

UNIVERSIDADE FEEVALE

JOÃO LUIZ KRAUSPENHAR SEGER

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTÔNOMO DE IRRIGAÇÃO COM
BASE EM UM MODELO BAYESIANO**

Novo Hamburgo

2020

JOÃO LUIZ KRAUSPENHAR SEGER

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTÔNOMO DE IRRIGAÇÃO COM
BASE EM UM MODELO BAYESIANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Ciências da Computação pela
Universidade Feevale

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Muniz Barros

Novo Hamburgo

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, me auxiliaram e suportaram durante o desenvolvimento deste trabalho. Aos meus amigos, familiares e colegas que convivem comigo diariamente.

Agradeço a minha namorada por sempre me apoiar, incentivar e me auxiliar sem medir esforços.

Agradeço ao meu orientador por ter me auxiliado e dado suporte durante esse período do trabalho de conclusão.

Agradeço a especialista Janete por ter se disponibilizado e auxiliado para tornar possível a conclusão deste estudo.

RESUMO

A quantidade de água própria para consumo no mundo tem um valor muito reduzido, devendo ser levado em consideração qualquer possibilidade de redução em seu consumo e desperdício. Apesar de o Brasil possuir grandes reservas de água potável, não se tem uma distribuição homogênea, desta forma, a água não chega às plantações de forma direta, e com o aumento nas áreas de cultivo é necessário a utilização de irrigação. A irrigação é responsável pela maior porcentagem de água utilizada e tem como consequência um grande desperdício, pois suas abordagens normalmente não utilizam técnicas que se baseiam em dados, mas sim irrigam em grande quantidade de água, o que aumenta ainda mais o desperdício. Atualmente, o custo de equipamentos que automatizam a coleta de dados e auxiliam na tomada de decisão para irrigação, torna viável este controle para agriculturas no âmbito familiar. Desta forma, este trabalho apresenta algumas das principais técnicas que podem auxiliar na tomada de decisão, sendo elas: Redes Neurais, Lógica Fuzzy e Redes Bayesianas. Do mesmo modo, este trabalho traz uma abordagem mais profunda para tomada de decisão com uso de redes bayesianas, visto que essa se apresenta como uma técnica significativamente positiva para o propósito de controle de irrigação. Para avaliação desta técnica, desenvolveu-se um protótipo de irrigação automática que recebe o resultado da rede bayesiana, e seus resultados foram comparados ao de uma pessoa com conhecimento em agricultura familiar, constatando-se que a partir deste modelo pode-se reduzir significativamente o desperdício de água.

Palavras-chave: Redes Bayesianas. Aprendizado de máquina. Internet das coisas. Agricultura familiar. Irrigação.

ABSTRACT

The amount of water suitable for consumption in the world has a very low value, and any possibility of reducing its consumption and waste should be taken into account. Although Brazil has large reserves of drinking water, it does not have a homogeneous distribution, thus, water does not reach the plantations directly and with the increase in the cultivation areas it is necessary to use irrigation. Irrigation is responsible for the highest percentage of water used and results in great waste, as its approaches do not normally use techniques that are based on data, but rather irrigate in large amounts of water, which further increases waste. Currently, the cost of equipments that automates data collection and helps on decision-making for irrigation, makes this control viable for family farms. Thus, this academic work presents some of the main techniques that can assist on decision making, namely: Neural Networks, Fuzzy Logic and Bayesian Networks. Likewise, this work brings a deeper approach to decision-making with the use of Bayesian networks, as this presents itself as a significantly positive technique for the purpose of irrigation control. To evaluate this technique, a prototype of automatic irrigation was developed, it receives the result of the Bayesian network, and its results were compared to that of a person with knowledge in family farming, showing that from this model the waste of water can be significantly reduced.

Keywords: Bayesian Networks. Machine Learning. Internet of Things. Family Farming. Irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de consumo de água no Brasil	16
Figura 2 - Irrigação por método de aspersão	17
Figura 3 - Irrigação por método de gotejamento	18
Figura 4 - Irrigação por método de pivô central	19
Figura 5 – Irrigação por método de inundação.....	19
Figura 6 - Densímetro.....	21
Figura 7 - Neurônio segundo McCulloch e Pitts (1943).....	23
Figura 8 - Lógica Fuzzy	24
Figura 9 - Redes Bayesianas	25
Figura 10 - Estrutura Rede Bayesiana	28
Figura 11 - Rede bayesiana com probabilidade	29
Figura 12 - Tipos de Conexões em uma Rede Causal.....	31
Figura 13 - Triangulação com Heurística do Peso Mínimo.....	33
Figura 14 - Número de publicações por ano	35
Figura 15 - Demonstração de tipo de publicações	36
Figura 16 - Diagrama do protótipo.....	39
Figura 17 - Rede bayesiana	42
Figura 18 - ESP32s com protoboard	44
Figura 19 - Sensor de Umidade do Solo Arduino S12.....	45
Figura 20 - Módulo do Sensor de Umidade de Solo.....	45
Figura 21 - Módulo Relé 3V 1 Canal	46
Figura 22 - Válvula Solenoide para Água 12V NF 180° (3/4 x 3/4)	47
Figura 23 - Primeira foto da primeira validação.....	50
Figura 24 - Segunda foto da primeira validação.....	52
Figura 25 - Terra adubada.....	54
Figura 26 - Dia do plantio da segunda validação	55
Figura 27 - Primeira avaliação da segunda validação.....	56
Figura 28 - Segunda avaliação da segunda validação.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Listagem de 10 dias da primeira validação	51
Quadro 2- Listagem de 15 dias da primeira validação	52
Quadro 3 - Listagem de 10 dias da segunda validação	55
Quadro 4 - Listagem de 15 dias da segunda validação	57

LISTA DE SIGLAS

IA	Inteligência Artificial
IE	Irrigação Efetuada
IOT	Internet das Coisas
QOA	Quantidade Ótima de Água
TIC	Temperatura Ideal da Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 IRRIGAÇÃO	15
2.1 TÉCNICAS DE IRRIGAÇÃO	16
2.1.1 Sistema por método de aspersão	16
2.1.2 Sistema por método de gotejamento	17
2.1.3 Sistema por método de pivô central	18
2.1.4 Sistema por método de inundação	19
2.2 FORMAS DE CONTROLE DE IRRIGAÇÃO	20
3 TÉCNICAS PARA SUPORTE À DECISÃO	22
3.1 REDES NEURAIS	22
3.2 LÓGICA FUZZY	23
3.3 REDES BAYESIANAS	24
4 FUNCIONAMENTO E UTILIZAÇÃO DAS REDES BAYESIANAS	26
4.1 TEOREMA DE BAYES	26
4.2 CONCEITO	27
4.3 UTILIZAÇÃO	31
4.4 ÁRVORES DE JUNÇÃO	32
4.4.1 Moralização	32
4.4.2 Triangulação	32
4.4.3 Construção da Árvore de Junção	33
4.4.4 Propagação de Crenças	33
5 TRABALHOS CORRELATOS	35
6 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	39

6.1 APLICAÇÃO	40
6.1.1 Modelagem do Conhecimento.....	41
6.2 PROTÓTIPO DE IRRIGAÇÃO	43
6.2.1 Aplicação ESP32.....	47
7 AVALIAÇÃO DO MODELO UTILIZANDO O PROTÓTIPO	49
7.1 PLANTIO DE ALFACE	49
7.2 PRIMEIRA VALIDAÇÃO.....	49
7.3 SEGUNDA VALIDAÇÃO	53
7.4 DISCUSSÃO SOBRE AS VALIDAÇÕES.....	58
8 CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICES.....	69
APÊNDICE A – Aplicação do ESP32.....	70
APÊNDICE B – Aplicação Nodejs	73

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a literatura, uma grande parte da superfície do nosso planeta é coberta por água, por isso é considerado o planeta azul (VILLES *et al.*, 2019). Porém, somente cerca de 3% dessa água é doce (GOMES, 2012). Ainda de acordo com os autores, a água doce própria para consumo é proveniente de vários locais, como represas, rios e até do mar (utilizando de dessalinização), sendo que essa água é armazenada em reservatórios de distribuição e posteriormente enviada para os locais de consumo. Com o atual crescimento da população mundial, estima-se que em 2050 a quantidade de água doce por pessoa seja de 4380m³. Este resultado não sugere uma escassez global que seja previsível (JOHANSSON *et al.*, 2002), entretanto, mais de um bilhão de pessoas já sofrem com a falta de água potável.

No Brasil a situação é outra, temos água em quantidade abundante, possuímos 12% do total de água doce do mundo. Porém, sua distribuição não é uniforme em todo o País, gerando assim, escassez em locais muito habitados - como grandes capitais e, em seu mais baixo índice, que se concentra no nordeste, observa-se longos períodos de falta de água, ao contrário de outros locais pouco habitados, como, por exemplo, a Amazônia, que possui a maior bacia fluvial do mundo (GOMES, 2012).

A irrigação começou a ser utilizada no século XX no cultivo do arroz no Rio Grande do Sul, sendo também expressiva em outras regiões nas décadas de 70 e 80. A irrigação auxilia para que exista cultivo em regiões com alto índice de escassez, pois para a maioria dos cultivos existe a necessidade de grandes quantidades de água. No Brasil, cerca de 67,2% da água é consumida pela irrigação, sendo que o restante é dividido em abastecimento animal, mineração, indústria, termelétricas, abastecimento urbano e abastecimento rural. Com base nesses dados, é possível observar que a maior parte da água é utilizada no setor agrícola, a fim de suprir possíveis deficiências hídricas. Nas principais culturas irrigadas encontram-se a cana de açúcar e o arroz. Cada cultura pode utilizar de um dos diferentes métodos para a irrigação, podendo citar: Pivô central, inundação e, por fim, o gotejamento (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Além do alto consumo, a irrigação também possui grande desperdício: cerca de 42% da água utilizada para irrigação é representada por 3 trilhões de litros de água. Esse desperdício pode ocorrer por vários fatores, sendo eles: irrigação feita incorretamente, falta de controle do produtor ou forma de irrigação ineficiente

(GIBERTONI; PANDOLFI, 2015). Outro problema que também gera grande desperdício de água na irrigação, em grande parte, ocorre pela evaporação que acontece pela utilização de água em volume desnecessário (BERTONCINI, 2008), sendo que se a irrigação fosse utilizada de forma mais consciente, cerca de 20% da água seria economizada (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999). Esse excesso consumido também contribui para o transporte com maior alcance de fertilizantes e pesticidas, assim, poluindo águas tanto superficiais quanto subterrâneas (BERTONCINI, 2008). Com base na literatura, é possível observar diversas inovações no contexto da irrigação, onde gradativamente o uso de abordagens baseadas em dados permitem à agricultores/gerentes uma melhor tomada de decisão (KUMAR et al., 2015).

Um subcampo que trata de abordagem de dados é o aprendizado de máquina, ele utiliza técnicas que objetivam serem utilizadas nos mais variados cenários possíveis. Entre eles a identificação, o tratamento de doenças e a irrigação. Estes dados podem ser utilizados nas mais diversas formas para análise ou até mesmo para tomada de decisão (DRURY et al., 2017).

Existem inúmeros modelos para suporte à decisão, sendo utilizados para diferentes fins, como é possível observar no trabalho desenvolvido por Goldstein (2018), onde coletou-se dados de sensores unindo à planos de irrigação reais definidos por um engenheiro agrônomo no passado, buscando compreender o processo para tomada de decisão na irrigação. De outra forma, o modelo de previsão também pode ser utilizado para evitar colisões de carros (JANSSON; GUSTAFSSON, 2008) ou até mesmo em jogos de aprendizagem para saúde (BEZ et al., 2016).

Muitas destas abordagens utilizam técnicas para auxiliar na tomada de decisão baseada em incerteza, entregando, assim, uma alternativa com melhor probabilidade de assertividade quando não é possível conhecer toda a realidade (COSTA; MACHADO; MORAES, 2014). Pode-se utilizar de exemplo de técnica para a tomada de decisão, a Máquina de Estado Fuzzy, a qual aceita valores como talvez ou meio certo. Algumas aplicações desta teoria são empregadas em aspiradores de pó, máquinas de lavar, câmeras fotográficas, ar condicionado entre outros (HEDLEY et al., 2013). As Redes Neurais estão em um campo ligado à inteligência artificial (IA), nas quais objetivam a implementação de modelos matemáticos que visam se assemelhar a estruturas neurais biológicas, buscando adaptações de seus parâmetros conforme o resultado de interações externas, assim causando uma

melhora gradativa de seu desempenho para determinar a solução do problema (AGUADO; CANTANHEDE, 2010). Outra abordagem refere-se as redes bayesianas, caracterizando-se por estruturas ricas para aplicações em problemas do mundo real que variam de biomédicos à petrofísicos (WIEGERINCK; BURGERS; KAPPEN, 2013).

Redes Bayesianas são modelos gráficos de relações probabilísticas entre um conjunto de variáveis, sendo representadas por grafos acíclicos, nos quais cada nó é uma variável aleatória e as relações entre as variáveis são representadas pelas arestas do grafo (DRIVE; PARK; CHARNIAK, 1991). A rede bayesiana se tornou popular pela possibilidade de representar conhecimento incerto (FERNEDA, 2006), fato que teve origem devido a sua rigorosa fundamentação em modelos matemáticos (FLORES et al., 2003). Segundo Heckerman (2008) o modelo bayesiano tem pelo menos quatro vantagens a oferecer: (1) lidar facilmente com conjuntos incompletos; (2) permitir aprendizado de relações causais; (3) as técnicas estatísticas facilitam a combinação de conhecimento de domínio e dados e (4) o uso da abordagem bayesiana pode ser aperfeiçoado a fim de usar todos os dados disponíveis para o treinamento.

Por esses motivos, as redes bayesianas vêm sendo utilizadas para a resolução de um variado número de problemas. Alguns exemplos de pesquisas utilizando redes bayesianas são: análise de desempenho (HECKERMAN; GEIGER; CHICKERING, 1995), previsão de preço de commodity (COUTINHO; PADILHA; DANTAS, 2016), algoritmos de recomendação (AGUIAR; BORESTEIN, 2012), entre outros. As redes bayesianas eram pouco utilizadas na área agrícola, devido sua curva de aprendizado íngreme e falta de ferramentas (DRURY et al., 2017). Desta forma, muitos artigos tomaram como base metodologias que utilizam de uma construção manual, porém, esta metodologia foi substituída por abordagens orientadas a dados, pois as abordagens de prática manual requerem um esforço muito grande ou entregam uma má qualidade de dados, não sendo recomendada no uso de redes bayesianas. Entretanto, com o surgimento de sensores mais baratos, as formas de coleta de dados estão mais acessíveis, tornando o uso da abordagem orientada a dados mais viável na área agrícola. O grande aumento da disponibilidade de dados e empresas que usam aprendizado de máquina junto a agricultura deve impulsionar o uso de redes bayesianas (DRURY et al., 2017).

A coleta de dados reais e precisos pode colaborar no processo de tomada de decisão, assim sendo, atualmente, equipamentos de Internet das Coisas (IOT) são muito empregados no processo de coleta de dados, além de possuir um grande potencial para serem utilizados em vários domínios e ambientes. É um instrumento também para automatização de residências, automatizando processos como fazer café, controle de climatização de ambientes, tvs e demais aparelhos, que também possibilitam com que esses aparelhos possam se comunicar via internet (DRURY et al., 2017).

Há algum tempo, um limitante para a adoção de objetos inteligentes era o custo, porém, atualmente é possível encontrar soluções como Raspberry Pi, Arduino, entre outros que são opções com bom custo benefício (AL-FUQAHA et al., 2015). O ESP32 é uma excelente opção para unidade de processamento contando desempenho e preço, pois seu desempenho é excelente devido ao seu núcleo duplo e uma significativa extensão de recursos (MAIER; SHARP; VAGAPOV, 2017). De acordo com os autores, os dispositivos de sensoriamento remoto estão se tornando muito mais acessíveis e podem gerar dados em grande quantidade em tempo real ou quase real. Eles auxiliam na coleta e/ou processamento de dados de forma que consiga se utilizar destes dados em tempo real, desta maneira, possibilitando a tomada de decisão instantaneamente. A união destes sensores à técnicas de tomada de decisão consegue auxiliar em várias áreas, sendo uma delas a área da agricultura (DRURY et al., 2017).

Desta forma, desenvolveu-se um modelo bayesiano com a finalidade de efetuar irrigação, tendo o auxílio de uma especialista da área que proporcionou as variáveis a serem utilizadas e suas quantias. Com isso, este modelo proporcionará como saída a possibilidade de irrigação. Para possibilitar a avaliação do modelo, construiu-se um protótipo utilizando de dispositivos de IOT, acoplado a um sensor de umidade que envia os dados necessários a uma aplicação web, na qual os recebe e gera uma listagem de nodos para serem utilizados em uma inferência utilizando-se redes bayesianas. Por fim, seu resultado é retornado ao protótipo, no qual efetua ou não uma irrigação, por uso de uma válvula solenoide.

Neste contexto, o presente estudo buscou apresentar o desenvolvimento de uma solução de irrigação no âmbito da agricultura familiar, referindo-se a um sistema de baixo custo e de fácil acesso, visando atuar de forma autônoma mantendo a qualidade da produção agrícola e reduzindo o consumo efetivo de água.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de irrigação com base em um modelo bayesiano para auxiliar na tomada de decisão para a agricultura familiar.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica sobre redes bayesianas, sistemas de irrigação e redes bayesianos;
- Desenvolver modelo bayesiano;
- Desenvolver protótipo para avaliação do modelo proposto;
- Avaliar desempenho do modelo bayesiano utilizando o protótipo;
- Reduzir a quantidade de água utilizada na irrigação da agricultura familiar.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para fins didáticos, a estrutura deste trabalho está dividida em 9 capítulos. Primeiramente, no capítulo 1, apresenta-se a introdução e os objetivos da presente proposta. No capítulo 2 traz-se a apresentação do conceito de irrigação, seus métodos, formas de controle, características e dificuldades. Por sua vez, no capítulo 3, demonstra-se as técnicas utilizadas para a tomada de decisão, suas finalidades e características. No capítulo 4, apresenta-se com maior profundidade a técnica de redes bayesianas, demonstrando o teorema de Bayes, seu surgimento e sua utilização. Já no capítulo 5, traz-se uma revisão de literatura de trabalhos que serviram como embasamento ao presente estudo. O capítulo 6 apresenta o desenvolvimento do modelo de representação bayesiano e o desenvolvimento do protótipo, seguido do capítulo 7 que traz as avaliações do sistema de irrigação desenvolvido no capítulo 6. Por sua vez, o capítulo 8 busca demonstrar alguns possíveis trabalhos a serem seguidos, e por fim, o capítulo 9 apresenta os resultados da presente pesquisa e as suas conclusões.

2 IRRIGAÇÃO

A irrigação vem sendo utilizada desde os primórdios das antigas civilizações, porém, observa-se uma maior notoriedade de sua existência no Egito, onde mesmo estando em uma região de terreno árido conseguia cultivar várias culturas. Em outras regiões com a água sendo suprida por ações climáticas bastante favoráveis, a agricultura veio a se desenvolver com maior antecedência e inicialmente não sentiram a necessidade de utilizar a irrigação. Esse é o caso do Brasil, onde a irrigação teve início na década de 1900, na cultura do arroz no Rio Grande do Sul, tendo maior notoriedade em outros estados nas décadas de 1970 e 1980 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Ainda de acordo com a Agência Nacional de Águas (2017) a necessidade de irrigação ocasiona-se de diversos fatores, um deles refere-se a escassez contínua, dado como exemplo o Semiárido Brasileiro, onde torna-se fundamental devido a agricultura só se viabilizar por sua utilização. Outro fator refere-se a escassez parcial, como é o caso de alguns períodos do ano, como por exemplo a região central do País, onde a escassez fica concentrada em 5 meses do ano. Além disso, algumas outras culturas necessitam de uma irrigação suplementar.

No Brasil, o consumo de água por da irrigação ultrapassa o somatório dos demais consumos, demonstrando que seu o consumo é altamente significativo. Na Figura 1, é possível observar esse consumo graficamente, podendo verificar que cerca de 11% é utilizado para abastecimento populacional, ou seja, a água que bebemos. Porém, necessitamos de irrigação com a finalidade de produção de alimentos, assim sendo necessário trazer consciência da utilização da água, a fim disso devemos analisar as técnicas que são utilizadas para irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Figura 1 - Gráfico de consumo de água no Brasil

TOTAL DE ÁGUA CONSUMIDA NO BRASIL

(Média Anual)



Fonte: Agência Nacional de Águas (2017)

2.1 TÉCNICAS DE IRRIGAÇÃO

Existem vários métodos para efetuar a irrigação, sendo que possuem peculiaridades para auxiliar na irrigação de cada tipo de cultura. Desta forma, a cultura consegue atingir certa excelência em produção, sendo assim, existem entre essas técnicas o método de aspersão, o método de gotejamento, o método de pivô central e o método de inundação (FIALHO, 2015).

2.1.1 Sistema por método de aspersão

Refere-se ao método em que a irrigação é efetuada pelo disparo de um jato de água sobre as plantas, criado por um aspersor ou spray obtendo assim a formação de gotas, que tem como ideia a simulação de chuva. Essa tecnologia foi desenvolvida para contensão de incêndio por volta de 1800, posteriormente começou a ser utilizada em jardins para automatização de irrigação. A popularização deste método de irrigação foi no século XX, com a chegada de aspersores rotativos (TESTEZLAF, 2011).

Figura 2 - Irrigação por método de aspersão



Fonte: Conheça os materiais de irrigação por aspersão (2019)

Como desvantagem o método de aspersão tem a diferente quantidade de água aplicada ao longo de seu disparo, porém, seu preço é bastante acessível, o que torna bastante comum sua utilização (FIALHO, 2015). A Figura 2 demonstra o método de irrigação por aspersão sendo utilizado em uma plantação, assim podendo ser observado a desigualdade de água aplicada.

2.1.2 Sistema por método de gotejamento

O método de irrigação por gotejamento é caracterizado por utilizar de uma mínima quantidade de água em formato de gotas, com pequeno intervalo entre irrigações. A irrigação é feita na raiz da planta como demonstrado na Figura 3, irrigando parte do solo ao seu redor, assim reduzindo perdas quando comparado ao sistema de aspersão. Seus maiores avanços foram obtidos após a segunda guerra mundial, onde tubos de plásticos e outros emissores começaram a ser utilizados em estufas na Europa e Estados Unidos. Nesse método é necessário que a pressão na tubulação onde está inserido seja dissipada a fim de atingir a pressão atmosférica em sua saída (TESTEZLAF, 2011).

Figura 3 - Irrigação por método de gotejamento



Fonte: Empresa de irrigação por gotejamento (2019)

O maior obstáculo neste método é no aumento de escala, como no caso de grandes fazendas, pela necessidade de possuir um cano que passe próximo a raiz de cada planta. Esse método não requer muitas técnicas sofisticadas de manuseio, sendo necessário somente a manutenção em caso de rompimento ou desgaste dos equipamentos (FIALHO, 2015).

2.1.3 Sistema por método de pivô central

Este sistema de irrigação consiste em uma estrutura suspensa que se movimenta em torno de um ponto fixo, nomeado pivô. Essa estrutura é mantida acima do solo, sustentada por uma estrutura metálica, constituída por tesouras e cabos de aço construídas sobre rodas. Cada torre conta com um motor para acionamento da movimentação dos aspersores, assim girando sem esforço manual sobre o plantio (SILVA; AZEVEDO, 1998).

Figura 4 - Irrigação por método de pivô central



Fonte: Energia (2019)

Neste método de irrigação é possível alcançar níveis muito promissores de uniformidade de aplicação de água (DE OLIVEIRA et al., 2004), e como demonstrado na Figura 4, este método pode cobrir grandes áreas de forma automatizada.

2.1.4 Sistema por método de inundação

O método de irrigação por inundação se inicia na construção de um reservatório deixando o plantio em meio dele, com 0,10m de profundidade e um declive de 0,5%. Um tubo de PVC é instalado ao fundo deste reservatório para permitir seu esvaziamento após a irrigação. Para iniciar a irrigação é acionado uma bomba que tem por finalidade encher o reservatório por completo (ANDRIOLO; BOEMO; BONINI, 2001).

Figura 5 – Irrigação por método de inundação



Fonte: Nunes (2015)

A cultura que mais utiliza deste método é a do arroz, conforme demonstrado na Figura 5, pois há uma diminuição do crescimento de plantas indesejadas, controle de temperatura do solo, aumento nos nutrientes, economia em mão de obra e aumento na fotossíntese devido ao reflexo gerado pela luz na água nas plantas inferiores (TESTEZLAF, 2011).

2.2 FORMAS DE CONTROLE DE IRRIGAÇÃO

O controle da irrigação se constitui na aplicação da quantidade correta de água no momento certo. Visto que os produtores usualmente utilizam de excesso de irrigação por temerem que a cultura sofra de estresse hídrico que pode gerar perdas no plantio, essa irrigação excessiva tem como resultado um alto desperdício hídrico e de energia (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

É possível observar com base na literatura que cada vez mais existem preocupações ambientais sobre redução de desperdício de água, trazendo assim a regra do controle de irrigação (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000). Para aplicar o controle de irrigação é necessário entender da cultura específica que será trabalhada, pois cada cultura tem suas peculiaridades, sendo que algumas necessitam de mais consumo hídrico do que outras (HERNANDEZ, 1999).

Uma das formas de controle de irrigação é a efetuada por um densímetro, onde se faz necessário anotar a medida diariamente, uma vez que essa média registrada indica a força em que a água é retida ao solo. Sendo assim, com essa regra pode-se obter a média de água que deve ser mantida no solo, e nos casos em que houver uma baixa, indicará que deve ser efetuada a irrigação. Portanto, o tipo do solo deve ser levado em consideração, pois solos arenosos devem ser irrigados com maior frequência do que solos argilosos. Porém, está técnica é manual e depende que uma pessoa faça as anotações e inicie a irrigação, o que ocasiona de não conseguir executar ações no instante em que existir declive na quantidade de água no solo (MAROUELLI, 2008). Na Figura 6, pode-se observar a imagem de um densímetro que é utilizado para a coleta de densidade da água na terra.

Figura 6 - Densímetro

Fonte: Sousa (2015)

Na técnica apresentada no trabalho desenvolvido por Gonçalves et al. (2018), observa-se que foi utilizado de uma bomba de água submersa e um sensor de umidade, sendo que quando o sensor está no mínimo ativa a bomba de água até chegar ao máximo de umidade. Desta forma, mantendo automaticamente a umidade em um número desejável. Nesta técnica utiliza-se de implementos de IOT, trazendo um baixo custo e uma automatização do serviço de irrigação. Porém, este método não leva em consideração a incerteza sobre a chuva, ou mesmo não considera se já foi efetuado alguma irrigação no dia, mantendo assim a quantidade desejada de umidade no solo, mas não economizando água.

Por sua vez, a técnica utilizada por Fialho (2015) de redes NARX, utiliza-se de uma base de dados já existente para prever a umidade efetiva, buscando facilitar a tomada de decisão sobre a necessidade de irrigação. Porém, como utiliza-se de dados de uma base já existente, acaba não sendo tão eficiente, pois necessita que os dados sejam coletados em tempo real para conseguir tomar uma decisão em tempo real.

As limitações nas fontes tradicionais na agricultura podem exigir alternativas que utilizem de dados que permitam aos agricultores e/ou gerentes de fazendas, tomar decisões de forma otimizada, a fim de obterem inovações na área. Essa técnica é nomeada de técnica de suporte de decisão (DRURY et al., 2017).

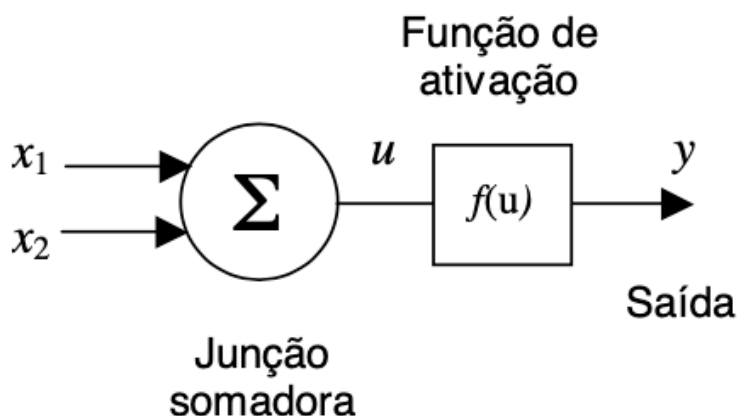
3 TÉCNICAS PARA SUPORTE À DECISÃO

Técnicas de tomada de decisão entram em cena quando agentes lógicos ficam sem meios para decidir, sendo que essas decisões são em contextos nos quais tratam de incerteza e finalidades conflitantes (NORVIG; RUSSELL, 2014). De forma mais simplificada, as técnicas com a abordagem de tomada de decisão utilizam de uma medida contínua de qualidade dos estados (DONHA, 2003). Sendo assim, serão levadas em consideração as técnicas abordadas na pesquisa de Gandhi e Armstrong (2016), na qual realizou-se uma análise entre as técnicas que serão citadas a seguir sob o intuito de utilização na cultura agrícola. Dentre essas técnicas, encontram-se as redes neurais, nas quais buscam imitar o sistema nervoso humano. A lógica fuzzy, que possui valores de 0 à 1, e as redes bayesianas que são representações do conhecimento utilizando o teorema de bayes.

3.1 REDES NEURAIIS

Redes Neurais são criadas da mesma forma que o cérebro humano, assim utilizando de um processamento de diferente forma ao computador convencional. Pode-se considerar o cérebro humano como um computador complexo, que não segue uma linha direta e ainda processada dos paralelamente (HAYKIN, 2007). Em seu estudo, McCulloch e Pitts (1943) desenvolveram um modelo matemático simples de um neurônio, conforme apresentado na Figura 7. Posteriormente, foram desenvolvidos modelos mais detalhados e realistas tanto dos neurônios quanto de sistemas cerebrais maiores, gerando assim o moderno campo da neurociência computacional.

Figura 7 - Neurônio segundo McCulloch e Pitts (1943)



Fonte: McCulloch e Pitts (1943)

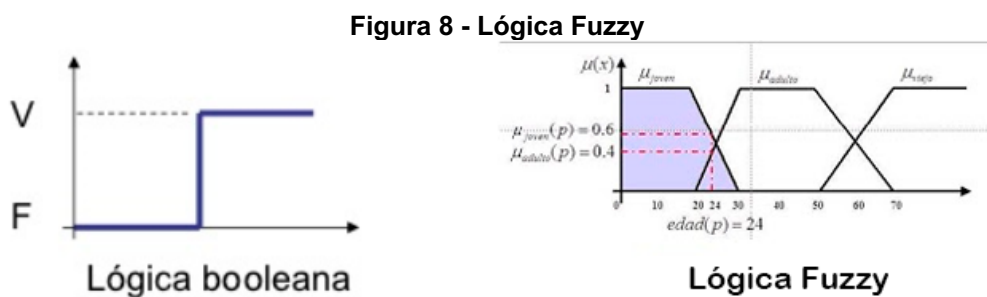
As redes neurais são utilizadas por diversos pesquisadores de IA e estatísticos, nos quais começaram a usufruir de suas formas mais abstratas como capacidade de utilizar processamento computacional distribuído, tolerando entradas ruidosas e a aprendizagem. Apesar de já encontrarmos na literatura outras formas como Redes Bayesianas que possui essas propriedades, as Redes Neurais são uma das formas mais populares e eficazes de aprendizagem de sistema (NORVIG; RUSSELL, 2014).

As Redes Neurais também podem ser utilizadas para a tomada de decisão, assim como observado nos estudos de Muñoz et al. (2018), onde utilizou uma rede neural para a tomada de decisão na pesquisa heurística em tempo real e obteve resultados bastante significativos. Além disso, o estudo de Murtaza e Fisher (1994) encontraram resultados promissores na aplicação de redes neurais em gestão de construção. Sendo assim, as redes neurais são muito utilizadas para relacionar diferentes grandezas físicas, porém, ao lidar com a incerteza, elas não consideram a propagação dessa incerteza (CORAL, 2018). Essa incerteza que é uma causa que não tem um único problema ou problema que não possui uma única causa, assim não podendo tomar uma decisão direta (NORVIG; RUSSELL, 2014).

3.2 LÓGICA FUZZY

Criada por Lofti Zadeh (NGUYEN; WALKER, C.; WALKER, E., 2018) a lógica fuzzy tem por seu princípio o inverso de lógicas padrões, visando desenvolver modelos imprecisos com raciocínio, na capacidade de tomar decisões em um ambiente de incerteza e imprecisão (ZADEH, 1988). A lógica fuzzy, ao contrário da

lógica convencional, admite que todas as coisas tenham graus de pertinência, tentando modelar o senso das palavras, da tomada de decisão ou do senso comum (MARRO et al., 2010). Na Figura 8, apresenta-se a diferença entre uma lógica que só admite verdadeiro e falso e a lógica fuzzy.



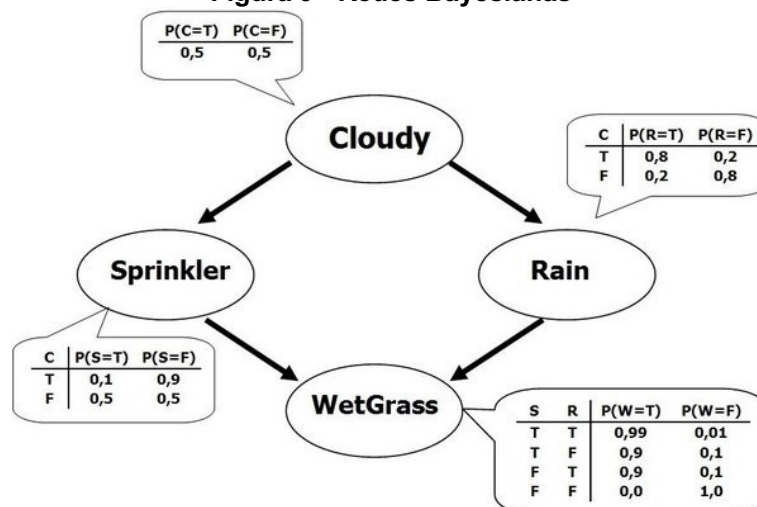
Fonte: Stroski (2017)

A lógica fuzzy pode ser utilizada para tomada de decisão, como no estudo de Korenevskiy (2015), no qual efetuou a sua aplicação para a tomada de decisão em sistemas de medicina e conseguiu cerca de 0,86 de confiança em seus resultados. Entretanto, foi validado que existe uma perda de desempenho em frente à dados ruidosos (MAITI; TIWARI, 2014).

3.3 REDES BAYESIANAS

As redes bayesianas são estruturas utilizadas para representar probabilidades entre variáveis, sendo que conseguem fazer a representação de quaisquer distribuições probabilísticas conjuntas completas e, em muitos casos, muito concisamente. Uma Rede Bayesiana é representada por um grafo orientado de forma que cada nó é identificado por informações de probabilidade quantitativa (NORVIG; RUSSELL, 2014). A Figura 9 é a representação gráfica de uma rede bayesiana com o propósito de acionar os sprinklers sobre o gramado, levando em consideração a probabilidade de chover.

Figura 9 - Redes Bayesianas



Fonte: Hopper (2013)

A utilização de redes bayesianas com a finalidade de tomada de decisão vem das mais variadas áreas como Dionizio (2014) que testou a utilização da rede bayesiana para tomada de decisão na manutenção de geradores diesel de emergência de centrais nucleares, onde identificou-se que o sistema de óleo combustível é o que detém menor confiabilidade, provando que as redes bayesianas são capazes de modelar adequadamente um sistema de segurança. Em outro estudo, no qual se utilizou de redes bayesianas em um simulador para tomada de decisão em cuidados da saúde, por seu tratamento de incerteza, modelagem e sua relevância para a área de atuação do estudo (BEZ et al., 2014).

4 FUNCIONAMENTO E UTILIZAÇÃO DAS REDES BAYESIANAS

As redes bayesianas, como apresentado no capítulo 3.3, são gráficos acíclicos direcionados onde cada nó é rotulado por variáveis aleatórias e as arestas são interpretadas pela relação de causa e efeito. O raciocínio da causa e efeito se assemelha a maneira que humanos especialistas de alguma área racionam (NILSSON, 1998).

As tabelas de distribuição de probabilidade conjunta podem ser utilizadas a fim de trazer uma solução à problemas probabilísticos. Entretanto, ao aumentar o número de variáveis, o problema aumenta de forma exponencial o número de entradas nesta tabela, no entanto, problemas reais tem a tendência de ter grandes números de variáveis, o que torna essa abordagem muitas vezes inviável. Para obter uma representação com mais simplicidade que aborda esse tipo de problema, utilizando de propriedades de independência entre variáveis, podem ser utilizadas as redes bayesianas (NORVIG; RUSSELL, 2014).

A rede bayesiana pode ser descrita em duas partes, sendo elas: qualitativa e quantitativa. A parte gráfica da rede refere a estrutura qualitativa, por sua vez, a parte quantitativa refere-se à especificação das tabelas ou distribuições de probabilidades condicionais. De forma ideal ambas as especificações são inferidas a partir de dados (WIEGERINCK; BURGERS; KAPPEN, 2013).

4.1 TEOREMA DE BAYES

As redes bayesianas utilizam do teorema de bayes, publicado pelo matemático Thomas Bayes em 1763 (BAYES, 1763), que segue a regra do produto e pode ser escrita em duas formas:

$$P(a \wedge b) = P(a | b)P(b)$$

$$P(a \wedge b) = P(b | a)P(a)$$

Igualando dois membros da direita e dividindo por $P(a)$, obtemos:

$$P(b | a) = \frac{P(a | b)P(b)}{P(a)}$$

Essa equação é também conhecida como o teorema de Bayes. Ela é a base de todos os sistemas de IA para inferência probabilística. Em primeira vista não aparenta muita utilidade, porém, nos permite calcular $P(b | a)$ em termos de três termos: $P(a | b)$, $P(b)$ e $P(a)$. Entretanto, o teorema de Bayes é bastante útil na prática porque existem casos com boas estimativas de probabilidade utilizando de três números, portanto, necessitamos calcular o quarto número. O teorema de Bayes percebe o efeito como uma evidência de uma causa não conhecida, portanto, o teorema se torna:

$$P(causa | efeito) = \frac{P(efeito | causa)P(causa)}{P(efeito)}$$

Enquanto $P(efeito | causa)$ quantifica a relação na direção da causa, a direção do diagnóstico é descrito por $P(causa | efeito)$. O raciocínio probabilístico de Bayes é usado em IA desde 1960, em especial para diagnósticos médicos (Norvig; Russell, 2014).

4.2 CONCEITO

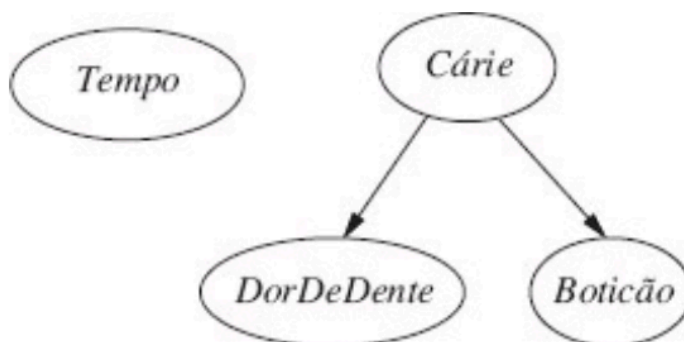
De acordo com o estudo de Marques e Dutra (2002), de forma matemática uma Rede Bayesiana é uma representação compacta de uma tabela de conjunção de probabilidades do universo do problema. Por outro lado, do ponto de vista de um especialista, Redes Bayesianas constituem um modelo gráfico que representa de forma simples as relações de causalidade das variáveis de um sistema.

De acordo com Norvig e Russel (2014) as redes bayesianas são especificadas da seguinte forma:

1. Cada nó possui uma variável aleatória discreta ou indiscreta.
2. Se existir uma seta ligando de X até um nó Y o nó X será considerado pai de Y.
3. Cada nó X possui uma distribuição de probabilidade condicional que quantifica o efeito dos pais sobre o nó.

Será utilizado como exemplo de representação bayesiana o modelo de uma consulta ao dentista, representado na Figura 10.

Figura 10 - Estrutura Rede Bayesiana



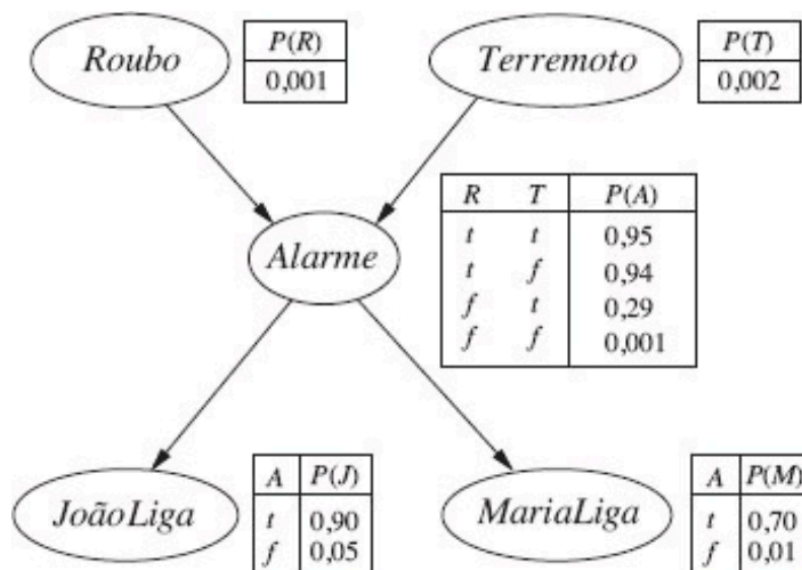
Fonte: Norvig e Russell (2014)

Na rede bayesiana representada na Figura 10, pode-se dizer que a variável “tempo” é dependente das demais variáveis, assim também que “DorDeDente” e “Boticão” possuem a condição de independência por existir a ausência de vínculo direto, dada a variável “Cárie”. Dando sequência a este raciocínio de causa e efeito, pode-se interpretar à esta rede dizendo que a variável “Cárie” é causa dos efeitos de “DorDeDente” e “Boticão”. Além disso, como a variável “tempo” não possui ligação com as demais fica caracterizado que existe independência incondicional entre elas.

Além desta representação de relações de interdependência entre as variáveis, é necessário fazer uma associação com uma tabela de probabilidade condicional a cada uma delas. O exemplo apresentado por Norvig e Russell (2014) ilustra esta definição. A representação deste problema está relacionada ao acionamento do alarme de uma residência. As variáveis são as seguintes:

- Roubo: a probabilidade de possuir um roubo na residência;
- Terremoto: a probabilidade de possuir um terremoto;
- Alarme: a probabilidade de ocorrer um acionamento do alarme;
- JoãoLiga: a probabilidade de João ligar para avisar que o alarme foi acionado;
- MariaLiga: a probabilidade de Maria ligar para avisar que o alarme foi acionado.

Figura 11 - Rede bayesiana com probabilidade



Fonte: Norvig e Russell (2014)

A rede possui 5 variáveis de tipo booleano, sabendo assim que existe a probabilidade de um valor verdadeiro sendo p , a probabilidade de ser falso é de $1-p$, desta forma, omitimos o segundo número, como apresentado na Figura 11. Normalmente uma tabela para uma variável de tipo booleano que possui k pais de mesmo tipo possuem 2^k de probabilidades especificadas independentemente. Assim o exemplo da Figura 11 contém 20 possibilidades somando todas as tabelas de probabilidades condicionais ao contrário da abordagem de distribuição conjunta completa que seriam 32 (2^5) possibilidades (NORVIG; RUSSELL, 2014).

Para que sejam calculadas as probabilidades de todos os nós da rede bayesiana utilizasse a seguinte fórmula (NILSSON, 1998):

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(x_i | \text{pais}(X_i))$$

Para efetuar o cálculo de probabilidade de que o alarme tenha sido acionado, porém não tenha ocorrido um roubo ou terremoto, entretanto João e Maria tenham ligado. Serão multiplicadas as entradas da distribuição conjunta.

$$p(B | J, M) = \frac{p(B, J, M)}{p(J, M)}$$

Com a finalidade de calcular $p(R, J, M)$, devem ser consideradas todas as combinações de estados possíveis em que R, J e M sejam verdadeiros:

$$\begin{aligned}
 & p(R) \times p(T) \times p(A|R, T) \times p(J|A) \times p(M|A) \\
 & p(R) \times p(\neg T) \times p(A|R, \neg T) \times p(J|A) \times p(M|A) \\
 & p(R) \times p(T) \times p(\neg A|R, T) \times p(J|\neg A) \times p(M|\neg A) \\
 & p(R) \times p(\neg T) \times p(\neg A|R, \neg T) \times p(J|\neg A) \times p(M|\neg A)
 \end{aligned}$$

Assim, os valores de cada probabilidade, obtida por meio das tabelas de probabilidade condicionais atribuídas a cada variável, devem ser multiplicados, retornando então os seguintes valores:

$$\begin{aligned}
 & 0,001 \times 0,002 \times 0,950 \times 0,900 \times 0,070 = 0,000001197 \\
 & 0,001 \times 0,998 \times 0,940 \times 0,900 \times 0,070 = 0,0005910156 \\
 & 0,001 \times 0,002 \times 0,050 \times 0,050 \times 0,010 = 0,00000000005 \\
 & 0,001 \times 0,998 \times 0,060 \times 0,050 \times 0,010 = 0,00000002994
 \end{aligned}$$

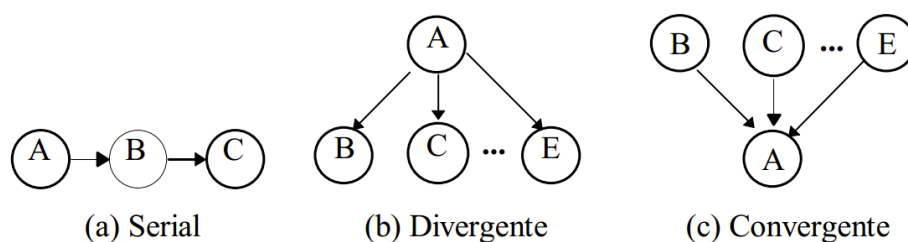
Efetuando a soma destes valores se obtém: 0,00059224259. Seguindo o mesmo processo, tem-se que $p(J, M) = 0,002084100239$. Portanto:

$$p(R|J, M) = \frac{p(R, J, M)}{p(J, M)} = \frac{0,00059224259}{0,002084100239} = 0,2842$$

Isso indica que, mesmo João e Maria ligando para avisar sobre o acionamento do alarme, a possibilidade de ocorrer um roubo é cerca de 28% (NASCIMENTO, 2017).

Quando o raciocínio contém incerteza é de importância entender se o evento tem influência sobre a crença de outros eventos, devido a criação e eliminação de relacionamentos com dependências. A Figura 12 apresenta três formas para propagação de evidências entre variáveis em um gráfico acíclico dirigido.

Figura 12 - Tipos de Conexões em uma Rede Causal



Fonte: Ladeira, Vicari e Coelho (1999)

Na conexão serial, quando há uma evidência em A influencia a crença em B, que conseqüentemente influencia a crença de C. De mesma forma, acontece a propagação de C para A. Em qualquer um dos casos não existe propagação de influencia caso B estiver estanciado, pois ele fica entre os canais A e C, bloqueando e tornando-os condicionalmente independentes. Já na conexão divergente coloca em ascendência a evidência, A influencia a crença deles sobre seus filhos, porém, isso não acontece se A é instanciado, pois uma evidência em A bloqueia a comunicação contra seus filhos. Por fim, na conexão convergente, uma evidência em A ou em seus descendentes influencia a crença nos pais de A, tornando o condicionalmente dependente, nada é conhecido de A, sem ser o que pode ser inferido por parte de seus pais, B, C...E, assim sendo independentes, porém a evidencia em um deles não influencia a crença dos demais (LADEIRA; VICARI; COELHO, 1999).

4.3 UTILIZAÇÃO

No estudo apresentado por Pavlenko, Chernyak e Tillander (2009) foi utilizado de redes bayesianas para prover a análise de risco sobre crédito, assim fornecendo uma solução atraente para este problema. Já o estudo de Carvalho et al. (2018) apresenta um sistema que auxilia no diagnóstico de comprometimento cognitivo leve com capacidade para atualização do modelo para uso em decisão de diagnósticos informados por médicos.

Já no estudo de Drury et al. (2017) são apresentadas formas de utilização de redes bayesianas, para representação do conhecimento no âmbito da agricultura, verificando campos de atuação e formas que podem ser empregadas, também salientando o quão positiva pode ser sua utilização no campo da agricultura quando utiliza-se de dados de sensores em tempo real.

Quando trabalhamos com grandes domínios devido ao seu grande número de variáveis e tabelas de probabilidade condicional, encontra-se um alto custo e complexidade. Normalmente, quando existe um domínio muito grande se pode dividir em domínios menores, facilitando a construção. Porém, não é possível comunicar duas ou mais redes, para este fim existem redes bayesianas múltiplas seccionadas. Entretanto, para o uso da mesma é necessária a utilização do conceito de árvores de junções (NASCIMENTO, 2017), apresentadas a seguir.

4.4 ÁRVORES DE JUNÇÃO

Seguindo o conteúdo anterior, a rede bayesiana múltipla seccionada tem que ser probabilisticamente equivalente a uma rede bayesiana, sendo necessário transformar cada sub-rede em árvore de junção. Esta árvore pode ser representada em um grafo cujos nós são representados por subconjuntos de variáveis da rede bayesiana, esses nós são nomeados cliques.

A fim de obter uma representação não orientada, com uma forma de árvore de junção, é necessário moralizar, triangular o gráfico acíclico dirigido, também formar cliques partindo de um grafo triangular, montar a árvore de junção e atribuir distribuições de probabilidades. Os algoritmos citados acima devem seguir a sequência e ordem que foram citados (LADEIRA; VICARI; COELHO, 1999).

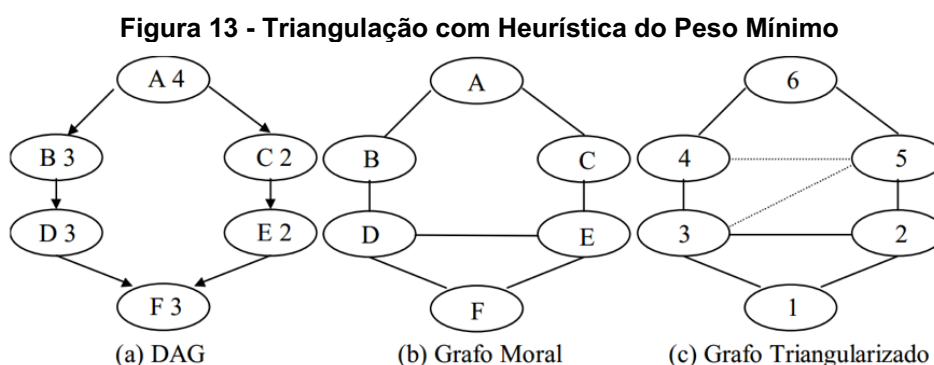
4.4.1 Moralização

Moralização consiste em criar uma ligação entre todos os nodos e nodos pais entre si, caso essa ligação não exista. Na sequência deve ser removida a orientação da rede, portanto, ao invés de um nodo apontar para outro, eles apenas ficam ligados, fazendo a representação de um grafo (LADEIRA; VICARI; COELHO, 1999).

4.4.2 Triangulação

A triangulação é resultante da introdução de arcos em ciclos com mais de três nós, eles podem ser denominados cordas e o grafo resultante, grafo cordal ou triangular. Cada ciclo é quebrado de diferentes formas, assim existem diversas formas de triangular um grafo, sendo que a que utiliza o mínimo de cordas possível.

Os cliques de cada grafo são determinados pela triangulação dele. O tamanho dos cliques demonstram a eficiência do algoritmo de propagação, porém, a propagação de evidências se baseia em tabelas de probabilidades conjuntas relacionadas a um clique. Uma triangulação boa produz menores cliques, mais precisamente pequenas tabelas de probabilidades (LADEIRA; VICARI; COELHO, 1999). Na Figura 13, temos a representação da evolução dos grafos até alcançar o grafo triangularizado com heurística do peso mínimo.



Fonte: Ladeira, Vicari e Coelho (1999)

4.4.3 Construção da Árvore de Junção

O desenvolvimento de uma árvore de junção tem como premissa encontrar todos grafos completos do grafo que foi triangulado, transformando-os em cliques. Sendo G_t um grafo triangular, A_1, \dots, A_n , sendo uma sequência de eliminações de nós G_t e C_i que o conjunto contém A_i e seus vizinhos no instante de sua eliminação. Assim, C_i é um clique de G_t , se C_i for máximo.

4.4.4 Propagação de Crenças

Os métodos para a atualização das crenças são fundamentados por cálculos locais eficientes, por não necessitar de uma estrutura de controle global, utilizando-se de uma estrutura mais simples. No método proposto por Pearl (1986), um nó troca mensagens com seus pais, e os seus filhos em filhos em uma árvore. Portanto, a operação global pode ser iniciada em qualquer nó da árvore, enviando sucessivamente mensagens para seus pais e filhos, onde atingirão todos nós da árvore.

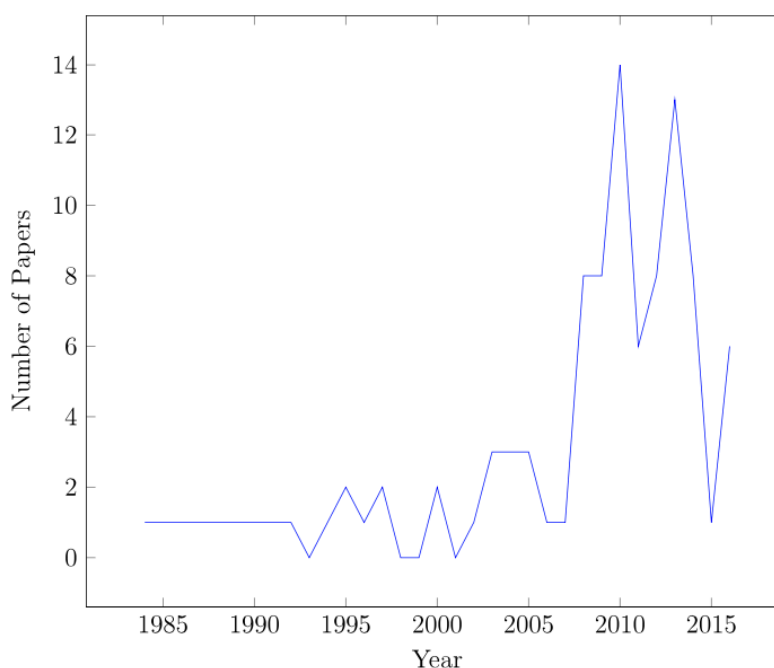
Por sua vez, Jensen, Olesen e Andersen (1990) buscam características em um método de universo de crenças que propõem para gerar atualização de crenças em redes probabilísticas multiconectadas, utilizando de propagação em árvores conjuntas.

5 TRABALHOS CORRELATOS

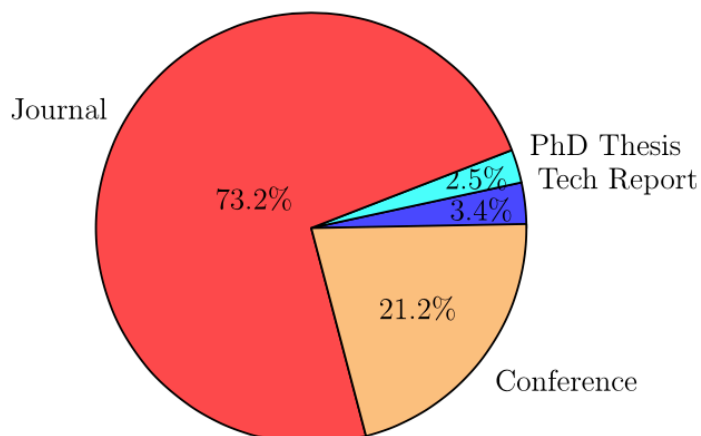
O estudo desenvolvido por Drury et al. (2017) intitulado “*A survey of the applications of Bayesian networks in agriculture*”, que tem como propósito demonstrar o uso de redes bayesianas no contexto da agricultura, foi desenvolvido tendo em vista o impacto da agricultura para a economia de países desenvolvidos e emergentes, e também para identificar as limitações das fontes tradicionais de inovação na agricultura, tendo em vista que elas podem exigir abordagens baseadas em dados que permitam à agricultores e/ou gerentes tomar melhores decisões. Neste estudo, também se trouxe a explanação sobre aprendizado de máquina e foi demonstrado os vários subcampos que ele possui, também demonstrando o subcampo das redes bayesianas.

O estudo também aponta o aumento na quantidade de publicações desta área, como pode-se observar na Figura 14. Desta forma, identifica-se que esse aumento se deu entre os anos de 2005 e 2010, sendo que a pesquisa levou em consideração publicações desde 1984 até 2016.

Figura 14 - Número de publicações por ano



Fonte: Drury et al. (2017).

Figura 15 - Demonstração de tipo de publicações

Fonte: Drury et al. (2017)

Na Figura 15, observa-se que 73,2% das publicações estão concentradas em jornais, 21,2% em conferências, 3,4% em relatórios técnicos e 2,5% em teses PhD. Dos artigos revisados alguns foram removidos por não apresentarem como assunto central a agricultura, permanecendo apenas uma pequena quantidade de artigos, porém, o pequeno grupo de artigos não retrata a aplicabilidade das redes bayesianas na área.

Em seu estudo os autores referem que “a revisão da literatura realizada para este trabalho identificou um número significativo de problemas agrícolas individuais que foram resolvidos usando as Redes Bayesianas.” (DRURY et al., 2017, p. 5). Sendo assim, observa-se as diversas frentes de utilização de redes bayesianas na área da agricultura, demonstrando formas de utilização como a tomada de decisão, classificação, predição e monitoramento.

Ainda neste estudo, um caso muito comum verificado é o de monitoramento automatizado, sendo que existem 4 subáreas principais, são elas: gado, cultura, recursos naturais e controle de ambiente de armazenamento. Nessa área as redes bayesianas são aplicadas de forma a fazer inferência a partir de dados vindos de sensores, sobre doenças ou qualidade da produção. Outro caso que são aplicadas é o da predição em previsões de domínio agrícola, pois no artigo é destacado que a previsão é um ajuste natural para as redes bayesianas por fazer inferências de bases de informações incompletas e absorver novas informações, sendo essa finalidade muito importante para gerentes e pesquisadores.

O caso natural para redes bayesianas é o de identificação de causa, contextualizando com esse artigo a identificação da causa seja a identificação de uma ou mais causas de um determinado problema agrícola, como sucesso, falha na criação ou resistência à antibióticos. O presente estudo traz uma ênfase na utilização de redes bayesianas.

“Os sistemas de suporte à decisão são uma "área óbvia" para as redes bayesianas devido à sua capacidade: representar relacionamentos causais, raciocinar informações parciais e incorporar novas informações.” (DRURY et al., 2017, p.7).

Um dos possíveis casos que podem ser abordados refere-se à finalidade deste trabalho, que é a utilização de sensores com resposta em tempo real. O estudo de Drury et al. (2017) indagou que o aumento da utilização de redes bayesianas vai se dar devido ao baixo custo de sensores e da quantidade de dados disponíveis na área da agricultura, na qual teve um aumento significativo nos últimos anos. Concluiu-se que o não uso de redes bayesianas se dá devido a tentarem utilizar estratégias manuais, ou dada a falta de dados em quantidade.

Em outro estudo, desenvolvido por Fialho (2015), intitulado como “Sistema de planejamento de irrigação baseado em redes narx”, que tem como propósito utilizar de predição a fim de descobrir a umidade do solo, evidenciou-se a utilização de métodos conhecidos de irrigação, como o sistema de aspersão simples, no qual consiste de um jato de água aplicado a diferentes distâncias e quantidades. Porém, como desvantagem, observa-se a falta de homogeneidade na sua aplicação. Outro método utilizado refere-se ao sistema de gotejamento, que possui maior homogeneidade, sendo que sua aplicação consiste em canos próximos as raízes das plantas, o que permite que o solo ao seu redor permaneça úmido. Porém, neste método encontra-se a desvantagem da escala. O sistema de pivô central demonstra ser o que traz mais homogeneidade à irrigação, pois consiste em um poste central unido e apoiado por treliças, montado em torres de rodas com aspersores posicionados ao longo do seu comprimento, sendo o seu deslocamento circular e movimentado por motores nas rodas.

No presente estudo, também são abordados métodos de controle de umidade, iniciando pelo sensoriamento remoto, onde é efetuada uma leitura da banda infravermelha em imagens via satélite, também podendo ser efetuados via drones ou aviões não tripulados. Além disso, outro método abordado refere-se à medição in situ,

sendo um método de extrema importância para calibrar técnicas remotas, bem como, para medições em tempo real.

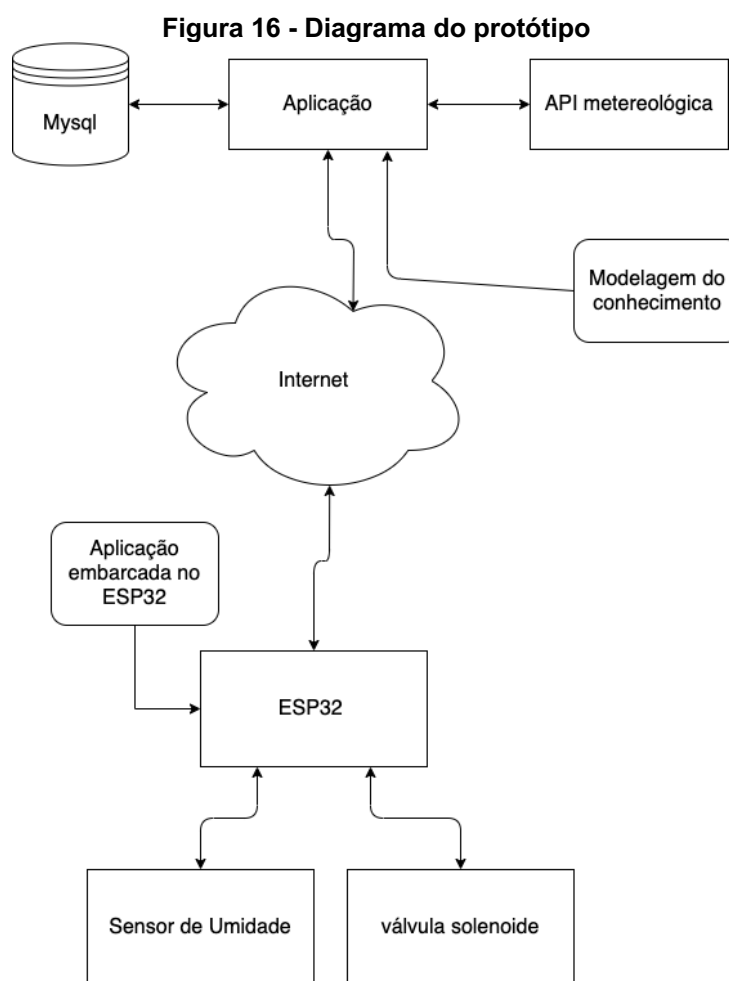
Com base na revisão da literatura também foi possível observar a utilização do aprendizado de máquina, que consiste no campo da inteligência artificial responsável por desenvolver algoritmos que possam melhorar seu desempenho especificamente para um grupo de dados de interesse. No presente estudo foram abordadas duas técnicas de redes neurais recorrentes, pois existe interesse quando se há medições passadas que possuam correlação com resultados futuros de uma amostra. No caso de umidade do solo, variabilidade no tempo e a retenção cumulativa de água, assim sendo necessário um método que leve em consideração a posição temporal de variáveis de entrada. Outra técnica abordada são as redes $narx$ que são redes neurais baseadas em modelos não lineares auto regressivos com entradas exógenas.

De acordo com os autores, os dados foram obtidos a partir de sites responsáveis pelo armazenamento, visto que não se possui um banco de dados consolidado para o experimento, a pesquisa foi feita de forma extensa por diferentes fontes de informação e metodologias para manejo de diferentes tipos de dados.

Tendo como base os estudos analisados, é possível evidenciar a importância de um sistema que melhor possa estimar a umidade do solo, bem como auxiliar o agricultor na tomada de decisão sobre irrigação. Verificou-se que é possível a implementação e a aplicação à um servidor. Sendo assim, conclui-se que a aplicação deste sistema pode permitir que a planta não sofra estresse hídrico, visto que ele trabalha neste reconhecimento de necessidades mesmo antes que o estresse aconteça.

6 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Este capítulo descreve o sistema de irrigação proposto, sua arquitetura é representada de modo geral na Figura 16, contando com sensores, sistemas, banco de dados e equipamentos.



Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema proposto é composto por três componentes principais, sendo estes a aplicação nodejs, o ESP32 e a modelagem do conhecimento. Conforme observa-se na figura 16, o módulo de irrigação é compreendido pelo ESP32, responsável por controlar a irrigação e envio de dados do sensor, onde os dados de umidade são coletados através do sensor de umidade que fica junto a planta. Quando existe a necessidade de irrigação o ESP32 aciona a válvula solenoide, liberando a irrigação para planta. Para que isto ocorra, o ESP32 faz análise de umidade enviando para a aplicação node, responsável por armazenar os dados na base de dados e consultar a

API meteorológica, e logo após é executada a inferência no modelo bayesiano para retornar o resultado ao ESP32, onde o detalhamento do seu funcionamento será escrito a seguir.

6.1 APLICAÇÃO

A aplicação foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Javascript em conjunto com a biblioteca Baysjs, desenvolvida por Nascimento (2017). Essa biblioteca tem a finalidade de realizar inferências para redes bayesianas, ela possui três tipos de algoritmos para inferência, e são elas: *Junction tree algorithm*; *Variable elimination* e *Enumeration*. Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizada da Junction tree algorithm por ser o algoritmo mais rápido e o padrão na biblioteca. Este algoritmo é descrito no capítulo 4.4 deste estudo.

Na versão utilizada encontrou-se um problema para incluir a biblioteca no projeto em Nodejs, a necessidade de existir uma variável window que é existente em aplicações web. Desta forma, foi utilizada a biblioteca jsdom com a finalidade de criar essa variável de forma fictícia apenas para conseguir importar à biblioteca, partindo disto começou o desenvolvimento de uma aplicação que responda à requisições HTTP.

Para utilizar de requisições HTTP, foi utilizada a biblioteca Express, pois ela entrega recursos fundamentais para facilitar a construção de aplicações web e APIs. Desta forma, é utilizada na aplicação para fazer a aplicação subir na porta 3000, o que a torna acessível. Como a aplicação se encontra hospedada em um servidor da empresa Umblor que utiliza a porta 3000 em aplicações Nodejs com redirecionamento para porta 80 que é acessível para qualquer usuário que saiba o domínio. Como a aplicação é aberta a qualquer pessoa que possua o domínio, criou-se um código de acesso para que ela fique acessível apenas para quem realmente deve ter acesso. O código é encaminhado e a aplicação efetua uma validação sobre este código, partindo disso a aplicação começa efetuar as respectivas ações.

Primeiramente, é feita uma requisição utilizando a biblioteca HTTP que é uma biblioteca interna do próprio nodejs, para a API do world weather online que retorna informações sobre o clima, como possibilidade de chuva e temperatura. Esta escolha se deu em função de fornecer dados sobre a possibilidade de chuva, aspecto necessária ao projeto. Em função da característica da API do world weather fornecer

dados apenas em um período de 3 em 3 horas, o protótipo faz uma busca conforme o horário mais próximo ao horário que é feita a requisição. Além disso é feito um cálculo sobre a possibilidade de chuva de todo o dia, assim sabendo o cenário futuro.

A possibilidade de chuva é transformada em uma variável discreta que denota valores entre zero e um e representam sim e não, para ser adicionada à um nodo da rede bayesiana que corresponde à possibilidade de chuva. Portanto, quando acontecer a inferência a rede trabalhará em cima da porcentagem retornada da API, trazendo dinamicidade a ela. Após isso acontecer, é iniciada a biblioteca momentjs que é utilizada para trabalhar com data e hora, sendo que ela facilita este trabalho, sendo extremamente útil à aplicação.

Assim é criada uma variável e passado um conjunto com todos os nodos do modelo, pois essa variável é necessária para realizar a inferência posteriormente e, em seguida, é usada a biblioteca Mysqljs que é uma biblioteca Node.js responsável por implementar o protocolo Mysql, pois é o banco de dados utilizado da aplicação. Foi utilizado pela fácil implementação, por já possuir conhecimento prévio e pela Umblar possuir ele como um serviço, desta forma é feita uma pesquisa no banco de dados a fim de verificar se já foi feita uma irrigação no dia corrente.

A irrigação efetuada no dia é uma das crenças, seguida da temperatura ideal e quantidade ideal de água na terra. A função de inferência da biblioteca bayesjs (NASCIMENTO, 2017) recebe como parâmetros, os nodos da rede bayesiana, as crenças e a variável booleana TRUE. As crenças são representadas pelas variáveis de temperatura, conforme a quantidade de irrigação no dia e a umidade ótima da terra, é realizada a inferência no modelo bayesiano, que retorna um número de 0 a 1, e com base neste valor de retorno, a aplicação retorna o status HTTP 301, caso for maior que 0,50 e o status HTTP 404, caso o resultado seja menor que 0,50.

6.1.1 Modelagem do Conhecimento

Para este estudo foi necessário desenvolver um modelo de representação do conhecimento por meio de uma rede bayesiana, utilizado para a tomada de decisão e para o controle de irrigação. O desenvolvimento deste modelo contou com o apoio e colaboração de uma especialista na área, a engenheira agrônoma Janete Basso Costa. Com o seu auxílio, foi elaborado um mapeamento dos aspectos e variáveis relevantes a serem utilizadas para manter a qualidade e o desenvolvimento da planta,

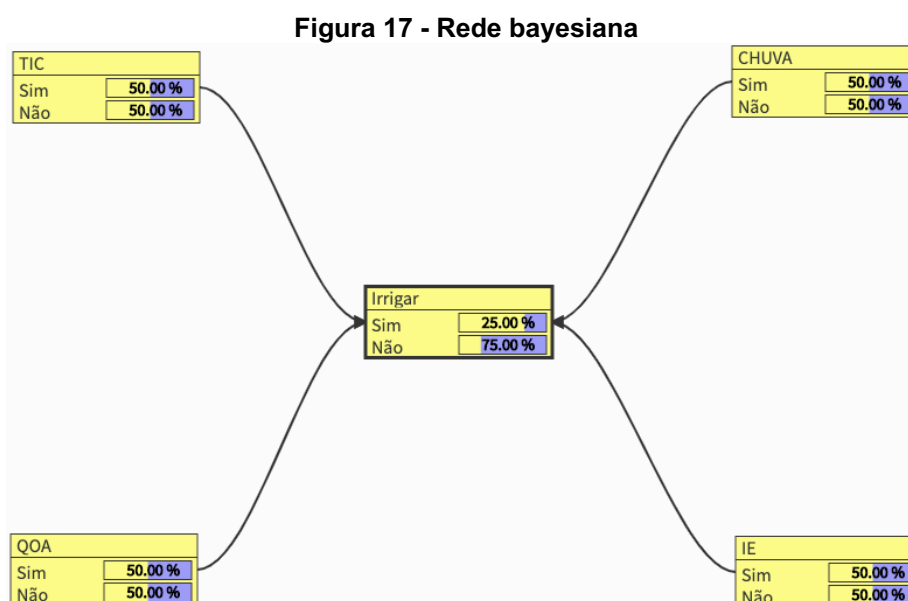
juntamente com um resultado positivo na redução da quantidade de água. Desta forma, foram utilizadas quatro variáveis, sendo elas: quantidade ótima de água, irrigação efetuada, temperatura ideal para cultura e possibilidade de chuva.

Quantidade ótima de água: refere-se à quantidade de água que o solo deve possuir para que a planta possa continuar crescendo e se desenvolvendo. Em conversa com a especialista, averiguou-se que a quantidade ideal seria quando ao irrigar a terra, pegá-la na mão e formar uma bola. Ao fazer isso a terra não pode ficar encharcada de água e nem se esfarelar ao abrir a mão, portanto, essa seria a quantidade ideal de água para o cultivo.

Irrigação efetuada: caso já se tenha efetuada a irrigação no dia não teria necessidade de uma nova irrigação, para isso essa variável deve ser utilizada.

Temperatura ideal para a cultura: conforme orientação da especialista, quando ocorre um episódio de calor muito intenso a planta entra em um estado vegetativo e para de crescer e se desenvolver, o que acaba por reduzir o uso de água. Por este motivo, deve existir a possibilidade de efetuar uma irrigação para aliviar o calor da planta.

Possibilidade de chuva: é definida como a variável chave do modelo, pois é nela que se deposita a mais significativa redução na utilização de água. Essa variável é preenchida com uma porcentagem correta da possibilidade de chuva e não com uma crença, desta forma trazendo a incerteza que é muito bem trabalhada pela rede bayesiana.



Fonte: elaborado pelo autor.

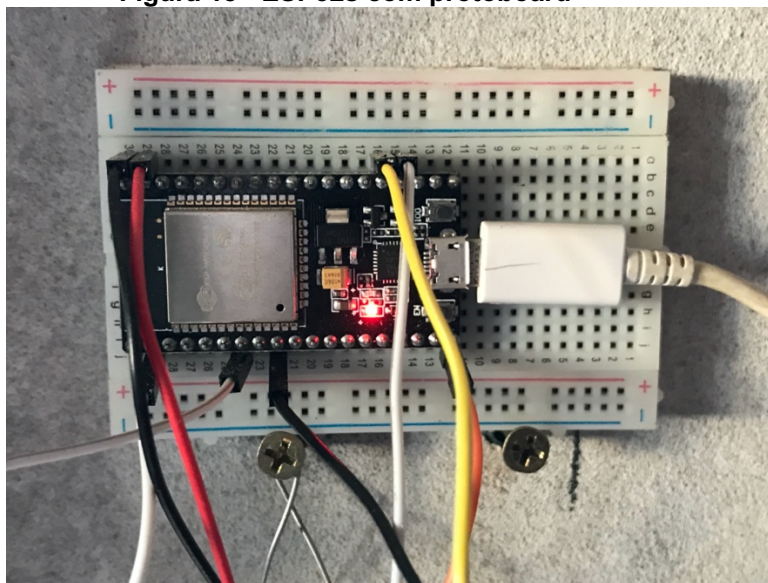
Nota: TIC= temperatura ideal da cultura; QOA= quantidade ótima de água; IE= irrigação efetuada.

As variáveis da tabela de probabilidades da Figura 17 estão dispostas em siglas, QOA significa quantidade ótima de água, TIC significa temperatura ideal da cultura, CHUVA retrata a possibilidade de chuva e IE significa irrigação efetuada. Desta forma, foi preenchida a tabela de probabilidades juntamente com a especialista de forma que fosse adicionado o conhecimento dela à rede bayesiana, tendo em vista a economia de água.

Trazendo um exemplo da execução do modelo, se a variável TIC tiver como valor de crença igual a 100% de certeza de que a temperatura não está ideal para cultura (Não =100%), a variável QOA possuir um valor de 100% de certeza que a umidade da terra não é ideal para a cultura (Não =100%) e a variável IE também possuir a crença de 100% de certeza, de não ter acontecido no dia, porém se a variável CHUVA possuir crença de 80% de certeza que pode chover (Sim = 80%), neste caso não ocorrerá a irrigação, pois após a inferência o modelo terá como retorno uma certeza de 80% de não irrigar, informação que será embasada para que o sistema não acione a irrigação.

6.2 PROTÓTIPO DE IRRIGAÇÃO

O protótipo foi desenvolvido utilizando um ESP32s, pois o ESP32 é uma excelente opção como unidade de processamento contando com o desempenho e preço (MAIER; SHARP; VAGAPOV, 2017). O ESP32s é a atualização contando com um melhor tamanho, desta forma, encaixando-se melhor na protoboard, além disso, também conta com um maior número de pinos que no ESP32 eram 30 e agora são 38. Ele está acoplado a uma protoboard, como pode-se observar na Figura 18, que é uma solução com um bom custo benefício para montagem de circuitos diversos, criados de forma provisória, sendo que para criá-lo basta plugar os componentes e os jumpers que são os fios plugados na protoboard da Figura 18.

Figura 18 - ESP32s com protoboard

Fonte: elaborado pelo autor.

Um dos componentes que estão acoplados a esse protótipo é o Sensor de Umidade do Solo Arduino S12 representado na Figura 19. Este é um dispositivo desenvolvido para atender projetos que precisam de um sensor de alta qualidade com dados confiáveis e precisos. Ele é desenvolvido por materiais que apresentam maior resistência à corrosão e um cabo de um metro que vai até a parte superior do sensor, no qual também é completamente lacrado. Desta forma, não havendo problemas em questão de molhar, como um dos objetivos do projeto é efetuar testes com a possibilidade de chuva, desta forma, ficando exposto o tempo todo.

Figura 19 - Sensor de Umidade do Solo Arduino S12



Fonte: elaborado pelo autor.

Para facilitar a conexão do componente, o sensor possui um módulo representado na Figura 20 que efetua a leitura dos dados gerados pelo sensor e transforma em dados digitais ou analógicos para a controladora ESP32.

Figura 20 - Módulo do Sensor de Umidade de Solo



Fonte: elaborado pelo autor.

Outro componente que foi acoplado é um Módulo Relé 3V 1 Canal apresentado na figura 20, ele é um módulo de acionamento que permite integração com vários

micro controladores dentre eles está o ESP32. O Relé possui um sinal de 3.3V representado na Figura 21, desta forma, podendo conectar diretamente ao ESP32 dispensando o conversor lógico. Também possui um sistema independente, que pode ser utilizado para acionar o que lhe for conveniente, neste projeto é utilizado uma válvula Solenoide.

Figura 21 - Módulo Relé 3V 1 Canal



Fonte: elaborado pelo autor.

A válvula solenoide para água que foi usada foi a 3/4 x 3/4 representada na Figura 22, ela possui o corpo em formato de um cilindro, que no momento que recebe uma corrente elétrica é conduzida pelos fios da bobina, ela acaba gerando uma força no centro. Desta forma aciona o embolo que se encontra na parte interna responsável pela abertura e fechamento do sistema. Ela é normalmente fechada, desta forma só é aberta caso possuir corrente, assim só fica aberta quando o relé estiver ativo.

Figura 22 - Válvula Solenoide para Água 12V NF 180° (3/4 x 3/4)



Fonte: elaborado pelo autor.

A válvula demonstrada na Figura 22 está conectada ao sistema de água com coleta da chuva da casa e, desta forma, não tendo a necessidade de repor água e ou possuir um sistema próprio de armazenamento de água. Outro motivo de ser ligado ao sistema hidráulico é a pressão mínima que a válvula necessita para dar vazão à água, que é de 0,2kgf/cm². E na outra ponta da válvula possui uma mangueira que segue até a planta, ela é fechada na ponta e possui vários furos para efetuar irrigação via gotejamento, pois como visto no Capítulo 2.1.2 ele reduz o desperdício da quantidade de água, tendo em vista que o projeto visa a redução na quantidade de água utilizado foi assim definido seu uso.

6.2.1 Aplicação ESP32

Na aplicação que fica no ESP32, é inicialmente efetuada uma verificação analógica no sensor de umidade para enviar para a API da aplicação efetuar a inferência, sendo que na sequência o ESP32 se conecta a Wi-Fi passando as credenciais. A partir disso, é preparada a requisição passando o token de acesso e a umidade do solo, e a aplicação aguarda um retorno no status HTTP.

Se o status HTTP for na faixa 300 é enviado um sinal para o relé, ligando ele e permitindo efetuar uma irrigação de 300ml de água, que deixam a terra na quantidade necessária e ao terminar a irrigação a aplicação espera por uma hora e depois o ESP32 é reiniciado de forma a iniciar a aplicação novamente.

Caso o status for diferente da faixa de resposta HTTP 300, ele não efetua uma irrigação e apenas aguarda uma hora e reinicia o ESP32 efetuando uma nova verificação.

7 AVALIAÇÃO DO MODELO UTILIZANDO O PROTÓTIPO

Para possibilitar a avaliação do modelo, foi seguido a orientação da engenheira agrônoma Janete Basso Costa, que indicou a melhor planta e de que forma seria seu plantio, que neste caso foi a utilização da alface como a cultura escolhida para a avaliação.

7.1 PLANTIO DE ALFACE

Para efetuar o plantio, seguiu-se a orientação da especialista para as dimensões adequadas do vaso para o plantio, que seria um espaço de aproximadamente 30 cm (DE LIMA et al., 2004) para conseguir simular um local real de planto de alface. O vaso foi preenchido com terra e feito um buraco ao centro para inserir a planta.

Sob orientação da especialista foi calibrado o equipamento de forma empírica, seguindo a orientação de que a quantidade ideal de água seria o suficiente para ao pegar a terra na mão e formar uma bola e ao abrir a mão esta terra não deveria sedimentar e nem encharcar a mão. Foram efetuados testes na terra usando a quantidade de 300ml de água para a irrigação, desta forma, utilizando desta quantidade de água a umidade da terra se torna ideal para cultura.

7.2 PRIMEIRA VALIDAÇÃO

Foram plantadas duas alfaces no solo em dois vasos com as especificações de 30cm x 20cm, e começou a ser validado o modelo. Uma delas foi irrigada pelo protótipo e a outra por uma pessoa com conhecimento de um agricultor familiar, desta forma, será calculada a quantidade de água utilizada em cada uma das plantas, possibilitando uma posterior avaliação se a planta manteve o seu crescimento.

Figura 23 - Primeira foto da primeira validação



Fonte: elaborado pelo autor

Abaixo, no Quadro 1, é demonstrada a lista referente as irrigações efetuadas nos primeiros 10 dias da primeira validação.

Quadro 1 - Listagem de 10 dias da primeira validação

Pessoa			Sistema de Irrigação		
Data	Hora	Quantidade	Data	Hora	Quantidade
14/04/2020	12:00	0,65	14/04/2020	5:54	0,3
15/04/2020	12:00	0,73	15/04/2020	2:50	0,3
16/04/2020	12:00	0,5	16/04/2020	11:09	0,3
17/04/2020	12:00	0,8	17/04/2020	4:05	0,3
18/04/2020	12:00	0,9	18/04/2020	17:41	0,3
19/04/2020	12:00	0,95	19/04/2020	13:09	0,3
20/04/2020	12:00	0,5	20/04/2020	22:07	0,3
21/04/2020	12:00	0,34	21/04/2020	2:08	0,3
22/04/2020	12:00	0,7	22/04/2020	4:05	0,3
23/04/2020	12:00	0,43	23/04/2020	9:48	0,3
	Total	6,5		Total	3

Fonte: elaborado pelo autor.

Na primeira validação, representada na Figura 23, as plantas apresentavam 10 dias após plantio e ambas mantinham o crescimento, porém, a quantidade de água utilizada na planta irrigada pela pessoa, planta B, possuía 10 irrigações com os dados disponíveis no Quadro 1. Desta forma, a maior irrigação foi de aproximadamente 0,95 litros de água e com irrigações diárias, gerando uma média aproximada de 0,65 litros de água por dia, com um total aproximado de 6,5 litros de água. Da mesma forma foi realizado o cálculo sobre o resultado do sistema de irrigação representado na Figura 23 pela letra B e os dados demonstrados no Quadro 1, onde verificou-se a necessidade de efetuar uma irrigação ao dia. Considerando que cada irrigação se refere a 0,3 litros de água, obtemos uma média de 0,3 litros de água por dia e um total de 3 litros de água nesta primeira avaliação, representada na Figura 23 pela letra A, que continua efetuando verificações de necessidade de irrigação de forma autônoma.

Após este período foi enviado o quadro com a quantidade de irrigações e água com um conjunto de fotos das plantas para a avaliação da especialista, onde foi verificado que até a presente etapa as duas plantas estavam com o mesmo crescimento. Sendo assim, a redução na quantidade de água foi eficaz e obteve uma diminuição significativa.

Figura 24 - Segunda foto da primeira validação



Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 2- Listagem de 15 dias da primeira validação

Pessoa			Sistema de Irrigação		
Data	Hora	Quantidade	Data	Hora	Quantidade
14/04/2020	12:00	0,65	14/04/2020	5:54	0,3
15/04/2020	12:00	0,73	15/04/2020	2:50	0,3
16/04/2020	12:00	0,5	16/04/2020	11:09	0,3
17/04/2020	12:00	0,8	17/04/2020	4:05	0,3
18/04/2020	12:00	0,9	18/04/2020	17:41	0,3
19/04/2020	12:00	0,95	19/04/2020	13:09	0,3
20/04/2020	12:00	0,5	20/04/2020	22:07	0,3
21/04/2020	12:00	0,34	21/04/2020	2:08	0,3
22/04/2020	12:00	0,7	22/04/2020	4:05	0,3
23/04/2020	12:00	0,43	23/04/2020	9:48	0,3
24/04/2020	12:00	0,9	24/04/2020		0
25/04/2020	12:00	0,6	25/04/2020	14:55	0,3
26/04/2020	12:00	0,5	26/04/2020	8:56	0,3
27/04/2020	12:00	0,6	27/04/2020	0:58	0,3
28/04/2020	12:00	0,9	28/04/2020	17:26	0,3
	Total	10		Total	4,2

Fonte: elaborado pelo autor.

No Quadro 2, apresenta-se a segunda avaliação da primeira validação. Até o presente momento havia sido percorrido um total de 15 dias, onde visualmente ambas as plantas aparentam o mesmo crescimento. Porém, o consumo de água da planta irrigada pela pessoa representada na Figura 24 com a letra B, e os dados listados no Quadro 2, possui 15 irrigações, sendo que a maior irrigação que ocorreu foi de aproximadamente 0,9 litros de água, apresentando uma média de aproximadamente 0,67 litros de água por irrigação e um total de aproximadamente 10 litros de água. Em comparação, o sistema de irrigação representado na Figura 24 pela letra B, irrigou 14 vezes e apresentou uma média de 0,28 litros de água, totalizando 4,2 litros de água ao total, conforme indicado na Figura 24 pela letra A.

Após terminar a primeira validação foi enviado o quadro com a quantidade de irrigações e a quantidade de água utilizada, com um conjunto de fotos das plantas para a avaliação da especialista, onde foi constatado que até o presente período as duas plantas apresentavam o mesmo crescimento. Sendo assim, identifica-se que houve uma redução significativa no consumo de água.

7.3 SEGUNDA VALIDAÇÃO

Nesta segunda avaliação foi preparado um novo experimento e neste caso, em função do curto espaço de tempo, devido as datas de finalização deste estudo, a especialista levantou a necessidade de a terra possuir adubação para a planta obter um melhor desenvolvimento. Sendo assim, o adubo utilizado foi o húmus, por ser possível comprá-lo em menor quantidade e da forma necessitada. Este adubo refere-se a uma matéria orgânica permanente no solo que resulta da decomposição de animais e plantas mortas.

Figura 25 - Terra adubada

Fonte: elaborado pelo autor.

Para o adubo foi considerado 30 toneladas de húmus por hectare trazido para proporção de terra utilizada no experimento, esse cálculo é feito perante o tipo de solo que a região possui. Desta maneira, o cálculo pode variar de acordo com o local e a avaliação de um especialista da área a respeito da cultura cultivada no local, o que também pode acarretar em alterações da quantidade utilizada.

Foram utilizados 2 quilos de húmus misturados a terra de cada um dos vasos antes de efetuado o plantio. Desta forma, a terra de ambas as plantas estaria com os nutrientes necessários para o seu melhor crescimento. Portanto, realizou-se o plantio de cada uma das mudas, sendo que em uma delas foi adicionado o protótipo e em outra utilizou-se do método de irrigação manual por uma pessoa com conhecimento de agricultura familiar.

Figura 26 - Dia do plantio da segunda validação



Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 3 - Listagem de 10 dias da segunda validação

Pessoa			Sistema de Irrigação		
Data	Hora	Quantidade	Data	Hora	Quantidade
01/05/2020	12:00	0,6	01/05/2020	19:41	0,3
02/05/2020	12:00	0,4	02/05/2020		0
03/05/2020		0	03/05/2020		0
04/05/2020	12:00	0,45	04/05/2020	14:59	0,3
05/05/2020	12:00	0,5	05/05/2020	02:00	0,3
06/05/2020	12:00	0,65	06/05/2020	10:03	0,3
07/05/2020	12:00	0,4	07/05/2020	12:05	0,3
08/05/2020	12:00	0,5	08/05/2020	09:07	0,3
09/05/2020	12:00	0,6	09/05/2020	12:17	0,3
10/05/2020	12:00	0,4	10/05/2020	13:19	0,3
	Total	4,5		Total	2,4

Fonte: elaborado pelo autor.

Assim como na primeira validação de 10 dias que é representado na Figura 27, quando a planta da segunda validação possui 10 dias é verificado que ambas mantêm o mesmo crescimento, porém, a quantidade de água utilizada na planta irrigada pela

pessoa representada na Figura 27 pela letra B, possui 9 irrigações de acordo com o Quadro 3, com a maior irrigação efetuada de aproximadamente 0,65 litros de água e com irrigações diárias, gerando uma média aproximada de 0,45 litros de água por dia, com um total de 4,5 litros de água. De mesma forma foi realizado o cálculo sobre o resultado do sistema de irrigação representado pela letra B na Figura 27, onde verificou-se a necessidade de efetuar 8 irrigações neste período. Sendo assim, obteve-se uma média de 0,24 litros de água por dia e um total de 2,4 litros de água no final desta etapa.

Após terminar a primeira avaliação da segunda validação foi enviado o quadro com a quantidade de irrigações e água com um conjunto de fotos das plantas para a avaliação da especialista. Desta forma, foi verificado que neste período as duas plantas estavam com o mesmo crescimento, o que indica que a redução na quantidade de água foi eficaz e obteve uma diminuição significativa.

Figura 27 - Primeira avaliação da segunda validação



Fonte: elaborado pelo autor.

Abaixo, no Quadro 4, demonstra-se a listagem de 15 dias de irrigação da segunda validação.

Quadro 4 - Listagem de 15 dias da segunda validação

Pessoa			Sistema de Irrigação		
Data	Hora	Quantidade	Data	Hora	Quantidade
01/05/2020	12:00	0,6	01/05/2020	19:41	0,3
02/05/2020	12:00	0,4	02/05/2020		0
03/05/2020		0	03/05/2020		0
04/05/2020	12:00	0,45	04/05/2020	14:59	0,3
05/05/2020	12:00	0,5	05/05/2020	02:00	0,3
06/05/2020	12:00	0,65	06/05/2020	10:03	0,3
07/05/2020	12:00	0,4	07/05/2020	12:05	0,3
08/05/2020	12:00	0,5	08/05/2020	09:07	0,3
09/05/2020	12:00	0,6	09/05/2020	12:17	0,3
10/05/2020	12:00	0,4	10/05/2020	13:19	0,3
11/05/2020	12:00	0,6	11/05/2020		0
12/05/2020		0	12/05/2020		0
13/05/2020		0	13/05/2020		0
14/05/2020		0	14/05/2020		0
15/05/2020	12:00	0,8	15/05/2020	15:54	0,3
	Total	5,9		Total	2,7

Fonte: elaborado pelo autor.

Esta é a segunda avaliação da segunda validação. Neste momento percorreram-se 15 dias e visualmente as plantas ainda aparentam o mesmo crescimento, porém, o consumo de água da planta irrigada pela pessoa, representada na Figura 28 pela letra B, apresentou maior demanda de quantidade. A planta irrigada manualmente obteve 11 irrigações, sendo a maior quantidade de aproximadamente 0,85 litros de água, atingindo uma média 0,39 litros de água por dia e um total de aproximadamente 5,9 litros de água. Em comparação, o sistema de irrigação representado na Figura 28 pela letra A, irrigou 9 vezes e apresentou uma média de 0,18 litros de água por dia, totalizando 2,7 litros de água.

Ao concluir essa segunda avaliação da segunda validação foi enviado um formulário para a especialista e foi mantido o crescimento das plantas, desta maneira sendo válida a redução de água.

Figura 28 - Segunda avaliação da segunda validação

Fonte: elaborado pelo autor.

7.4 DISCUSSÃO SOBRE AS VALIDAÇÕES

A maior fatia da água consumida hoje no Brasil é para irrigação, representando um total significativo de 67,2% (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017). Em vista disso, observa-se que existem outros fatores de desperdício, podendo ser considerado que 42% referem-se a irrigação feita de maneira incorreta, a falta de controle do produtor ou uma irrigação ineficiente (GIBERTONI; PANDOLFI, 2015). Fazendo um comparativo com a primeira validação, em sua primeira avaliação foi gasto 6,5 litros pelo processo tradicional de irrigação, ou seja, aquele realizado manualmente por uma pessoa. No entanto, quando avaliamos o consumo pelo protótipo, observa-se que foram gastos apenas 3 litros, sendo que a avaliação da especialista indicou que a planta manteve seu crescimento, o que poderia indicar um desperdício de aproximadamente 53% na água necessária para manter a planta saudável e com mesmo índice de crescimento, frente ao mesmo número de irrigações necessárias efetuadas.

Ainda frente ao primeiro experimento, em uma segunda avaliação foi possível observar que em um dia foi evidenciado pelo protótipo a chance eminente de chuva, deste modo, o modelo optou por não irrigar a planta. Ao acompanhar o evento de

verificação de irrigação foi observado que ocorreu um episódio de chuva à noite e que realmente não haveria necessidade de irrigação naquele dia. Sendo assim, o desperdício aumentou, chegando à marca de 58%, sendo que a quantidade de água utilizada para irrigação manual foi de 10 litros e a do protótipo foram de apenas 4,2 litros de água.

Na segunda validação obteve-se um período de mais chuva, desta forma, o que aconteceu é que a planta irrigada pela pessoa recebia irrigação mesmo em caso de chuva a noite. Por sua vez, o modelo tinha o entendimento da alta possibilidade de chuva e acabava por não irrigar, o que gerou uma grande economia de água, mantendo o crescimento da planta, de modo que na planta irrigada pela pessoa possuiu aproximadamente 5,9 litros e o sistema de irrigação 2,7 litros. Desta forma, a planta irrigada pela pessoa possui cerca de 45% de desperdício em frente ao sistema de irrigação.

8 CONCLUSÃO

Com base na revisão de literatura foi possível observar que a partir dos métodos atuais de irrigação a quantidade de água utilizada para agricultura é muito alta, assim como o seu desperdício. Desta forma, o presente trabalho objetivou desenvolver um sistema de irrigação para auxiliar a tomada de decisão na área da agricultura familiar.

Neste contexto, este estudo buscou pelo estado da arte em métodos de irrigação, por meio de uma pesquisa bibliográfica, demonstrando que os métodos de irrigação tradicionais utilizados não aderem a técnicas baseadas em dados, o que acaba por gerar uma irrigação sem controle e conseqüentemente, na maior parte das vezes, geram desperdícios. Apesar de escassos, já é possível observar alguns estudos na literatura demonstrando técnicas que podem balizar e garantir uma melhora nas proporções de água utilizada.

Por meio da revisão bibliográfica, também foi possível demonstrar o uso de outras técnicas para tomada de decisão, sendo elas: lógica fuzzy, redes neurais e redes bayesianas. Com base na literatura, observou-se que as redes bayesianas possuem como características o tratamento e a propagação de incerteza, o que justifica seu emprego neste contexto.

A partir das evidências foi desenvolvida uma rede bayesiana, com auxílio da engenheira agrônoma Janete Basso Costa, para representação do conhecimento do domínio em questão, o que possibilitou o auxílio e controle na irrigação, tendo como foco a redução de desperdícios hídricos. O modelo foi analisado e avaliado pela especialista. Em uma segunda etapa, foi desenvolvido um sistema autônomo de irrigação, que recebia dados de sensores e após a inferência no modelo bayesiano, efetuava ou não a irrigação.

Inicialmente a avaliação do protótipo teve como objetivo o acompanhamento do crescimento total da planta, porém, com 15 dias de acompanhamento o experimento teve que ser interrompido em virtude da perda de uma das plantas de referência em consequência da queda de um objeto, o que impossibilitou a comparação. Desta forma, foi dado início a um novo comparativo com outro conjunto de plantas, utilizando o mesmo número de dias, a fim de validar a redução na utilização de água.

Com base nos experimentos apresentados neste trabalho, foi possível observar resultados muito positivos frente a redução no consumo de água em comparação com técnicas manuais e tradicionais no manejo da agricultura familiar, o que evidenciou que o desperdício pode chegar a quase metade da água necessária para efetuar a irrigação.

Este trabalho apresentou uma evolução até a criação do protótipo e validação do modelo. Porém, é necessário aprofundar mais a tese, de forma que possa ser testado por mais pessoas da área, trazendo assim uma porcentagem de economia de água mais precisa. Além disso, outro trabalho de grande validade seria efetuar um teste fora dos vasos diretamente em um local de agricultura familiar, com a finalidade de utilizar o projeto em seu local final, auxiliando um agricultor familiar a reduzir a quantidade de água utilizada.

Também como trabalho futuro pode-se seguir no aprimoramento do modelo e protótipo visando algumas outras possibilidades, como adicionar sensor de chuva, sensor de umidade e de temperatura diretamente no protótipo a fim de obter parâmetros como calor e umidade próximo a planta.

Visto que o trabalho foi desenvolvido e testado sob condições climáticas de apenas uma cidade, seria interessante e agregaria se fossem feitas avaliações em cidades diferentes, com a finalidade de avaliar o desempenho e ajustar o protótipo em frente as possíveis variáveis.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Irrigação**, 2017. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>>. Acesso em: 25 ago. 2019.

AGUADO, Alexandre Garcia; CANTANHEDE, Marco André. Lógica Fuzzy. **Artigo sem**, [s. l.], 2010. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/37573988/2010_IA_FT_UNICAMP_logicaFuzzi.pdf>. Acesso em: 3 set. 2019.

AGUIAR, Sandra da Cruz Garcia do Espírito Santo; BORESTEIN, Denis. Redes bayesianas: uma ferramenta na previsão de preço de commodity. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 237–253, 2012. Disponível em: <<http://200.129.142.19/index.php/rara/article/view/574>>. Acesso em: 15 set. 2019.

AL-FUQAHA, Ala et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7123563/>>. Acesso em: 12 set. 2019.

ANDRIOLO, Jerônimo L.; BOEMO, Moisés P.; BONINI, Jorge V. Crescimento e desenvolvimento de mudas de tomateiro e melão empregando os métodos de irrigação por microaspersão, inundação subsuperficial e flutuação. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 332-335, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362001000300008&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 28 out. 2019.

BAYES, Thomas. XLIII. A letter from the late Reverend Mr. Thomas Bayes, F. R. S. to John Canton, M. A. and F. R. S. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, [s. l.], v. 53, p. 269–271, 1763. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstl.1763.0044>>. Acesso em: 9 nov. 2019.

BERTONCINI, Edna Ivani. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 152–169, 2008. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wpcontent/uploads/2016/06/Tratamento-de-efluentes-e-reuso-da-água-no-meio-agrícola.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2019.

BEZ, Marta et al. Simulador Inteligente Para a Tomada De Decisão Em Cuidados De Saúde- Simdecs. **Revista Espaço para a Saúde**. Londrina, v. 15, n. 1, p. 599-609. Londrina, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301300297_SIMULADOR_INTELIGENTE_PARA_A_TOMADA_DE_DECISAO_EM_CUIDADO_S_DE_SAUDE_-_SIMDECS>. Acesso em: 10 nov. 2019.

_____ et al. Proposta de um algoritmo de recomendação usando uma rede bayesiana no health simulator. **Ingeniería e Innovación**, [s. l.], v. 4, n. 2, 2016. Disponível em: <<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/1180>>. Acesso em: 11 set. 2019.

CARVALHO, Carolina Medeiros et al. Um Sistema de Suporte ao Diagnóstico de Comprometimento Cognitivo Leve com Adaptação do Modelo de Decisão. In: **Anais da VI Escola Regional de Computação aplicada à saúde**. SBC, 2018. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/ercas/article/view/2821>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

CONHEÇA os materiais de irrigação por aspersão. **Safra Irrigação**, 2019. Disponível em: <<https://www.safrairrigacao.com.br/materia/conheca-os-materiais-de-irrigacao-por-aspersao>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

CORAL, Rodrigo. Propagação de Incertezas de Medição através de Redes Neurais Artificiais utilizando o Método de Monte Carlo. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 2, n. 7, p. 70-77, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/2126/1268>>. Acesso em: 3 nov. 2019.

COSTA, Thaíse Kelly de Lima; MACHADO, Liliane dos Santos; MORAES, Ronei Marcos de. Inteligência artificial e sua aplicação em serious games para saúde. **RECIIS - Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde**. Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 525-539, 2014. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/handle/iciict/17133>>. Acesso em: 10 set. 2019.

COUTINHO, Danilo Raniery Alves; PADILHA, Thereza P. P; DANTAS, Vanessa F. **Análise de Desempenho Acadêmico Utilizando Redes Bayesianas: um estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal da Paraíba, Rio Tinto, PB, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/2768>>. Acesso em: 11 set. 2019.

DE LIMA, Ângela A. et al. Competição das cultivares de alface Vera e Verônica em dois espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 314-316, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-05362004000200030&script=sci_arttext>. Acesso em: 1 maio. 2020.

DE OLIVEIRA, Aureo Silva et al. Avaliação do desempenho de sistemas pivô central na região oeste da Bahia. **Irriga**, [s. l.], v. 9, n. 2, 2004. Disponível em: <<http://actaarborea.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3159>>. Acesso em: 15 set. 2019.

DIONIZIO, Dillyane Petizero. **Tomada de decisão na manutenção de geradores diesel de emergência de centrais nucleares por redes bayesianas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2014. Disponível em: <http://antigo.nuclear.ufrj.br/MScDissertacoes/2014/Dissertacao_Dillyane_Petizero.pdf>. Acesso em: 20 set. 2019.

DONHA, Annelissa Gobel. **Avaliação do uso de técnicas de suporte à decisão na determinação da fragilidade em ambiente de geoprocessamento: o caso do Centro de Estações Experimentais do Cangüiri - Universidade Federal do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2003. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/26543>>. Acesso em: 27 maio. 2020.

DRIVE, Burgess; PARK, Menlo; CHARNIAK, Eugene. This Is a Publication of The American Association for Artificial Intelligence. **AI Magazine**, [s. l.], v. 12, p. 50–63, 1991. Disponível em: <<http://www.aaai.org>>. Acesso em: 17 set. 2019.

DRURY, Brett et al. A survey of the applications of Bayesian networks in agriculture. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, [s. l.], v. 65, p. 29–42, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197617301513>>. Acesso em: 12 set. 2019.

EMPRESA de irrigação por gotejamento. **Campezza Irrigação e Equipamentos**, 2019. Disponível em: <<https://www.campezza.com.br/empresa-irrigacao-gotejamento>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

ENERGIA, SolarVolt. **O pivô central de irrigação e a energia solar**. 2019. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/pivo-central-irrigacao-energia-solar/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

FERNEDA, Edberto. Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação. **Ciência da Informação**, [s. l.], v. 35, n. 1, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-19652006000100003&script=sci_arttext&lng=pt>. Acesso em: 28 set. 2019.

FIALHO, Luiz Filipe Lopes. **Sistema de planejamento de irrigação baseado em redes Narx**. [s. l.], 2015. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/134936>>. Acesso em: 1 set. 2019.

FLORES, Cecilia et al. Projeto AMPLIA - uso da informática na educação médica. In: III WORKSHOP DE INFORMÁTICA MÉDICA. **Anais...** Fortaleza, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Rosa_Maria_Vicari/publication/267966354_Projeto_AMPLIA_-_uso_da_informatica_na_educacao_medica/links/547deb940cf27ed978625887/Projeto-AMPLIA-uso-da-informatica-na-educacao-medica.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

GANDHI, Niketa; ARMSTRONG, Leisa J. A review of the application of data mining techniques for decision making in agriculture. In: **2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)**. IEEE, p. 1-6, 2016. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7917925>>. Acesso em: 9 nov. 2019.

GIBERTONI, Jonas Antonio Miguel; PANDOLFI, Marcos Alberto Claudio. A problematização da crise hídrica para os pequenos produtores. **SIMTEC- Simpósio de Tecnologia da FATEC Taquaritinga**, [s. l.], 2015. Disponível em: <<https://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/225>>. Acesso em: 1 set. 2019.

GOLDSTEIN, Anat et al. Applying machine learning on sensor data for irrigation recommendations: revealing the agronomist's tacit knowledge. **Precision Agriculture**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 421–444, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-017-9527-4>>. Acesso em: 3 set. 2019.

GOMES, Marco Antonio Ferreira. Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã. **Embrapa Meio Ambiente**, [s. l.], 2012. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/921047>>. Acesso em: 29 ago. 2019.

GONÇALVES, Diego et al. Sistema IoT para monitoramento e controle de irrigação. In: **Anais da IV Escola Regional de Informática do Piauí**. SBC, p. 310-315, 2018. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/eripi/article/view/5186>>. Acesso em: 28 out. 2019.

HAYKIN, Simon. **Redes neurais: princípios e prática**. 2 ed. São Paulo: Bookman Editora, 2007.

HECKERMAN, David. A tutorial on learning with Bayesian networks. **Studies in Computational Intelligence**, [s. l.], v. 156, p. 33–82, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-85066-3_3>. Acesso em: 17 set. 2019.

_____; GEIGER, Dan; CHICKERING, David M. Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data. **Machine learning**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 197–243, 1995. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00994016>>. Acesso em: 1 set. 2019.

HEDLEY, Carolyn et al. Soil water status and water table depth modelling using electromagnetic surveys for precision irrigation scheduling. **Geoderma**, [s. l.], v. 199, p. 22-29, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706112002881>>. Acesso em: 3 set. 2019.

HERNANDEZ, Fernando Braz Tangerino. Manejo da irrigação. **Curso de Capacitação em Agricultura Irrigada**, [s. l.], v. 1, p. 19-26, 1999. Disponível em: <<http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/curso3.htm>>. Acesso em: 1 set. 2019.

HOPPER, Nathan Lee. **A Geographical Approach for Integrating Belief Networks and Geographic Information Sciences to Probabilistically Predict River Depth**, 2013. Tese (Doutorado em Filosofia (PhD) - Curso de Pós-graduação em Filosofia, Universidade do Sul do Mississippi, Estados Unidos, 2013. Disponível em: <<https://aquila.usm.edu/dissertations/216>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

JANSSON, Jonas; GUSTAFSSON, Fredrik. A framework and automotive application of collision avoidance decision making. **Automatica**, [s. l.], v. 44, n. 9, p. 2347–2351, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005109808000617>>. Acesso em: 10 set. 2019.

JENSEN, Finn Verner; OLESEN, Kristian G.; ANDERSEN, Stig Kjaer. An algebra of Bayesian belief universes for knowledge-based systems. **Networks**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 637-659, 1990. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/net.3230200509>>. Acesso em: 1 set. 2019.

JOHANSSON, Robert C et al. Pricing irrigation water: A review of theory and practice. **Water Policy**, v. 4, n. 2, p. 173-199, 2002. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366701702000260>>. Acesso em: 19 ago. 2019.

KORENEVSKIY, Nikolay A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems. **Biomedical Engineering**, [s. l.], v. 49, n. 1, p. 33–35, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10527-015-9494-x>>. Acesso em: 3 nov. 2019.

KUMAR, Sunil et al. Computational modeling and emerging trend in agriculture. In: **2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)**. IEEE, 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7100429>>. Acesso em: 1 set. 2019.

LADEIRA, Marcelo; VICARI, Rosa Maria; COELHO, Helder. Redes Bayesianas Multiagentes. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, XIX**. 1999. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52315236/Redes_Bayesianas_Multiagentes20170326-31458-8jwyir.pdf?1490556142=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRedes_Bayesianas_Multiagentes.pdf&Expires=1591067595&Signature=QOUA95EOst0ACpSEmijnLPAJDvXV>. Acesso em: 1 set. 2019.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Weneck; FERREIRA, Raquel Scalia Alves; CHRISTOFIDIS, Demetrios. O uso da irrigação no Brasil. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. [s. l.], 1999. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Enoch_Lima/publication/228716436_O_uso_da_Irrigacao_no_Brasil/links/00463539b762c64d04000000.pdf>. Acesso em: 1 set. 2019.

MAIER, Alexander; SHARP, Andrew; VAGAPOV, Yuriy. Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. In: **2017 Internet Technologies and Applications (ITA)**. IEEE, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8101926>>. Acesso em: 12 set. 2019.

MAITI, Saumen; TIWARI, R. K. A comparative study of artificial neural networks, Bayesian neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system in groundwater level prediction. **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 71, n. 7, p. 3147–3160, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12665-013-2702-7>>. Acesso em: 15 set. 2019.

MARQUELLI, Waldir Aparecido. Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças. Embrapa Hortaliças, 15p. **Boletim Técnico**, 2008. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/780870/tensiometros-para-o-controle-de-irrigacao-em-hortalicas>>. Acesso em: 28 out. 2019.

MARQUES, Roberto Ligeiro; DUTRA, Inês. Redes Bayesianas: o que são, para que servem, algoritmos e exemplos de aplicações. **Coppe Sistemas- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil**, [s. l.], 2002. Disponível em: <<https://www.cos.ufrj.br/~ines/courses/cos740/leila/cos740/Bayesianas.pdf>>. Acesso em: 1 set. 2019.

MARRO, Alessandro Assi et al. Lógica fuzzy: conceitos e aplicações. **Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)**, [s. l.], 2010. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32652606/texto_fuzzy.pdf?1388417341=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTexto_fuzzy.pdf&Expires=1591139260&Signature=HRuFbi8-R6wRvtHD6ri8WjHo3VzIb5QqxmEkcrS19V36~5N6IIFHWY9yvXUQzOM1Sgx~GW0QApA09XRP3GTXyskEd0otMrOOA8t0hsEdfGxldkfdgiZButXg4Fb6yjCT54CqJg4Olho2Q2m0bLo~3ljul0DvqJkBN7vLRsHF-ayosFZLr4Fp9mYrRjFiSEuagGU9hF8x5pcacC6-HOw~p83PsQui~iTrKI3IFPff0cEN7u47RbmcjNkBWdUtMTyej3~56egRInF0BCrQy2IEtyuTDqGpuKz6LnrgnRc9SWjyAsaSOeLS3rFgkOD5mUDXlc4TeTw4E25i7Ten8O~FcA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em: 1 set. 2019.

MCCULLOCH, Warren S.; PITTS, Walter. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. **The bulletin of mathematical biophysics**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 115-133, 1943. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02478259>>. Acesso em: 1 set. 2019.

MUÑOZ, Franco et al. A Neural Network for Decision Making in Real-Time Heuristic Search. In: **Eleventh Annual Symposium on Combinatorial Search**, 2018. Disponível em: <<https://www.aaai.org/ocs/index.php/SOCS/SOCS18/paper/view/17976>>. Acesso em: 3 nov. 2019.

MURTAZA, Mirza B.; FISHER, Debroah J. A neural network model for decision making With application in construction management. **Journal of International Information Management**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 3, 1994. Disponível em: <<https://scholarworks.lib.csusb.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://scholar.google.com/&httpsredir=1&article=1032&context=jiim>>. Acesso em: 1 set. 2019.

NASCIMENTO, Felipe Nolleto. **Desenvolvimento do módulo de redes bayesianas múltiplas seccionadas para o health simulator**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2017. Disponível em: <https://tconline.feevale.br/NOVO/tc/files/0001_4343.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

NGUYEN, Hung T.; WALKER, Carol L.; WALKER, Elbert A. **A first course in fuzzy logic**. CRC press, 2018.

NILSSON, Nils Johan. **Artificial intelligence: a new synthesis**. Morgan Kaufmann, 1998.

NORVIG, Peter; RUSSELL, Stuart. **Inteligência artificial: Tradução da 3a edição**, vol.1. Elsevier Brasil, 2014.

NUNES, José Luis da Silva. A produção do arroz irrigado. **Irrigação.net**, [s. l.], 2015. Disponível em: <<https://www.irrigacao.net/irrigacao/a-producao-do-arroz-irrigado/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

PAVLENKO, Tatjana; CHERNYAK, Oleksandr; TILLANDER, Annika. Bayesian Networks for Modeling and Assessment of Credit Concentration Risks. In: 2009, **Anais...** [s.l: s.n.] Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Oleksandr_Ch>

ernyak/publication/265497155_Bayesian_Networks_for_the_modeling_and_assessment_of_credit_concentration_risks/links/54b7b3010cf2e68eb2803fca.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

PAZ, Vital Pedro da Silva; TEODORO, Reges Eduardo Franco; MENDONÇA, Fernando Campos. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p. 465-473, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1415-43662000000300025&script=sci_arttext>. Acesso em: 28 out. 2019.

PEARL, Judea. Fusion, propagation, and structuring in belief networks. **Artificial Intelligence**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 241–288, 1986. Disponível em: <[https://bi.snu.ac.kr/~scai/Info/AI/Fusion, Propagation, and Structuring in Belief Networks.pdf](https://bi.snu.ac.kr/~scai/Info/AI/Fusion,Propagation,andStructuringinBeliefNetworks.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2019.

SILVA, Euzebio Medrado da; AZEVEDO, Juscelino Antônio de. Dimensionamento da lateral de irrigação do pivô-central. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 1998. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/554798>>. Acesso em: 26 out. 2019.

SOUSA, Rogério. **Porque não, "Selo Azul"?** 2015. Disponível em: <<https://www.irrigacao.net/porque-nao-selo-azul/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

STROSKI, Pedro Ney. O que é lógica fuzzy?. **Electrical e-Library.com**, 2017. Disponível em: <<http://www.electricalibrary.com/2017/11/13/o-que-e-logica-fuzzy/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. [s. l.], 2011. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.seplan.planejamento.gov.br/handle/iditem/451>>. Acesso em: 25 out. 2019.

VILLES, Valesca Schardong et al. Água como bem econômico: dessalinização para o combate da escassez hídrica no agronegócio. **Multitemas**, [s. l.], v. 24, n. 57, p. 217–231, 2019. Disponível em: <<https://www.multitemas.ucdb.br/multitemas/article/view/2152>>. Acesso em: 29 ago. 2019.

WIEGERINCK, Wim; BURGERS, Willem; KAPPEN, Bert. Bayesian Networks, Introduction and Practical Applications. **Intelligent Systems Reference Library**, [s. l.], v. 49, p. 401–431, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-36657-4_12>. Acesso em: 16 set. 2019.

ZADEH, Lofti. A. Fuzzy logic. **Computer**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 83-93, 1988. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/53/>>. Acesso em: 3 nov. 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Aplicação do ESP32

```
#include <WiFi.h>
#include <ESPmDNS.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <ArduinoOTA.h>
#include <HTTPClient.h>

//Configurações Wifi
const char* ssid = "NOME DA REDE";
const char* password = "SENHA DA WIFI";

int rele = 23;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(15, OUTPUT);
  pinMode(2, OUTPUT);

  digitalWrite(15, HIGH);
  digitalWrite(2, LOW);
}

void loop() {

  int soloUmidade = analogRead(25);
  delay(500);

  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.waitForConnectResult() != WL_CONNECTED) {
```

```

    Serial.println("Connection Failed! Rebooting...");
    delay(5000);
    ESP.restart();
}
enviaInformacoes(soloUmidade);

Serial.println("Informacoes enviadas");
delay(3600000);

WiFi.disconnect(true);
WiFi.mode(WIFI_OFF);
pinMode(32, OUTPUT);
digitalWrite(32, LOW);
ESP.restart();

}

void enviaInformacoes(int valor) {

    HTTPClient http;

    char host[100];

    sprintf(host, "https://irrigar.inovar.me/url?token=TOKEN DA
APLICACAO&humidity=%d", valor);
    http.begin(host);
    http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");

    int httpResponseCode = http.GET();
    Serial.println(httpResponseCode);
    if (httpResponseCode > 0) {
        if (httpResponseCode < 340) {
            delay(500);

```



```
Serial.println("Irigar!");  
pinMode(rele, OUTPUT);  
digitalWrite(rele, HIGH);  
delay(3000);  
digitalWrite(rele, LOW);  
  
} else {  
  Serial.println("Não Irrigar!");  
}  
  
} else {  
  Serial.println("Não Irrigar!");  
}  
http.end();  
  
}
```

APÊNDICE B – Aplicação Nodejs

```

var express = require("express");
const jsdom = require('jsdom');
const { JSDOM } = jsdom;
const DOM = new JSDOM('<!doctype html><html><body></body></html>');
const { window } = DOM;
global.window = window;
const { infer, addNode, INetwork } = require('bayesjs');
const mysql = require('./scripts/mysql');
const http = require('http');
var moment = require('moment');
var mysql_select = require('mysql');

var pool = mysql_select.createPool({
  connectionLimit : 3,
  connectTimeout : 60 * 60 * 1000,
  acquireTimeout : 60 * 60 * 1000,
  timeout : 60 * 60 * 1000,
  host : 'mysql669.umbler.com',
  user : 'irrigar',
  password : 'senha do banco de dados',
  // port : '41890',
  database : 'irrigar'
});

var today = new Date(Date.now());
var date = today.getFullYear()+'-'+(today.getMonth()+1)+'-'+today.getDate();

const url = "http://api.worldweatheronline.com/premium/v1/weather.ashx?key=token
da api&q=Gramado/RS&format=json&date=" + date.toLocaleString("pt-BR");

const combNodesAndBeliefs = (nodes, beliefs, infereceEnabled = true) => {

```

```

console.time('INFER');
let network = {};
const remainingNodes = [...nodes];
const results = {};

while (remainingNodes.length > 0) {
  const nodesToAdd = [];

  for (let i = 0; i < remainingNodes.length; i++) {
    if (remainingNodes[i].parents.every(p =>
Object.prototype.hasOwnProperty.call(network, p))) {
      nodesToAdd.push(remainingNodes.splice(i, 1)[0]);
    }
  }

  nodesToAdd.forEach((nodeToAdd) => {
    network = addNode(network, nodeToAdd);
  });
}

if (!inferceEnabled) { // desativar inferencia
  nodes.forEach((node) => {
    results[node.id] = {};

    node.states.forEach((state) => {
      results[node.id][state] = 0;
    });
  });
} else {
  nodes.forEach((node) => {
    results[node.id] = {};

    node.states.forEach((state) => {
      results[node.id][state] = infer(

```

```

    network,
    { [node.id]: state },
    Object.keys(beliefs).length === 0 ? undefined : beliefs,
  );

  });
});
}
console.timeEnd('INFER');

return results;
};

var app = express();

app.listen(3000, () => {
  console.log("Server running on port 3000");
});

app.get("/url", (req, res, next) => {

  if(req.query.token === 'nxqlhuLXqDw9')
  {

    var beliefs = [];

    var today = new Date();
    var hour = today.getHours() + "" + today.getMinutes();
    var correct_element;
    http.get(url, (response) => {
      response.setEncoding('utf8');
      let rawData = "";

```

```

response.on('data', (chunk) => { rawData += chunk; });
response.on('end', () => {
  try {
    const parsedData = JSON.parse(rawData);
    // console.log(parsedData['data']['weather'][0]['hourly']);
    parsedData['data']['weather'][0]['hourly'].forEach(element => {
      element['time'] = parseInt(element['time']) + 300;
    });

    var new_hour = 0;

    parsedData['data']['weather'][0]['hourly'].forEach(element => {
      if(element['time'] > parseInt(hour) && new_hour == 0){
        new_hour = 1;
        correct_element = element;
      }
    });

    moment.locale('pt-BR');

    // var fulldate = moment().format('Y-MM-DD HH:MM:SS');
    var date = moment().format('Y-MM-DD');

    var chanceofrain = correct_element['chanceofrain'];

    var sim = parseInt(chanceofrain)/100;
    var nao = (100-parseInt(chanceofrain))/100;

    allNodes = [

```

```
{
  "id": "QOA",
  "states": [
    "Sim",
    "Nãõ"
  ],
  "parents": [],
  "cpt": {
    "Sim": 0.5,
    "Nãõ": 0.5
  }
},
{
  "id": "TIC",
  "states": [
    "Sim",
    "Nãõ"
  ],
  "parents": [],
  "cpt": {
    "Sim": 0.5,
    "Nãõ": 0.5
  }
},
{
  "id": "CHUVA",
  "states": [
    "Sim",
    "Nãõ"
  ],
  "parents": [],
  "cpt": {
    "Sim": sim,
    "Nãõ": nao
  }
}
```

```
}  
},  
{  
  "id": "IE",  
  "states": [  
    "Sim",  
    "Não"  
  ],  
  "parents": [],  
  "cpt": {  
    "Sim": 0.5,  
    "Não": 0.5  
  }  
},  
{  
  "id": "Irigar",  
  "states": [  
    "Sim",  
    "Não"  
  ],  
  "parents": [  
    "QOA",  
    "TIC",  
    "CHUVA",  
    "IE"  
  ],  
  "cpt": [  
    {  
      "when": {  
        "QOA": "Sim",  
        "TIC": "Sim",  
        "CHUVA": "Sim",  
        "IE": "Sim"  
      }  
    }  
  ],  
}
```

```
"then": {
  "Sim": 0,
  "Não": 1
},
{
  "when": {
    "QOA": "Não",
    "TIC": "Sim",
    "CHUVA": "Sim",
    "IE": "Sim"
  },
  "then": {
    "Sim": 0,
    "Não": 1
  }
},
{
  "when": {
    "QOA": "Sim",
    "TIC": "Não",
    "CHUVA": "Sim",
    "IE": "Sim"
  },
  "then": {
    "Sim": 0,
    "Não": 1
  }
},
{
  "when": {
    "QOA": "Não",
    "TIC": "Não",
    "CHUVA": "Sim",
```



```
"IE": "Sim"
},
"then": {
  "Sim": 0,
  "Nãõ": 1
}
},
{
  "when": {
    "QOA": "Sim",
    "TIC": "Sim",
    "CHUVA": "Nãõ",
    "IE": "Sim"
  },
  "then": {
    "Sim": 0,
    "Nãõ": 1
  }
},
{
  "when": {
    "QOA": "Nãõ",
    "TIC": "Sim",
    "CHUVA": "Nãõ",
    "IE": "Sim"
  },
  "then": {
    "Sim": 0,
    "Nãõ": 1
  }
},
{
  "when": {
    "QOA": "Sim",
```

```
"TIC": "Nãõ",
"CHUVA": "Nãõ",
"IE": "Sim"
},
"then": {
  "Sim": 0,
  "Nãõ": 1
}
},
{
  "when": {
    "QOA": "Nãõ",
    "TIC": "Nãõ",
    "CHUVA": "Nãõ",
    "IE": "Sim"
  },
  "then": {
    "Sim": 1,
    "Nãõ": 0
  }
},
{
  "when": {
    "QOA": "Sim",
    "TIC": "Sim",
    "CHUVA": "Sim",
    "IE": "Nãõ"
  },
  "then": {
    "Sim": 0,
    "Nãõ": 1
  }
},
{
```

```
"when": {  
  "QOA": "Nã",  
  "TIC": "Sim",  
  "CHUVA": "Sim",  
  "IE": "Nã"  
},  
"then": {  
  "Sim": 0,  
  "Nã": 1  
}  
},  
{  
  "when": {  
    "QOA": "Sim",  
    "TIC": "Nã",  
    "CHUVA": "Sim",  
    "IE": "Nã"  
  },  
  "then": {  
    "Sim": 0,  
    "Nã": 1  
  }  
},  
{  
  "when": {  
    "QOA": "Nã",  
    "TIC": "Nã",  
    "CHUVA": "Sim",  
    "IE": "Nã"  
  },  
  "then": {  
    "Sim": 0,  
    "Nã": 1  
  }  
}
```

```
},  
{  
  "when": {  
    "QOA": "Sim",  
    "TIC": "Sim",  
    "CHUVA": "Nãõ",  
    "IE": "Nãõ"  
  },  
  "then": {  
    "Sim": 1,  
    "Nãõ": 0  
  }  
},  
{  
  "when": {  
    "QOA": "Nãõ",  
    "TIC": "Sim",  
    "CHUVA": "Nãõ",  
    "IE": "Nãõ"  
  },  
  "then": {  
    "Sim": 1,  
    "Nãõ": 0  
  }  
},  
{  
  "when": {  
    "QOA": "Sim",  
    "TIC": "Nãõ",  
    "CHUVA": "Nãõ",  
    "IE": "Nãõ"  
  },  
  "then": {  
    "Sim": 1,
```

```

        "Nãõ": 0
    }
},
{
    "when": {
        "QOA": "Nãõ",
        "TIC": "Nãõ",
        "CHUVA": "Nãõ",
        "IE": "Nãõ"
    },
    "then": {
        "Sim": 1,
        "Nãõ": 0
    }
}
]
}
];

```

```

var insert_string = "SELECT COUNT(*) as qtd FROM irrigacao where day = '"
+ date + "' and irrigated = 1";

```

```

// console.log(insert_string);
pool.query(insert_string, function (error, results, fields) {
    if (error) throw error;
    // console.log("The solution is: ', results[0].qtd);

    var was_irrigated = 0;

    if(results[0].qtd > 0)
    {
        was_irrigated = 1;
    } else {
        was_irrigated = 0;
    }
}

```

```
}
```

```
var humidity = req.query.humidity;  
if(humidity > 4000)  
{  
  humidity = 200;  
}
```

```
humidity_percent = (parseInt(humidity)*100)/4025;  
// console.log(100-humidity_percent);  
var QOA = 'Sim';
```

```
if((100-humidity_percent) > 84)  
{  
  QOA = 'Sim';  
} else {  
  QOA = 'Não';  
}
```

```
var TIC = 'Não';  
if(parseInt(correct_element['tempC']) > 30)  
{  
  TIC = 'Sim';  
}
```

```
var irrigated_now = 'Não';
```

```
if(was_irrigated == 1 ){
```

```

    irrigated_now = 'Sim';
  } else {
    irrigated_now = 'Não';
  }

  beliefs = {'TIC': TIC, 'QOA': QOA, 'IE': irrigated_now};

  console.log('QOA: ' + QOA);
  console.log('TIC: ' + TIC);
  console.log('IE: ' + was_irrigated);
  console.log('CHUVA: ' + sim);
  console.log('Date: ' + date.toLocaleString("pt-BR"));

  const inferResults = combNodesAndBeliefs(allNodes, beliefs, true);

  var result = 0;
  if(parseFloat(inferResults["Irrigar"]["Sim"]) > parseFloat('0,50')){
    result = 1;
  }

  mysql.insert(parseInt((100-humidity_percent)),
correct_element['chanceofrain'], correct_element['tempC'], fulldate, result, date,
req.query.humidity);

  console.log(inferResults["Irrigar"]["Sim"]);
  if(parseFloat(inferResults["Irrigar"]["Sim"]) > parseFloat('0,50')){
    // pool.end();
    res.status(301).json('Sim');
  } else {
    // pool.end();

```

```
        res.status(404).json('Não');
    }
});

} catch (e) {
    console.error(e.message);
}
});
} else {
    res.status(404).json('oops!');
}
});
```