

Sistema de Medição de Nível e Vazão de Rio

Christiane Fernandes Peressutti¹

¹Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde - Departamento de Computação
Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá - ARA

christiane.peressutti@grad.ufsc.br

Abstract. *The extreme south of Santa Catarina has some trails in the Canyons region where rivers and waterfalls pass, such as the trails of Cânion Malacara and Rio do Boi. The beauty of these places can hide the dangers contained, such as the risk of landslides and sudden flooding of rivers. Bearing in mind that the problem can be foreseen, the project aims to remotely monitor the level and, in the future, the flow of the river to prevent, in addition to the travelers who visit the route, the population of the city of Praia Grande, from possible losses due to floods in the place, with the construction of equipment with low cost materials, being initially tested with an Arduino UNO board for a possible migration to ESP-8266, integrated with ultrasonic sensors JSN-SR04T and HC-SR04, and the sensor flowmeter YF-S201. In addition to the aforementioned sensor, others are being tested to find out which would be more effective for the most accurate measurement possible for this type of environment.*

Keywords: *Level, river, liquid, water, monitoring, level measurement, flood forecast, level sensor, ultrasonic sensor*

Resumo. *O extremo sul de Santa Catarina possui algumas trilhas na região dos Cânions por onde passam rios e cachoeiras, como as trilhas do Cânion Malacara e do Rio do Boi. A beleza desses locais pode esconder os perigos contidos, como o risco de deslizamentos e cheia brusca dos rios. Tendo em vista que o problema pode ser previsto, o projeto visa monitorar remotamente o nível e, futuramente, a vazão do rio para precaver, além dos viajantes que visitam o percurso, a população da cidade de Praia Grande, de possíveis perdas por conta de enchentes no local, com a construção de um equipamento com materiais de baixo custo, sendo, inicialmente, testado com uma placa Arduino UNO para uma possível migração para ESP-8266, integrado a sensores ultrassônicos JSN-SR04T e HC-SR04, e ao sensor de vazão YF-S201. Além do sensor citado, outros estarão sendo testados para averiguar qual seria mais eficaz para a medição mais precisa possível para esse tipo de ambiente.*

Palavras chave: *Monitoramento de nível, rio, líquidos, água, previsão de enchentes, medição de nível, sensor de nível*

Introdução

Em locais que possuem rios e lagos pode haver o aumento súbito do nível de água contido, seja por precipitações, influência de rios afluentes, ou quaisquer outros motivos.

Para que a população local e visitantes que estejam em áreas com risco de alagamentos e enchentes possa preparar-se de antemão e proteger-se de eventuais catástrofes, é necessário haver monitoramento do nível e vazão das águas.

Visto que em diversos locais do mundo já há o monitoramento de rios e lagos utilizando diversos meios para chegar ao resultado, reitera-se a importância de realizar as medições como medida preventiva de catástrofes ligadas a enchentes.

Conforme visto em diversos estudos, entre eles de [Thomas et al. 2023], [Choi and Ghimire 2016], [Meng et al. 2013], [Fukushima et al. 2018], [Xu et al. 2016], [Babu C.S. and Somesh 2006], [Liang et al. 2015], [Garcia et al. 2016], [Prakash et al. 2023], [Wang and Liu 2017], [Joshi et al. 2017], [Ardiansyah et al. 2018], [Kv and Gupta 2018], [Zaidi et al. 2020] e [Nurwarsito and Christian 2021], o monitoramento de nível e vazão em locais com probabilidade de extravasamento de água (superfícies líquidas em geral) para locais habitados ou com certa circulação de pessoas torna-se uma alternativa para o evitamento de perdas caso ocorram enchentes, cheias, entre outros, com diversas soluções encontradas.

O projeto propõe a montagem e programação de um protótipo de baixo custo para o monitoramento de nível e vazão de água, mais especificamente, do Rio Malacara, localizado ao extremo sul de Santa Catarina, na cidade de Praia Grande. O local de aplicação final possui uma trilha por onde o rio passa. Este pode ter em torno de 0,2 a 3,0 metros.

Atualmente o local já possui monitoramento de nível com sensor hidrostático, porém com necessidade de ida ao local em períodos determinados para verificação dos dados, o que pode ser inviável em caso de enchente. Outro fator que influencia para a dificuldade de obtenção dos dados é o aplicativo atual que, além de não ser aberto a comunidade, não é intuitivo, tornando a visualização complexa e com necessidade de certo conhecimento técnico.

O monitoramento remoto e em tempo real da trilha possibilitaria que alertas de cheia fossem emitidos para que a trilha evitasse a região em questão, havendo o fechamento temporário da trilha nestes casos. Auxiliaria também no diagnóstico da situação do local para órgãos como a Defesa Civil.

O protótipo contará com sensores ultrassônicos, JSN-SR04T e/ou HC-SR04, e um sensor de vazão YF-S201, ligados a uma placa ESP8266 que, com comunicação via WiFi e utilização do protocolo MQTT, enviará os dados resultantes da medição de nível e vazão do rio para armazenamento em banco de dados, que por sua vez terá sua visualização via sistema WEB desenvolvido em linguagem Python e utilizando o framework Django e Flutter para o projeto.

O uso de sensores ultrassônicos de diversos modelos foi usado por [Addabbo et al. 2019], [Hou et al. 2023], [Rocchi et al. 2019], [Chiang and Tsai 2015], [Chen et al. 2006], [Kabi and Maina 2021] e [Purkovic et al. 2019], para monitoramento de resíduos, objetos e líquidos, sendo assim, para finalidades semelhantes a proposta dada, e, assim, foi possível ter embasamento de que, com a calibragem e posicionamento corretos, há possibilidade de sucesso no projeto.



Figura 1. ESP8266, JSN-SR04T, HC-SR04 e YF-S201

1. Proposta de Solução

A solução proposta para o problema proposta será o desenvolvimento de um protótipo que contará com sensores ultrassônico e de vazão, que estarão ligados a uma placa ESP8266 que, com comunicação via WiFi e utilização do protocolo MQTT, enviará os dados resultantes das medições do rio para armazenamento em banco de dados, que por sua vez terá sua visualização via sistema WEB desenvolvido em linguagem Python e utilizando o frameworks Django e Flutter para o projeto.

A disposição dos dados se dará conforme a função do usuário no sistema, sendo administrador, pesquisador, bolsista ou visitante. O administrador terá acesso as mesmas funções do pesquisador, com o adendo de que apenas o administrador poderá cadastrar novos pesquisadores. Pesquisadores podem adicionar novos bolsistas, editar gráficos e obter status. Se o usuário for pesquisador ou bolsista terá a possibilidade de incluir quantos dispositivos forem necessários independente de tipo e disposição dos demais já cadastrados, porém, se bolsista, não há possibilidade de exclusão destes. O bolsista poderá visualizar gráficos e imprimir relatórios. Se visitante, terá acesso a alertas sobre o nível e vazão em gráficos e visualização do local da medição.

1.1. Requisitos Funcionais

Hardware

- Indicar o nível e vazão que o rio possui a cada período de tempo determinado;
- Fazer medições com precisão;
- Ser o mais compacto possível sem perder eficiência;

Software

- Permitir que o usuário visualize as medições feitas pelo hardware;

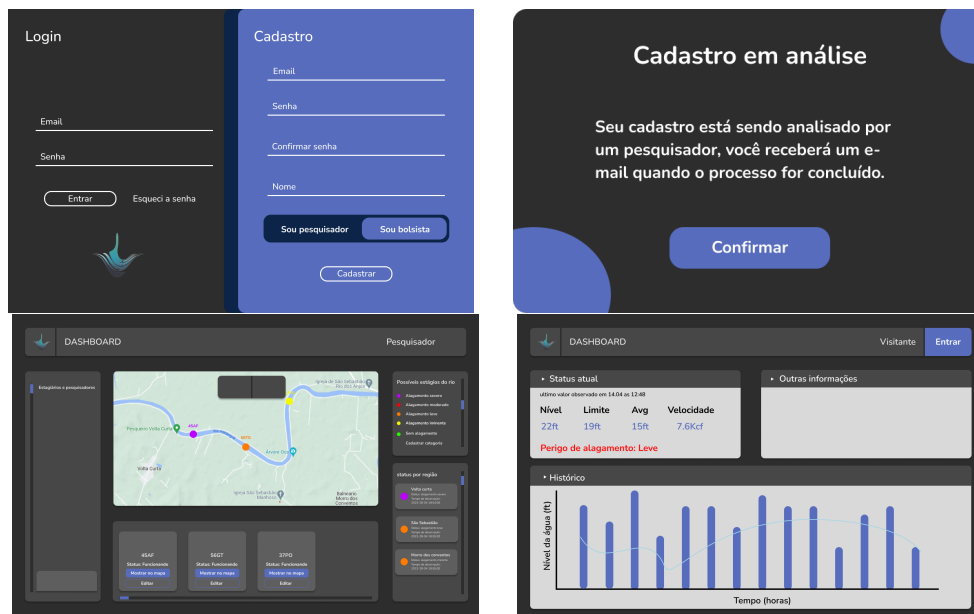


Figura 2. Visualização das páginas do sistema WEB

- Permitir que usuário cadastre ou exclua dispositivos;
- Permitir que usuário, a depender de seu cargo, cadastre outros usuários;
- Mostrar gráficos quanto ao nível do rio;
- Gerar alertas a depender do nível de risco;
- Permitir que usuário gere relatório;

1.2. Requisitos Não Funcionais

Hardware

- Usar protocolo MQTT para a comunicação;
- Realizar comunicação com broker;
- Ter acesso a internet;

Software

- O sistema deverá ser intuitivo;
- Ter fácil manutenção e evolução;
- Ter falhas minizadas ao máximo;

1.3. Regras de Negócio

- RN01: O detalhamento dos dados acessados dependerá da função do usuário;
- RN02: A adição de dispositivos poderá ser feita apenas por pesquisadores e bolsistas;
- RN03: A exclusão de dispositivos só poderá ser feita por pesquisadores;
- RN04: Apenas administrador pode adicionar pesquisador;
- RN05: Apenas pesquisador pode adicionar bolsista;
- RN06: Os relatórios podem ser gerados por administrador, pesquisador e bolsista;
- RN07: Alertas serão emitidos para todos os usuários;
- RN08: Gráficos serão visualizados por todos os usuários;

1.4. Casos de Uso

Os casos de uso se darão pela disposição dos dados, que terão como critério a função do usuário no sistema, sendo administrador, pesquisador, bolsista ou visitante.

O administrador terá acesso as mesmas funções do pesquisador, com o adendo de que apenas o administrador poderá cadastrar novos pesquisadores.

Pesquisadores podem adicionar novos bolsistas, editar gráficos e obter status. Se o usuário for pesquisador ou bolsista terá a possibilidade de incluir quantos dispositivos forem necessários independente de tipo e disposição dos demais já cadastrados, porém, se bolsista, não há possibilidade de exclusão destes.

O bolsista poderá visualizar gráficos e imprimir relatórios.

O visitante terá acesso a alertas sobre o nível e vazão em gráficos e visualização do local da medição.

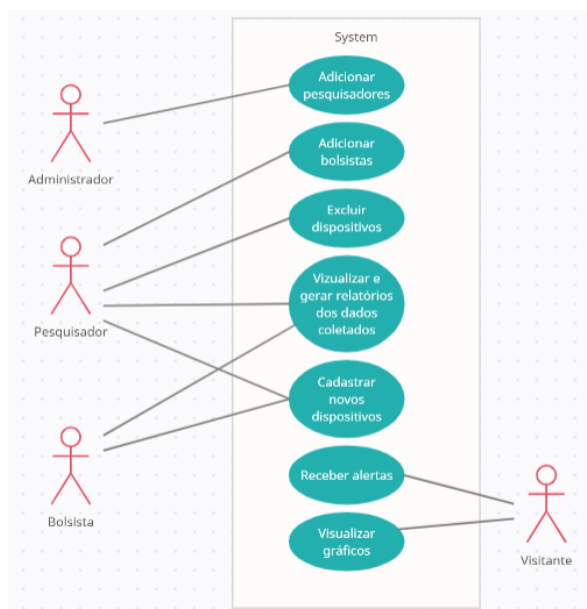


Figura 3. Diagrama de casos de uso

1.5. Arquitetura do projeto

A arquitetura do projeto é composta por diversos componentes interconectados que trabalham em conjunto para adquirir e transmitir dados dos sensores ultrassônico e de vazão para um sistema de interface web.

Como entrada, têm-se o ESP8266, que atua como uma ponte entre os sensores físicos e os dados digitais.

Para a configuração do sensor ultrassônico, utilizou-se a equação seguinte:

$$altura = alturatotal - resultado \quad (1)$$

Onde:

altura: Valor do nível do rio em centímetros(cm)

altura total: Altura total do local a ser medido em centímetros(cm)

resultado: Distância entre o sensor e a superfície da água em centímetros(cm)

Já para o sensor de vazão utilizou-se a equação padrão para a coleta de dados, em litros por minutos (L/min):

$$vazao = (pulso/7.5) \quad (2)$$

Onde:

vazão: Valor da vazão do rio em litros por minuto(L/min)

pulso: Frequência do pulso obtido em Hertz(Hz)

7.5: Valor para conversão do valor para litros por minuto

Os dados obtidos são transmitidos para o bloco receptor de dados, em que um broker é utilizado para receber os dados no formato JSON. O formato JSON é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e interoperabilidade, realizando a comunicação entre o ESP8266 e o sistema de aquisição.

O sistema de aquisição é responsável por verificar regularmente se o broker foi atualizado com novos dados. Assim que detecta novos dados disponíveis, o sistema de aquisição está pronto para capturá-los e prepará-los para a saída. Esta etapa envolve processamento e formatação dos dados para garantir que estejam prontos para serem enviados ao sistema da interface web.

Por fim, a saída ocorre no sistema da interface web. Os dados processados e formatados são enviados para este sistema, que é responsável por exibir as informações em uma interface amigável para o usuário, fornecendo informações atualizadas em tempo real sobre as medições, permitindo que os usuários monitorem e acompanhem os dados de maneira conveniente.

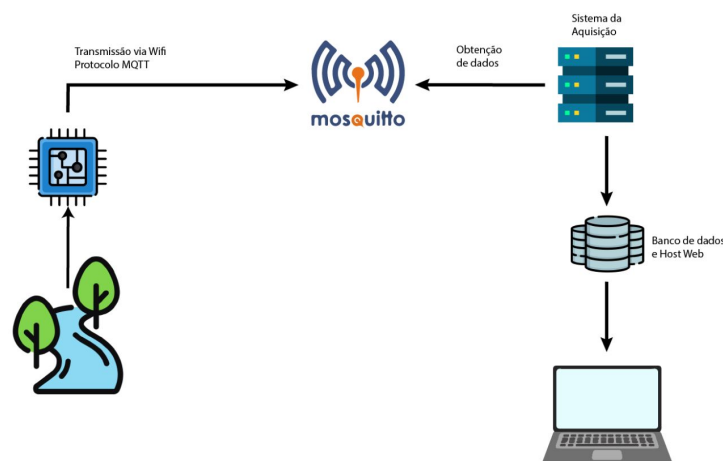


Figura 4. Arquitetura do projeto

1.6. Modelo de comunicação

O diagrama de blocos do projeto conta com uma entrada que consiste em sensores ultrassônico e de vazão conectados ao ESP8266. Em seguida, o bloco receptor de dados recebe os dados no formato JSON por meio de um broker. O sistema de aquisição verifica se o broker foi atualizado com novos dados e está pronto para enviá-los para a saída, que é o sistema da interface web.

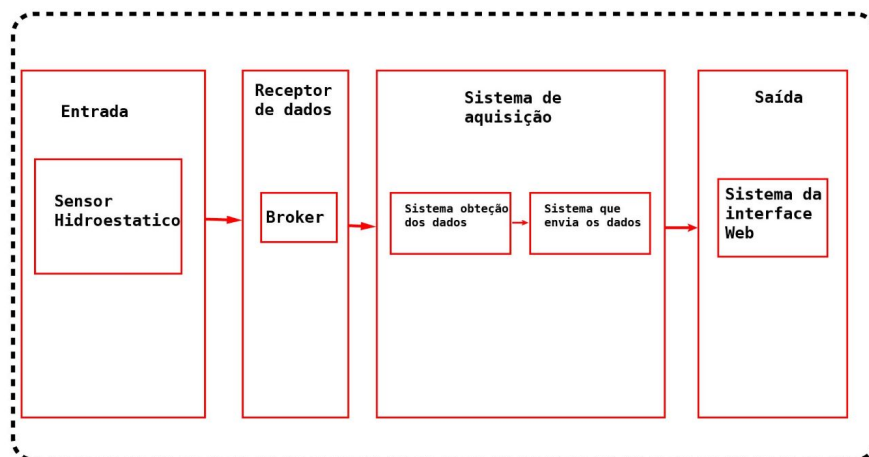


Figura 5. Diagrama de blocos

2. Modelagem do Projeto

2.1. Tecnologias Utilizadas

Para o hardware serão utilizados uma placa ESP8266, sensores ultrassônicos JSN-SR04T e HC-SR04, e o sensor de vazão YF-S201, que irão enviar os dados das medições de nível e vazão feitas por meio dos protocolos de comunicação IEEE 802.11 b/g/n e MQTT. Previamente, a placa utilizada para testes será Arduino UNO conectada aos mesmos sensores.

O Arduino Uno é uma placa de Arduino que tem como microcontrolador principal o ATmega328P da fabricante Atmel. A placa possui 14 pinos digitais que podem ser utilizados como entrada e/ou saída, sendo que 6 deles podem ser utilizados como saída Pulse Width Modulation (PWM). O clock do microcontrolador utiliza um cristal oscilador de 16Mhz e a placa em si tem também uma conexão USB e um conector para ligação da fonte de energia, um conector para programação e um botão de reset para reiniciar a placa.



O ESP8266 é um chip microcontrolador, desenvolvido pela Expressif, que conta com 802.11 b/g/n Wifi embutido, conectores GPIO, barramentos I2C, SPI, UART, entrada ADC, saída PWM e sensor interno de temperatura, CPU que opera entre 80MHz e 160MHz, arquitetura RISC de 32 bits, 32KBytes de RAM para instruções, 96KBytes de RAM para dados, 64KBytes de ROM para boot, memória Flash SPI Winbond W25Q40BVNIG de 512KBytes e seu núcleo é baseado no IP Diamand Standard LX3 da Tensilica.

O localizador de alcance ultrassônico à prova d'água JSN-SR04T usa ondas ultrassônicas para detectar a presença e medir a distância de objetos à sua frente. Possui alcance de detecção de 23 a 600 cm, opera em 40 kHz, campo de alcance de $\pm 37,5$ graus, cabo do transdutor de 2,5 metros e opera entre 3,3 e 5V.

O HC-SR04 é um sensor de alcance ultrassônico que fornece função de medição sem contato de 2 cm a 400 cm. A precisão de alcance pode chegar a 3 mm e o ângulo efetivo é $\pm 15^\circ$. Pode ser alimentado por uma fonte de alimentação de 5V. Opera em 40Hz, o sinal de entrada do gatilho é de pulso TTL de 10 μ S.

O sensor de fluxo de água YF-S201 consiste em um corpo de válvula de plástico, um rotor de água (que rola quando a água flui através deste, e muda de velocidade conforme a taxa de fluxo) e um sensor de efeito Hall (emite o sinal de pulso correspondente). Opera entre 4.5 e 24V, corrente máxima de 15mA, temperatura de operação externa até 80°C e do líquido até 120°C.

Para o software será desenvolvido um sistema WEB, utilizando linguagem Python e framework Django, além do framework Flutter, que permitirá a visualização dos dados obtidos, além do cadastro ou exclusão de dispositivos e usuários.



O Python é uma linguagem de programação amplamente usada em aplicações da Web, desenvolvimento de software, ciência de dados e machine learning, que é eficiente, fácil de aprender e pode ser executada em muitas plataformas diferentes.

O Django é um framework gratuito e de código aberto escrito em Python para desenvolvimento web que permite a construção de aplicações web de alto desempenho.

Flutter é um framework para desenvolvimento de aplicativos compilados nativamente a partir de base de código única, baseado na linguagem de programação Dart, para os sistemas operacionais Android, iOS, Windows, Mac, Linux, Fuchsia e Web.



3. Fase Inicial

3.1. Testes da Fase Inicial

Cada sensor citado anteriormente foi testado separadamente dos outros, para que, após constatado seu funcionamento e calibragem, todos os sensores sejam ligados a uma mesma placa ESP8266.

Em primeiro momento foram utilizados uma placa Arduino UNO e um sensor ultrassônico JSN-SR04T 3.0 para verificação do funcionamento do mesmo. Devido a problemas de conexão dos fios, os resultados eram demasiadamente imprecisos, tendo como solução a solda dos fios a pinos que seriam ligados em ambos equipamentos.

Paralelamente, também em placa arduino UNO, foi testado o sensor ultrassônico HC-SR04, que, diferente do outro sensor, apresentou melhores resultados quanto a precisão, precisando de calibração para o resultado ser o mais fiel possível.

Há uma probabilidade de melhoria de precisão com a combinação de sensores ultrassônicos visto por [Wobschall et al. 2005], porém, para esta situação, a solução pro-

posta por este não se aplicou para o projeto por inviabilidade do uso, já que um dos sensores precisaria estar contrário do outro, este que estará apontado para superfície líquida.

Intergrado a placa arduíno UNO, fora conectado também o sensor de vazão YF-S201, que mostrou resultados parcialmente confiáveis, já que a medida de água escoada e o tempo desta mostrou-se compatível com a realidade.

Antes de ir a campo, os testes com sensores ultrassônicos foram realizados em diversas superfícies sólidas para depois ser migrado para tanques (caixa d'água, balde) com certa quantia de água, previamente medida. Já com o sensor de vazão fora testado em torneira com água corrente e em garrafa com capacidade de 2 litros adaptada com uma mangueira para ter controle dos valores de água escoado em balde.

4. Fase Parcial

Após testes com Arduino UNO, os sensores HC-SR04T e YF-S201 foram selecionados e calibrados para uso em placa ESP8266, onde, além de realizar as leituras de nível e vazão, enviará tais informações, via protocolo MQTT, convertidas em string no formato JSON, que serão intermediadas entre publisher (ESP) e website (subscriber) pelo broker MQTT Mosquito.

Ao testar com diversas placas ESP8266 sem sucesso, houve a necessidade de trocar o dispositivo para um ESP WROOM 32, que conseguiu fazer a comunicação e leitura de sensores.

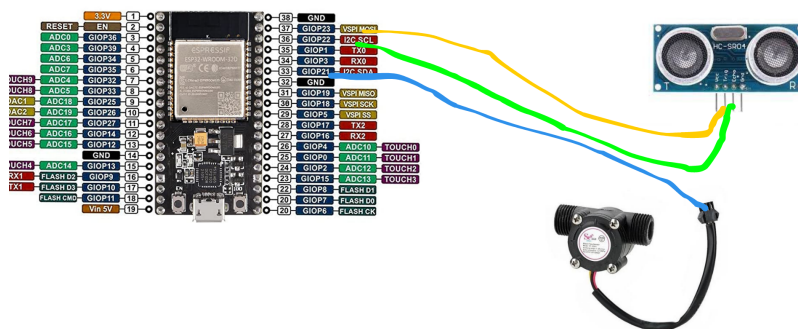


Figura 6. Conexão dos sensores ao ESP WROOM 32

Com a comunicação entre ESP e broker bem sucedida, a próxima etapa será a realização de um compartimento para a colocação do equipamento e suporte para este.

5. Fase Final

Por conta de imprevistos ao decorrer período do projeto, os objetivos finais não foram realizados, tendo por fim a implementação de dashboard contendo as informações quanto as medições como informações públicas, ou seja, abertas a qualquer tipo de usuário.

A linguagem desenvolvida para o dashboard também obteve alteração, de Flutter para o mesmo framework do sistema de aquisição, Django, com linguagem HTML e CSS, porém ainda intuitivo. Entretanto, ao realizar os testes, por um problema de configuração, não foi possível ter a visualização pronta no período estipulado para o desenvolvimento do projeto, ficando como pendência para a possível continuidade deste.

6. Considerações Finais

Os resultados preliminares demonstram que, com as calibrações e configurações corretas de sensores e software, será possível obter um sistema funcional e compacto para medições de nível e vazão de rio, não se atendo apenas ao Rio Malacara, como também para outros, dependendo apenas de adaptações ao local desejado. Como o software deverá ser intuitivo, a previsão é de que todo usuário que pretenda se cadastrar consiga usá-lo sem complicações.

Todo o código utilizado estará a disposição em [repositório público](https://github.com/christalfepe/sistemademedicao.git) no seguinte link: <https://github.com/christalfepe/sistemademedicao.git>

Referências

- [Addabbo et al. 2019] Addabbo, T., Fort, A., Mecocci, A., Mugnaini, M., Parrino, S., Pozzebon, A., and Vignoli, V. (2019). A lora-based iot sensor node for waste management based on a customized ultrasonic transceiver. In *2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, pages 1–6.
- [Ardiansyah et al. 2018] Ardiansyah, A. Y., Sarno, R., and Giandi, O. (2018). Rain detection system for estimate weather level using mamdani fuzzy inference system. In *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, pages 848–854.
- [Babu C.S. and Somesh 2006] Babu C.S., S. and Somesh, D. (2006). Design of self compensated non contact capacitive sensors and proficient signal conditioning circuit for multi threshold liquid level control -a novel approach. In *2006 IEEE International Conference on Industrial Technology*, pages 1931–1936.
- [Chen et al. 2006] Chen, L., Dong, X., Han, J., and Ye, P. (2006). Development of a ultrasonic instrument for the sealed container's liquid level measurement. In *2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, volume 1, pages 4972–4976.
- [Chiang and Tsai 2015] Chiang, C.-T. and Tsai, P.-C. (2015). Design of a calibrated liquid level sensor transducer for detecting rainfall of botanic garden. *IEEE Sensors Journal*, 15(6):3311–3316.
- [Choi and Ghimire 2016] Choi, H. S. and Ghimire, D. (2016). A study on river water level monitoring method in a debris barrier. In *2016 International SoC Design Conference (ISOCC)*, pages 237–238.
- [Fukushima et al. 2018] Fukushima, Y., Fukuma, M., Hirose, M., Sugiyama, K.-i., Kawami, M., Yoshino, K., Kishida, S., and Lee, S.-S. (2018). Application of electric double layer capacitor and water level sensor to rice field monitoring system. In *2018 IEEE SENSORS*, pages 1–4.

- [Garcia et al. 2016] Garcia, F. C. C., Retamar, A. E., and Javier, J. C. (2016). Development of a predictive model for on-demand remote river level nowcasting: Case study in cagayan river basin, philippines. In *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, pages 3275–3279.
- [Hou et al. 2023] Hou, W., Tan, C., Wu, H., and Dong, F. (2023). Phase distribution measurement of liquid-solid media using multi-mode ultrasound. *IEEE Sensors Journal*, pages 1–1.
- [Joshi et al. 2017] Joshi, P. C., Chopade, N. B., and Chhibber, B. (2017). Liquid level sensing and control using inductive pressure sensor. In *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*, pages 1–5.
- [Kabi and Maina 2021] Kabi, J. and Maina, C. (2021). Leveraging iot and machine learning for improved monitoring of water resources - a case study of the upper ewaso nyiro river. In *2021 IST-Africa Conference (IST-Africa)*, pages 1–8.
- [Kadir et al. 2019] Kadir, E. A., Siswanto, A., Rosa, S. L., Syukur, A., Irie, H., and Othman, M. (2019). Smart sensor node of wsns for river water pollution monitoring system. In *2019 International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet)*, pages 1–5.
- [Kv and Gupta 2018] Kv, S. and Gupta, M. (2018). Simultaneous measurement of liquid level and temperature using capacitive sensor. In *2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, pages 570–575.
- [Liang et al. 2015] Liang, X., Liu, Z., Wei, H., Li, Y., and Jian, S. (2015). Detection of liquid level with an mi-based fiber laser sensor using few-mode emcf. *IEEE Photonics Technology Letters*, 27(8):805–808.
- [Meng et al. 2013] Meng, L., Liu, Y., and Wang, T. (2013). A novel liquid level monitoring sensor system using a fiber bragg grating. In *IET International Conference on Smart and Sustainable City 2013 (ICSSC 2013)*, pages 145–148.
- [Nurwarsito and Christian 2021] Nurwarsito, H. and Christian, R. D. (2021). River water pollutant level monitoring system using websocket protocol and lora communication module. In *2021 2nd International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev)*, pages 1–6.
- [Prakash et al. 2023] Prakash, C., Barthwal, A., and Acharya, D. (2023). Floodwall: A real-time flash flood monitoring and forecasting system using iot. *IEEE Sensors Journal*, 23(1):787–799.
- [Purkovic et al. 2019] Purkovic, D., Coates, L., Hönsch, M., Lumbeck, D., and Schmidt, F. (2019). Smart river monitoring and early flood detection system in japan developed with the enocean long range sensor technology. In *2019 2nd International Colloquium on Smart Grid Metrology (SMAGRIMET)*, pages 1–6.
- [Rocchi et al. 2019] Rocchi, A., Santecchia, E., Ciciulla, F., Mengucci, P., and Barucca, G. (2019). Characterization and optimization of level measurement by an ultrasonic sensor system. *IEEE Sensors Journal*, 19(8):3077–3084.
- [Thomas et al. 2023] Thomas, M., Tellman, E., Osgood, D. E., DeVries, B., Islam, A. S., Steckler, M. S., Goodman, M., and Billah, M. (2023). A framework to assess remote

sensing algorithms for satellite-based flood index insurance. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16:2589–2604.

- [Wang and Liu 2017] Wang, Y.-j. and Liu, Z.-g. (2017). Gprs based river water level monitoring and measuring system. In *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, pages 6034–6036.
- [Wobschall et al. 2005] Wobschall, D., Zeng, M., and Srinivasaraghavan, B. (2005). An ultrasonic/optical pulse sensor for precise distance measurements. In *2005 Sensors for Industry Conference*, pages 31–34.
- [Xu et al. 2016] Xu, R., Wang, B., Zhang, M., Hossain, N., Zhang, X., and Yang, L. (2016). Capacitive measurement system for liquid level measurement. In *2016 5th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, pages 810–815.
- [Zaidi et al. 2020] Zaidi, A., Vignudelli, S., Muzzafer, R., Panhwar, V., Zafar, S., and ul Haque, S. (2020). Validation of sentinel 3a altimetry data for river level monitoring at two locations along the lower indus river. In *IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pages 4773–4776.