-06	
		Joinville05	423.64 KB	2017-08-28	

4 ESTÁGIO ATUAL

4.1 Alguns resultados do monitoramento

A partir de janeiro de 2017, com a conclusão das instalações físicas dos sensores, iniciou-se o monitoramento dos dados de nível, turbidez e precipitação na bacia do Campus da UFSC em Joinville. As informações referentes à hidrologia, ao sistema de transmissão dos dados e aos produtos acadêmicos gerados com esses materiais são apresentadas a seguir.

³ <http://www.neagua.ufsc.br>

4.1.1 Quanto à hidrossedimentometria

Os levantamentos topográficos das seções, medições de velocidade, estimativa de vazão total, coleta de amostras de sedimento são realizados periodicamente, atualizando-se as curvas-chave em todas as seções de monitoramento. Paralelamente, os sensores de nível e de turbidez são aferidos regularmente em laboratório.

Quando os resultados relativos aos sedimentos faz-se necessário:

- Aumentar a quantidade de amostras para análise de concentração de sedimentos em suspensão e correlação com o sensor de turbidez;
- Finalizar as análises granulométricas do leito e das margens dos canais do P2 e P3 após eventos chuvosos;
- Finalizar as análises granulométricas para o mapeamento geotécnico e de erosão da BHCUIJ;
- Realizar os ensaios com o permeâmetro para determinação da condutividade hidráulica saturada.

4.1.2 Quanto ao sistema de transmissão

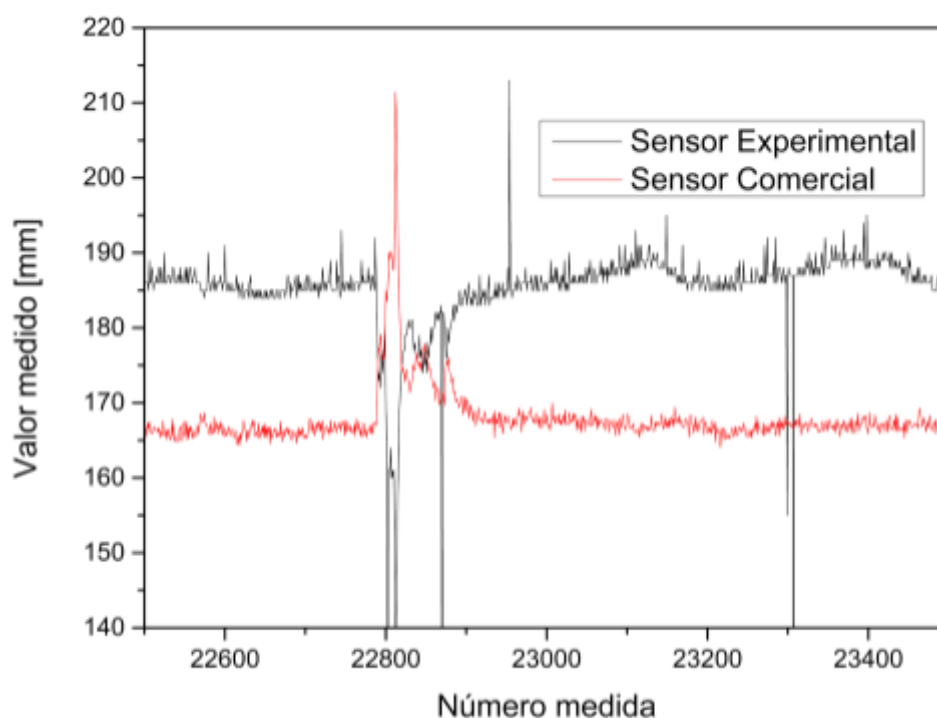
O sistema de transmissão encontra-se em operação, passando por constantes aperfeiçoamentos. Neste sentido, está sendo avaliado e desenvolvido uma nova forma de transmissão dos dados através do protocolo Wi-Fi (IEEE 802.11), visando substituir a transmissão atualmente realizada por sistema GPRS. Desta forma, as estações que possuem acesso à rede wireless da UFSC poderão ter a comunicação Wi-Fi, diminuindo os custos fixos de operação do sistema.

4.1.2.1 Sensor experimental para nível d'água

Um sensor de distância por ultrassom (HCSR02) que apresenta baixo custo (aproximadamente R\$20,00) foi adaptado e instalado em um local de monitoramento de nível d'água no Campus da UFSC em Florianópolis. No mesmo local encontra-se em operação um sensor de nível ultrassônico comercial (custo superior a R\$1.500,00). Esse desenvolvimento tem por objetivo avaliar a sensibilidade, acurácia e durabilidade de sensores de baixo custo quando comparados a sensores comerciais em sistema de monitoramento dessa natureza. A **Figura 49** apresenta uma comparação entre os dois sensores na estação FAPEU para um evento onde houve variação do nível. O sensor comercial indica a variação da altura do espelho da água, enquanto o sensor experimental informa a distância até o espelho da água, assim, as curvas são opostas e, neste caso,

apresentam magnitudes semelhantes. Outros pontos serão instalados comparativamente e os resultados analisados estatisticamente para avaliação do sistema e sua aplicabilidade.

Figura 49: Comparação entre sensores de nível



4.1.3 Produtor acadêmicos

Os resultados das análises dos métodos para medição de velocidade, vazão e análise dos eventos encontram-se publicados em Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) e artigos acadêmicos relacionados a seguir:

GUIZONI, Tiago. **Elaboração e Extrapolação das Curvas-Chave nos Pontos de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Campus da UFSC em Joinville.** 2017. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

PSCHEIDT, Jhonatan Cristian. **Análise do tempo de concentração na bacia do Campus da UFSC Joinville.** 2017. 146 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

THIESSEN, Allan. **Estimativa da descarga sólida em suspensão na bacia hidrográfica do Campus da UFSC em Joinville.** 2017. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

MALUTTA et al. 2017. Estimativa do tempo de concentração na bacia hidrográfica do Campus da UFSC em Joinville. *In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis. (no prelo)*

MALUTTA et al. 2017. Monitoramento hidrológico da bacia hidrográfica no Campus da UFSC em Joinville utilizando da plataforma EPOSMote III. *In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis. (no prelo)*

SCHWARZ, Carla. **Análise hidrológica da bacia do rio Pirai**. TCC em andamento, orientado pela Prof. Me. Simone Malutta, com defesa prevista para dezembro de 2017.

DIRKSEN, Sophia Scharf. **Caracterização geotécnica da área de implantação do Campus da UFSC Joinville**. TCC em andamento, orientado pela Prof. Me Helena Paula Nierwinski e co-orientado pela Prof. Me. Simone Malutta, com defesa prevista para julho de 2018.

4.2 Dificuldades

As instalações da infraestrutura física das estações de monitoramento previstas para janeiro de 2016 só tiveram início em agosto de 2016, com levantamentos em campo para identificação de necessidades e condicionantes quanto a estabilidade das seções dos córregos e interferências com obras de drenagem, requisitos para transmissão dos dados, bem como quanto a segurança patrimonial. Esse atraso se decorreu em função dos longos períodos de chuva ocorridos no segundo semestre de 2015, inviabilizando levantamentos em campo e a pesquisa de custos junto a empresas especializadas.

Posteriormente, outros aspectos, como vazão mínima, adequação da seção transversal do curso d'água, perenidade do escoamento, presença de sedimentos e assoreamento, possibilidade de intervenções diretas sobre os canais por parte da Prefeitura Municipal ou moradores, segurança patrimonial e acessibilidade, impossibilitaram a definição desses pontos para o monitoramento.

Também cabe destacar que entre o final de 2015 e início de 2016 houve um furto no interior da propriedade do Campus, resultando posteriormente no fechamento do acesso ao terreno para veículos, levando a equipe do projeto, também por segurança, a redefinir dois pontos de monitoramento previstos para o local. Acrescenta-se que durante o período de consultas para orçamento das instalações novamente se evidenciou necessário reavaliar as localizações de alguns pontos de monitoramento, devido a obras de

drenagem/terraplenagem executadas pela Prefeitura Municipal ou por terceiros, obras essas que modificaram características locais em alguns córregos.

Frente a essas dificuldades encontradas, os oitos pontos para monitoramento fluviométrico em seções transversais de cursos d'água na região do Campus de Joinville, escolhidos conforme as orientações do Estudo Hidrológico Simplificado realizado na oportunidade de licenciamento ambiental do Campus, foram realocados em cinco outros pontos.

Outras dificuldades na instalação da infraestrutura física das estações de monitoramento referem-se ao agendamento das visitas pelas empresas interessadas em participar do orçamento, que acarretou no atraso do cronograma. A dificuldade no agendamento das visitas decorreu de longos eventos de precipitação que ocorreram nos meses de janeiro e março e pelo fato das empresas interessadas não serem de Joinville.

Além disso, os levantamentos de custos foram iniciados em abril de 2016, após período de chuvas intensas também nos primeiros meses do ano, e se estenderam alguns meses, em parte porque instalações semelhantes se encontravam em execução em projeto de mesma natureza realizado no Campus David Ferreira Lima, em Florianópolis, sendo prudente aguardar a conclusão das mesmas para melhor especificar os serviços. Por outro lado, ainda que muitas empresas houvessem sido consultadas, os preços apontadas para execução dos serviços se mostraram, a juízo da coordenação, completamente desproporcionais. Cabe destacar que o custo final das instalações foi cerca de 1/3 do valor apontado por um das empresas consultadas e não mais que 60% do valor médio proposto por diversas outras.

Simultaneamente, parte do segundo semestre de 2016 foi dedicada à implantação da telemetria via rede de telefonia GSM, com emprego de SIM cards, bem como à fabricação de um segundo lote de placas EPOSMote III. A realização de serviços e o fornecimento de componentes eletrônicos relacionados à fabricação dessas placas eletrônicas demandaram também tempo excessivo após a assinatura dos contratos de fornecimento, principalmente porque a maior parte dos mesmos é importada.

De forma semelhante, os sensores de nível destinados ao monitoramento hidrométrico foram encomendados de empresa especializada atualmente no mercado nacional, entretanto houve uma demora de vários meses entre o contrato de compra e entrega dos mesmos, devido a se tratar de material importado. Somente no final julho de 2016 todos os sensores de nível chegaram para a equipe que, assim, necessitou dedicar-se a realizar análises da conexão entre os sensores e o sistema EPOSMote. Também em

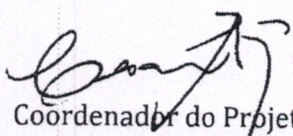
decorrência de atrasos do fornecedor, os sensores de turbidez estiveram disponíveis somente em novembro de 2016.


5 PRÓXIMOS PASSOS

- Instalação de um sensor de nível ultrassônico, de forma experimental na estação número 2 (P2) no Campus de Joinville;
- Alteração do software para tomada de decisão quanto ao tipo de leitura (tensão ou corrente) no sensor de turbidez;
- Novas coletas de amostras de água para determinação da concentração de sedimentos nos pontos de monitoramento de turbidez;
- Mapeamento de geotécnico da BHCUIJ;
- Mapeamento de erodibilidade do solo BHCUIJ;
- Conclusão da operação experimental do sistema com resolução de problemas de registro e transmissão de dados, com a disponibilidade de dado em tempo real;
- Continuidade das atividades permanentes, que compreendem levantamento e medidas para definição das curvas-chave em cada seção de córrego onde é realizado o monitoramento hidrométrico.

Esta breve relação dos próximos passos incluirá as atividades destinadas à operação do sistema de monitoramento. No momento adequado, deverá ser elaborado novo relatório demonstrativo de operação permanente do sistema para continuidade do processo de licenciamento ambiental do Campus, permitindo a obtenção da Licença Ambiental de Operação (LAO) da unidade de ensino. Além dessas atividades, as informações obtidas vêm sendo utilizadas em pesquisas e seguramente constituirão elementos para orientar a tomada de decisões e medidas de controle de cheias e inundações por parte da administração municipal de Joinville quanto ao zoneamento da bacia hidrográfica do Campus da UFSC em Joinville que forçosamente sofrerá pressão por urbanização.

Florianópolis, 9 de outubro de 2017


Coordenador do Projeto
Cesar Augusto Pompêo
SIAPE 1158998


mana Beatriz do Silva Oliveira
Fiscal de contrato 044/2015.
SIAPE 1972909.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A NOTÍCIA (2016) Campus da UFSC em Joinville tem obras paradas e telhados furtados às margens da BR-101. Disponível em: <<http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2016/03/campus-da-ufsc-em-joinville-tem-obras-paradas-e-telhados-furtados-as-margens-da-br-101-5182290.html>>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico / Agência Nacional de Águas. -- 2. ed. -- Brasília: ANA, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. -- Brasília: ANA, SGH, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6459: 1984. Determinação do Limite de Liquidez de Solos.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7180: 1984. Determinação do Limite de Plasticidade de Solos.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7217: 1987. Agregados - Determinação da composição granulométrica.
- BACIA HIDROGRÁFICA DO FUTURO CAMPUS DA UFSC, JOINVILLE. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. *Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília: ANEEL. 2000. 154p.
- UFSC Estudo Ambiental Simplificado do Centro de Engenharia da Mobilidade – Campus da UFSC em Joinville. EAS – CEM/UFSC – Joinville – LIC N° 004117/ PLC N° 03338. 4 Volumes e anexos. Julho de 2010.
- McCUEN, R.H. Uncertainty Analyses of Watershed Time Parameters. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 14, n. 5, p. 490–498, 2009.
- RIGOTTI, J.A. Estudo da Degradação em cursos d'água: Bacia Hidrográfica do Futuro Campus da UFSC, Joinville. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2010, 264f.

RIGOTTI, J. A.; POMPÊO, C. A. 2011. Estudo de revitalização de cursos d'água: Bacia Hidrográfica do Futuro Campus UFSC, Joinville - SC. *In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió.

SANTOS, I.; FILL, H.D. ; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. *Hidrometria Aplicada*. Porto Alegre: Editora da ABRH, 2001. 371 p.

TOEBES, C.; OURRYVAEV, V. Representative and experimental basins: an international guide for research and practice. Haarlem: UNESCO, 1970. 348p.