

# DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO COM SISTEMA INTEGRADO, PARA DETECÇÃO DE ALAGAMENTOS - SINAL

Nathan Vinícius Martins da Silva<sup>1</sup>

Ana Lúcia da Silva Malta<sup>2</sup>

Danilo Augusto Santos Silva<sup>3</sup>

Letícia Cristina da Silva Mafia<sup>4</sup>

Letícia de Oliviera Delfino<sup>2</sup>

Nathália Elisa Cotta Correa Marques<sup>2</sup>

Isabela Maria Lima de Alencar<sup>2</sup>

José Francisco Vilela Rosa<sup>5</sup>

**Resumo:** Os alagamentos passaram a ser algo comum na vida da população brasileira e responsável por desencadear inúmeras tragédias. As causas destes acontecimentos podem se distinguir em dois tipos principais, como as naturais e as antrópicas que se trata de um fenômeno comum na natureza, mas que é intensificada pela ação humana. A frequência e a gravidade das inundações necessitam de soluções alternativas estruturais e não estruturais, sendo a última classificada como medidas que se procura reduzir os danos e ou as consequências das inundações, através da introdução de normas e regulamentos, bem como, a conscientização da população para manutenção dos dispositivos de drenagem e implementação de sistemas de alerta. Nesse contexto, o projeto de pesquisa em questão abordou um tipo de medida não estrutural com intuito de implementar um sistema que visa a alertar os principais envolvidos nos fenômenos urbanos de alagamento de forma preventiva e eficaz, visando minimizar danos humanos, prejuízos econômicos e danos patrimoniais. Para essa implementação, desenvolveu-se um protótipo para representar um sistema de drenagem urbano, com a finalidade de monitorar e/ou detectar o aumento do nível de água nas manilhas de drenagem. Os resultados mostram ser possível através de análise de variáveis envolvidas, efetivar um sistema capaz de antever um futuro alagamento.

**Palavras-chave:** Alagamentos, protótipo, vazões.

**Abstract:** Flooding turned to be a common event in the life of Brazilian population and they have become responsible for causing many tragedies. The causes of these events can be separated into two types, the natural and the anthropogenic ones. However, the intensity of natural flooding has increased due to human action. The frequency and the severity of flooding require alternative solutions, both structural and nonstructural. The nonstructural solutions are the ones that aim to reduce the damage or consequences of flooding, through the introduction of standards and regulations, as well as the awareness of the population about the importance of the maintenance of drainage devices and the implementation of alert systems. In this context, this research project approached a nonstructural measuring way with the objective to implement a system that aims to alert the main parts involved with the urban phenomenon of flooding in a preventive and effective way, aiming to minimize the human harming, economic losses and patrimonial damage. For this implementation, a prototype was developed to represent an urban drainage system, with the objective of monitoring and/or detect the increasing of the water level inside the concrete pipes. The results showed to be possible, through the analysis of the involved variables, to develop a system capable of prevising a future flooding.

**Keywords:** Flooding, prototype, flow

## INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento territorial das grandes cidades, a urbanização acelerada sem uma legislação e fiscalização que garantem o adequado uso e ocupação do solo, muitos locais foram ocupados de maneira desordenada e em ritmo acelerado, o que fez com que práticas como cimentação, asfaltamento, calçamento, edificações, entre outros, substituíssem a composição original do terreno (CANHOLI, 2005).

A substituição do terreno natural por materiais de origem antropogênica, em um curto espaço de tempo, gerou uma cobertura não natural no solo, o que vem acarretando na sua impermeabilização. Se antes da urbanização de um dado local, as águas das chuvas escoavam através do solo até alcançar os aquíferos, agora, grande parte desse volume encontra obstáculos em seu trajeto, o que diminui a infiltração, aumentando o tempo necessário para o escoamento superficial. A incapacidade de escoar a água pluvial tende a aumentar a frequência de alagamentos em regiões específicas, visto que muitas cidades brasileiras são carentes de obras de contenção e canalização, além da falta de monitoramento e manutenção preventiva, o que faz com que os sistemas de drenagem urbana se tornem obsoletos muito antes do que foi previsto em projeto.

Poli (2013) afirma que a presença de edifícios e indústrias, somado à construção de ruas em áreas de várzea ou nas margens de rios foram os principais causadores do aumento da incidência de enchentes em áreas urbanas. Isso representa um importante desafio para as grandes cidades, visto que, por exemplo, o aproveitamento das margens dos rios para a construção de avenidas é prática comum no Brasil.

Com o objetivo de prevenir as enchentes, existem as medidas estruturais, as quais se caracterizam por serem obras de maior porte, e que, geralmente, requerem maior quantidade de recursos para a sua implementação. Um exemplo desse tipo de medida são as canalizações, que consistem no encaixotamento de rios. Essa medida não é vantajosa sob vários aspectos, visto que a mesma muitas vezes provoca a transferência de enchentes de uma região para outra.

Como alternativas a esse tipo de intervenção existem as medidas não estruturais. Os parques lineares são um exemplo, os quais, de acordo com Martins (2015), objetivam, dentre outros, o controle das enchentes. Parques lineares são espaços abertos ao público, caracterizados por possuírem significativa presença de área verde, o que promove a infiltração da água no solo e a preservação do meio ambiente. A sua efetividade demonstra a

importância de se realizar investimentos semelhantes no futuro, principalmente em regiões que ainda não sofreram urbanização.

Outra proposta de medida não estrutural são os sistemas remotos de alerta de enchentes. Os mesmos podem operar obedecendo a diferentes princípios de funcionamento. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema remoto capaz de prever as chances de ocorrer uma enchente. Para isso, se desenvolveu um protótipo que objetiva simular uma micro bacia hidrográfica, e estudar o comportamento da água em diferentes situações de capacidade de escoamento e volume de chuva a ser drenado. O estudo dessa micro bacia se dará através da instalação de sensores que permitirão compreender e analisar a mudança do nível da água em diferentes cenários. Este trabalho, portanto, visa oferecer subsídios para o desenvolvimento de uma nova forma de prever uma enchente.

## REFERENCIAL TEÓRICO

As águas pluviais são aquelas provenientes de precipitações atmosféricas, através do processo que consiste na transferência da água contida na atmosfera para a superfície terrestre, a qual entra em contato com o solo e se infiltra ou escoar na superfície, ou seja, são as águas de chuva (VIOLA, 2008).

O crescimento urbano no Brasil, sobretudo, está ligado ao avanço da industrialização no país, visto que em tempos remotos, a população brasileira era predominantemente rural. A partir de meados da década de 1970, a população rural passou a sofrer decréscimos cada vez maiores que gerou um crescimento da população urbana, num processo denominado êxodo rural. Isso ocorreu devido à mecanização do trabalho no campo, ao mesmo tempo em que as grandes cidades precisavam de mão-de-obra para se desenvolver e crescer economicamente, atraindo, desta forma, milhares de famílias, facilitando também a complementação dos estudos dos mais jovens, uma vez que na área rural, a educação era limitada e não oferecia qualidade para os filhos dos agricultores (OLIVEIRA, 2009).

Em decorrência desse fenômeno, se iniciou um processo de intensa urbanização, o qual é caracterizado por promover a impermeabilização do solo, devido a práticas como asfaltamento e cimentação do solo. Sem uma legislação e fiscalização que garantissem o adequado uso e ocupação do solo, muitos locais foram ocupados de maneira desordenada, sofrendo os efeitos da atividade antrópica, o que fez com que houvesse a substituição da composição original dos terrenos (SILVA, 2016).

Decorrente do aumento das áreas urbanizadas, o uso inadequado do solo resulta na impermeabilização parcial ou completa do mesmo, o que compromete a penetração das águas da chuva, afetando todo o ciclo hidrológico da água, impactando, desta forma, diretamente o curso das águas subterrâneas, elevando a vazão de água a ser drenada, gerando inundações e alagamentos (TAKEDA, 2013).

O conceito de drenagem está relacionado ao escoamento de águas por vias hidráulicas, com o objetivo de reduzir o volume de alagamentos, direcionando, desta forma, a água para reservatórios, ou utilizando lagos, rios, riachos como corpos receptores (MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS).

A água distribuída é utilizada para diversos fins, como os de uso doméstico, comercial, industrial e municipal. Todos estes usos modificam as características físicas, químicas e biológicas da água transformando-a em águas residuais impróprias para reutilização direta, o que torna necessário a implantação de sistemas de drenagem e depuração a fim de diminuir os riscos para a saúde pública e para o meio ambiente.

Os sistemas de drenagem são definidos como microdrenagem e macrodrenagem. A drenagem na fonte é determinada pelo escoamento que ocorre em lotes, condomínios, empreendimentos, entre outros. A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais de rede primária, este tipo de sistema é feito para atender a drenagem de precipitações com risco moderado. Já a macrodrenagem, abrange sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem, este tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores as da microdrenagem (TUCCI, 2002).

As inundações podem ocorrer devido as condições naturais ou pelo mau uso do solo. O escoamento pluvial pode causar inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos:

- Inundações de áreas ribeirinhas onde os rios geralmente possuem dois leitos, um leito menor onde a água escoar por maior tempo e um leito maior, que é inundado, geralmente, entre 1,5 e 2 anos.
- Inundações devido à urbanização acontecem quando as enchentes aumentam a sua constância devido a impermeabilização do solo, devido à construção da rede de condutos pluviais, ao desenvolvimento urbano, a construção de aterros e pontes, como sistemas de drenagem inadequados.

As inundações devido à urbanização ocorrem à medida que a população cresce, geralmente acontece o

aumento das vazões e da sua frequência, o aumento da produção de sedimentos, isto é, aumento de lixos, e deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea (TUCCI, 2001).

A falta de visão sistêmica no planejamento da macrodrenagem, que é predominante por diferentes fatores, como os citados anteriormente, é a razão da situação caótica em relação ao controle das enchentes nas áreas urbanas brasileiras. As enchentes ocorrem devido à redução da capacidade natural dos deflúvios demandando outros locais para ocupar, isto ocorre devido ao uso inadequado do solo e pelas falhas do sistema de drenagem (CANHOLI, 2005).

Canholi (2005) relata sobre os problemas de drenagem urbana nas grandes e médias cidades brasileiras:

Os problemas de drenagem urbana nas grandes e médias cidades brasileiras que ainda experimentam grande expansão mostram-se desastrosos. A frequência e a gravidade das inundações em algumas cidades e regiões metropolitanas, como por exemplo, São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Campinas e Recife, demonstram a necessidade de procurar soluções alternativas estruturais e não estruturais e mesmo de conhecer melhor a fenomenologia climatológica ambiental, hidrológica e hidráulica do problema, além dos seus componentes sociais com relação à habitação, saúde, saneamento e os demais aspectos, inclusive político-institucionais.

A constância das chuvas também é um fator significativo para ocorrência de inundações, ou seja, quando um país passa por um longo período de chuva e os sistemas de drenagem não estão preparados para tamanha quantidade de água pluvial. Todavia, o sistema de drenagem deve estar preparado para um grande fluxo de água, em certos meses do ano, pois o seu papel é muito importante no que diz respeito à população, isto é, se o sistema de drenagem estiver funcionando com sua maior eficiência os alagamentos serão, em sua maioria evitados (CANHOLI, 2005).

Canholi (2005) diz ainda que, no Brasil o principal plano de ação é o controle de enchentes, e entender sobre os fenômenos relacionados ao clima, ambiente, hidrologia são de grande importância para propor soluções aos alagamentos decorrentes ao crescimento urbano sem planejamento e controle dos riscos gerados pelas chuvas.

Os alagamentos, segundo Zorzo e Paes (2006, *apud* BRASIL p. 2) são compreendidos como um acúmulo temporário de águas pluviais em uma dada região em resposta a deficiência do sistema de drenagem, ocasionando enchentes e inundações. Nesses casos, o

acúmulo das águas nas margens de rios, por exemplo, se dá, portanto, não em função do extravasamento do rio, mas sim da dificuldade de escoamento que a água encontra. Com base na Figura 1, é possível visualizar a representação das decorrências da falha do sistema de drenagem, como a formação de enchente, consequentes inundações e alagamento.

Os alagamentos são decorrentes, na maioria das vezes, de interferências humanas, como o alto nível de poluição, tanto pela população e pelas indústrias quanto pela falta de sistemas eficientes de coleta de lixo e de drenagem, e em alguns casos os alagamentos também podem ocorrer pelos rompimentos de barragens. Estes alagamentos acontecem devido ao entupimento dos

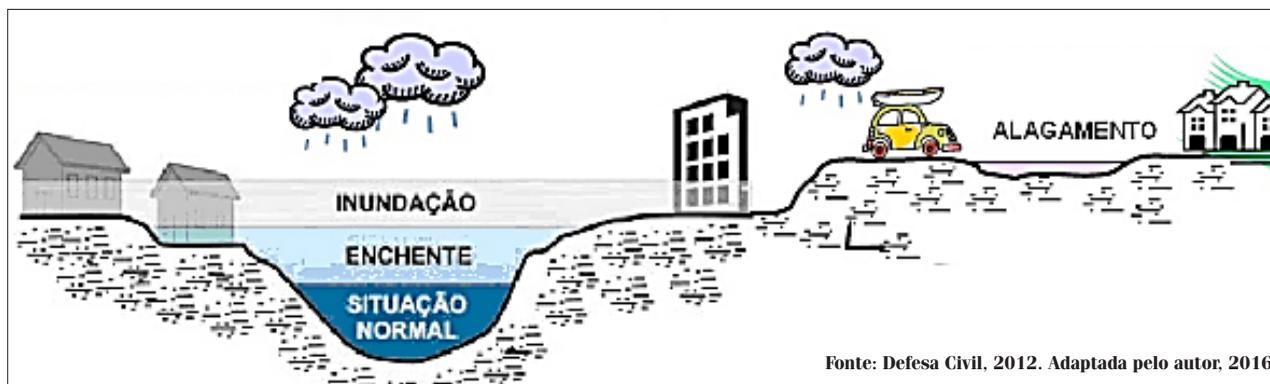


Figura 1. Representação da enchente, inundações e alagamento

bueiros, que são responsáveis por reter parte da água que aumenta o nível de água dos rios (PENA, 2016).

Além dos prejuízos físicos ocasionados pelos alagamentos, estes fenômenos são responsáveis por facilitar graves doenças, que podendo até mesmo levar a morte. Entre elas, se encontram a hepatite, diarreia, febre tifoide e a leptospirose, que são causadas por bactérias presentes em fezes de animais (ROCHA, 2016).

A hidrologia urbana relaciona, geralmente, a análise do escoamento superficial que, por sua vez, relaciona-se diretamente com a proteção contra os fenômenos catastróficos provocados pelo movimento da água à superfície do solo, como por exemplo, os alagamentos (MARTINS *et al.*; 2010).

A análise criteriosa do escoamento superficial que abrange a determinação da vazão, do volume escoado e da forma do hidrograma para um dado período de tempo, estabelece um dos mais importantes fatores de sucesso dos projetos de sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas, e se forem cometidos erros nestas estimativas podem ocorrer incoerências graves no desenvolvimento dos projetos, causando obras subdimensionadas ou sobredimensionadas (MARTINS *et al.*; 2010).

Uma bacia de drenagem urbana é constituída por um sistema de linhas de água naturais e drenos artificiais que se ligam entre si, formando uma rede de drenagem com curso de água principal e seus afluen-

tes e subafluentes. Uma bacia define-se para uma dada seção de uma linha de água ou de um canal e corresponde à área geográfica que capta a água da chuva que escoar pela superfície do solo e atinge essa seção (MARTINS *et al.*; 2010).

Segundo Barbosa (2016) o escoamento superficial é:

O escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico caracterizado pelo deslocamento da água na superfície da terra e nos cursos d'água naturais. Tem origem, fundamentalmente, nas precipitações e constitui, para o engenheiro, a mais importante das fases do ciclo hidrológico, uma vez que a maioria dos estudos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento, como a erosão do solo e inundações.

Quando a chuva abrange determinada área ou bacia hidrográfica, parte de suas águas é interceptada pela vegetação, como outros obstáculos, de onde se evapora posteriormente, e o restante atinge a superfície do solo. Parte desta água que atinge a superfície é retida nas depressões do terreno, outra parte infiltra e o restante escoar pela superfície do terreno. Este escoamento acontece após a intensidade de precipitação superar a capacidade de infiltração do solo e depois das depressões armazenadoras serem preenchidas (BARBOSA, 2016).

De acordo com Barbosa (2016) algumas grandezas que caracterizam o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica são:

## Vazão do curso d'água principal

A vazão também conhecida como descarga superficial (Q) representa o volume de água que atravessa a seção transversal ao escoamento, em uma unidade de tempo. Esse volume de água escoado é a principal grandeza que caracteriza o escoamento. As vazões máximas, médias e mínimas do curso d'água principal são dados que caracterizam uma bacia hidrográfica.

## Tempo de concentração

O tempo de concentração relativo a uma seção transversal do curso d'água,  $t_c$ , é o intervalo de tempo, contado a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir com a vazão na seção considerada.

## Nível de água que se correlaciona com a vazão.

O nível de água indica a altura atingida pela água na seção transversal do escoamento natural. É estabelecido sempre em relação a uma determinada referência. Pode ser um valor instantâneo ou corresponder à média tomada em determinado intervalo de tempo. Este nível de água é correlacionado com a vazão do escoamento.

## Gerenciamento hídrico e detecção do sinal de alagamento

Existe uma preocupação maior dos pesquisadores em alavancar estudos para novas alternativas de controle das inundações, devido ao aumento das áreas impermeáveis e a ineficiência dos dispositivos inseridos para o gerenciamento da água proveniente das chuvas nessas áreas urbanas. Portanto, diante dessa situação tem-se dado uma atenção ao acréscimo nas vazões decorrentes das chuvas, essa quantificação é realizada por simulação contribuindo para métodos de controle, contribuindo para minimizar a ocorrência de inundações, sendo que a validação dos resultados obtidos tem que ser analisados no local.

Segundo Silva (2006) apud. Campana, Bernardes e Silva (2007) o novo paradigma para drenagem urbana adota-se um “modelo compensatório que não permite a propagação do excedente superficial para jusante, mas, sim, a permanência deste na bacia hidrográfica, obviamente em local apropriado para não gerar interferências à população.” Admitindo medidas estruturais, que envolvem a construção de uma obra física, que visa o armazenamento temporário do excedente superficial e/ou infiltração de parte dele no solo.

Campana e Tucci (2001), Bertoni (2004), Chocat et al. (2004), Jones et al. (2006) apud. Campana, Bernardes e Silva (2007) citam que dentre as medidas compensatórias mais amplamente difundidas.

Destacam-se os dispositivos de infiltração tais como bacia e valas de infiltração e percolação, que reduzem o volume do escoamento superficial e possibilitam a recarga do lençol freático e os dispositivos de retenção e retenção tais como reservatórios abertos ou enterrados, impermeáveis ou não, que têm por objetivo o controle da vazão lançada nas galerias de águas pluviais e corpos d'água receptores.

Existem também as medidas não estruturais que consistem na utilização de sistemas de alerta e seguro contra inundação e o respeito ao zoneamento de áreas de inundação como uma forma de restringir e organizar a ocupação urbana.

Pelo fato da precipitação se enquadrar como uma variável descontínua no tempo e no espaço se torna necessário o uso de procedimentos automatizados que utilizam abordagens estatísticas para avaliar o seu comportamento.

De acordo com You, Hubbard, Nadarajah e Kunkel (2007) apud. Morales e Araujo (2017) para descobrir os valores suspeitos de acúmulo da precipitação em uma determinada região utiliza-se informação da precipitação diária na vizinhança, particionada em um conjunto de  $n$  intervalos de intensidade de chuva. Portanto, o algoritmo inicia-se localizando esses dados de interesse da vizinhança de uma estação alvo.

Os limites de cada regime são definidos de forma a preservar o número de amostras por intervalo (densidade de pontos por intervalo aproximadamente constante). A distribuição acumulada de probabilidade de precipitação diária média é, portanto, dividida em  $n$  intervalos, onde cada intervalo representa um regime de precipitação média na vizinhança. Os limites de cada intervalo são associados a cada uma das probabilidades acumuladas do particionamento:  $p = 0, 100*(1/n), 100*(2/n), \dots, 100$ .

Possibilitando encontrar uma distribuição Gama que demonstra o comportamento de cada regime. Em que o procedimento consiste em escolher um intervalo de precipitação e avaliar através de um teste bilateral a partir de probabilidades de corte  $p$  e  $1-p$  da distribuição Gama correspondente ao intervalo de interesse, verificando se o valor da precipitação da estação alvo encontra-se dentro destes limites de corte. Analisando o regime de chuvas por intervalos e verificando qual

o regime de chuvas mais apropriado para diminuir as perdas catastróficas.

## Sensor Arduino

O conceito Arduino teve origem itálica no ano de 2005, com o propósito de criar um dispositivo que tenha capacidade de controlar projetos e protótipos construídos, de maneira mais acessível do que outros sistemas disponíveis no mercado (CAVALCANTE *et al.*; 2014).

A plataforma Arduino se baseia em uma plataforma Open-source fundamentada em hardware e software. A mesma pode-se adicionar diversos tipos de componentes eletrônicos para direcionamentos de estudos (CAVALCANTE *et al.*; 2014).

O arduino utilizado no trabalho, ARDUINO UNO-R3, possui essa nomenclatura devido “uno” em italiano se referir a um, marcando o seu primeiro lançamento. O UNO é o mais recente de uma série de placas de Arduino, sendo o modelo de referência para a plataforma Arduino, diferindo de todas as placas antecessoras no sentido de não utilizar o chip FTDI para conversão do sinal serial. Utiliza no seu lugar um Atmega8U2 programado como conversor de USB para serial, que posteriormente na revisão 3 foi substituído pelo ATmega16U2. As principais modificações do arduino UNO, ocorreram da revisão 2 para 3 no qual foram acrescentados mais dois pinos após o conector AREF. Os mesmos podem ser usados como entradas analógicas ou para comunicação I2C. No conector de POWER, foram acrescentados mais 2 pinos após a entrada RESET, um deles é o pino IOREF que permite que os shields se adaptem conforme a tensão da placa (ARDUINO, 2017).

Sua utilização se dá através da conexão a um computador com um cabo USB (Porta Serial Universal) ou liga-lo com um adaptador de Corrente Alternada para Corrente Contínua ou bateria. O arduino UNO, além de possuir uma vasta possibilidade com hardwares externos, possui uma ótima relação de custo e benefício, além de ser apropriado ao projeto.

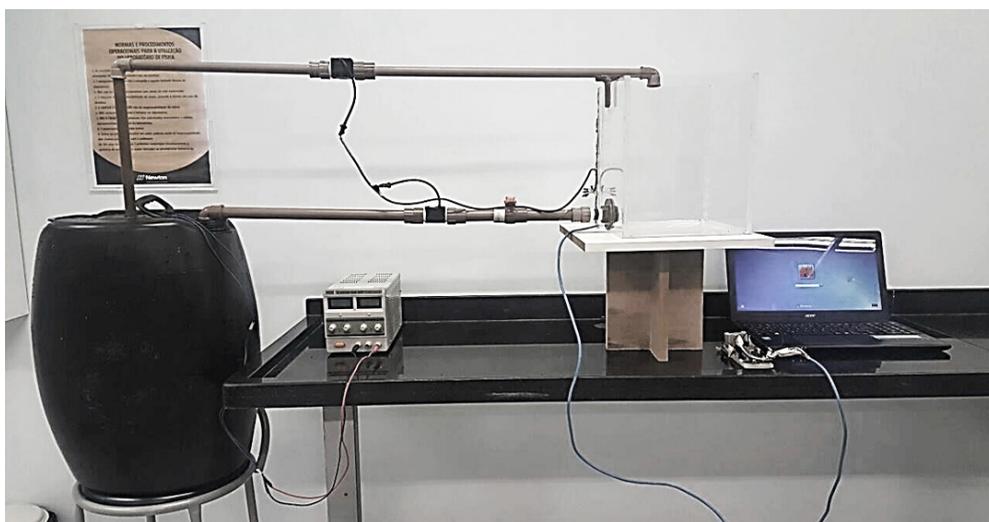
## METODOLOGIA

O presente trabalho baseou-se na simulação do funcionamento de um sistema de drenagem urbano. Para isso, desenvolveu-se um protótipo capaz de reproduzir em menor escala algumas das variáveis envolvidas no processo de escoamento da água proveniente da chuva.

Devido tratar-se de uma simulação, o medidor de vazão escolhido foi um Arduino comum capaz de medir a taxa de vazão de um líquido sem a presença de sujeiras ou cargas difusas, ou seja, um líquido “limpo”. Na simulação em questão, o líquido utilizado foi água de torneira do laboratório onde estavam sendo realizados os testes. A água de torneira não é considerada uma água suja apesar dos componentes químicos os quais está sujeita devido ao não tratamento completo e adequado ao consumo humano.

Atualmente há diversos modelos de medidores de vazão, cada qual utilizado para uma funcionalidade específica, os quais não se encaixam na pesquisa em questão. Vale ressaltar que a utilização do modelo incorreto de medidores de vazão nas pesquisas causam danos aos sensores.

Dessa forma, obteve-se o modelo abaixo, Figura 2, cuja descrição é dada a em seguida:



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016.

Figura 2. Protótipo

O reservatório 1 acumula a água que simula o volume de água pluvial total, presente na bacia, a ser drenado. A vazão de água proveniente da chuva é representado pela variável  $V_{in}$ . A vazão de água que sai do sistema é nomeado  $V_{out}$ , ele representa a vazão de água que de fato o sistema está sendo capaz de escoar. As variáveis  $V_{in}$  e  $V_{out}$  são controláveis através de, respectivamente, um gerador de tensão, que alimenta a bomba responsável por fazer a circulação da água presente no galão, e um registro de vazão.

Após o registro da vazão, fica presente o sensor de vazão (sensor 1), o qual tem o objetivo de registrar qual foi o valor de  $V_{out}$ , ou seja, qual é a vazão de água que deixa o sistema. O volume de água que sai do sistema é armazenado no galão, no qual simula os diversos locais para onde essa água é direcionada pelas redes de drenagem, como os corpos hídricos. Depois disso, a água é circulada por meio de uma bomba, alimentada pelo gerador de tensão. A tensão do gerador determina a vazão de água que é bombeada, novamente ao reservatório de acrílico. O volume de água que entra no reservatório é medido através do sensor de vazão 2, da mesma marca e especificação do sensor 1.

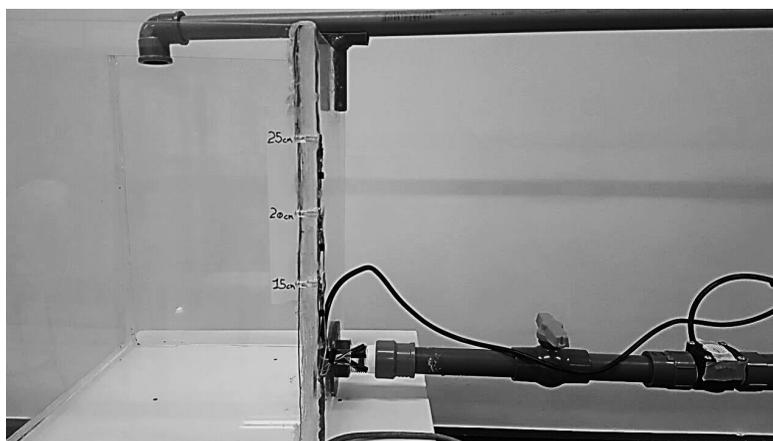
A relação  $V_{in}/V_{out}$  (Vazão de entrada / Vazão de saída) está diretamente relacionada à maior ou menor possibilidade de acontecer um alagamento. Se a vazão de água a ser drenada ( $V_{in}$ ) é maior do que aquele que de fato está sendo, o nível d'água vai subir, e caso essa condição permaneça por tempo suficiente, acontecerá um alagamento. Esse estudo baseia-se na análise estatística da variação da relação  $V_{in}/V_{out}$ , ao longo do tempo. Com isso, é possível determinar um índice que indique a possibilidade de ocorrer um alagamento num dado sistema; e, produzir uma equação que descreva o comportamento do sistema de drenagem, a fim de prever as chances de ocorrer um alagamento.

Para isso, esse trabalho utilizou de duas abordagens metodológicas, as quais são descritas a seguir:

### Abordagem metodológica 1: Condição de capacidade do sistema em realizar a drenagem da água.

Durante essa abordagem, considerou-se que o nível d'água dentro do reservatório de acrílico não aumentaria. Nessa condição, foram simuladas cinco condições, nas quais se estabeleceu valores fixos para  $V_{in}$  e  $V_{out}$  em cada uma delas, mantidas constantes durante o período de tempo necessário para que o nível da água dentro do reservatório de acrílico variasse em cerca de 5 cm.  $V_{in}$  foi mantido a um valor constante em cada uma das condições, já  $V_{out}$  foi inicialmente estabelecido a um valor significativamente inferior a  $V_{in}$ , e teve o seu valor aumentado progressivamente até que os mesmos se igulassem, na última condição, onde, representou uma situação na qual uma maior redução na capacidade de escoamento desse sistema de drenagem ocasionaria um aumento do nível d'água dentro do reservatório de acrílico. Objetivou-se manter  $V_{in}$  a um valor constante de 1,40 L/min em todas as situações abordadas nessa primeira etapa.

Nessa condição 1, objetivou-se manter o valor  $V_{out}$  em cerca de 2,90 L/min. Esse valor equivale à vazão máxima que a bomba consegue fornecer, de acordo com os testes realizados previamente. Nas condições seguintes, o valor de  $V_{out}$  foi decrescido progressivamente em aproximadamente 0,30 L/min, até que atingisse cerca de 1,40 L/min. Valor que representa a condição a partir da qual qualquer diminuição implicaria em aumento do nível d'água, visto que  $V_{in}$  também é de 1,40 L/min. Em cada uma das condições, foi necessário registrar o tempo necessário para que o nível d'água regredisse em cerca de 5 cm, da altura de 20 a 15 cm. Vide Figura 3.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016.

Figura 3. Demonstração dos sensores de nível da água

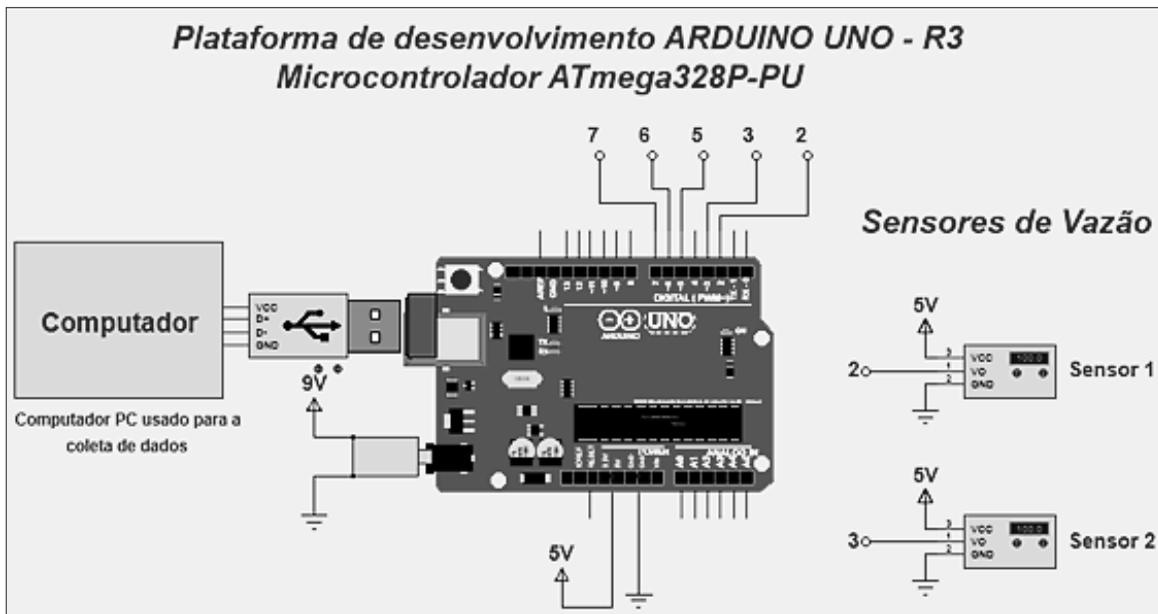
## Abordagem metodológica 2: Condição de incapacidade do sistema em realizar a drenagem da água.

Nessa abordagem, simularam-se condições de ocorrência de um alagamento iminente. Em todas as condições, cinco ao todo, se objetivou manter o valor de  $V_{out}$  a um valor constante de 1,40 L/min. Já o valor de  $V_{in}$  foi inicialmente estabelecido a um valor de 1,70 L/min. A cada condição simulada, esse valor foi acrescido em 0,30 L/min. Foi então registrado o tempo necessário para que o nível d'água variasse em cerca de 5 cm, entre as alturas de 15 e 20 cm. Essa abordagem metodo-

lógica simulou condições nas quais a possibilidade de alagamento é cada vez maior, conforme o valor de  $V_{in}$  é maior do que o valor de  $V_{out}$ .

## DIAGRAMA ELÉTRICO E AQUISIÇÃO DE DADOS

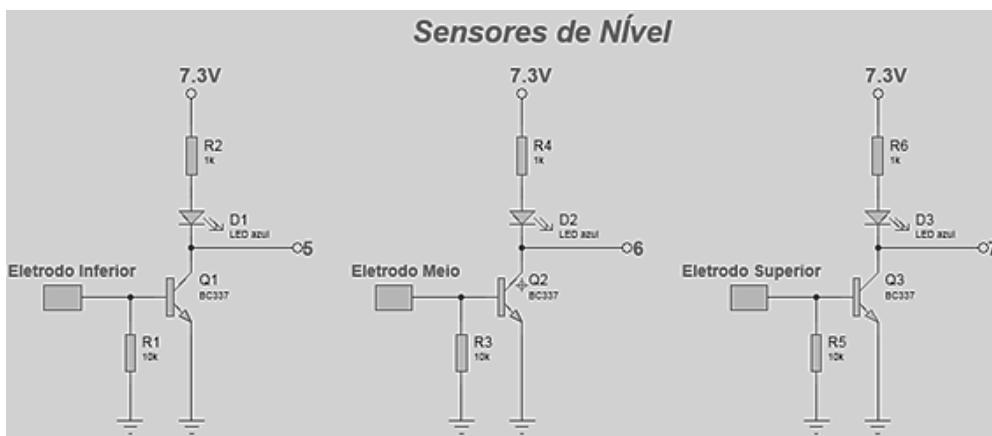
Para realizar a aquisição de dados do sensor de nível, responsável por fornecer dados para o cálculo do tempo necessário para que o nível d'água variasse entre 15 e 20 cm, e os sensores de vazão, foi utilizada a plataforma ARDUINO UNO - R3, cujo diagrama é representado na Figura 4, abaixo:



Fonte: Arduino, 2017. Adaptada pelo autor, 2016.

Figura 4. Diagrama ARDUINO UNO - R3

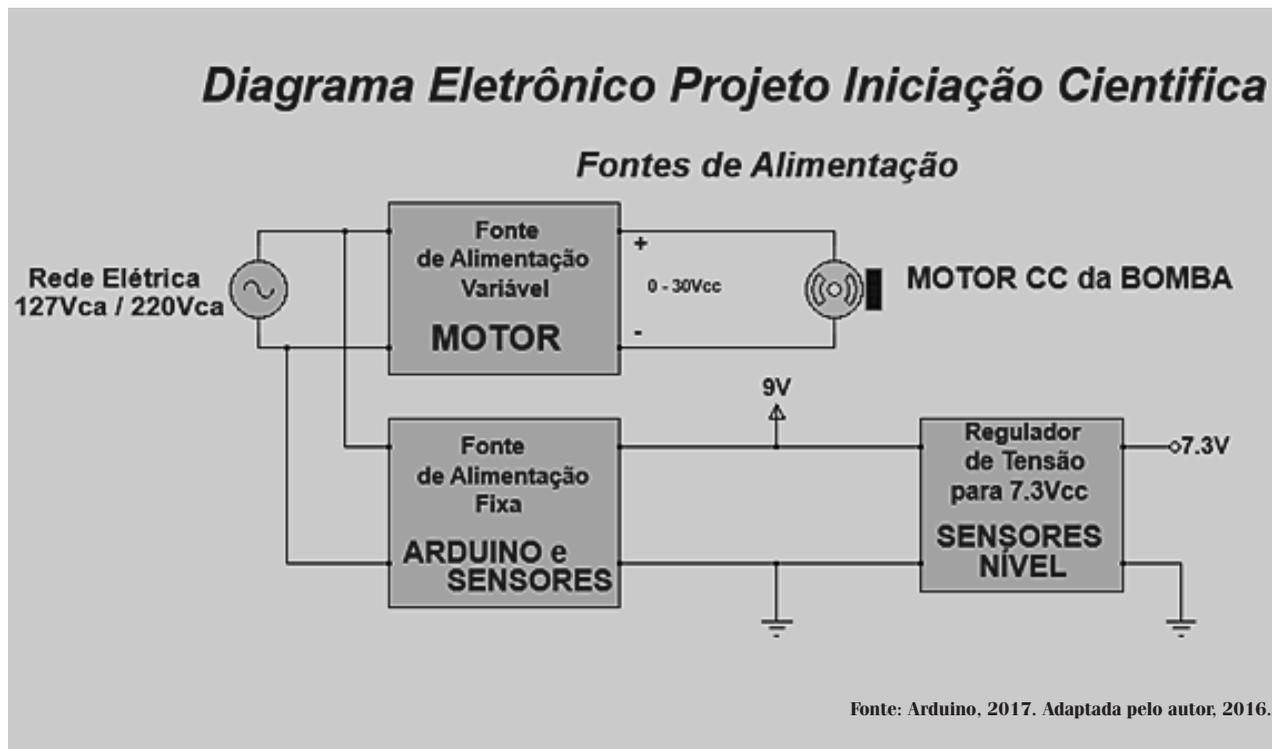
Para realizar a aquisição de dados de variação do nível d'água dentro do reservatório de acrílico, os quais foram em seguida transferidos para o ARDUINO UNO - R3 se utilizou três sensores de nível, os quais foram instalados em três posições diferentes dentro do reservatório, nas alturas de 15, 20 e 25 cm. O diagrama dos sensores é descrito na Figura 5, a seguir:



Fonte: Arduino, 2017. Adaptada pelo autor, 2016.

Figura 5 - Diagrama elétrico dos sensores de nível

Para alimentar os circuitos elétricos usados no protótipo, foi necessário o uso de fontes de tensão. O diagrama eletrônico de todas as fontes de tensão é descrito na Figura 6, a seguir:



Fonte: Arduino, 2017. Adaptada pelo autor, 2016.

Figura 6 - Diagrama eletrônico

É importante ressaltar que, os valores adotados são ideais e, ao longo das simulações, como fica evidente a seguir, os valores alcançados podem variar significativamente ao longo do tempo, devido a limitações impostas pela falta de imprecisão e estabilidade dos materiais utilizados. Separou-se também em quatro condições (apresentadas a seguir) e analisou em seguida estatisticamente por análise de variância, a viabilidade da hipótese levantada de que os dados são representativos em 5% de graus de liberdade, isto é, a validade do protótipo ser capaz de apresentar a imposição do objetivo do trabalho e dar respaldo de um sistema de detecção instalado em processo real.

O experimento foi realizado em blocos casualizados com repetições, levando-se em conta o controle local em forma simples, isto serviu para conceituar variação do acaso para as mais diversas vazões e variações de área e volume.

#### • Condição 1

Na condição 1, à tensão de “21,9 Volts” gerou uma vazão de entrada inicial de 1,27 L/min, a mais próxima possível de 1,20 L/min, e um valor referente a

2,73 L/min de  $V_{out}$  também próximo ao valor adotado de 2,70 L/min.

#### • Condição 2

Na condição 2, à tensão de “21,9 Volts” gerou uma vazão de entrada inicial de 1,27 L/min, a mais próxima possível de 1,20 L/min, e um valor referente a 2,45 L/min de  $V_{out}$  também próximo ao valor adotado de 2,70 L/min.

#### • Condição 3

Na condição 3, à tensão de “23,1 Volts” gerou uma vazão de entrada inicial de 1,27 L/min, a mais próxima possível de 1,20 L/min, e um valor referente a 2,20 L/min de  $V_{out}$  também próximo ao valor adotado de 2,70 L/min.

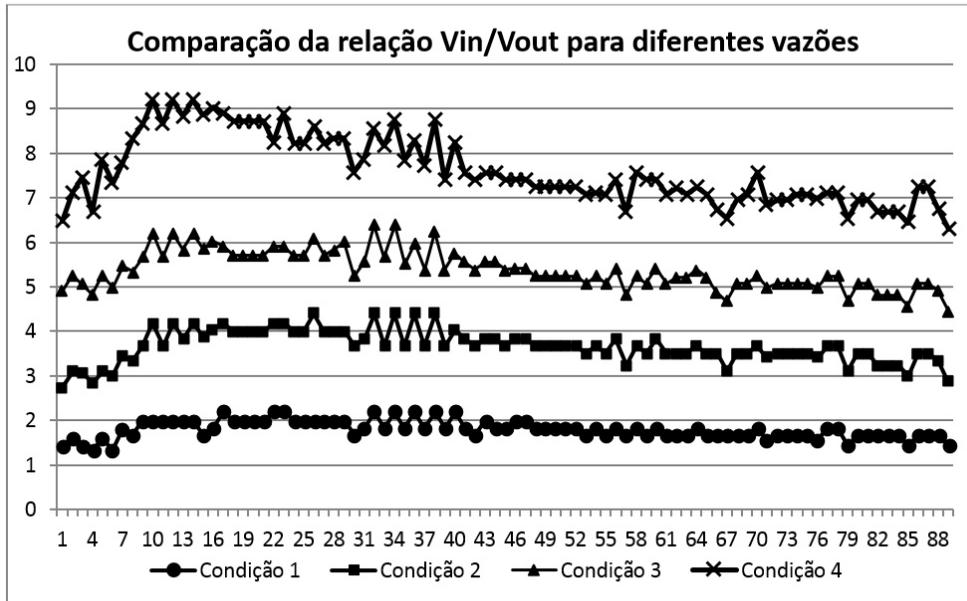
#### • Condição 4

Na condição 4, à tensão de “20,9 Volts” gerou uma vazão de entrada inicial de 1,27 L/min, a mais próxima possível de 1,20 L/min, e um valor referente a 1,95 L/min de  $V_{out}$ .

## RESULTADOS

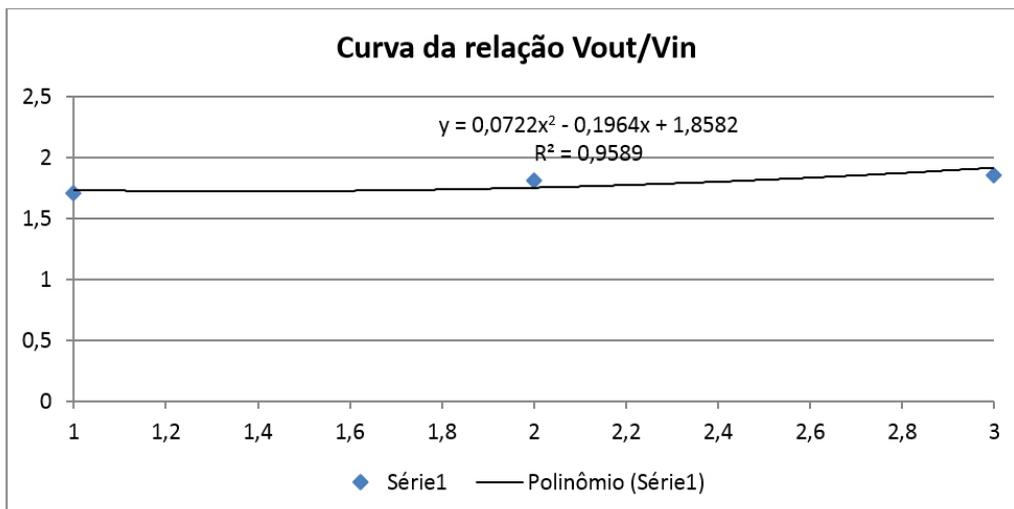
O Gráfico 1 apresentado abaixo mostra a relação das variações de vazões no reservatório para cada condição imposta em diferentes tensões.

Gráfico1. Comparação da relação Vin/Vout para diferentes vazões



O Gráfico 2 mostra uma curva da relação da vazão de saída em relação à de entrada e a sua respectiva equação polinomial de segunda ordem, curva esta que mostra um coeficiente de determinação igual a 0,959.

Gráfico 2. Curva da relação Vout/Vin



No estudo das comparações para cada condição, ao realizar a Análise de Variância resultou no seguinte quadro:

Anova: Fator

único

RESUMO				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Condição 1	88	159,1956684	1,809041686	0,042715472
Condição 2	88	164,0168991	1,863828399	0,036214925
Condição 3	88	150,9779523	1,715658548	0,031583231
Condição 4	88	197,6511507	2,246035803	0,164267886

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	14,3445	3	4,7815	69,6044	2,78E-35	2,63057
Dentro dos grupos	23,906	348	0,0687			
Total	38,2505	351				

## CONCLUSÕES

O gráfico mostra que nas condições de 1 a 4, as curvas apresentam um delineamento muito semelhante ao longo do tempo, confirmando uma regularidade nas medidas, mesmo com a alteração das vazões.

Outra observação neste gráfico, é que para a condição 4 – onde se tem a menor vazão de saída – índices maiores na relação entre as vazões de entrada e de saída, podendo confirmar que, com maiores gradiente de vazões, tendem a ter maior possibilidade de alagamento.

Pelo gráfico 1 vemos que o protótipo é viável de ser expandido para um modelo real, cujo coeficiente de determinação é um valor muito satisfatório.

Pelo teste F, observa-se que a hipótese é rejeitada, pois as variâncias não são homogêneas, os dados não seguem a distribuição normal, então, o teste F é significativo em nível de 5% de probabilidade. Concluímos assim, a validade do protótipo em aplicação em grande escala.

## REFERÊNCIAS

A NEWTON "Newton Paiva". Complexos, 2016. Disponível em: < <https://www.newtonpaiva.br/a-newton/complexos>>. Acesso em 2 set. 2016.

ARDUINO. 2017. Overview. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>> Acesso em: 16 jul. 2017.

Secretaria de Defesa Civil. ANUÁRIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS 2011. 2012. Disponível em: < [http://www.mi.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=e3cab906-c3fb-49fa-945d-649626acf790&groupId=185960](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=e3cab906-c3fb-49fa-945d-649626acf790&groupId=185960)>. Acesso em: 30 out. 2016

ARGOLO, Ingrid et al. *Sensores e Aquisição de Dados*. 2010. 9 f. UNIFACS – Universidade da Bahia, Salvador, Bahia, 2010.

BARBOSA Antenor; *Elementos de Hidrologia Aplicada*. 2016. Disponível em: <[http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/6\\_escoamento%20superficial.pdf](http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/6_escoamento%20superficial.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2016.

BIANCO, Breno de Mello Dal; et al.; *A engenharia diante dos desastres naturais na cidade de Curitiba*: Os alagamentos e inundações repentinas no bairro alto. Disponível em: <<https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/37>>. Acesso em: 13 set. 2016.

CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S.; SILVA JR., J. A. *Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção*. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 98-111, 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/928/92820310/>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

CANHOLI, A. P. *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2005.

GRUPO SPLICE. "Quem somos". Disponível em: <"<http://www.splice.com.br/gruposplice>>. Acesso em: 2 set. 2016.

CAVALCANTE, Michelle M; et al.; *A Plataforma Arduino para fins didáticos: Estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ*. 2014. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wei/2014/0037.pdf>> Acesso em: 16 jul. 2017.

LAGE, Bruno. *Aprendendo a programar em Python – Introdução*. 1 p. 2016. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/aprendendo-a-programar-em-python-introducao/17093>>. Acesso em: 22 out. 2016.

Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais; *Gerenciamento do sistema de Drenagem Urbana*. Disponível em: <<http://www.habisp.inf.br/theke/documentos/outros/manuais-de-drenagem/volume1/>>. Acesso em: 30 out. 2016.

MARTINS Cristina et al.; *Hidrologia Urbana, Conceitos Básicos*. 2010. Disponível em: <[file:///F:/7%20periodo/ersar\\_hidrologia\\_urbana\\_conceitos\\_basicos\\_2010.pdf](file:///F:/7%20periodo/ersar_hidrologia_urbana_conceitos_basicos_2010.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2016.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. *USO DE TÉCNICAS URBANÍSTICAS PARA MITIGAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO: PARQUES LINEARES*. 2015. Água Em Ambientes Urbanos.

MENDES, Heloisa Ceccato; MENDIONDO, Prof. Dr. Eduardo Mario. (Orient); *Urbanização e Impactos Ambientais: Histórico de Inundações e Alagamentos na Bacia do Gregório, São Carlos –SP*, São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

IX Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, IX, 2014, São Luís. *Controle e Monitoramento de nível utilizando o Arduino Uno*. São Luís. 2014, 10 p.

Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, “*Gerenciamento do sistema de Drenagem Urbana*”. Disponível em: <<http://www.habisp.inf.br/theke/documentos/outros/manuais-de-drenagem/volume1/>>. Acesso em: 26 set. 2016.

MORALES, R. A. V.; ARAUJO, C. E. S. *Avaliação e Comparação de Dois Métodos de Qualificação de Dados Diários de Precipitação no Estado de Santa Catarina*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 1, 65-75, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v32n1/0102-7786-rbmet-32-01-0065.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

PENA, Rodolfo F. Alves. *O problema das enchentes*. 2016. Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilescuela.uol.com.br/geografia/enchentes.htm>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

POLI, Cláudia Maria Basso. *As causas e as formas de prevenção sustentáveis das enchentes urbanas*. 2013. 2º Seminário Nacional de construções Sustentáveis

SILVA, Janicleide T. da; SILVA, Josiane T. da; LIMA, Gustavo F. de; *CONTROLE E MONITORAMENTO DE NÍVEL UTILIZANDO PLATAFORMA OPEN SOURCE ARDUINO*. 2014. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Rio Grande do Norte. 2014.

RETROSPECTIVA 30 ANOS NEWTON PAIVA. Belo Horizonte: Centro Universitário Newton Paiva, 2003.

ROCHA, Jaimes; *Enchentes e alagamentos aumentam transmissão de doenças como a leptospirose e a hepatite A*. Disponível em: <<http://www.alvaro.com.br/paginas/medicos/enchentes-e-alagamentos-aumentam-transmissao-de-doencas-como-a-leptospirose-e-a-hepatite-a>> Acesso em: 13 nov. 2016.

SANTOS, Jislaine Santana dos; VILLAR, Savana Léis. *Simulação de uma planta de produção de biodiesel*. 2015. 64 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) – Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

SILVA, Nathan Vinicius Martins da; *Sistema integrado para alerta de alagamentos (SINAL)*. 2016.

TAKEDA, Tatiana de Oliveira. *Uso e ocupação do solo urbano*. 2013. Disponível em: <[http://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id\\_dh=12363](http://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=12363)>. Acesso em 29 out. 2016.

TUCCI Carlos, “*Gerenciamento da drenagem urbana*”, 2001. Disponível em: <<http://rhama.net/download/artigos/artigo15.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2016

TUCCI Carlos, “*Inundações e drenagem urbana*”, 2002. Disponível em: <[http://www.agua.org.py/images/stories/biblioteca/subterraneas/carlos-tucci\\_inundaciones-y-drenajes-urbanos.pdf](http://www.agua.org.py/images/stories/biblioteca/subterraneas/carlos-tucci_inundaciones-y-drenajes-urbanos.pdf)> Acesso em: 29 out. 2016.

TUCCI Carlos, “*Águas Urbanas*”, Estudos avançados, 2008. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07>>. Acesso em: 29 out. 2016.

VIOLA, Heitor; *Gestão de águas pluviais em áreas urbanas: O estudo de caso da cidade do samba*. 2008. 398 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2008.

VIOLA, Heitor; *Gestão de águas pluviais em áreas urbanas: O estudo de caso da cidade do samba*. 2008. 398 p. Ciências em Planejamento Energético – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. *apud* SILVEIRA, A. L. L., 2007, “*Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica*”. In: TUCCI, C. E. M. (org.), *Hidrologia: ciência e aplicação*, 4 ed., capítulo 2, Porto Alegre, RS, Ed. Universidade / UFRGS: ABRH.

ZORZO, Abssa Prado; PAES, Rafael Pedrollo; *Estudo sobre os condicionantes de alagamentos na avenida fernando corrêa da costa cuiabá/mt*, Brasília-DF, XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015 *apud* BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Gestão de águas pluviais urbanas*. Carlos E. M. Tucci (Org.). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2006. 194 p. (Saneamento para Todos; 4º volume).

## NOTAS

<sup>1</sup>Discente do Curso de Engenharia Ambiental

<sup>2</sup>Discentes do Curso de Engenharia Química

<sup>3</sup>Discente do Curso de Engenharia de Controle e Automação

<sup>4</sup>Discente do Curso de Engenharia Civil

<sup>5</sup>Docente do Centro Universitário Newton Paiva