

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ESTUDO DO CONSUMO HÍDRICO EM ATIVIDADE DE
LAVAGEM DE PÁTIO CONTENDO SÓLIDOS POR
DESCARGA DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO**

Bene Eloi Mendes Camargo

São Carlos
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ESTUDO DO CONSUMO HÍDRICO EM ATIVIDADE DE
LAVAGEM DE PÁTIO CONTENDO SÓLIDOS POR
DESCARGA DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO**

Bene Eloi Mendes Camargo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Daniel Jadyr Leite Costa

São Carlos
2023

Camargo, Bene Eloi Mendes

Estudo do consumo hídrico em atividade de lavagem de pátio contendo sólidos por descarga de água de reservatório / Bene Eloi Mendes Camargo -- 2023. 54f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Daniel Jadyr Leite Costa

Banca Examinadora: Daniel Jadyr Leite Costa, Julio Cesar Pascole Palhares, Rodrigo Eduardo Córdoba

Bibliografia

1. Nível d'água por sensor ultrassônico. 2. Critério de parada. 3. Arraste de sólidos. I. Camargo, Bene Eloi Mendes. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Arildo Martins - CRB/8 7180



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Bene Eloi Mendes Camargo, realizada em 30/08/2023.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Daniel Jadyr Leite Costa (UFSCar)

Prof. Dr. Julio Cesar Pascale Palhares (EMBRAPA)

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Cordoba (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

À Rochele pelo apoio e atenção.
Ao Raul e ao Roger pelo desafio constante.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Daniel, pela atenção, correções e incentivo.

Ao técnico do laboratório de hidráulica e hidrologia Carlos, pelas dicas com os equipamentos e suporte na coleta de dados.

À banca de qualificação, em especial ao Dr. Julio Palhares e ao professor Rodrigo Córdoba que, atenciosamente, indicaram opções e caminhos para a conclusão deste trabalho.

À CAPES pela chance de participar da pesquisa assistido por bolsa.

À família pela compreensão e disponibilidade de tempo.

A todos que, direta ou indiretamente, participaram deste trabalho, profundamente agradeço.

Quem controla o passado, controla o futuro. Quem controla o presente, controla o passado.

G. Orwell

RESUMO

A medição individualizada da água é a forma com que a sociedade tem visto a possibilidade de atuar com uma gestão racional deste recurso. A ferramenta principal nesta frente é o hidrômetro, porém o custo de instalação deste equipamento para vazões de grande escala e tubulações de maior diâmetro inviabilizam a disseminação da ferramenta para a medição localizada. Nesse sentido, torna-se oportuno o estudo e desenvolvimento de técnicas alternativas para a medição de vazão, de modo que o presente trabalho vem ao encontro dessa temática. Foi escolhida a técnica de medição de vazão por variação de nível de água em reservatório, com posterior simulação de dados em planilha eletrônica, tomando-se como referência dados observados, e com intuito de subsidiar a rotina operacional de uma atividade convencional encontrada no campo, e também em áreas urbanas, que é a lavagem de um pátio contendo sólidos provenientes da atividade de excreção de animais.

O objetivo deste projeto foi estudar um sistema de medição de consumo de água em reservatórios a partir da aferição da variação do nível de água e simular seu comportamento para estudar critérios de parada da descarga do reservatório para o caso da higienização do pátio de atividade da pecuária.

Esta pesquisa é justificada em função da obtenção de conhecimento sobre como uma forma de aferição de consumo hídrico não-convencional pode ser aplicada em uma atividade encontrada no campo, com a vantagem de haver menor custo quando comparada com forma de medição convencional, que é a medição com uso de hidrômetros. A diversificação na mensuração converge com as necessidades atuais, visando estipular critérios evidentes, para que seja possível medir e racionalizar o consumo de água nas atividades, direcionando-as para uma atuação sustentável.

Foi estudado um sensor ultrassônico de distância para aferir o desempenho da variação de nível dentro de um reservatório para fins de observar a vazão. A vazão inferida pelo sensor foi validada por método mássico. A partir do comportamento de descarga de reservatório em escala piloto e de alguns princípios que regem a dinâmica de arraste de sólidos que se depositam em superfícies, foram realizadas simulações para definição de critério que forneça condições mínimas para higienização do pátio de atividade da pecuária.

O sensor ultrassônico de distância apresentou resultados que foram ajustados por método de normalização *boxplot*, sendo assim passível de serem modelados. A simulação apontou comportamento de descarga de reservatório delineando bateladas de volume e intervalos de tempo fixos. Também obteve-se a simulação do critério de parada de descarga do reservatório para a limpeza do pátio, a coluna d'água mínima de 0,45 m em um reservatório de 4 m de coluna d'água. As simulações podem oferecer material de suporte à gestão racional do recurso hídrico.

Palavras-chave: nível d'água; sensor ultrassônico; critério de parada; arraste de sólidos.

ABSTRACT

The water's individual measurement is the way in which society has seen the possibility of acting with a resource's rational management. The main tool on this front is the hydrometer, but the cost of installing this equipment for large-scale flows and larger diameter pipes makes it unfeasible to disseminate the tool for localized measurement. In this sense, it is opportune to study and develop alternative techniques for measuring flow, so that the present work meets this theme. The flow measurement technique was chosen by varying the water level in the reservoir, with subsequent simulation of data in an electronic spreadsheet, taking observed data as a reference, and with the aim of subsidizing the operational routine of a conventional activity found in the field, and also in urban areas, which is the washing of a yard containing solids from animal excretion. The objective of this project was to study a system for measuring water consumption in reservoirs based on the measurement of the variation in the water level and simulate its behavior to study criteria for stopping the discharge of the reservoir in the case of cleaning the livestock yard.

This research is justified by obtaining knowledge about how a non-conventional way of measuring water consumption can be applied in an activity found in the field, with the advantage of having a lower cost when compared to a conventional way of measuring, which is the measurement using hydrometers. Diversification in measurement converges with current needs, aiming to stipulate clear criteria, so that it is possible to measure and rationalize water consumption in activities, directing them towards sustainable performance.

An ultrasonic distance sensor was studied to measure the performance of the level variation inside a reservoir in order to study the flow. The flow inferred by the sensor was validated by mass method. Based on the discharge behavior of the reservoir on a pilot scale and some principles that govern the dynamics of the dragging of solids that are deposited on surfaces, simulations were carried out to define criteria that provide minimum conditions for cleaning the yard for livestock activities.

The ultrasonic distance sensor presented results that were adjusted by the boxplot normalization method, thus being able to be modeled. The simulation showed reservoir discharge behavior outlining volume batches and fixed time intervals. A simulation of the criterion for stopping the discharge of the reservoir for cleaning the yard was also obtained, the minimum water column of 0.45 m in a reservoir of 4 m of water column. Simulations can offer support material for the rational management of water resources

Keywords: water level; ultrasonic sensor; stopping criterion; solid drag.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Croqui da instalação do sistema hidráulico.	24
Figura 2 – Sensor JSN-SR04T.	25
Figura 3 – Placa Arduino UNO.	25
Figura 4 - Esquema da instalação do sensor.	26
Figura 5 – Bomba responsável pela circulação da água no sistema.	27
Figura 6 - Sensor em operação.	28
Figura 7 – Reservatórios de 30 mil litros.	31
Figura 8 - Aferição pelo método mássico.	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ciclo de descarga (A e C) e recarga (B).	34
Gráfico 2 - Normalização dos dados.	35
Gráfico 3 - Altura da coluna d'água.	36
Gráfico 4 - Vazão mássica.	37
Gráfico 5 - Dados experimentais de vazão e modelo.	38
Gráfico 6 - Relação da vazão com a altura do nível no reservatório.	39
Gráfico 7 - Comportamento das curvas para bateladas fixas de volume.	40
Gráfico 8 - Relação entre altura de coluna d'água e tempo para bateladas de volume.	40
Gráfico 9 - Relação entre altura de coluna d'água e volume para intervalos fixos.	41
Gráfico 10 - Relação entre a tensão trativa e a vazão.	43
Gráfico 11 - Relação da tensão trativa no comportamento da vazão e coluna d'água.	43
Gráfico 12 - Comparação entre limites de altura de coluna d'água.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Testes estáticos.	33
Tabela 2 - Relação da vazão, R_H , altura da lâmina no canal e tensão trativa.	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 JUSTIFICATIVA	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 ÁGUA, NÚMEROS NO BRASIL	15
4.2 ÁGUA NO AMBIENTE RURAL	16
4.3 MEDIÇÃO DA ÁGUA	17
4.4 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	18
4.5 CASOS DE SENSORES EM RESERVATÓRIOS	20
4.6 ORDENHADEIRA ROBOTIZADA	21
4.7 ABORDAGEM ADOTADA PARA A DINÂMICA DO ARRASTE DE SÓLIDOS DEPOSITADOS NA SUPERFÍCIE DO PÁTIO	22
5 MATERIAIS E MÉTODOS	23
5.1 SENSOR ULTRASSÔNICO	23
5.2 VALIDAÇÃO DO SENSOR	29
5.3 SIMULAÇÃO PARA O CASO DE RESERVATÓRIO ESPECÍFICO	30
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6.1 SENSOR ULTRASSÔNICO	32
6.2 VALIDAÇÃO DO VALOR LIDO PELO SENSOR	36
6.3 SIMULAÇÃO NO RESERVATÓRIO ESPECÍFICO	39
7 CONSIDERAÇÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICES	52

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997), tem como fundamento que a água é um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. Também diz que no caso de escassez hídrica o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais. Essa política tem como objetivo assegurar que a atual geração e as futuras tenham acesso à água de qualidade em quantidade suficiente.

A normativa aponta para uma gestão de utilização racional e de maneira integrada. Contudo, a demanda gerada pelo crescimento populacional e pelas atividades produtivas tem aumentado, diferentemente da disponibilidade hídrica das bacias que geralmente é constante com suas variações sazonais.

Estão entre os instrumentos da PNRH, os Planos de Recurso Hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), ambos os dois só estarão explorados em sua completude quando baseados em dados da disponibilidade da bacia hidrográfica e do consumo e demanda por parte dos integrantes desta área. A ausência de comunicação entre quanto se pretende utilizar e quanto se pode utilizar pode atrapalhar uma gestão racional, isto é, pode faltar água para alguém ou algum uso.

Ainda nos instrumentos da PNRH, destacam-se a “outorga dos direitos de uso de recursos hídricos” e a “cobrança pelo uso dos recursos hídricos”. Estes instrumentos estão aqui destacados por associarem, intrinsecamente, uma necessidade de medição sobre o recurso hídrico. A outorga, balizada majoritariamente no tempo de exploração do recurso, demanda por informações de disponibilidade da bacia hidrográfica e intenção de uso. Por sua vez, a cobrança pelo uso está diretamente relacionada ao volume e qualidade de água que uma atividade exerce dentro da bacia hidrográfica. A necessidade de compreensão da quantidade e qualidade de água utilizada em cada atividade dentro da bacia hidrográfica, é uma ferramenta imprescindível para a gestão holística do meio ambiente.

Logo, a realidade da contabilização do volume de água consumido é algo que se pretende que aconteça em um futuro próximo. Inclusive, a Lei Federal 13.312/2016, artigo 2º parágrafo 3º (BRASIL, 2016), novo marco legal do saneamento, traz em seu arcabouço, por força de lei, a cobrança e medição do abastecimento de água. Ainda neste sentido, Mierzwa & Hespanhol (2005) apontam que, tendo em mãos os dados

do consumo hídrico, com mínimas intervenções técnicas e financeiras, o maior impacto econômico e ambiental pode ser alcançado.

Porém, a medição do consumo não é uma realidade completa. O meio urbano tem uma cobertura visando o abastecimento, mas que necessita de maiores investimentos em busca da redução de perdas e uso mais consciente. Todavia, a carência em meio rural é evidente. E fica mais alarmante a urgência de intervenção quando se leva em conta que mais de 60% do consumo hídrico anual no Brasil é destinado a agricultura e pecuária. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), são desafios do meio rural: as distâncias a serem vencidas para transporte de água ou esgoto, os altos custos dos tratamentos e tubulações, a sazonalidade e disponibilidade natural do recurso hídrico (ANA, 2023).

Além disso, a realidade do meio rural apresenta uma grande variação de vazão por unidade de atividade. É comum em um sítio ter o abastecimento por uma caixa d'água e um ponto mais alto e ramificação para as diversas parcelas e atividades, de modo que há grande vazão para o abastecimento do reservatório central e as vazões para as ramificações podem chegar a valores muito pequenos.

E esta dificuldade na medição se ressalta ainda mais quando se tem em vista a gama de instrumentos que existem atualmente para a aferição do consumo. O hidrômetro, que é o instrumento mais popular, trabalha com restrições muito bem definidas quanto a vazões mínimas e máximas, assim como as qualidades do fluido que o atravessa. Essas restrições podem inviabilizar o uso desse instrumento, devido às incertezas e erros de medição que podem haver quando praticado o seu uso com valores fora dos limites mínimos ou máximos. Por outro lado, caso a intenção seja implantar um instrumento de medição adequado à vazão de cada ponto da planta hidráulica da atividade, ao se adequar o instrumento às vazões de cada ponto a ser medido, pode-se cair em um quadro de relativos altos custos. Os hidrômetros para aferir vazões diferentes da vazão média residencial urbana, custam várias vezes o valor de um hidrômetro convencional.

Assim, considerando três argumentos: que são poucos os instrumentos adequados para aferir consumo hídrico no meio rural; que quando existem, os instrumentos têm altos custos para realização; e, investimento nos gargalos tem grande impacto devido ao montante que representa o consumo rural a nível Brasil. Logo, é imprescindível atuar em frentes de pesquisa de outras formas de medir consumo que possam ser adaptadas para a realidade do campo.

Sendo assim, a principal motivação desta pesquisa é a busca por um sistema de medição hídrica que contemple as macrovazões. Este sistema tem como premissa a possibilidade de instalação e manutenção descentralizada com conhecimento de livre acesso, custos de instalação e manutenção reduzidos e a possibilidade de auxílio ferramental de gestão racional da água. Logo, a pergunta de pesquisa pode ser expressa como: O uso de sensor para leitura de variação de nível em reservatório, pode apresentar uma resposta precisa para delinear comportamento de macrovazões e auxiliar em critérios de parada de descarga do reservatório?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa foi estudar um sistema de medição de consumo de água em reservatórios a partir da aferição da variação do nível de água, para simular critérios de parada da descarga do reservatório.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram três os objetivos específicos:

2.2.1 Avaliar as respostas do sensor ultrassônico de distância para aferição dos níveis de um reservatório e identificar o comportamento da variação de nível em escala piloto;

2.2.2 Comparar a vazão inferida pelo sensor com a validada pelos valores empíricos observados na descarga do reservatório;

2.2.3 Simular o comportamento do esvaziamento (descarga de água) de reservatório instalado no campo, que é utilizado para a higienização do pátio de atividade de ordenhadeira automatizada, com vistas a determinar um critério de parada da descarga.

3 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa é justificada no âmbito de suprir a carência de métodos viáveis e econômicos para a aferição de consumo hídrico para macrovazões. Também atua para disponibilizar ferramental de auxílio no manejo de sistemas hídricos no ambiente

rural. Porém, principalmente, ao atuar com a simulação de critérios de parada de descarga do reservatório, pode oferecer material de suporte à gestão racional do recurso hídrico e, para o caso específico da lavagem do pátio da ordenhadeira robotizada, apresentar recursos que podem auxiliar na contabilização do recurso para dados de outorga e informações sobre modos de consumo hídrico na produção animal.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 ÁGUA, NÚMEROS NO BRASIL

O controle e uso racional da água, com vista à sustentabilidade, é uma exigência das sociedades atuais frente ao fato de que a água é um bem da humanidade e um recurso finito (BRASIL, 1997).

A ANA (2023) classifica a água em usos consuntivos e não consuntivos. O primeiro implica em retirada de água do meio ambiente, como o uso na irrigação, industrial e abastecimento humano. O segundo implica em usos que dependem da água, porém não retira a água do meio, como a pesca e infraestrutura de hidrelétricas.

No Brasil, a água cumpre os diversos usos e a ANA (2023) aponta a distribuição dos usos setoriais entre: 49,8% irrigação, 24,3% humano urbano, 9,7% indústria, 8,4% dessedentação animal e outros usos pecuários, 4,5% termelétricas, 1,7% mineração, e 1,6% humano rural.

A agência (ANA, 2023) também aponta que 58% do volume de água utilizado nos municípios brasileiros provém de mananciais superficiais. Tendo uma divisão média entre consumo humano urbano per capita de 308,4 L/dia, enquanto que o consumo humano rural per capita compreende 142,6 L/dia.

Apesar desta abundância de água, correspondente a aproximadamente 13% da reserva de água doce do planeta, a distribuição da água no Brasil não é homogênea e existem regiões que apresentam carência. O principal motivo para esta escassez são os problemas climáticos oriundos do consumo populacional humano elevado (COSTA *et al.*, 2021).

4.2 ÁGUA NO AMBIENTE RURAL

O ambiente rural é responsável pela maior parcela de consumo setorial da água. No Brasil, a ANA (2023) aponta que cerca de 50% do volume utilizado é para irrigação. Acompanhado de 8,4% de uso na pecuária e 1,6% de uso humano rural.

A água utilizada no ambiente rural é proveniente de várias fontes. Palhares (2013) aponta que podem ter como origem: rios, lagos, nascentes, chuvas, companhias de saneamento ou poços comunitários.

Uma vez que a fonte é identificada, segue o desafio da captação, tratamento, armazenamento e distribuição. Estes são fatores que vão encarecendo o processo e tornando-o mais complexo. Encarecendo no sentido de serem grandes as distâncias a serem percorridas pelas tubulações para transporte de água ou esgoto e altos os custos com tratamento de água (ANA, 2023).

Outro fator da distribuição da água no ambiente rural está na grande variação de vazão nos pontos da rede de distribuição. Não é incomum a rede fazer uso de um único reservatório central no qual toda a rede está conectada. As vazões no entorno do reservatório são grandes, quando comparado com as vazões médias lidas por um hidrômetro residencial urbano, e as vazões nas ramificações são pequenas.

Há o exemplo do caso na Embrapa Pecuária Sudeste em que foram instalados hidrômetros nos bebedouros do gado. Estes hidrômetros não foram capazes de aferir o consumo de água realizado pelo gado (CAMARGO *et al.*, 2020). A vazão com que o gado consumia água não foi suficiente para que o hidrômetro aferisse o volume que o atravessou.

A exemplo da experiência citada anteriormente, são vários os aspectos no meio rural brasileiro que precisam de informação e disseminação da informação. A comunidade internacional tem voltado um olhar atencioso ao país, já que o Brasil é um dos maiores produtores de alimentos, só que não é amplo o acervo de informações sobre os diversos impactos da atividade pecuária. Palhares (2016) ressalta a importância de arcabouço condizente à pegada hídrica na produção animal.

Para a pegada hídrica na produção bovina brasileira, leiteira e de corte, as informações relativas ao consumo de água de cada animal ainda é uma incógnita que depende de vários fatores, como às características do próprio animal, características zootécnicas e características do ambiente (Palhares, 2019). Todavia, além da água consumida pelo animal, existe a água que atende a manutenção da atividade de produção animal. Esta água também entra no cômputo da pegada hídrica. São

volumes de água que atendem a higiene e bem-estar do animal para ordenha, os cuidados com os equipamentos, a higienização de currais e pátios, entre outros.

4.3 MEDIÇÃO DA ÁGUA

Sendo a água um recurso finito, a medição individualizada nas instalações hidráulicas é imprescindível (ILHA *et al.*, 2010). Durante o pós segunda guerra mundial, alguns países europeus, frente a escassez do recurso, já propunham a medição individualizada para o controle do consumo hídrico.

No Brasil, por questões culturais e de disponibilidade, a preocupação tardou a tomar relevância, porém nos anos 70 do século passado começaram discussões sobre a temática (VÉROL *et al.*, 2019).

A legislação que acompanha a temática da medição individualizada remonta à Lei Federal nº 11.445 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007). Esta lei que estabelece as diretrizes do saneamento básico trouxe vários avanços na sua alçada e já sinalizava para o uso racional da água de forma sustentável.

Entretanto, as palavras “medição individualizada” foram acrescentadas a este documento, em seu art. 29, § 3º, pela sanção da Lei Federal nº 13.312, de julho de 2016 (BRASIL, 2016). E, nos moldes do marco legal do saneamento básico, Lei Federal nº 14.026 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), esta postura de medição foi ratificada.

A pegada hídrica teve seu conceito apresentado em 2002, com suas raízes na pegada ecológica, e pretendeu delinear uma relação entre o consumo humano e o uso da água (SILVA *et al.*, 2013). Desde então seu conceito vem evoluindo e recebe a definição por: volume total de água utilizado na cadeia de produção de bens e serviços, sendo considerados os usos diretos e indiretos nos processos de produção (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Para se conhecer o volume e a completude da pegada hídrica, esta foi dividida em três categorias: água azul, água verde e água cinza. Leão (2013) diz que a água azul relaciona a água consumida e extraída de rios e aquíferos, a água verde relaciona a água precipitada que permanece no solo e é utilizada pelas plantas, e a água cinza relaciona o volume de água necessário para a diluição dos poluentes gerados pelo processo que está sendo estudado.

Para o caso da pegada hídrica na produção animal, Hoekstra *et al.* (2011) apontam que para o cálculo é necessário conhecer a pegada hídrica de sua alimentação, assim como o volume de água consumida na sua dessedentação e em outras atividades que interferem na vida do animal, por exemplo a água consumida no manejo sanitário do animal e do ambiente onde ele exerce as atividades. Hoekstra (2011) e sua equipe conseguem chegar a valores específicos para o caso da carne vermelha, porém eles salientam que os valores médios apresentados são a nível global e que não podem ser extrapolados para o uso em uma região específica. Um exemplo disso é que a pegada hídrica para a carne produzida em confinamento é menor que a pegada hídrica de carne produzida em sistemas de pastagens, porém os componentes em água azul e água verde de cada sistema de produção tem uma contabilização mais complexa.

A pegada hídrica é um parâmetro direcionador para tomada de decisão com intenção à sustentabilidade, porém esta ferramenta só tem seu potencial explorado quando amparado por dados que relatam fielmente o volume de água utilizado em um processo ou atividade, por este motivo, a necessidade de medição da água ganha mais evidência e se torna imprescindível.

4.4 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

O hidrômetro convencional é o principal equipamento para a realização da medição individualizada. E o dimensionamento destes medidores está a cargo das prestadoras de serviços de distribuição de água (SCALIZE *et al.* 2014). São os tipos mais comuns os hidrômetros unijato velocimétricos de classes A, B e C.

São diversos os princípios físicos que podem ser implementados em equipamentos de hidrometria, tais como efeito Doppler e efeito de Coriolis, os quais são geralmente aplicados em hidrômetros ultrassônicos e de fluxo mássico, respectivamente (CAMARGO, 2019). Também existem instrumentos com tecnologias magnéticas e óticas (PEREIRA & ILHA, 200).

Um impeditivo da popularização destes instrumentos com maior sensibilidade está no custo do hidrômetro e de sua manutenção. Comumente as empresas que produzem estes equipamentos atrelam a manutenção exclusiva à própria supervisão.

Hidrômetros para uso em tubulação de 300 mm, que podem ser do tipo medidor de vazão eletromagnético¹, possuem um custo que ultrapassa US\$12.470,00.

As propensões aos erros de medição dos hidrômetros seguem alguns parâmetros, a depender da faixa de consumo, do tipo de hidrômetro empregado e da idade da instalação (SCALIZE et al 2014). Carvalho Jr. (2018) aponta algumas ressalvas ao uso dos hidrômetros convencionais: no limite de vazões menores estipuladas para o hidrômetro, a vazão não tem força para girar a relojoaria causando submedição, e no limite maior ocorre a dessensibilização da engrenagem causando sobremedição. Costa *et al.* (2021), apontam que os parâmetros e curvas de erros admissíveis para instrumentos novos estão bem documentados pelas normas, exemplo da Portaria nº 246/2000 do Inmetro.

A mesma Portaria nº 246/2000 do Inmetro direciona os métodos para a verificação dos erros por ensaios de calibração. Ela se utiliza do princípio do erro relativo percentual, onde se compara a diferença dos valores que foram lidos nos instrumentos com o valor real do volume escoado, que é confirmado com instrumentos de precisão como provetas ou balanças para os métodos volumétricos ou mássicos, respectivamente.

Os ensaios em laboratório ou cálculos teóricos podem ter seus erros associados também caracterizados quanto a sua precisão e acurácia. Esses erros podem ocorrer de modo sistemático ou aleatório, isto é, relacionados com o operador do experimento ou sem controle e previsão, respectivamente. A precisão faz referência ao quanto os dados estão em torno de um valor, independentemente de qual valor seja. Logo, um dado que é preciso e tem desvio-padrão pequeno, pode estar distante do valor verdadeiro. A acurácia faz referência ao quanto os dados se aproximam do valor verdadeiro, independentemente de quão dispersos estejam os dados. Logo, um dado que tem acurácia pode ter um desvio-padrão grande porém, na média se aproxima do valor verdadeiro. A repetição em laboratório visa minimizar ambos estes erros.

Assim sendo, são necessárias outras formas de compreender o comportamento da variação de volume e fluxos que ocorrem nos sistemas hidráulicos. A informação do fluxo em um ponto específico, observado com a instalação de um

¹ Medidor de vazão DN 300 mm (12") no endereço eletrônico <br.omega.com/pptst/FMG480.html>, da Marca Omega (norte-americana). Custo unitário: a partir de US\$12.470,00 (consultado em 18 de julho de 2022).

hidrômetro, por vezes é impraticável por vários motivos, então são buscadas formas indiretas para observar o que ocorre no contínuo dos sistemas.

Giorgetti (2008), comenta que desde a Roma antiga, relações entre pressão, nível, volume e vazão em um sistema hidráulico são estudadas. Assim, estas formas indiretas de conhecer o sistema podem ser aplicadas e tem vasto arcabouço de informações a respeito.

Existem associações que fazem com que uma informação remeta a outra. Um exemplo de inferir quantidade de vazão por meio de altura de lâmina d'água é o utilizado na calha Parshall e na calha venturi. Porto (2008) aponta também a dinâmica em vertedores para relacionar a vazão em razão da altura da lâmina d'água.

4.5 CASOS DE SENSORES EM RESERVATÓRIOS

Outra ferramenta que está potencializando a coleta de informações dos sistemas é a recente disponibilidade e acesso a sensores e processadores. Segundo Kalamani *et al.*(2022), a automação que antes era exclusiva da indústria e de projetos futuristas está mais integrada a sistemas praticáveis e tem atuado como base no manejo das águas.

O grupo de Kalamani *et al.*(2022), estudou o caso de implantar um sistema com sensores para a leitura de níveis dos reservatórios. Sistema sem fios (*wireless*), modelo que propiciou a observação e monitoramento do consumo hídrico per capita e por residência, conseqüentemente.

Khan *et al.* (2022), na Arábia Saudita, local com explícita necessidade de manejo racional de água devido sua baixa disponibilidade, trabalharam um projeto que visou o aprimoramento da distribuição de água e monitoramento instantâneo para seus clientes. O sistema contou com sensores ultrassônicos em reservatórios (*smart water tanks*) onde pode-se monitorar a taxa de consumo, aprimorar ferramental de tomada de decisão para a distribuição de água no sistema e implementar um sistema de alarme para o caso de escassez.

Olisa *et al.* (2021) fez uso de sensores no sistema de abastecimento residencial por dois reservatórios. Os sensores aferiram níveis dentro dos reservatórios e parâmetros que apontavam a qualidade da água para os tanques de água potável e água para descarga sanitária. O grupo identificou parâmetros de estabilidade de rede de internet e de energia como potencializadores das comunicações.

Pereira *et al.* (2022) estudaram em laboratório o comportamento do nível medido por sensores ultrassônicos em canais abertos com vazão constante e variável. Eles concluíram pontos importantes sobre a leitura pelo sensor e a turbulência da lâmina d'água nos canais, verificando menor precisão quanto mais turbulenta a lâmina d'água.

Na revisão de Velani (2022), foi apontado que o manejo hídrico das bacias hidrográficas está cada vez mais fazendo uso e inserido na Internet das Coisas (IoT). Para a gestão dos recursos hídricos, a ciência computacional moderna está sendo usada por meio de tecnologias com sensores, análise de big data, computação em nuvem e internet das coisas.

4.6 ORDENHADEIRA ROBOTIZADA

O consumo de leite de origem animal acompanha a humanidade desde a domesticação dos animais quando do assentamento em comunidades primitivas (FLANDRIN & MONTANARI, 1996). A ordenha manual vem sendo praticada desde então e em consequência do período em que ocorreu a revolução industrial, a tecnologia também adentrou a atividade da pecuária e as ordenhadeiras mecanizadas começaram a ser construídas (SILVI *et al.*, 2018). Bach e Cabrera (2017) comentam que, a partir dos anos 90, houve um crescimento acentuado de produção e distribuição da tecnologia envolvendo Sistemas de Ordenhadeiras Robotizadas (SOR) de modo que, até o ano de 2011, mais de dez mil unidades de SOR estavam implantadas em fazendas leiteiras.

Atualmente o SOR funciona partindo do princípio da oferta de engodo que atrai o animal até o posto em que é realizada a ordenha. O SOR é composto por sensores óticos que identificam as posições dos úberes do animal, braço robótico que atua na higienização e conexão dos copos de ordenha. O SOR também é capaz de realizar análise preliminar de parâmetros de qualidade do leite por úbere e a desconexão dos copos no momento de redução de fluxo do leite (SILVI *et al.*, 2018).

Do Canadá, Rodenburg (2007) relacionou observacionalmente, no manejo de SOR com livre tráfego do gado, que a quantidade de leite produzido está diretamente relacionada com o bem estar animal. Ele relatou que a frequência de ordenha voluntária aumenta com o conforto dos animais e parametrizou o bem-estar dos animais com a limpeza do galpão e troca de camas dos animais. Ele ainda sugere que

o sistema de limpeza dos galpões possa ser automatizado, uma vez que necessita menor contingente e garante o padrão e frequência.

O uso da água em um SOR tem um desafio significativo nos parâmetros de vazão quando se pretende computar o volume utilizado. Há o quadro da vazão pequena que ocorre no momento da dessedentação animal e no oposto há grandes tubulações e volume de água para a higienização dos galpões. Estes são exemplos de casos que para o mesmo fim, conhecer o volume consumido na atividade, necessitam de abordagens e olhares diferenciados (CAMARGO *et al.*, 2020).

Em específico, a higienização do pátio da ordenhadeira robotizada localizada na Embrapa Pecuária Sudeste é foco desta pesquisa. Assim, foram utilizados parâmetros do escoamento superficial para simular a descarga do volume do reservatório e carreamento dos dejetos no pátio, buscando assim, identificar o volume consumido nesta etapa da atividade.

4.7 ABORDAGEM ADOTADA PARA A DINÂMICA DO ARRASTE DE SÓLIDOS DEPOSITADOS NA SUPERFÍCIE DO PÁTIO

Como citado, é de maior importância o planejamento do *layout* dos ambientes dos galpões para que possam ser higienizados de forma automatizada e mantidos limpos. A dinâmica da utilização do pátio segue o fluxo: o animal adentra o pátio vindo do ambiente de descanso ou pastagem, neste pátio os animais esperam por sua vez de acesso à ordenhadeira respeitando a hierarquia do grupo, a ordem de alimentação pode acontecer antes ou depois da ordenha dependendo da estratégia de alimentação em SOR, e então, os animais podem ser novamente direcionados a outros ambientes (SILVI, 2017).

Neste ambiente de espera os animais fazem suas necessidades fisiológicas, o que gera a produção de material líquido e sólido proveniente de sua excreção. Para a higienização deste pátio foi construído um sistema que libera a água em uma das laterais do pátio. Esta vazão forma uma lâmina d'água que tem a prioridade de carrear os dejetos dos animais para a extremidade oposta, onde são coletados por uma canaleta e encaminhados para tratamento. São dois os reservatórios onde a água para a higienização é armazenada. Estes reservatórios tem uma saída de diâmetro de 12", que sofre ramificação para atender a demanda de distribuição de água pelas saídas de água na lateral do pátio.

Nesse sentido foi assumido neste trabalho o comportamento do escoamento superficial no pátio, e devido ao escoamento ser distribuído em uma lateral, sendo encaminhado para a lateral oposta do pátio, foram tomados parâmetros do escoamento em canais abertos.

Para a estimativa da lâmina de escoamento superficial que é formada depois da descarga do reservatório foi tomada a Equação de Manning como parâmetro (TSUTIYA & ALEM SOBRINHO, 1999). Esta relaciona a velocidade dentro do canal e a tensão trativa que relaciona o componente tangencial do peso do líquido que vai agir no carreamento do material sedimentado

Para a determinação da velocidade mínima necessária para o arraste dos sólidos foi assumido a condição de tensão trativa mínima, que por sua vez pode assumir um valor crítico que corresponde ao início do carreamento de sólidos depositados no fundo de um canal (TSUTIYA & ALEM SOBRINHO, 1999).

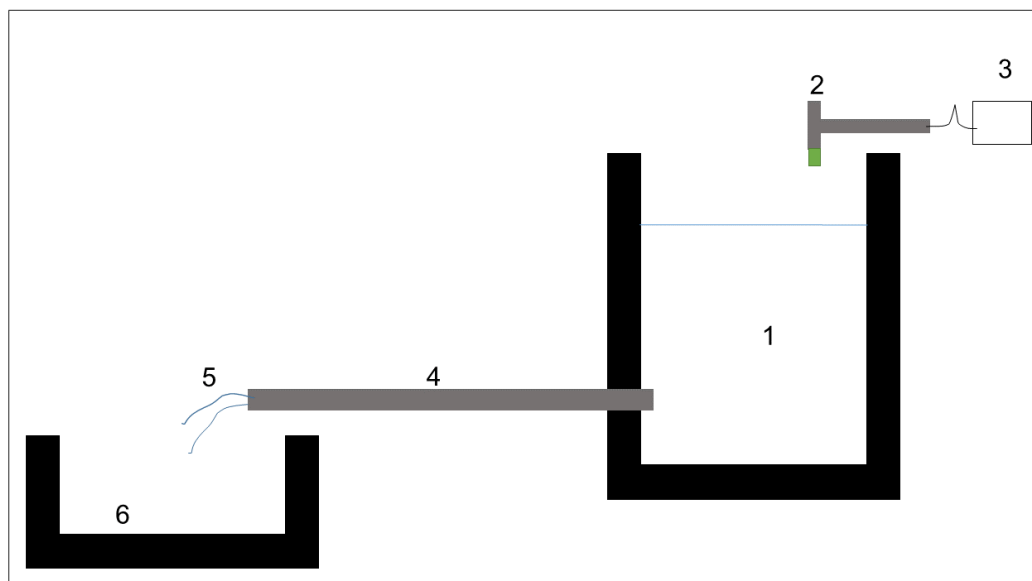
Ambos conceitos trabalham com parâmetros conhecidos, como o Raio hidráulico e a inclinação. Partindo destes critérios, pode ser relacionada a vazão mínima para que haja o arraste do material sedimentado.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 SENSOR ULTRASSÔNICO

Foi idealizado um esquema da instalação do sensor ultrassônico em um reservatório do laboratório de hidráulica do DECiv/UFSCar. Depois de delineado o desenho do projeto, os materiais que atuaram nos ensaios em laboratório são: módulo sensor ultrassônico JSN-SR04T, placa Arduino UNO, planilha eletrônica para visualização, processamento e armazenamento de dados, reservatório onde foram aferidas as leituras pelo sensor, reservatório auxiliar e bomba para recirculação de água. A Figura 1 apresenta o primeiro croqui das instalações.

Figura 1 – Croqui da instalação do sistema hidráulico.



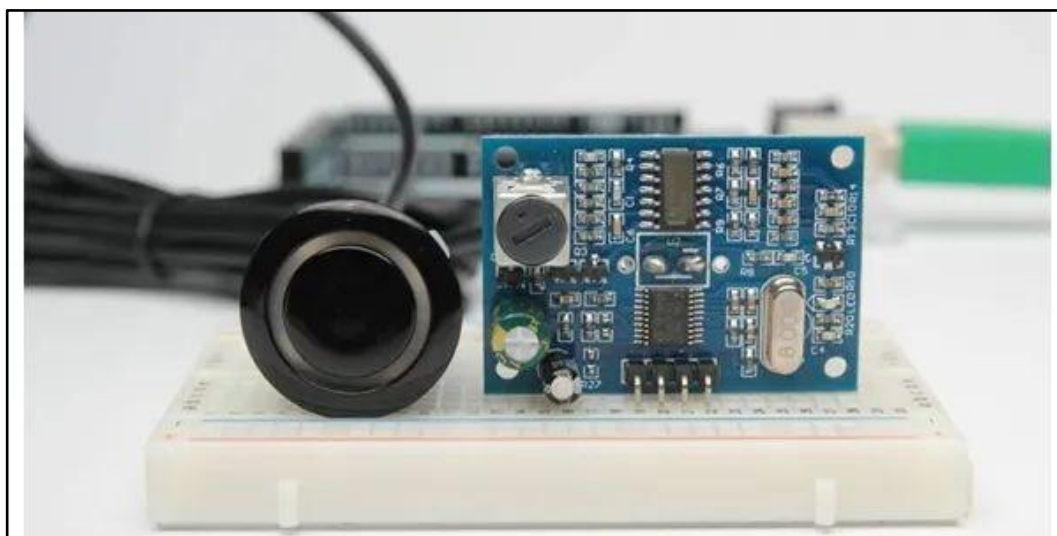
Fonte: Autoria própria.

Neste esquema o número 1 representa o reservatório onde seria aferida a variação de nível. O número 2 representa a instalação do sensor ultrassônico de distância. O número 3 representa a coleta e processamento dos dados. O número 4 representa o encaminhamento da água na saída do reservatório. O número 5 representa o ponto em que é possível coletar e contabilizar volume ou massa de água para validação dos dados. O ponto 6 representa um segundo reservatório onde a água é coletada para a circulação e reaproveitamento da água nos experimentos.

O módulo sensor ultrassônico de distância JSN-SR04T é uma versão de medidor de distância por sinal sonoro. Nesta versão o sensor se tornou mais robusto suportando umidade e tendo maior distanciamento entre o sensor e o microcontrolador. Todavia, mantiveram as bibliotecas e algoritmos que funcionavam para os modelos anteriores também funcionando para a versão atualizada do sensor.

Este módulo foi idealizado para atender projetos de robótica e eletrônica, isto é, um sensor versátil pensado para atender grande variedade de projetos (JSN-SR04T-2.0, 2022). O seu intervalo de trabalho é de 20 a 250 cm. Seu funcionamento é baseado na emissão de um pulso sonoro de alta frequência e no eco produzido pelo anteparo. Este eco é lido e traduzido em sinal elétrico. Com base no tempo de resposta do sinal e na velocidade do som no ar é calculada a distância do anteparo. Está apontado na Figura 2 um exemplo do sensor JSN-SR04T.

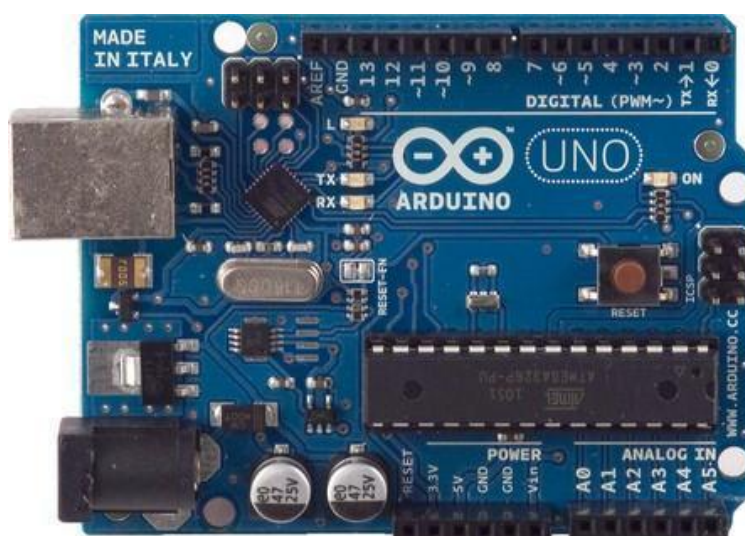
Figura 2 – Sensor JSN-SR04T.



Fonte: <https://img.olx.com.br/images/35/359345655802006.jpg>.

A placa Arduino UNO é uma ferramenta largamente utilizada no campo de projetos educacionais e da pesquisa científica. Existe disponibilidade de documentação complementar relacionada aos sensores e módulos que utilizam a placa. Também são muitos os códigos abertos e a comunidade de usuários alimenta assiduamente os fóruns com dúvidas e soluções diversas para problemas relacionados com cada sensor ou módulo. A placa Arduino UNO é um recurso que auxilia na tomada de dados por sensores em tempo real e também como acionadora e controladora de complexo equipamentos de laboratório (ARDUINO, 2022). Na Figura 3 está exposta a placa Arduino UNO utilizada nos experimentos.

Figura 3 – Placa Arduino UNO.

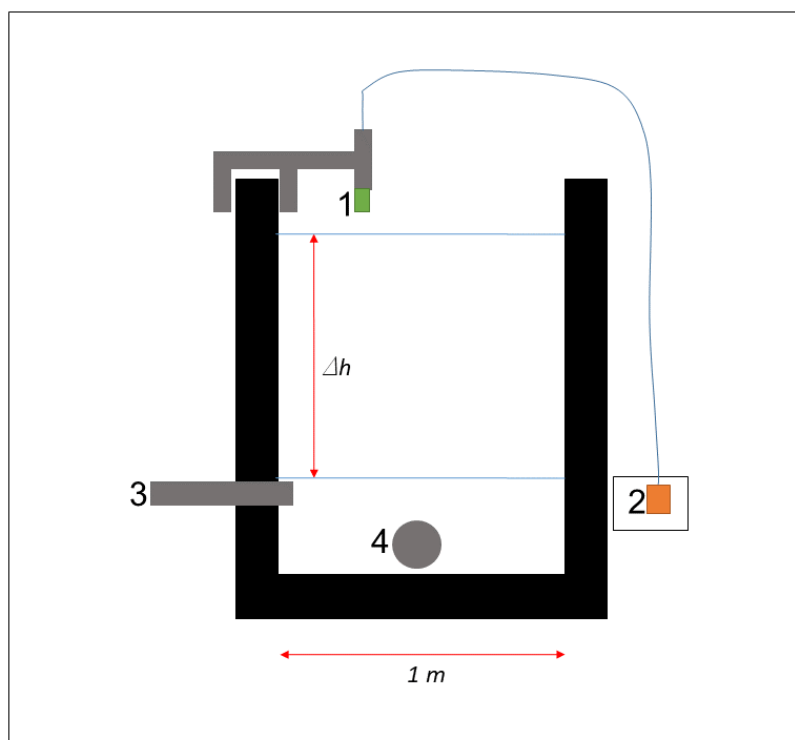


Fonte: https://www.eletruscomp.com.br/arquivos/1488313854_arduinouno_r2_front450px.jpg

Para a construção do código que o Arduino precisou executar foram consultados tutoriais e fóruns. Os tutoriais que mais contribuíram para a escrita do código foram dos canais: Makerguides (WATERPROOF, 2019), Makerportal (HRISKO, 2020), Brincando com idéias (GUIMARÃES, 2019) e Arduino.cc forum (ARDUINO, 2022).

A Figura 4 a seguir representa o corte do esquema da instalação dos sensores no reservatório:

Figura 4 - Esquema da instalação do sensor.



Fonte: Autoria própria.

Em que: 1, Sensor ultrassônico de distância; 2, Placa Arduino UNO; 3, Tubo de saída de água do reservatório; e, 4, Tubo de entrada de água do reservatório.

Para a pesquisa foram utilizados equipamentos do laboratório de Hidráulica do DECiv/UFSCar. O reservatório onde os testes foram realizados é uma estrutura de alvenaria soerguida de aproximadamente 50 cm. Ele é em forma de um prisma retangular e tem as dimensões internas de 104 cm de comprimento por 104 cm de largura. A altura útil do reservatório, isto é, do ponto inferior no orifício de descarga até o extravasor (ladrão) superior, é de 130 cm de altura. A água entra neste reservatório por uma tubulação que passa por sobre a borda do reservatório e é encaminhada ao assoalho de modo que a água abastece o reservatório a partir de

seu nível inferior. Este reservatório descarrega seu volume, por uma tubulação de 2" de diâmetro nominal, em uma calha que contém um vertedor triangular de parede delgada. Por sua vez, a água que atravessa o vertedouro é coletada em um reservatório subterrâneo que contém uma bomba com potência de 5 cv e capacidade de bombear 60 m³/h, responsável por retornar a água ao reservatório onde os testes foram realizados.

Figura 5 – Bomba responsável pela circulação da água no sistema.



Fonte: Autoria própria.

Então, o sensor foi instalado como idealizado no desenho amostral para os testes em escala piloto. A instalação está exposta na Figura 6, onde o sensor e seu comportamento foram observados com os ciclos de carga e descarga do reservatório.

Figura 6 - Sensor em operação.



Fonte: Autoria própria.

Em que: 1, sensor ultrassônico de distância; 2, Tubo de entrada de água do reservatório; 3, Extravasador do reservatório; 4, Suporte para os componentes eletrônicos; 5, Microcontrolador do sensor ultrassônico de distância; 6, Placa Arduino UNO; e, 7, Altura do tubo de saída de água do reservatório.

Para coletar os dados amostrados pelos sensores foi utilizado um software livre chamado Coolterm idealizado por Roger Meyer (2022). Este programa lê a porta de saída de informações do arduino (*plotter* ou *monitor serial*) em uma janela separada em que os dados podem ser salvos em “.csv” (comma-separated values), versão compatível com trabalho em planilha eletrônica.

Após relatar os dados na planilha, foi executada uma primeira leitura. Nesta foi necessário trabalhar de modo que cada unidade de informação fosse mantida, pois sua contagem implica a progressão do tempo. Foram identificados os outliers nos dados com a técnica de análise do gráfico *boxplot*. Este gráfico evidencia os pontos que são discrepantes na distribuição (TRIOLA, 2005).

Os valores nulos (0 ou 250mm) que apareceram foram tratados como *outliers* e normalizados. Isto devido a carregarem a informação de tempo, foi necessário adaptar um modelo para observar o comportamento da variação de nível. Assim, principalmente na indústria, quando o volume de dados é grande, utiliza-se a técnica de trazer estes valores mais próximos aos limites inferior e superior para não perder as outras informações que o dado traz consigo (DIAZ ANDINO, 2022).

$$LS = Q_3 + 1,5.IQ \quad (1)$$

$$LI = Q_1 - 1,5.IQ \quad (2)$$

Em que: *LS*, Limite superior; Q_3 , terceiro quartil; *IQ*, intervalo interquartil, isto é, diferença entre terceiro e primeiro quartil; *LI*, limite inferior; e, Q_1 , primeiro quartil.

5.2 VALIDAÇÃO DO SENSOR

A variação de nível dentro do reservatório foi ajustada pelo modelo proposto por Giorgetti (2008). Neste caso o ajuste segue a formulação:

$$h = [\sqrt{h_0} - \frac{1}{2}Kt]^2 \quad (3)$$

Em que: *h*, altura da coluna d'água dentro do reservatório; h_0 , altura inicial em que se inicia a descarga do reservatório; *K*, constante de ajuste para a descarga; e, *t*, tempo em que ocorre a descarga do reservatório.

Concomitantemente, com base nos estudos de Torricelli observou-se o comportamento da descarga do reservatório. Onde é estabelecida uma relação entre a velocidade com que o fluido escoar por um orifício no reservatório e a altura da lâmina d'água dentro deste reservatório.

$$V = C_v \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4)$$

Em que: *V*, velocidade da água na saída do orifício; C_v , coeficiente de redução de velocidade, isto é, fator que aproxima o valor teórico do valor real; *g*, aceleração da gravidade; e, *h*, coluna d'água, isto é, altura da coluna d'água do centro do orifício até a lâmina d'água (GIORGETTI, 2008).

A vazão é inferida com base na equação da conservação de massa, obtida pelo Teorema de Transporte de Reynolds. Neste caso foram consideradas: a velocidade de escoamento do fluido, a área interna da sessão do cano de saída e, o ângulo entre a superfície da área atravessada pelo líquido e a direção que o fluido escoar. A equação toma a seguinte forma:

$$Q = V.A.\cos\theta \quad (5)$$

Em que: Q , vazão com que o fluido passa pelo orifício; V , velocidade de escoamento do fluido; A , área do orifício por onde a água é drenada do reservatório; e, $\cos\theta$, ângulo entre a superfície atravessada pelo fluido e sua direção.

Como forma de validar o valor de vazão do reservatório, observou-se concomitantemente à descida do nível da água dentro do reservatório, o comportamento da vazão d'água na tubulação de descarga do reservatório. Este comportamento foi observado por meio do método mássico. No decorrer do esvaziamento do reservatório foram coletadas e cronometradas amostras de volume de água. O volume de água coletado foi pesado em uma balança de precisão no laboratório. Desta forma, considerando o peso específico da água, a massa lida na balança e o tempo que foi necessário para coletar o dado volume de água, pode-se inferir a vazão com que a água sai do reservatório e relacionar com a coluna d'água, isto é, com a dinâmica da coluna d'água equivalente dentro do reservatório. Com esta aferição foi possível encontrar o coeficiente que relaciona o valor empírico com o valor teórico

5.3 SIMULAÇÃO PARA O CASO DE RESERVATÓRIO ESPECÍFICO

Há o caso específico em que se faz uso de um sistema para a higienização do pátio onde está instalada uma ordenhadeira robotizada. Este sistema é composto por dois reservatórios de aproximadamente trinta mil litros. Estes reservatórios, por gravidade, descarregam seu conteúdo através de tubulação que é distribuída uniformemente em um dos lados do pátio, de modo que haja o carregamento dos dejetos dos bovinos. A Figura 7 a seguir representa um modelo de reservatório análogo ao instalado na Embrapa Pecuária Sudeste. São reservatórios tubulares de fundo cônico.

Figura 7 – Reservatórios de 30 mil litros



Fonte: <https://www.fazforte.com.br/img/detalhe/08.jpg>.

Um dos reservatórios tem por objetivo reservar a água pluvial coletada pelo telhado do barracão. O segundo reservatório potencialmente receberá a água tratada e para ser novamente circulada e reutilizada na atividade. A mistura líquida que resultar da higienização do pátio, será encaminhada para um sistema de tratamento. A intenção é de que a água possa ser reutilizada para o mesmo propósito depois de tratada.

Para fins de estudo foi considerado que os reservatórios comportem a altura de 4 metros de coluna d'água e tenham 3,1 metros de diâmetro. O orifício por qual este reservatório é drenado tem o diâmetro nominal de 12 polegadas. E o pátio que recebe a carga de água para higienização tem 12,5 metros de largura. Os parâmetros para a criação de cenários foram baseados nos encontrados na escala piloto observada em laboratório.

Com base nas especificações do reservatório encontrado em campo, na dinâmica da variação do nível do reservatório em laboratório e perdas de cargas relacionadas, foram idealizados 3 quadros com diferentes referências de observação.

No primeiro quadro foi observada a variação da coluna d'água com base na descarga de volumes fixos. Foi simulado o comportamento da variação da coluna d'água para os casos de descargas de 1, 2, 5, e 10 m³ de água.

No segundo caso foi observada a variação da coluna d'água com base em tempos fixos de observação. Foi simulado o comportamento da variação da coluna d'água para os casos de 10, 30, 60 e 120 segundos de descarga.

O terceiro caso teve o foco no critério de parada de descarga do reservatório com a referência no carreamento de dejetos do pátio, isto é, quando a descarga de água transporta os dejetos sólidos que estão no pátio para os ralos. Foram utilizados conceitos do escoamento superficial aplicado ao arraste de dejetos, a partir de hipóteses semelhantes às que são consideradas em redes de esgotamento sanitário. Com base na dinâmica da higienização do pátio e nos princípios do saneamento básico, foram utilizadas a equação da tensão trativa e a equação de Manning.

$$\sigma = \gamma \cdot R_H \cdot I \quad (6)$$

$$Q = \frac{A_m}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (7)$$

Em que: σ , tensão trativa; γ , peso específico da mistura líquida; R_H , raio hidráulico; I , inclinação; Q , vazão; A_m , área molhada; e , n , coeficiente de rugosidade.

Com o auxílio de planilha eletrônica e das observações da descarga de reservatório em laboratório, foram graficadas e tabeladas as funções e resultados com a intenção de buscar os valores dos outros parâmetros para o ponto de relevância da tensão trativa. A norma NBR 9649 (ABNT, 1986) faz referência à tensão trativa mínima de 1 Pa para sistemas de esgotamento sanitário.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 SENSOR ULTRASSÔNICO

Foi instalado o sensor e realizadas leituras idealizando diferentes cenários hipotéticos para o reconhecimento do mesmo. Foi trabalhado e escrito o código de modo que a saída demonstrasse o resultado dos valores lidos para o sensor ultrassônico de distância. Este código pode ser conferido no Apêndice A.

Então, foi instalado o software Coolterm (MEYER, 2022). No software foi indicada a porta USB de entrada do arduino. Nesta porta o programa leu os dados enviados para o monitor serial do Arduino IDE instalado no computador. Desta forma, foram tabelados os dados que ficaram passíveis de análise em planilha eletrônica. Na

pesquisa utilizou a planilha do Google Sheets para maior praticidade e troca de informações entre os participantes da pesquisa.

Para conhecer o comportamento do sensor foram realizados previamente três testes estáticos. No primeiro, o sensor foi direcionado para um anteparo sólido. No segundo teste, o sensor foi apontado para a superfície de um líquido, no caso foi utilizada a lâmina d'água contida dentro de um reservatório de cinco litros. E no terceiro teste, o sensor foi acoplado em uma tubulação de 50 cm de comprimento e diâmetro nominal 100mm, de modo que o tubo de PVC atuasse como um guia do sinal sonoro. Neste terceiro teste o sensor também foi direcionado para a superfície de um líquido. A distância do sensor até os anteparos foi de 67 cm, 63 cm e 55 cm, respectivamente. Esta distância foi confirmada com o uso de uma régua. Programou-se para que o sensor mostrasse uma leitura por segundo e foi permitido que ele realizasse leituras por mais de trinta minutos. A Tabela 1 a seguir aponta as estatísticas obtidas para os testes.

Tabela 1 - Testes estáticos.

	Teste 1 (sólido)	Teste 2 (líquido)	Teste 3 (guia)
Média (cm)	88,67	76,15	67,48
Erro padrão (cm)	1,29	1,07	0,88
Mediana (cm)	67	63	55
Moda (cm)	67	63	55
Desvio padrão (cm)	56,85	48,7	48,07
Variância (cm ²)	3231,4	2372,17	2311,52
Mínimo (cm)	0	0	0
Máximo (cm)	250	253	248
Contagem	1940	1989	1951
Régua (cm)	67	63	55

Fonte: Autoria própria.

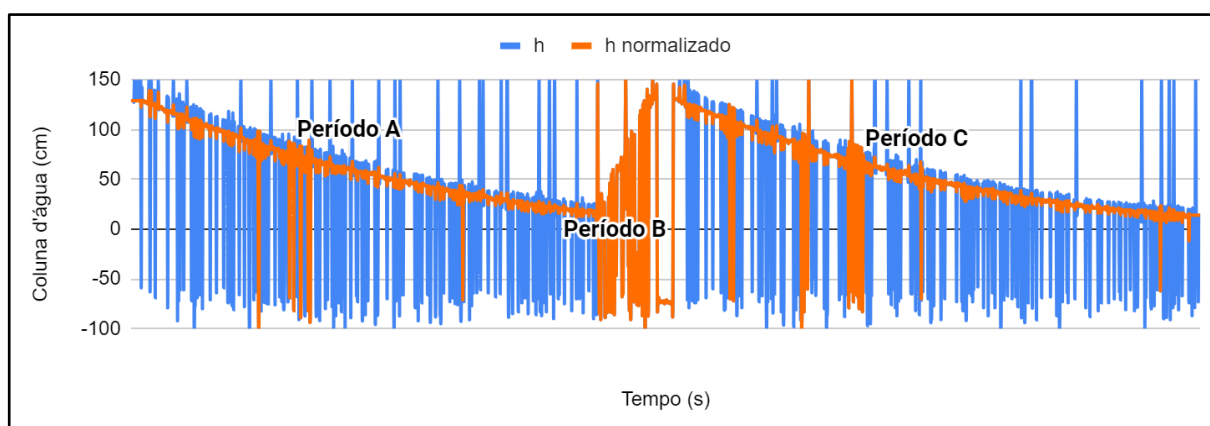
Estes testes apontaram que, devido a variação da leitura pelo sensor, é necessário a utilização de uma ferramenta de ajuste. Os valores médios não foram compatíveis com os valores reais. Os valores brutos extraídos do sensor precisaram passar por um tratamento, como o de normalização de valores atípicos. Foi notada menor incidência de valores atípicos quando foi utilizado o direcionador. Apesar do

teste 3 apresentar menor valor para desvio e variância, ainda assim não foi possível utilizar os valores médios.

Para a carga do reservatório foi acionada a bomba e vazão nominal de 60 m³/h, até que notado o enchimento completo do reservatório. Isto foi confirmado com a saída de água pelo extravasor. Com isso, a bomba foi desligada e pode ser observada a variação de nível devido ao esvaziamento do reservatório. Sendo este ciclo de carga e descarga repetido para as devidas observações.

Esta etapa está demonstrada no Gráfico 1 onde ocorreu o processo de descarga (período A), recarga (período B) e descarga (período C) novamente do reservatório.

Gráfico 1 - Ciclo de descarga (A e C) e recarga (B).



Fonte: Autoria própria.

Os valores de distância entre sensor e lâmina d'água foram transformados em seus equivalentes em função da coluna d'água. A parcela de altura de coluna d'água que apresenta valores negativos, incompatível com a realidade, é correspondente a incidência de valores atípicos apresentados pelo sensor.

Uma característica observada para o caso da leitura sobre lâmina d'água, ou superfícies líquidas, foi que houve maior incidência de valores atípicos quando a superfície do líquido estava agitada, isto é, quando havia movimentação intensa na lâmina d'água. Esta observação ficou mais evidente quando se trocou o modo como o reservatório era abastecido. Ao ser permitida a entrada da água no reservatório pela parte superior, o contato do jato de água na lâmina d'água causou turbulência, de modo que o funcionamento da leitura por eco ficou comprometido e não foi possível fazer a leitura. Quando foi utilizado o modo de abastecimento do reservatório pela parte inferior, a lâmina d'água sofreu menor perturbação de modo que conseguiu-se realizar a leitura do comportamento da entrada de água no reservatório. No Gráfico 1,

anteriormente, também foi possível observar o evento em que há mais turbulência na lâmina d'água, período B em que o reservatório está sendo recarregado.

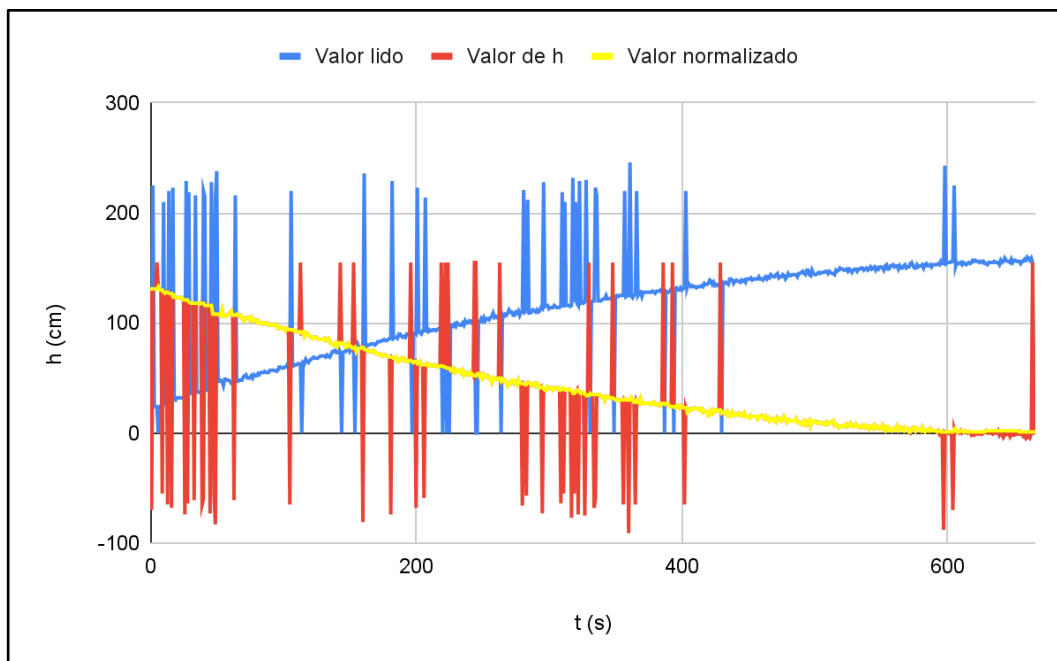
A relação entre o valor da distância lido pelo sensor e altura da colluna de água dentro do reservatório, pode ser escrita pela seguinte equação:

$$h = 153 - h' \quad (8)$$

Em que: h , altura da coluna de água em centímetros; e, h' , a distância aferida pelo sensor ultrassônico também em centímetros.

O código foi escrito de modo que houve a aferição de uma medida a cada segundo, isto é, a cada 1000 milissegundos. Porém, quando apareciam os valores atípicos, era aplicada a normalização do valor. Isto foi feito observando uma gama de dados em torno do valor observado. O ajuste foi praticado levando em conta o minuto em que o dado foi obtido, observando o comportamento dos 30 valores anteriores e dos 30 valores posteriores. O Gráfico 2 destaca o comportamento da curva normalizada.

Gráfico 2 - Normalização dos dados.



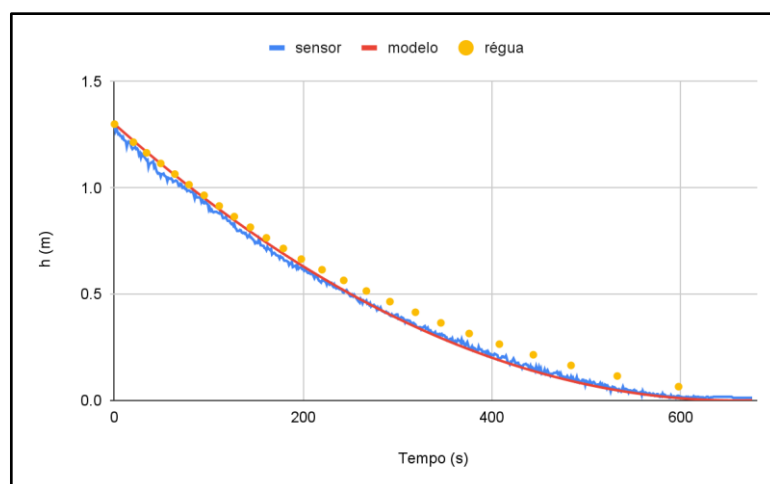
Fonte: Autoria própria.

Em azul está representado o valor lido pelo sensor. Em vermelho está o valor de h que corresponde a centímetros de coluna d'água dentro do reservatório. Em amarelo está o valor normalizado que corresponde ao comportamento da variação de altura da lâmina no decorrer do tempo. Este método possibilitou observar a descida do nível d'água sem perder as informações secundárias dos dados.

6.2 VALIDAÇÃO DO VALOR LIDO PELO SENSOR

Ao se aplicar o modelo para o nível d'água dentro do reservatório, exposto pela Equação 3. Este modelo, que se baseia nos dados oferecidos pelo sensor, pode ser comparado com os valores observados em uma régua para a descarga do reservatório, pois dessa maneira, como os valores da régua são confiáveis, é possível verificar se a informação produzida pelo sensor é válida. No Gráfico 3 a seguir é apresentado o modelo e os valores lidos na régua.

Gráfico 3 - Altura da coluna d'água.

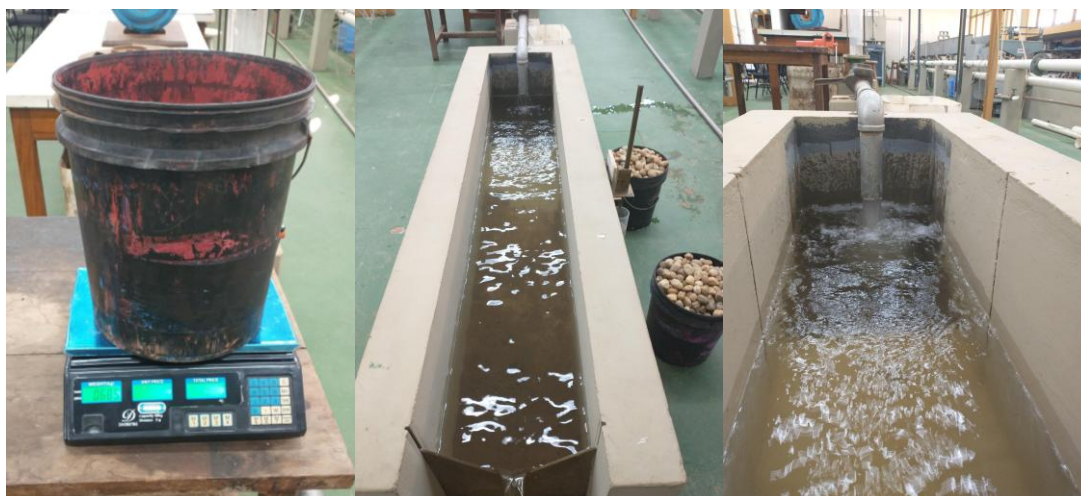


Fonte: Autoria própria.

Como citado anteriormente, o modelo sugerido faz uso da constante K para ajuste dos dados. Com o auxílio da ferramenta Solver nas planilhas eletrônicas, pode-se encontrar o valor do parâmetro $K=0,0031$.

Concomitantemente com a coleta de dados relativos aos sensores, foi aferida a vazão pelo método mássico no final da tubulação de drenagem do reservatório. Como apresentado na Figura 8 a seguir.

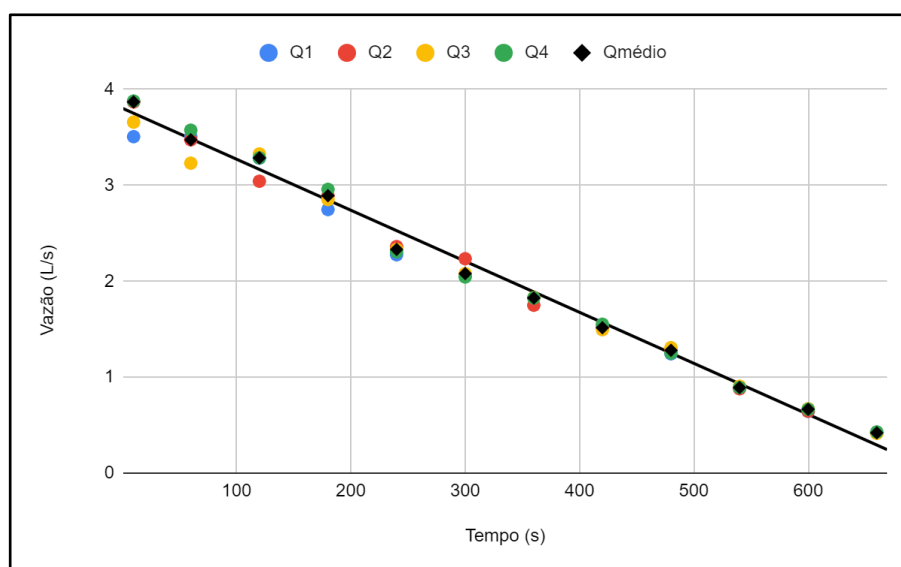
Figura 8 - Aferição pelo método mássico.



Fonte: Autoria própria.

Foram realizados quatro ensaios para a determinação da vazão, de modo que a vazão média observada no fim da tubulação, oriunda da descarga do reservatório, está apontada no Gráfico 4, a seguir.

Gráfico 4 - Vazão mássica.

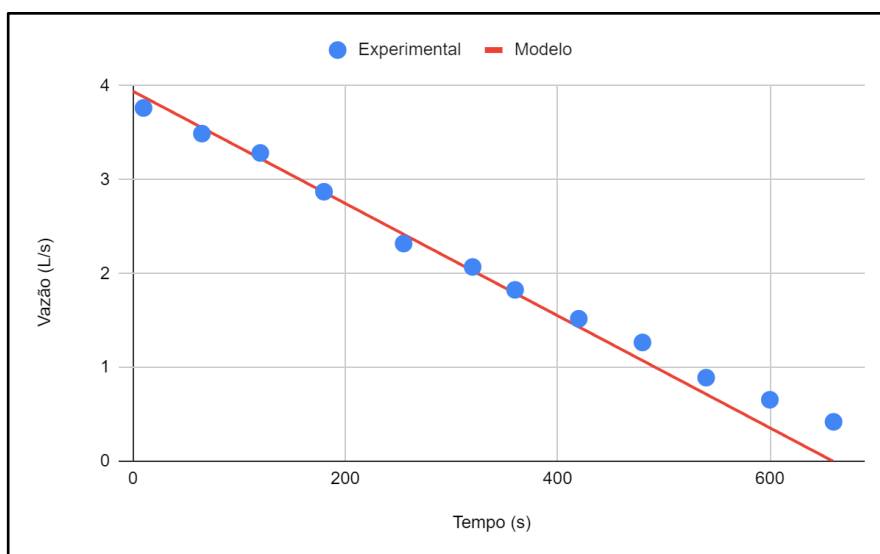


Fonte: Autoria própria.

Em preto está apresentada a curva do comportamento da média da vazão. Esta vazão observada foi comparada à equação de descarga de reservatórios de Torricelli (PORTO, 2008). Lembrando que o modelo tem a premissa da descarga do reservatório ser por um orifício de paredes finas e com fluxo ortogonal ao fundo do reservatório. As variações na forma e localização do orifício de descarga do reservatório implicam em progressivas somas de valores de perda de carga na vazão.

Uma vez obtido o comportamento da vazão, empiricamente, pelo método mássico, buscou-se comparar os resultados com o modelo de descarga de reservatório. Com a comparação foi possível identificar o fator multiplicante que aproxima os valores do modelo aos valores obtidos pela experimentação. As observações entre os dois quadros estão no Gráfico 5 a seguir.

Gráfico 5 - Dados experimentais de vazão e modelo.

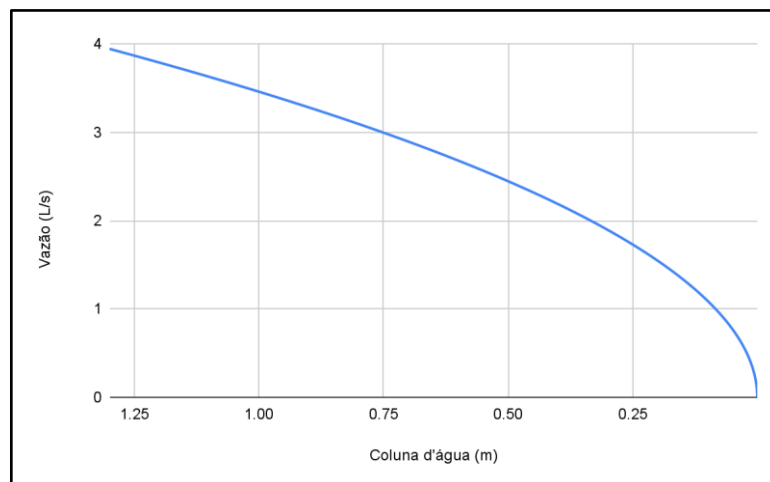


Fonte: Autoria própria.

Aplicando a ferramenta de planilha eletrônica encontrou-se a relação entre a vazão observada empiricamente e a vazão teórica. A vazão é ajustada por um coeficiente C que remete a perda de carga devido às condições físicas do orifício e das tubulações na descarga do reservatório. Observando a relação do produto entre a vazão do modelo vezes o coeficiente C sendo igual à vazão encontrada experimentalmente, conclui-se que C é igual a 0,35.

Também pode ser observada a relação entre a altura da coluna d'água e a vazão que sai do reservatório. Pela equação do esvaziamento de reservatório a vazão de descarga é proporcional à raiz quadrada da altura. Este comportamento quadrático pode ser visto no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Relação da vazão com a altura do nível no reservatório.



Fonte: Autoria própria.

6.3 SIMULAÇÃO NO RESERVATÓRIO ESPECÍFICO

Com base nos parâmetros encontrados em laboratório, foram simuladas as situações de variação de nível e as possíveis respostas associadas. Para o exercício das simulações foi considerado que o reservatório cilíndrico tem o diâmetro de 3,1m e comporta uma altura de coluna d'água de 4m. Isto resulta em uma capacidade de cerca de 30 m³. A saída do fluido do reservatório acontece por meio de um tubulação de diâmetro de 300mm. Como forma de aproximar da realidade da descarga do reservatório, foram considerados os valores encontrados em laboratório. Isto implica que para o ajuste da vazão foi considerado o coeficiente C com o valor de 0,35 e o valor de K como 0,0031 para o comportamento da altura da coluna d'água.

6.3.1 Caso 1: simulação para o entendimento da descarga usando volume fixo.

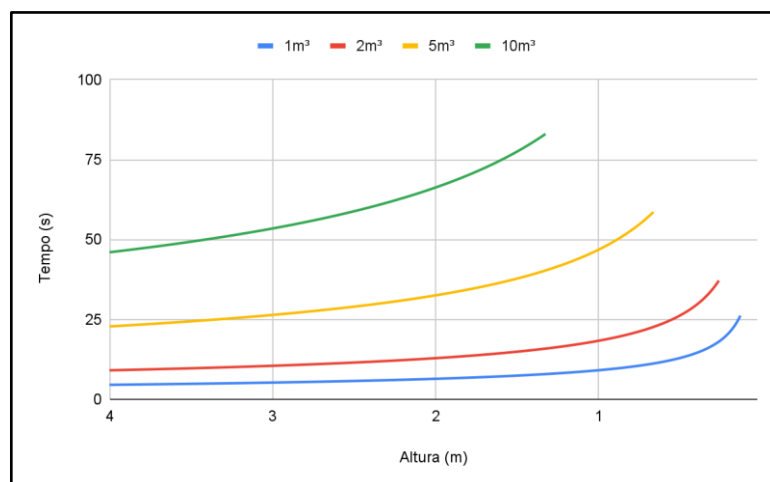
Assim, na primeira simulação foram consideradas bateladas de volume fixo: 1m³, 2m³, 5m³ e, 10m³.

Foi possível observar o tempo para a descarga destas bateladas de volume no gradiente da altura da coluna d'água. Para isto foi chegou-se a formulação do tempo em função da altura da coluna d'água e do volume da batelada, sendo a expressão:

$$t = \frac{\sqrt{h} - \sqrt{h - (c/36,2)}}{0,5 * K} \quad (9)$$

Esta expressão permite gerar o Gráfico 7, em que estão apresentados os comportamentos para os determinados patamares de coluna d'água.

Gráfico 7 - Comportamento das curvas para bateladas fixas de volume.

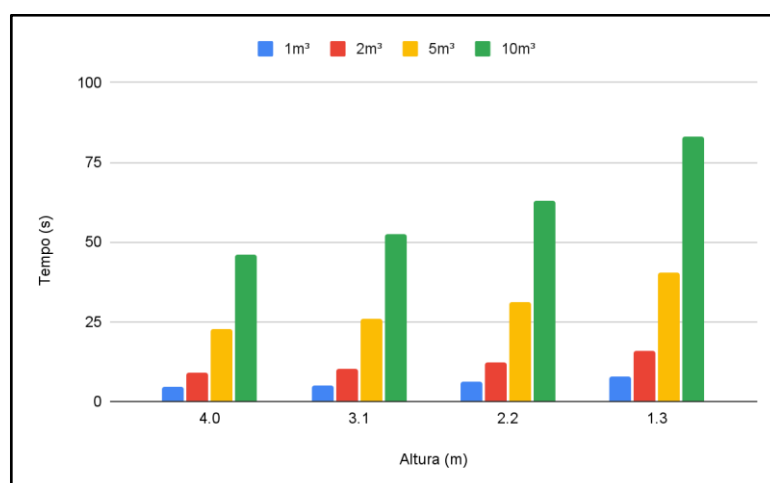


Fonte: Autoria própria.

Por meio do gráfico foi possível notar que, a depender do volume que se pretende empregar na higienização do pátio, maior importância tem a altura da coluna d'água. Para volumes menores, a relação de variação de volume de água é menor em valor absoluto. Assim, para a análise de uso de água com o parâmetro exclusivo no volume, quanto menor for a variação de coluna d'água, maior é a probabilidade de perda em porcentagem, porém é menor a perda de água e volume absoluto.

Considerando a relação entre a descarga de volumes diferentes partindo da mesma altura de coluna d'água, foi produzido o Gráfico 8.

Gráfico 8 - Relação entre altura de coluna d'água e tempo para bateladas fixas de volume.



Fonte: Autoria própria.

A diferença no acréscimo de tempo entre as descargas dos volumes em diferentes níveis de água no reservatório, seguem proporção crescente. A relação

entre a descarga ao nível de 4m e ao nível de 1,3m de coluna d'água, para o volume de 1m³ o tempo é 74% maior, enquanto que para o volume de 10m³ o tempo é 81% maior. Isto implica que, para a otimização do tempo na atividade, quanto maior o volume necessário para a higienização do pátio, mais importância tem a altura do nível do reservatório.

6.3.2 Caso 2: simulação para o entendimento da descarga usando tempo fixo.

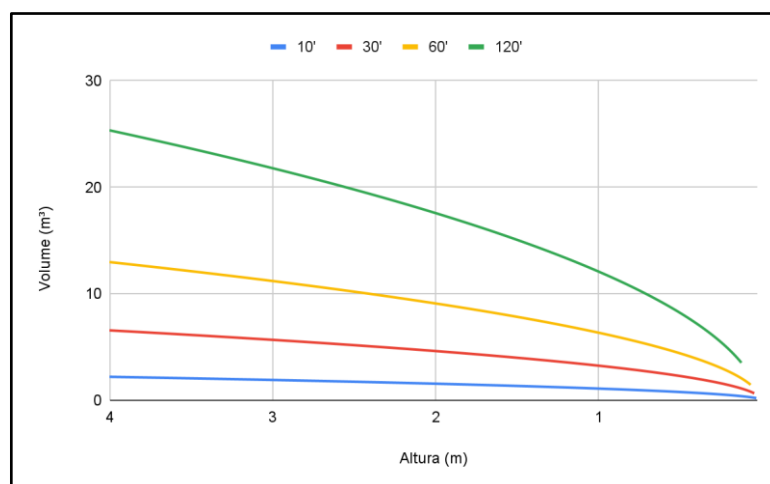
Para esse caso foi observado o comportamento da coluna d'água sob o crivo de intervalos de tempos definidos. Foram estipulados os tempos de 10s, 30s, 60s e 120s. Sabendo que são condições para a medida do volume, $V(t)$: t, tempo; e, Q, vazão. São condições para o cálculo da vazão: A, área do orifício de descarga do reservatório; h, altura da coluna d'água; g, constante gravitacional; e, C, constante de perda de carga do sistema.

$$V(t) = \sum_0^t Q_n(t_n - t_{n-1}) \quad (10)$$

$$Q_h = CA\sqrt{2gh} \quad (11)$$

O Gráfico 9 apresenta a simulação do desempenho do volume frente a abertura do registro para diferentes tempos fixos no decorrer da coluna d'água.

Gráfico 9 - Relação entre altura de coluna d'água e volume para intervalos de tempo fixos.



Fonte: Autoria própria.

Este gráfico ratificou a informação de necessidade de maior atenção para os casos em que o tempo de abertura do registro é menor. Para a coluna d'água de 4 m, a alteração em 1 segundo de abertura do registro, implica em uma variação de ordem

10 vezes maior entre a curva de 10 segundos (0,21/2,64) e a curva de 120 segundos (0,20/22,93).

6.3.3 Caso 3: simulação para definição de critérios que visam a higienização do pátio.

O terceiro caso de simulação teve a intenção de buscar a altura mínima da coluna d'água para que ocorra a higienização do pátio. Foi utilizada a tensão trativa como parâmetro por esta representar um valor mínimo que infere no carreamento das partículas em canal ou tubulação de esgotamento. Esta simulação teve alguns parâmetros como premissa: (1), foi considerada a constante C encontrada em laboratório, referente a perda de carga na tubulação, entre o reservatório e a chegada de água no pátio. (2), o pátio foi idealizado para o comportamento do esgotamento em canais abertos. (3), a inclinação do pátio para o escoamento do fluido é da ordem de 1°, isto equivale a aproximadamente 0,017 m/m. (4), o peso específico do fluido esgotado é da ordem de 1% maior que o peso específico da água. E, (5), a tensão trativa (σ) mínima para que ocorra o carreamento dos dejetos do pátio é igual a 1 Pascal.

Para o caso de canais, o R_H , raio hidráulico corresponde a razão entre a área molhada e o perímetro molhado. Para inclinação de ângulos muito menores que 10°, $l \sim \sin \alpha = \text{tg} \alpha$. Utilizou-se também o índice de rugosidade n com o valor de 0,02. Os valores foram tabelados e estão observados na Tabela 2.

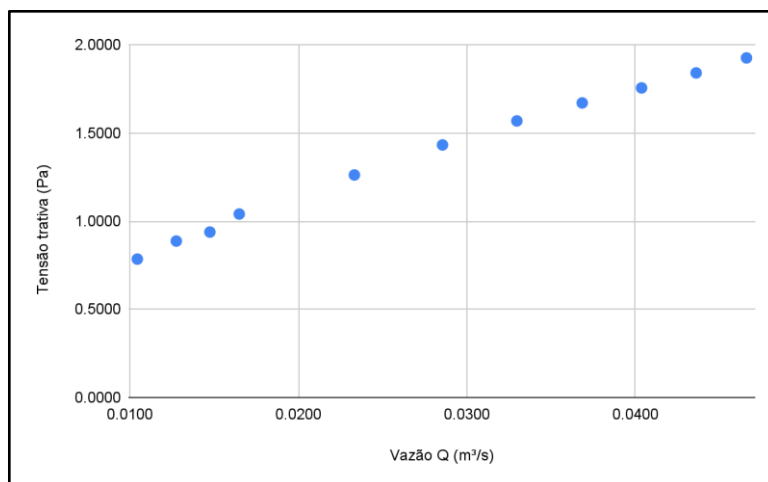
Tabela 2 - Relação da vazão, R_H , altura da lâmina no canal e tensão trativa.

h' (m)	h'' (m)	R_h (m)	σ (Pa)
4.0000	0.0113	0.0113	1.9255
3.5032	0.0108	0.0108	1.8404
3.0021	0.0103	0.0103	1.7554
2.5009	0.0098	0.0098	1.6703
2.0019	0.0092	0.0092	1.5682
1.5018	0.0084	0.0084	1.4320
1.0018	0.0074	0.0074	1.2617
0.5007	0.0061	0.0061	1.0403
0.4003	0.0055	0.0055	0.9380
0.2994	0.0052	0.0052	0.8869
0.2006	0.0046	0.0046	0.7846

Fonte: Autoria própria.

Nesta tabela, h' (m) representa a altura da coluna d'água no reservatório, h'' (m) altura da lâmina no canal, R_H (m) raio hidráulico e, σ (Pa) tensão trativa. Com isso pode-se inferir a curva da tensão trativa *versus* a vazão disponibilizada pela coluna d'água do reservatório, apontada no Gráfico 10 a seguir.

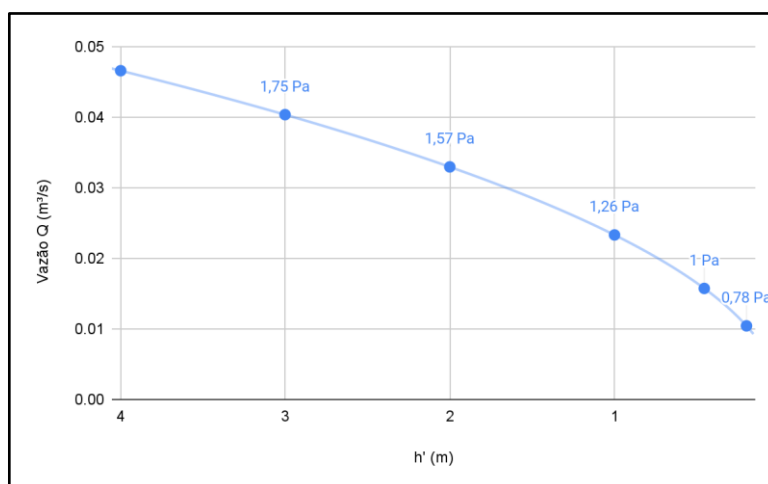
Gráfico 10 - Relação entre a tensão trativa e a vazão.



Fonte: Autoria própria.

Esta informação proporcionou a identificação do ponto onde ocorre a vazão mínima para que ocorra a higienização do pátio. Identificados no Gráfico 11, a seguir, estão apontadas as tensões trativas relacionadas às diferentes alturas de coluna d'água no reservatório e suas vazões correspondentes.

Gráfico 11 - Relação da tensão trativa no comportamento da vazão e coluna d'água.



Fonte: Autoria própria.

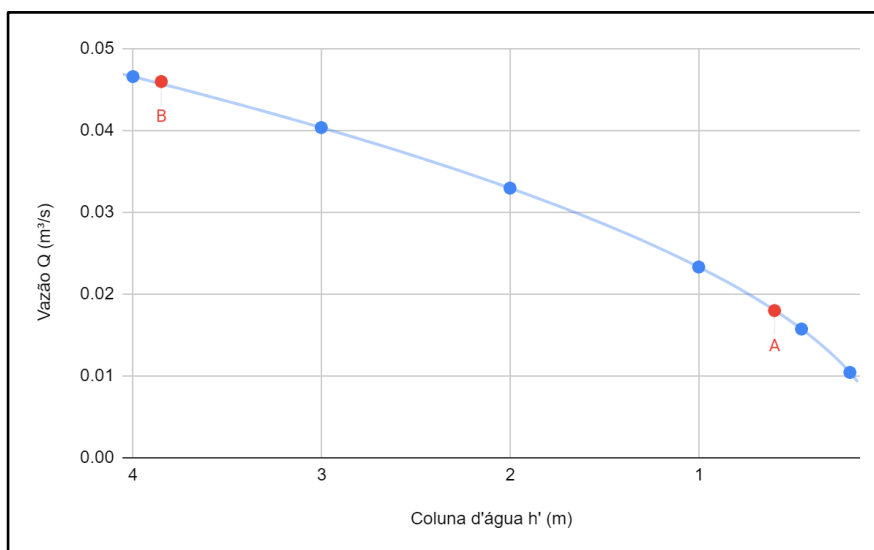
Foi identificada a curva de comportamento da tensão trativa para identificar a altura mínima dentro do reservatório. Para este caso $h'=0,457$ m. Esta altura de coluna

d'água no reservatório irá proporcionar uma altura de lâmina d'água (h'') do escoamento a ser produzido no pátio no valor de 0,00586 m.

Assim, segundo os parâmetros e condições iniciais apresentadas, pode-se afirmar que a partir de uma coluna d'água mínima de 0,45m, existem indícios de que a higienização do pátio pode ocorrer.

Para explorar melhor os resultados encontrados no Gráfico 11, pode-se definir dois pontos em que um está mais próximo da condição de altura mínima de coluna d'água para a higienização do pátio (ponto A) e o outro está mais próximo da condição do reservatório cheio (ponto B), como apresentado no Gráfico 12.

Gráfico 12 - Comparação entre limites de altura de coluna d'água.



Fonte: Autoria própria.

Foram idealizados dois pontos próximos aos limites superior e inferior do espectro que a coluna d'água pode atingir dentro do reservatório. Para esta observação também foi utilizado como parâmetro a descarga de $1m^3$, isto significa uma variação de aproximadamente 0,15 m de coluna d'água. O ponto A, próximo ao ponto em que foi encontrada a altura para a vazão mínima, correspondente a 0,6 m de coluna d'água, onde a vazão pode chegar ao valor de $0,085 m^3/s$. O ponto B, mais próximo a altura para o reservatório cheio, corresponde a 3,85 m de coluna d'água, onde a vazão pode chegar ao valor de $0,217 m^3/s$. Pode ser observado que o tempo necessário para que ocorra a descarga, para o ponto A é de 11,8 s e para o ponto B é de 4,6 s.

Esses tempos apresentados corroboram com a relação entre vazão e coluna d'água. Isto é, para uma vazão maior, conseqüentemente há uma tensão trativa maior, e implica em menor tempo de descarga de um volume fixo quando comparado com uma coluna d'água menor.

Essas simulações, a partir do modelo apresentado neste trabalho, somadas a realização de mais testes e estudos, permitem um melhor entendimento dos mecanismos e funcionamentos do sistema hidráulico encontrado no campo, e isso pode atuar como subsídio para a otimização da rotina operacional da atividade de lavagem do pátio da ordenhadeira.

7 CONSIDERAÇÕES

Este trabalho propiciou observar o comportamento de um sensor ultrassônico de distância para as condições de descarga de um reservatório e, identificar critérios de parada da descarga do reservatório para a higienização do pátio de uma ordenhadeira robotizada.

O sensor apresentou funcionamento que foi passível de aferição e verificação da veracidade dos seus resultados. Houve a possibilidade de trabalho dos resultados e extração de resultados secundários, por exemplo a observação do comportamento da vazão quando as informações primárias foram distância, tempo e geometria do reservatório. Associadas ao sensor e que evidenciam seu potencial de uso está o fato de haver bibliotecas públicas disponíveis para a construção do código de programação e, conhecimento do comportamento dos dados coletados e eventual condição de inserir mais informações a este. A aplicabilidade deste dispositivo de leitura de nível para inferência em vazão é possível, e neste trabalho o critério temporal utilizado foi relacionado à delineada frequência para a coleta dos dados.

Para o caso da pesquisa, a vazão na descarga do reservatório ganhou evidência a partir dos dados de variação de nível lidos pelo sensor e as precauções para a leitura dos dados. Devido a informação da distância ser coleta com frequência pré estabelecida, houve a necessidade de manutenção e normalização dos dados com valores atípicos, com isso ficou mais evidente o comportamento do fenômeno de descarga. Também ganhou notoriedade a resposta da leitura do sensor quando este

era executado para medir a distância até uma superfície líquida com grau de turbulência onde foram encontrados maior incidência de valores atípicos.

Uma vez que foi conhecido o comportamento da resposta de leitura do sensor, foi possível observar os resultados sob o prisma de modelagem teórica. Para validação foi utilizado o método mássico e, desde que validado, pode-se prosseguir a caracterização do sistema. Estes parâmetros são exclusivos do sistema hidráulico do laboratório porém, atuaram como referência para que fosse possível a criação de cenários e projeções para o caso do sistema hidráulico que contém o reservatório em campo.

Das simulações, considerando o caso que foi observada descarga de bateladas de volume, são duas posições que podem ser inferidas. Para menores cotas de volume, o tempo de abertura do registro é pequeno, da ordem de unidades de segundos (menor que 10s) para descarga da água, o que apresenta um ponto de atenção no caso operacional da descarga deste volume. Para o caso da maior cota de volume fixo liberado, fica atenção maior à posição inicial da coluna d'água, o tempo necessário para a descarga tem maior variação, o que pode levar a maiores alterações do volume no caso da operacionalização.

Quando foram considerados tempos fixos para a descarga do reservatório, ganhou maior evidência o quadro em que o registro era aberto em menores cotas de tempo. A oscilação em volume para o caso da variação na operacionalização, foi dez vezes maior entre os casos de menor e maior intervalos de tempo estudados.

Outro fator que pode ser observado foi o critério de parada da descarga do reservatório. Pode-se observar que há uma altura mínima de coluna d'água que atende a condição de carreamento dos dejetos e conseqüentemente higienização do pátio. Partindo novamente de bateladas de volume para a higienização do pátio, foi possível notar a variação em tempo relacionada às diferentes alturas de coluna d'água. As observações levantadas nesta simulação são um ponto inicial para estudo da modelagem deste sistema hidráulico para higienização do pátio da ordenhadeira robotizada.

As observações e levantamentos apontados neste trabalho tem seu lastro na escala de laboratório, com isso é possível afirmar que tem um nível de incerteza relativamente baixo devido a aplicação de métodos de calibração e validação dos dados coletados, analogamente as simulações para a situação de campo precisam ser observadas com foco nas etapas referentes a calibração e validação. Estes

procedimentos são necessários para estudo da otimização da rotina operacional da lavagem do pátio da ordenhadeira robotizada. Uma vez que seja bem conhecido o funcionamento do sistema, será possível direcionar a otimização para o viés sustentável e utilização das informações para tomadas de decisão com maior impacto. O conhecimento destes parâmetros é fundamental que soma para a contabilização do consumo hídrico e para o manejo dos recursos hídricos na cadeia da produção animal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ALÉM SOBRINHO, P. e TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: Epusp/PHD. 1999

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Gestão das águas - Usos da água**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>>. Acesso em: 20 de mai. de 2023.

ARDUINO. **Arduino Documentation: Arduino UNO R3** (2022). Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

ARDUINO. **Arduino.cc Forum: JSN-SR04T** (2022). Disponível em: <<https://forum.arduino.cc/search?q=JSN-SR04T>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

ARDUINO. **Arduino.cc Forum: MPS20N0040D** (2022). Disponível em: <<https://forum.arduino.cc/search?q=MPS20N0040D>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

BACH, A.; CABRERA, V. **Robotic milking: Feeding strategies and economic returns**. Journal of Dairy Science, v. 100, n. 9, p. 7720-7728, 2017.

BRASIL. **Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. **Lei 11.445/2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.

BRASIL. **Lei 13.312/2016**. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, para tornar obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais.

BRASIL. **Lei 14.026/2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, além de outras providências.

CAMARGO, B. E. M; **Desenvolvimento de Modelos de Sistemas de Medição do Consumo de Água Para a Dessedentação Animal: Subsídios para o manejo Hídrico na atividade produtiva**. 2019. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Gestão e Análise Ambiental, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos.

CAMARGO, B. E. M; COSTA, D. J. L.; PALHARES, J. C. P. **Sistemas de medição hídrica com eliminação dos efeitos de submedição de vazão para uso em edificações e dessedentação animal**. Engenharia Urbana em Debate, v. 1, n. 1, p. 103-118, 2020.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projetos**. 3ª ed. rev. e ampl. – São Paulo: Blucher, 2018.

COSTA, D. J. L. **Modelo Matemático para Avaliação Hidrodinâmica de Escoamentos em Regime Não-permanente**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

COSTA D. J. L. et al. **Hydrodynamic evaluation of retention time in non-steady state reactors using the N-CSTR model and numerical simulation**. *Desalination and Water Treatment*, v.132, p.30-41, 2018.

COSTA D. J. L. et al. **Medição do consumo de água em propriedades rurais: desafios e alternativas tecnológicas**. Embrapa Pecuária-Sudeste, 2021.

DIAZ ANDINO, F. E. **Estudo da influência de outliers univariados na identificação de sistemas SISO**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2022. doi:10.11606/D.3.2022.tde-27052022-074858. Acesso em: 2022-08-15.

FLANDRIN, J. –L.; MONTANARI, M. **História da Alimentação**. São Paulo, Brasil: giorgEstação liberdade, 1996.

GIORGETTI, M. F. **Fundamentos de fenômenos de transporte para estudantes de engenharia**. São Carlos: Suprema, 2008.

GUIMARÃES F. Brincando com Ideias. **APROVADO! Sensor de Distância a Prova D'água com Arduino**. Youtube, 20 de jun de 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0lwtZZW2xXM>>. Acesso em: 20 de dez. de 2020.

HRISKO, J. **MPS20N0040D Pressure Sensor Calibration with Arduino** (2020). Disponível em <<https://makersportal.com/blog/2020/6/4/mps20n0040d-pressure-sensor-calibration-with-arduino>>. Acesso em: 20 de dez. de 2020

HOEKSTRA, A. Y. **How sustainable is Europe's water footprint?** *Water and Wastewater International*, v.26, p.24-26, 2011.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., ALDAYA, M.M., MEKONNEN, M.M. **The water footprint assessment manual: Setting the global standard**, 2011. Earthscan, London, UK

ILHA, M. S. O. et al. **Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros?** *Eng. Sanit. Ambient.*, v.15, n.2, p.177-186, 2010.

JSN-SR04T-2.0 Ultrasonic Waterproof Range Finder, **Jahan Kit Eletronic** (2022). Disponível em: <<https://storage.googleapis.com/baudaeletronicadatasheet/JSN-SR04T.pdf>>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

KALAMANI, M *et al.* **Automation of water tank management system for residential Areas.** 2022. *Materials Today: Proceedings*. Volume 62, Part 4. Pages 2388-2391. ISSN 2214-7853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.981>.

LEÃO, R. DE S.. **Pegada hídrica: visões e reflexões sobre sua aplicação.** *Ambiente & Sociedade*, v. 16, n. 4, p. 159–162, out. 2013.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria - Uso Racional e Reuso.** Oficina de Textos, São Paulo, 2005.

OLISA, S. C. *et al.* **Smart two-tank water quality and level detection system via IoT.** *Heliyon*. Volume 7, Issue 8. 2021. e07651. ISSN 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07651>.

ORWELL, G. **1984.** São Paulo: Companhia das Letras, 2009

PALHARES, J.C.P. **Consumo de água na produção animal.** Comunicado Técnico nº 102, São Carlos, SP, Embrapa Pecuária Sudeste, 2013.

PALHARES, J. C. P.. **Produção animal e recursos hídricos.** São Carlos: Cubo, v. 1. 185p., 2016.

PALHARES, J.C.P. **Consumo de água na produção animal brasileira.** In: PALHARES, J.C.P. (Org.). *Produção animal e recursos hídricos: tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos.* Brasília, DF – Embrapa, 2019.

PEREIRA, L. G. & ILHA, M. S. O. **Avaliação da submedição de água em edificações residenciais unifamiliares: o caso das unidades de interesse social localizadas em Campinas, no estado de São Paulo.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.8, n.2, p.7-21, 2008.

PEREIRA, T.S.R. *et al.* **Evaluation of Water Level in Flowing Channels Using Ultrasonic Sensors.** *Sustainability* 2022, 14, 5512. <https://doi.org/10.3390/su14095512>

PORTO, R. de M. **Hidráulica básica.** São Carlos: EESC-USP. . Acesso em: 15 jun. 2022. , 2008.

RODENBURG, J.; HOUSE, H. K. **Field observations on barn layout and design for robotic milking.** In: INTERNATIONAL DAIRY HOUSING CONFERENCE, 6., 2007, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007.

ROGER M. **Roger Meier's Freeware** (2022) - Disponível em: <<https://coolterm.en.lo4d.com/windows>>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SCALIZE, P. S. *et al.* **Substituição racional de hidrômetros em sistemas de abastecimento de água.** *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 9, p. 1-9, 2014.

SILVA, V. DE P. R. DA . et al.. **Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 1, p. 100–105, jan. 2013.

SILVI et al. **Pecuária leiteira de precisão: sistemas de ordenhas robotizadas**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2018. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094405>> Acesso em: 06 de jul. de 2023.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 9 ed. 656 p. Rio de Janeiro, 2005.

VELANI, A.F.; NARWANE, V.S.; GARDAS, B.B. **Contribution of Internet of things in water supply chain management: A bibliometric and content analysis**. 2022. Journal of Modelling in Management, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/JM2-04-2021-0090>

VERÓL, A. P.; VAZQUEZ, E.G.; MIGUEZ, M.G. **Sistemas prediais hidráulicos e sanitários: projetos práticos e sustentáveis**. 1ª ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

APÊNDICES

Código executado na plataforma Arduino.

```
//referente ao sensor de pressão
#include <Q2HX711.h>
const byte MPS_OUT_pin = 2; // OUT data pin
const byte MPS_SCK_pin = 3; // clock data pin
int avg_size = 10; // #pts to average over
Q2HX711 MPS20N0040D(MPS_OUT_pin, MPS_SCK_pin); // start comm with the
HX710B
//referente ao sensor ultrassônico
#define trigPin 8 // Define Trig and Echo pin:
#define echoPin 9
long duration; // Define variables:
int distance;

void setup() {
  //referente ao sensor ultrassônico
  pinMode(trigPin, OUTPUT); // Define inputs and outputs
  pinMode(echoPin, INPUT);
  //referente a ambos sensores
  Serial.begin(9600); // Begin Serial communication at a baudrate of 9600 (start
the serial port):
}

void loop() { // put your main code here, to run repeatedly:
  //referente ao sensor de pressão
  float avg_val = 0.0; // variable for averaging
  for (int ii=0;ii<avg_size;ii++){
    avg_val += MPS20N0040D.read(); // add multiple ADC readings
    delay(100); // delay between readings
  }

  avg_val /= avg_size;
  //referente ao sensor ultrassônico
  digitalWrite(trigPin, LOW); // Clear the trigPin by setting it LOW:
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigPin, HIGH); // Trigger the sensor by setting the trigPin high for
10 microseconds:
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH); // Read the echoPin. pulseIn() returns the
```

```
duration (length of the pulse) in microseconds:
  distance = duration*0.034/2; // Calculate the distance:

//imprimindo os valores
Serial.print("Distância = ");
Serial.print(",");
Serial.print(distance);
Serial.print(",");
Serial.print(" cm");
Serial.print(",");
Serial.print("Pressão = ");
Serial.print(",");
Serial.print(avg_val,0); // print out the average
Serial.println();

delay(1000);
}
```

Observação: Inicialmente foram testados dois sensores, o sensor ultrassônico de distância e o sensor de pressão. Foi feita a leitura por ambos os sensores, porém, para este trabalho foi utilizado somente o sensor ultrassônico de distância.