

## O USO DA INTERNET DAS COISAS NO MONITORAMENTO DISTRIBUÍDO DE UNIDADES DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA NA BAHIA

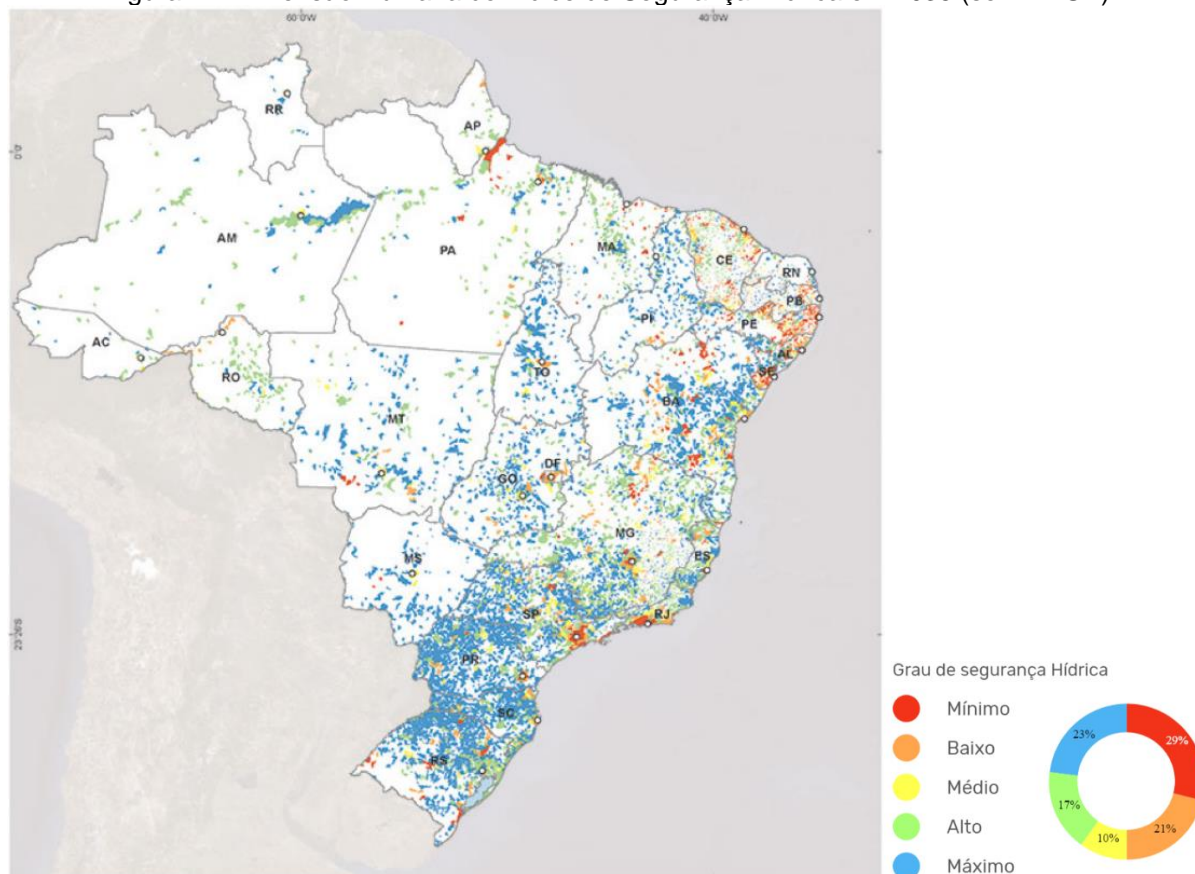
### 1 INTRODUÇÃO

Elaborado em 2019, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) explicita a importância da segurança hídrica para o desenvolvimento social e econômico e define as principais intervenções nas infraestruturas hídricas necessárias para o abastecimento humano, uso em atividades de produção e melhoria na gestão dos riscos associados à eventos meteorológicos críticos, como as secas e as cheias. O PNSH ainda atesta que o território tem experimentado na última década eventos hidrológicos extremos, não somente no semiárido, com crises mais prolongadas, mas também em regiões que não haviam manifestado desequilíbrio significativo entre oferta e demanda de água (ANA, 2019).

A projeção do cenário de segurança hídrica para 2035, considerando apenas a infraestrutura hídrica que está em operação atualmente e sem adotar novas medidas de gestão de recursos, prevê que o grau mínimo de segurança hídrica alcance 29% de todo o país. No entanto, adotando as medidas do PNSH, o país migra a um patamar de 1% da população exposta a um grau de segurança hídrica mínima.

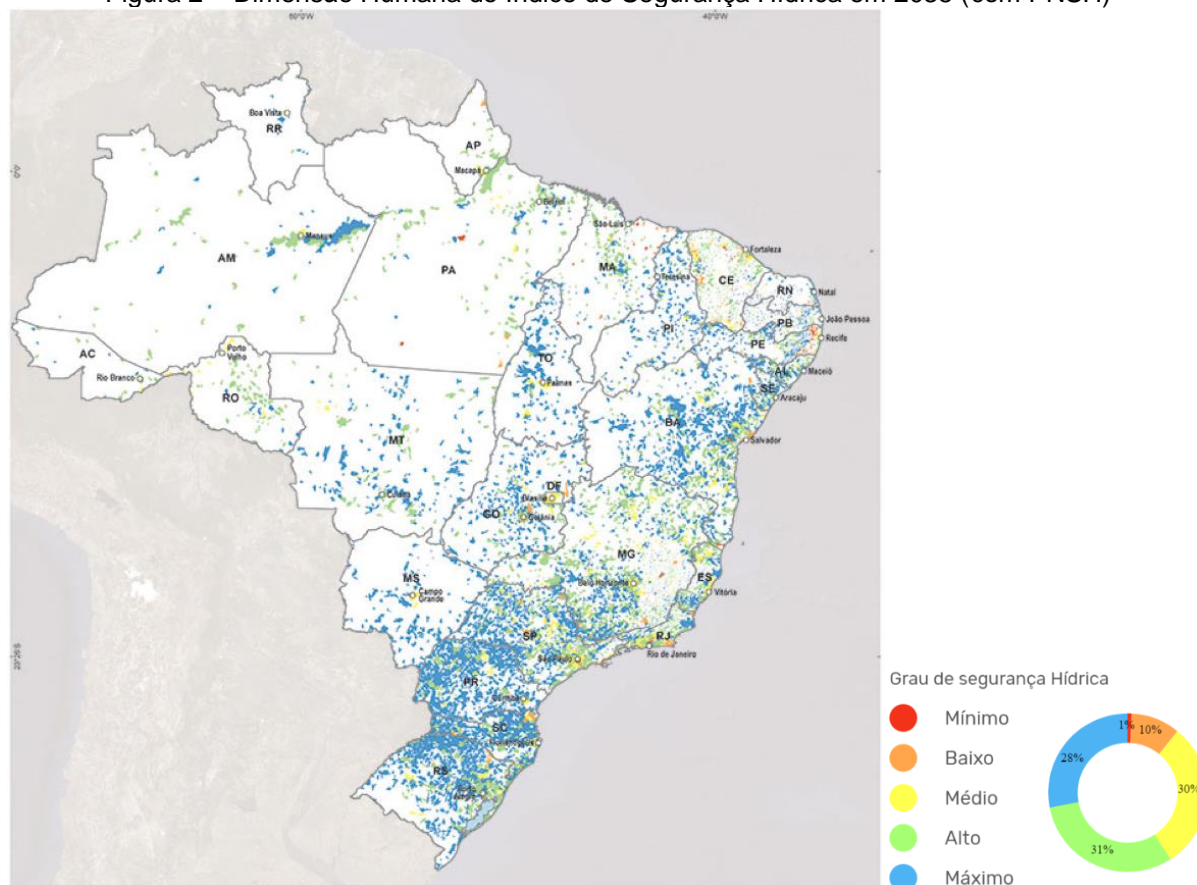
Nas Figuras 1 e 2 a seguir, são apresentados mapas dessas projeções.

Figura 1 – Dimensão Humana do Índice de Segurança Hídrica em 2035 (sem PNSH)



Fonte: PNSH – ANA, 2019

Figura 2 – Dimensão Humana do Índice de Segurança Hídrica em 2035 (com PNSH)



Fonte: PNSH - ANA, 2019

Desta forma, o PNSH defende uma infraestrutura planejada, dimensionada, implementada e gerida adequadamente, de modo que haja o equilíbrio entre a oferta e demanda d'água.

Dito isso, e levando em consideração a disposição da água no planeta, em que apenas 3% é água doce e estão distribuídas em geleiras (2,3%), subsolo (0,5%) e lagos, rios e atmosfera, o aproveitamento das águas subterrâneas se torna uma alternativa recorrente. Segundo o Serviço de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS (CPRM, 2022), em 2020 havia vinte e sete mil quatrocentos e trinta e um (27.431) poços de água no estado da Bahia, já em 2022, esse número subiu para vinte e sete mil oitocentos e cinquenta e oito (27.858).

Entretanto, as águas de muitos desses poços no semiárido extrapolam a quantidade máxima de sódio, determinada pela Portaria MS 2.419 (BRASIL, 2011) como 7440 mg/L, tornando-as impróprias para o consumo direto.

Em 2014 foi lançado o Programa Água Doce (PAD) pelo Governo Federal. Este programa visa a oferta de água própria para o consumo humano, mediante implementação de estações de dessalinização por osmose reversa (MUNIZ, 2018). Além da oferta de água própria para o consumo, o programa busca um grau maior de sustentabilidade, utilizando o concentrado remanescente da dessalinização na criação de tilápia e na irrigação de erva-mate, fonte de ração de ovinos e caprinos (CORREIO, 2010).

O Programa Água Doce abrange os nove estados do Nordeste e o Norte de Minas Gerais. Em 2020, apenas na Bahia, eram 295 sistemas de dessalinização, implementados em 56 municípios do estado. Dentre os municípios beneficiados podem ser citados





Umburanas e Santa Bárbara, nos quais o grupo PET Engenharias da Universidade Estadual de Feira de Santana desenvolve atividades de cunho extensionista e de pesquisa. Em decorrência desse contato e com a pretensão de dar continuidade à uma pesquisa de modelagem e simulação das unidades de dessalinização dessas comunidades, foi proposto um projeto de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) para monitoramento remoto dessas unidades de dessalinização, buscando acompanhar e otimizar o funcionamento delas.

A seguir, serão descritos a técnica de osmose reversa, bem como a utilização de ferramentas IoT para monitoramento remoto e todo o processo de desenvolvimento do projeto PIBITI, até o presente momento.

## 2 OSMOSE REVERSA

Há mais de 200 anos percebeu-se que alguns materiais naturais, como a parede celular de vegetais, apresentam permeabilidade à água, mas não permitem a passagem de partículas que nela estejam dissolvidas (MANSO e CASTRO-GOMES, 2015; PRODANOVIC *et alii*, 2017; VAN ZELM *et alii*, 2020). Essa descoberta possibilitou o desenvolvimento do processo denominado como Osmose Reversa.

A Osmose Reversa pode ser, então, utilizada para dessalinização d'água salobra. "Através de um processo que utiliza uma pressão externa superior à pressão osmótica, a água atravessa uma membrana semipermeável, passando de uma solução alta concentração de sal para uma de baixo ou com nenhum teor deste composto" (FERRARO, 2008, p. 21). Denomina-se pressão osmótica à diferença de pressão e energia potencial existente entre duas soluções dispostas em lados opostos de uma membrana semipermeável, devido à tendência natural da água de fluir por osmose.

No processo de dessalinização por osmose reversa são produzidos dois tipos de efluentes: o permeado e o concentrado, também chamado de rejeito. O permeado é a água dessalinizada, própria para o consumo. Já o concentrado, é a parcela da água concentrada de partículas que não passaram pela membrana osmótica.

### 2.1 Membrana osmótica semipermeável

Devido ao avanço tecnológico, existem vários tipos de membranas osmóticas semipermeáveis. Segundo Ferraro (2018), podem ser de acetato de celulose, poliamidas aromáticas-aramidas, poliamidas hidrazidas, poliamida de composição avançada e polisulfonas. Cada material possui suas características que atribuem vantagens, mas também restrições referentes à utilização. Por exemplo, a membrana de acetato de celulose tem um limite de pH de 1,5 até 7,0, e pode ser degradada por processo biológico. Na Tabela 1 estão apresentadas as recomendações quanto ao uso de membranas de osmose reversa.

Tabela 1 – Recomendações para uso das membranas de osmose reversa

Material da Membrana	Limite de pH	Limite de Temperatura	Outras Limitações
Acetato de Celulose	1,5 – 7,0	0 – 50 °C	Pode ser degradado por processo biológico
Poliamida	4,0 – 11,0	0 – 46 °C	Não tolera cloro livre
Filme Fino Composto	<1,0 – 13,0	0 – 79 °C	Pode tolerar níveis moderados de cloro livre (100ppm)

Fonte: IDAHO, 1992



## 2.2 Influências da pressão e da temperatura

A pressão e a temperatura são dois parâmetros que muito influenciam no desempenho do processo da osmose reversa. Essa influência se dá tanto na qualidade quanto na quantidade de água produzida. Com o aumento da pressão de alimentação ocorre um aumento na taxa de rejeito de sais, isso porque o aumento da pressão na alimentação do sistema acarreta um aumento do fluxo da água através da membrana, reduzindo a concentração de sólidos totais dissolvidos no permeado.

Já com relação à temperatura da água de alimentação do sistema, essa relação é inversa. Ou seja, com o aumento da temperatura, a taxa de rejeito de sais é reduzida, o que implica numa redução da qualidade do permeado.

## 2.3 Influências da recuperação de água no sistema

A relação entre o fluxo permeado e o fluxo de água de alimentação do sistema define a recuperação de água em um sistema de osmose reversa.

À medida que a recuperação de água aumenta, o fluxo de permeado através da membrana diminui, de modo que, chega um momento que é interrompido. Isso ocorre quando a concentração salina atinge um valor em que a pressão osmótica do concentrado é superior à pressão de alimentação.

Quando comparada com outras tecnologias também empregadas para separação de solvente de um soluto, a osmose reversa permite uma economia de energia, pois nela não há mudança de fase. Além disso, o sistema pode ser instalado em módulos, proporcionando flexibilidade e condições práticas para construção de plantas de pequeno porte.

O consumo de energia e o custo unitário da unidade de osmose reversa para dessalinização estão estreitamente vinculados à tecnologia da membrana. Contudo, a minimização destes fatores se atinge de forma mais contundente durante a operação do processo. Por conta disso, monitorar o funcionamento do sistema se mostra de extrema importância e necessidade. Com o monitoramento é possível ter acesso os parâmetros de operação da unidade e verificar se estão de acordo com as previsões nas escolhas de projeto e configuração, disponíveis no manual de operações.

## 3 INCORPORAÇÃO DE FERRAMENTAS IoT PARA MONITORAMENTO

O termo IoT (do inglês *Internet of Things*) diz respeito à interconexão digital de objetos comuns do cotidiano com a internet. A base para esse conceito foi estabelecida no início dos anos 2000 por Kevin Ashton, no laboratório de AutoID no MIT.

A conexão de vários objetos com diferentes recursos em uma única rede potencializa o surgimento de novas aplicações. A IoT permite uma comunicação entre usuários e dispositivos.

Como vantagens da utilização dessa ferramenta podem ser citadas economia de tempo, aumento de produtividade, maior compreensão dos processos e eficiência na gestão. Por outro lado, apontam-se como desvantagens o investimento em tecnologia, redução de privacidade, falta de compatibilidade entre dispositivos e a geração de resíduos.

Há muitos exemplos na literatura da evolução de sistemas com a incorporação de ferramentas IoT, em particular em casos que se aproximam da proposta do projeto de monitoramento remoto das unidades de dessalinização por osmose reversa, com a utilização de microcontroladores da série Arduino Uno e/ou computadores de placa única



Raspberry Pi, sendo soluções de baixo custo para realizar o monitoramento e controle das variáveis das operações.

Podem ser citados aqui cinco exemplos relacionados na literatura recente, representativos da evolução dos sistemas no sentido da incorporação das ferramentas IoT, com casos próximos, convergentes, criativos e versáteis: 1) microcontroladores modulares da série Arduino Uno e/ou computadores de placa única Raspberry Pi, soluções de baixo custo para monitoramento e controle: aquários de peixes domésticos, acompanhando com sensores de pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, nível d'água e temperatura (LIN e TSENG, 2019); 2) armazenamento de dados em nuvem para monitoramento de radiação solar, umidade, temperatura, dióxido de carbono, pH, condutividade elétrica, consumo de líquido, pressão e vazão, todos articulados com atuadores como bombas, válvulas, umidificadores, ventiladores, iluminação e janelas móveis, no que denomina-se agricultura de precisão (ZAMORA-IZQUIERDO e colaboradores, 2019); 3) monitoramento de ocorrências ambientais mediante a avaliação de mensagens em rede social e análise de discurso (PERIÑÁN-PASCUAL e ARCAS-TÚNEZ, 2019); 4) acionamento de equipamentos em uma rede de estações de grande porte, migrando da operação *in situ* para *in silico*, inclusive aumentando a complexidade da grade com a incorporação de energias renováveis (eólica e fotovoltaica) e analisando as variáveis, de forma que convirjam a preços menores pelo metro cúbico d'água (YAQUB e colaboradores, 2019); 5) arquitetura baseada em computação em nuvem e IoT, para monitorar e controlar o tratamento de água de dessalinização (ALSHEHRI e colaboradores, 2021).

Todos estes trabalhos apontam o desenvolvimento e utilização de sistemas físico-cibernéticos que, além de reunir a observação em painéis de consolidação de variáveis e parâmetros, permitem melhorar o funcionamento das unidades e atenuar a ocorrência de falhas na operação, que eventualmente ocasionam paradas longas dos equipamentos e, contingentemente, demandam investimentos para sua substituição.

#### 4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PIBITI

Com o objetivo de melhorar a qualidade de vida nas comunidades de agricultura familiar de Umburanas e Santa Bárbara, localizadas no semiárido baiano, mediante a inclusão de tecnologias sociais pertinentes e relacionadas com a segurança alimentar, especialmente com o atingimento da segurança hídrica, foi pensada a implementação de um sistema de monitoramento remoto, para as unidades de osmose reversa existentes nestas localidades, utilizando microcontrolador Arduino e sensores que permitem acompanhar o funcionamento das unidades.

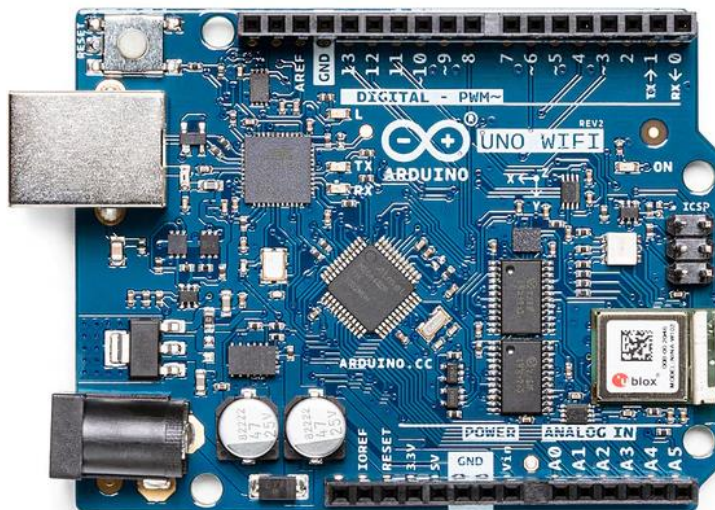
Arduino é uma plataforma de código aberto para criação de protótipos baseada em hardware e software livres e fáceis de usar. Pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos independentes, podendo ser conectado a um computador ou até mesmo à internet.

As placas de Arduino, denominadas como microcontroladores Arduino, são pequenos computadores programáveis, capazes de receber informações e transmiti-las para componentes externos, como motores, LEDs, sensores, entre outros, utilizando a linguagem de programação Arduino e o Software Arduino. Existem vários modelos e famílias de microcontroladores Arduino: Arduino Nano, Arduino MKR, Arduino Uno, entre outros. Na Figura 3 é possível visualizar uma placa do Arduino Uno WiFi REV2.





Figura 3 – Microcontrolador Arduino Uno WiFi REV2



Fonte: Arduino

Os sensores são dispositivos eletrônicos sensíveis a alguma forma de energia, podendo ela ser luminosa, térmica, cinética, e que relaciona informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada, como por exemplo a temperatura, pressão, velocidade, posição, aceleração. Os sensores captam informações específicas e armazenam, ou então encaminham essas informações em formas de sinais que são convertidos e interpretados por outros dispositivos. De acordo Karvinen e Karvinen (2014) sensores são componentes elétricos que funcionam como dispositivos de entrada.

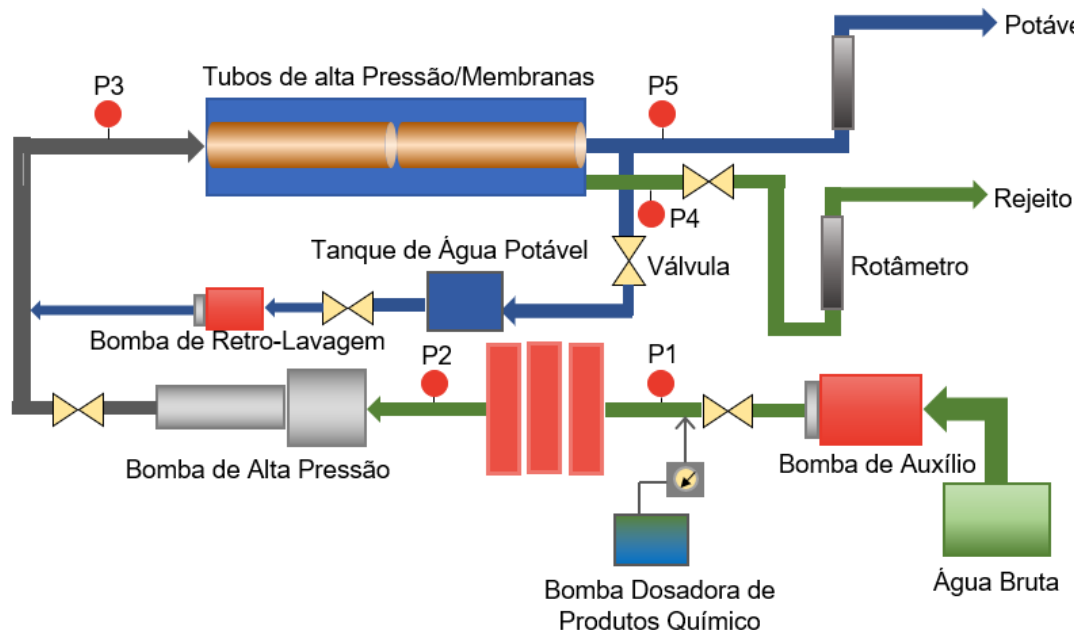
Na implementação do sistema de monitoramento é necessária, primeiramente, a realização de um diagnóstico dos parâmetros de funcionamento das unidades. Tal diagnóstico se deu com auxílio do Manual de Operação de Osmose Reversa da unidade de dessalinização implementada no povoado de São José, em Umburanas. Com ele foi possível confirmar alguns parâmetros de operação para a unidade citada, como a vazão e pressão de água de alimentação, vazão do permeado, frequência de retro lavagem e condições para manutenção com limpeza química.

Em seguida, foi preciso identificar e definir os equipamentos eletrônicos que precisariam ser utilizados, para então realizar a aquisição e preparação para implantação. Visando obter informações a respeito das características da água e do dessalinizador, e levando em consideração a estrutura do dessalinizador da unidade do povoado de São José (Figura 4), foi projetado que seriam necessários 5 sensores de fluxo, 5 sensores de pressão, 3 sensores de temperatura, 3 sensores de totais de sólidos dissolvidos, 3 sensores de oxigênio dissolvido e 3 sensores de pH, além do microcontrolador Arduino, protoboard, jumpers, tela LCD e potenciômetro, para cada unidade de dessalinização.

Isso porque os sensores de fluxo e pressão serão implementados na alimentação (antes e depois dos filtros), antes da membrana, na saída do permeado e na saída do rejeito. Os demais sensores instalar-se-ão na alimentação d'água, na saída do permeado e na saída do rejeito.

Com os sensores identificados, deu-se início ao estudo da montagem física e programação dos sensores, utilizando a linguagem Arduino. Obteve-se então, a programação base para cada sensor, após o que ainda será necessárias a calibração e adequação da programação com os sensores devidamente instalados.

Figura 4 – Esquemática da estrutura do dessalinizador da unidade de São José – Umburanas



Fonte: Própria autoria, 2022

Para além do planejado e descrito no Plano de Trabalho mencionado, posteriormente foi introduzido o desenvolvimento de um site que possa ser utilizado como um painel de controle para o monitoramento das unidades de osmose reversa, onde seria possível visualizar as informações obtidas os sensores e o microcontrolador Arduino. Para isso, seria utilizado a linguagem de programação PHP e o desenvolvimento seria via WordPress, utilizando o MySQL como banco de dados.

O PHP (*Hypertext Preprocessor*) é uma linguagem de programação de *script open source* de uso geral, muito utilizada para o desenvolvimento web, e que pode ser embutida dentro do HTML. O diferencial do PHP em relação ao JavaScript, por exemplo, é que o código é executado no servidor, gerando o HTML, que então é enviado para o navegador. O navegador, por sua vez, recebe os resultados da execução do script, porém, não sabe qual era o código fonte.

O WordPress é uma plataforma de código aberto que pode ser utilizada para criar sites, aplicativos ou blogs. Baseada em PHP e MySQL, atualmente a plataforma é escolhida por mais de 43% de todos os sites da internet.

O MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados, que utiliza a linguagem SQL como interface, que é a linguagem mais popular para inserir, acessar e gerenciar o conteúdo armazenado num banco de dados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É perceptível a grande necessidade de buscar adotar novas medidas de gestão de recursos hídricos, como explicitado pelo PNSH, para garantir a segurança hídrica no país. A exploração da água subterrânea e a sua dessalinização com a técnica da osmose reversa possibilitam o acesso a água doce e limpa, garantindo mais qualidade de vida para a população.

A adoção de um sistema de monitoramento, utilizando ferramentas IoT, nas unidades de dessalinização que o Programa PAD contempla na atualidade, torna-se uma grande





aliada no enfrentamento à insegurança hídrica, visto que viabiliza um melhor desempenho no processo de dessalinização, garantindo uma água mais limpa e uma economia no consumo de energia e no custo unitário da unidade.

Tanto a retomada das atividades *in loco*, assim como a sua continuidade, inclusive em municípios adicionais aos inseridos no começo do Plano (Conceição de Coité, Ipirá, Quijingue, por exemplo), atendendo à amplitude de cobertura do Programa Água Doce, proporciona maior sentido ao monitoramento integrado de unidades distribuídas de dessalinização.

Esta perspectiva torna-se mais exequível a partir do momento em que o Plano começa a ser executado em colaboração com o Movimento de Organização Comunitária – MOC, de supervisão da instalação e funcionamento das unidades, tendo como foco o retorno ao funcionamento pleno das unidades com funcionamento interrompido por problemas operacionais, racionalizando os recursos a serem aplicados nessa iniciativa.

## REFERÊNCIAS

ALSHEHRI, M.; BHARDWAJ, A.; KUMAR, K.; MISHRA, S.; GYANI, J. Cloud and IoT based smart architecture for desalination water treatment. **Environmental Research** 195(April): 110812. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110812>.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Plano Nacional de Segurança Hídrica** / Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 112p, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

CORREIO, Jornal. **Bahia lança programa que transforma água salgada em doce**. Salvador, 2010. Disponível em: <<https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/bahia-lanca-programa-que-transforma-agua-salgada-em-agua-doce/>> Acesso em: 14 de março de 2019.

CPRM - **Serviço Geológico do Brasil**. Sistemas de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)> Acesso em: 15 de abril de 2022.

FERRARO, R. J. S. **Sistema de Osmose Reversa**. Universidade São Francisco. Curso de Engenharia Mecânica. Campinas – São Paulo. 2008.

IDAHO – National Engineering Laboratory, **Waste Treatment Technologies**, EGG-WMO10244, Vol. 13, EG&G Idaho, Inc. Idaho Falls, Idaho, 1992.

KARVINEN, K.; KARVINEN, T. **Getting started with sensors**. Maker Multimedia, Sebastopol, EUA, 140 p., 2014.

LIN, Y.-B.; TSENG, H.-C. FishTalk: An IoT-based mini aquarium system. **IEEE Access** (7):35457-69. 2019. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2905017>.







MANSO, M; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 (2015) 863–871. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>

MUNIZ, B.A. **Água Doce entrega 145 Sistemas na Bahia**. Brasília, 2018. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/informma/item/15267-%C3%A1gua-doce-entrega-145-sistemas-de-dessaliniza%C3%A7%C3%A3o.html>> Acesso em: 15 de março de 2019.

PERIÑÁN-PASCUAL, C.; ARCAS-TÚNEZ, F. Detecting environmentally-related problems on Twitter. *Biosystems Engineering* (177), January 2019:31-48. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.001>.

PRODANOVIC, V.; HATT, B.; MCCARTHY, D.; ZHANG, K.; DELETIC, A. Green walls for greywater reuse: Understanding the role of media on pollutant removal. *Ecological Engineering* 102 (2017) 625–635. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.045>

VAN ZELM, E.; ZHANG, Y.; TESTERINK, C. Salt tolerance mechanisms of plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2020. 71:24.1–24.31. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005>

YAQUB, O.; AL-NASSER, A.; SHELTAI, T. Implementation of a hybrid wind-solar desalination plant from an Internet of Things (IoT) perspective on a network simulation tool. *Applied Computing and Informatics* (15)1, January 2019:7-11. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2018.03.001>.

ZAMORA-IZQUIERDO, M.A; SANTA, J.; MARTÍNEZ, J.A.; MARTÍNEZ, V. SKÁRMETA, A.F. Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing. *Biosystems Engineering* (177), January 2019:4-17. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.014>.

## THE USE OF THE INTERNET OF THINGS FOR DISTRIBUTED MONITORING OF REVERSE OSMOSIS DESALINATION UNITS IN BAHIA

**Abstract:** *The National Water Security Plan for 2035 understands that the water infrastructure currently in operation is insufficient to provide water security above the minimum to a significant proportion of the population. In line with this trend pointed out by, the present work reports the proponents' insertion in the line of the initiative of the Água Doce (Fresh Water) Program. After realizing in loco desalination systems installed in the 56 municipalities of Bahia deserve, intended to act preventively or correctively, attention and effort has been devoted to the modeling, simulation, monitoring, and remote control of them, seeking to provide a safe operation and stable for them, as well as their operational optimization. Parameterization and initial tests were developed from units located in two municipalities (Umburanas and Santa Bárbara), one of them in satisfactory operation, after which the follow-up will be extended to other similar units in another three municipalities (Conceição de Coité, Ipirá and Quijingue), also attended by managers linked to the implementation and monitoring of the Program in Bahia.*





**Keywords:** *cybernetics, infrastructure, sustainable development, water security*

