

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**SISTEMA PARA AQUISIÇÃO E ATUAÇÃO
PARA CONTROLE DE UMIDADE DO SOLO**

Paulo Henrique de Amorim Pinheiro

Brasília, Dezembro de 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

Paulo Henrique de Amorim Pinheiro

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista

Banca Examinadora

Prof. Alexandre Ricardo Soares Romariz, UnB/ ENE
(Orientador)

Prof. Ricardo Zelenovsky, UnB/ ENE

Prof. João Luiz Azevedo de Carvalho, UnB/ ENE

*“Dedico esse trabalho a minha
família por todo incentivo,
carinho e apoio prestado
ao longo de toda a minha vida.”*

Agradecimentos

Agradeço à minha família, por todo o amor e dedicação com que sempre me criou durante toda a minha vida e por ser meu grande exemplo de honestidade e superação. Agradeço por sempre tentar buscar a minha alegria e bem-estar.

A Deus, por sempre me dar forças nos momentos difíceis, por todas as oportunidades que têm me dado e por toda a saúde e força de vontade de que gozo.

Aos meus amigos que fiz durante o curso pelos momentos bons e ruins que vivemos que contribuíram para a minha boa formação e pelo conhecimento que adquiri durante os momentos da vida acadêmica.

Agradeço ao meu orientador, Romariz, pelos ensinamentos, e principalmente pela paciência e dedicação ao longo da realização do trabalho.

Finalmente agradeço aos Docentes da Universidade de Brasília pelo empenho em ministrar as aulas, suas experiências e conselhos que me auxiliaram muito durante a minha formação acadêmica.

Resumo

Este trabalho apresenta uma proposta de metodologia de controle de irrigação para hortas, lavouras e jardins, usando aplicações do arduino e sensores de umidade e temperatura. O sistema monitora a umidade do solo e da temperatura ambiente com o intuito de reduzir a quantidade de água utilizada durante a irrigação.

O sistema funciona por meio da aquisição dos valores da temperatura ambiente e da umidade do solo, com esses dados ele determina as melhores condições para que seja feita a irrigação do solo. Após a determinação das condições o código aciona um relé, que por sua vez aciona uma bomba de água que realiza a irrigação.

A avaliação do sistema é feita através de simulações de irrigação em 2 diferentes cenários que consideram diferentes temperaturas máximas para realizar a irrigação.

Os resultados obtidos permitem concluir que a metodologia utilizada permite que haja uma certa economia de água durante a irrigação.

Lista de Figuras

Figura 2.1- Consumo de água no mundo (de 1900 até uma previsão para 2025).....	5
Figura 2.2- Divisão do consumo mundial de água doce.....	5
Figura 2.3- Consumo de Água no Brasil.....	7
Figura 2.4- Mapa da agricultura brasileira.....	8
Figura 2.5- Modelo esquemático de um lisímetro de balança.....	9
Figura 2.6- Tanque de 20 metros quadrados utilizado para medir a evaporação.....	10
Figura 2.7- Processo de evapotranspiração.....	10
Figura 2.8- Percentagem de redução de ET com a umidade do solo (Ks).....	11
Figura 2.9- Variação de Kc com o desenvolvimento de culturas anuais, os valores de Kc acompanham a área foliar da cultura.....	12
Figura 2.10- ciclo da evapotranspiração.....	13
Figura 2.11- Diagrama da agricultura de precisão.....	15
Figura 3.1- Curva de irradiância solar anual média por horário.....	19
Figura 3.2- fluxograma do algoritmo, explicitando as etapas de funcionamento do sistema.....	22
Figura 3.3- Placa de Arduino UNO.....	24
Figura 3.4- sensor de umidade do solo higrômetro.....	25
Figura 3.5- módulo Relé 5V de 2 Canais.....	26
Figura 3.6- sensor de Temperatura DS18B20.....	28
Figura 4.1- Gráfico da média dos dados provenientes do sensor de umidade gerados no cenário 1.....	32
Figura 4.2- Gráfico da média dos dados provenientes do sensor de umidade gerados no cenário 2.....	33

Lista de Tabelas

Tabela 4.1- Resultado do cenário 1 para a temperatura ambiente variando de 22 °C a 25 °C.....	31
Tabela 4.2- Resultado do cenário 2 para a temperatura ambiente variando de 32 °C a 35 °C.....	31

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
TA	Temperatura ambiente
US	Umidade do Solo
ONU	<i>Organização das Nações Unidas</i>
ET	Evapotranspiração
KC	Coeficiente de Cultura
KS	Coeficiente de Secamento do Solo
IAF	Índice de área foliar
AFD	Água Facilmente Disponível
CAD	Capacidade de Água Disponível
AP	Agricultura de Precisão

Sumário

1	Introdução.....	1
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Motivações.....	4
2.1.1	O aumento da população e o consumo de água.....	4
2.1.2	Reservas de água doce e poluição das águas.....	6
2.1.3	Potencial brasileiro para economia de água na agricultura.....	7
2.2	Evapotranspiração.....	8
2.2.1	Conceito de Evapotranspiração.....	9
2.2.2	Tipos de evapotranspiração.....	11
2.3	Agricultura de Precisão (AP).....	14
2.3.1	Vantagens provenientes da Agricultura de precisão.....	15
2.3.2	Dificuldades para uso da Agricultura de precisão.....	16
2.4	Dispositivos que compõem um sistema de agricultura de precisão.....	16
3	Materiais e Métodos.....	17
3.1	Método.....	18
3.1.1	Variáveis consideradas.....	18
3.1.2	Variáveis de entrada.....	18
3.1.3	O algoritmo.....	20
3.1.4	Abaixo detalhemos essas etapas.....	21
3.2	Materiais.....	23
3.2.1	Ferramentas computacionais.....	23
3.2.2	Arduino UNO.....	24
3.2.3	Sensor de umidade do solo higrômetro.....	25
3.2.4	Módulo Relé 5V de 2 Canais.....	26

3.2.5	Sensor de Temperatura DS18B20.....	27
4	Resultados e Discussões.....	29
4.1	Parâmetros utilizados.....	29
4.1.1	Horário.....	29
4.1.2	Perda de água do solo por evaporação.....	29
4.1.3	Estratégia de análise.....	30
4.2	Determinação da variação de umidade do solo.....	30
4.2.1	Resultados para o cenário 1.....	30
4.2.2	Resultados para o cenário 2.....	31
4.2.3	Valores médios dos resultados.....	32
5	Conclusões.....	34
5.1	Sugestões para desenvolvimentos futuros.....	35
	Referências.....	3

1 Introdução

A água é um recurso essencial e ao longo dos últimos anos o desperdício de água potável aumentou consideravelmente no Brasil, e perdas chegam a mais de R\$ 10 bilhões ao ano. Além dos desperdícios causados por vazamentos nas tubulações e erros de leitura de hidrômetros, existe uma parcela da sociedade que utiliza mais água do que realmente necessita. O fato é que se não mudarmos nossos hábitos, o futuro da água potável é incerto (SNIS, 2016).

A maior parte da água potável é proveniente de: lagos, rios, reservatórios e fontes subterrâneas. A necessidade crescente de água potável, se contrapõe à preocupação com o desenvolvimento sustentável. Devido a isso muitas formas de se economizar esse recurso vêm sendo buscadas e têm recebido incentivos de muitos governos.

Visando a reduzir o consumo de água da sociedade, o Ministério da Justiça e Segurança Pública iniciou uma campanha que busca conscientizar a sociedade a ser mais atenta com o gasto de água. A Coordenação-Geral de Arquitetura e Engenharia (CGAE) está realizando uma minuciosa manutenção do sistema de irrigação dos jardins e manutenção da impermeabilização do espelho d'água buscando reduzir ainda mais o consumo de água (MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA, 2016).

Um dos problemas do desperdício de água é a inutilização e até esgotamento das reservas de água em alguns lugares e regiões. Logo por questões ambientais, a economia de água durante a irrigação deve ter prioridade, já que os maiores gastos de água ocorrem em atividades associadas a irrigação.

Evapotranspiração é a perda de água do solo através da evaporação somada com a perda de água das plantas por transpiração. Apesar da evapotranspiração ser um fenômeno natural, neste trabalho são apresentados recursos para reduzir as perdas de água através desse fenômeno.

Além da temperatura também existem outros fatores que determinam a evapotranspiração como: capacidade de armazenamento de água do solo, densidade de plantio, tipo de cultura, velocidade do vento e etc. Assim, é possível adotar alguns critérios em relação à temperatura ambiente e à umidade do solo, que possibilitam a economia de água durante o processo de irrigação.

Baseado nas diferentes escolhas de valores de temperatura ambiente e umidade do solo, permitidas pelo sistema de irrigação, o objetivo geral do trabalho é apresentar uma forma de irrigação que permita a escolha da melhor combinação entre temperatura ambiente máxima e umidades do solo mínimas e máximas para que ocorra o processo de irrigação. Reduzindo assim o desperdício de água.

O objetivo específico consiste na análise da influência da temperatura ambiente na capacidade de armazenamento de água do solo visando fazer a melhor escolha de valor para os seguintes fatores: temperatura máxima ambiente e umidade do solo.

Para isso, analisam-se as condições do solo e da temperatura ambiente em diferentes horários do dia, e observando em qual momento ocorre menos evapotranspiração, seleciona-se a melhor condição dentre todas possíveis, isto é, aquela que possibilite uma maior economia de água.

A metodologia utiliza sensores e componentes controlados de forma autônoma por um microcontrolador, permitindo que a irrigação seja feita de forma automática com base nos critérios escolhidos para a temperatura ambiente e as umidades máxima e mínima do solo.

A estrutura do trabalho se dá da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a Revisão Bibliográfica, abordando o contexto do uso da água na irrigação; as motivações que levaram a elaboração do estudo; os instrumentos normativos que tratam do assunto e por fim os impactos do desperdício de água.

O Capítulo 3 tem por objetivo a apresentação do sistema que funciona através de, um arduino, componentes eletrônicos e sensores de temperatura do ambiente e umidade do solo. A programação do arduino faz com que o mesmo seja capaz de identificar a configuração que permita a maior economia de água durante o processo de irrigação.

O Capítulo 4, por sua vez, apresenta os resultados obtidos nas simulações práticas, identificando-se os resultados em cada cenário, além de discutir a economia de água obtida através da escolha correta de TA e US.

Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões do estudo, além de algumas sugestões e ideias de trabalho futuro, que foram surgindo ao longo do desenvolvimento deste estudo.

2 Revisão Bibliográfica

O objetivo deste capítulo é apresentar uma contextualização do tema do estudo. Primeiramente, serão apresentadas as motivações que levaram à elaboração do estudo, seguidas da abordagem dos conceitos e análises da agricultura de precisão e evapotranspiração, passando por aspectos regulatórios e principais impactos do desperdício de água.

2.1 Motivações

2.1.1 O aumento da população e o consumo de água

O aumento da população mundial faz com que haja a necessidade de se aumentar a produção agrícola para atender as demandas dessa população, isto está ligado diretamente ao aumento do consumo de água. Por isso, se torna cada vez mais necessário a busca por métodos de economizar água.

Segundo dados da *Organização das Nações Unidas* (ONU) o consumo de água no mundo tem apresentado crescimento bastante acelerado nos últimos anos. A Figura 2.1 mostra o aumento do consumo de água mundial entre os anos 1900 indo até uma estimativa para 2025.



Figura 2.1- Consumo mundial de água (de 1900 até uma previsão para 2025)

Fonte: PENA, Rodolfo F. Alves. "Consumo de água no mundo"; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/consumo-agua-no-mundo.htm>>. Acesso em: 23 nov. 2019

Consumo de Água Doce

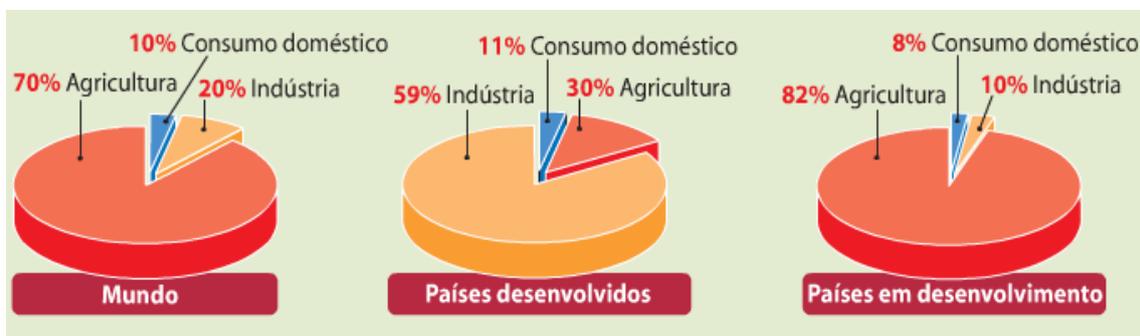


Figura 2.2 - Divisão do consumo mundial de água doce

Fonte: UNESCO. *Water for People, Water for Life*, 2003. Disponível em: <http://trabalhoserrano.blogspot.com/2011/09/graficos-e-estatisticas-do-consumo-de_05.html>. Acesso em: 24 nov. 2019

2.1.2 Reservas de água doce e poluição das águas

No cenário mundial os principais fatores que poluem as águas (plástico, lixo, resíduos químicos e etc) crescem a cada ano. O contrassenso, é que para atender a demanda alimentar e a qualidade de vida da população, é necessário aumentar tanto o consumo de água quanto a produção de plástico, lixo e outros fatores que poluem nossas águas. O aumento desses fatores ocorre de forma proporcional ao aumento da população. As Nações Unidas (ONU) preveem que, em 2030, a sociedade vai necessitar de 35% a mais de alimento, 40% a mais de água e 50% a mais de energia. Até 2050, a demanda por alimentos e por energia crescerá 70% e 60%, respectivamente (SENADO FEDERAL, 2014).

Estão sendo procuradas formas de incentivar a população a economizar água. A ONU criou o Dia Mundial da Água que é comemorado anualmente em 22 de março, com o objetivo de alertar e conscientizar as pessoas sobre a importância do cuidado e preservação da água. Juntamente com a criação desta data a ONU também criou a Declaração Universal dos Direitos da Água que possui como foco a consciência ambiental (VEOLIA BRASIL, 2019).

Apesar de o Brasil ser um país com uma grande reserva de água doce, frente aos demais países emergentes, a quantidade de água consumida é significativamente grande, já que o consumo médio de água no país é de 153,6 litros por habitante ao dia e segundo a ONU a quantidade de água suficiente para atender as necessidades básicas de uma pessoa é de apenas 110 litros ao dia. É possível notar pelo gráfico da Figura 2.3 que o maior consumo de água ocorre no setor agrícola (TRATA BRASIL, 2018).

De cada 100 litros de água tratada no Brasil, apenas 63 litros são consumidos e o restante são perdidos através de vazamentos, ligações irregulares, medição incorreta e roubos (EOS, 2017).

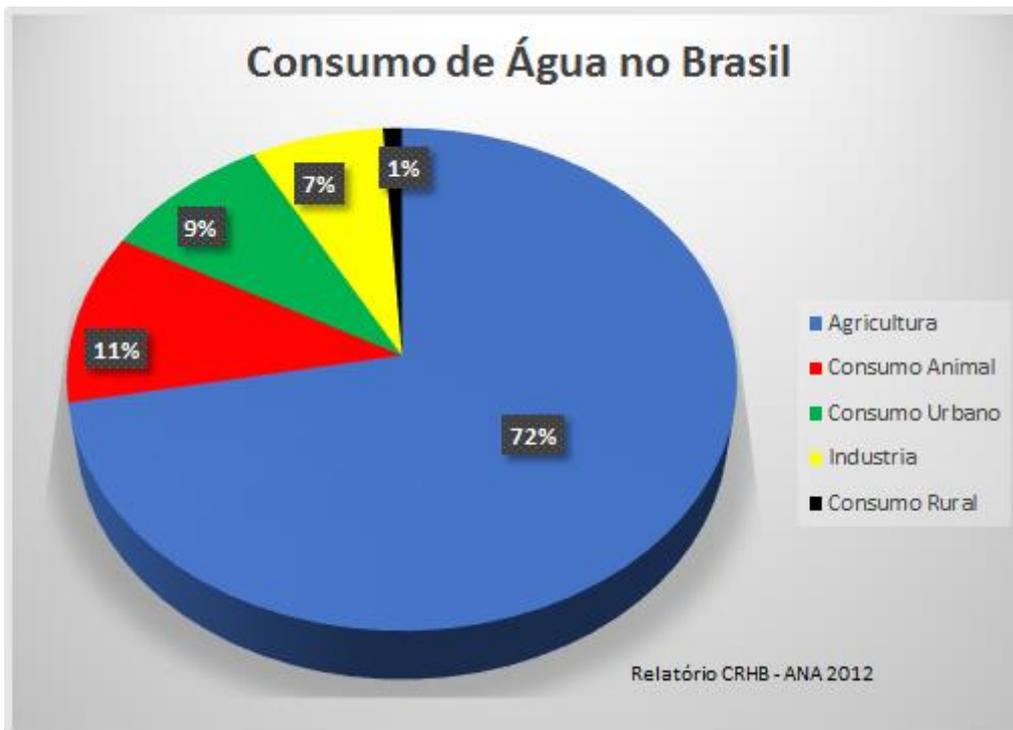


Figura 2.3 – Consumo de Água no Brasil

Fonte: ÁGUA, BLOG. A situação do consumo de água no Brasil. Disponível em: <<https://www.eosconsultores.com.br/consumo-e-desperdicio-de-agua/>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

2.1.3 Potencial brasileiro para economia de água na agricultura

O Brasil é um dos países que possui uma das maiores áreas cultivadas do planeta, possuindo cerca de 23600 hectares isso corresponde a aproximadamente 24,65% da área cultivada do planeta. Isso evidencia que o Brasil tem grande potencial para economizar água no setor agrícola. (ROBERTO RODRIGUES, Ponta Grossa-PR, 2008)

AGRICULTURA BRASILEIRA



Figura 2.4 – Mapa da agricultura brasileira

Fonte: Geo Rural blog dedicado à geografia agrária. Disponível em: <http://georural2010.blogspot.com/2010/06/blog-post_3577.html> Acesso em: 25 nov. 2019.

2.2 Evapotranspiração

No item anterior, foram apresentados os fatores motivadores deste trabalho, levando em conta a quantidade de áreas cultivadas em que o país e o mundo se encontram e então a necessidade de buscar formas para economizar água. Uma dessas formas é através da redução dos efeitos da evapotranspiração durante o processo de irrigação. Neste item são tratados os mais diversos aspectos que compõem este tema.

2.2.1 Conceito de Evapotranspiração

A Embrapa define evapotranspiração como: “processos de transpiração pelas plantas e evaporação direta do solo, que ocorrem simultaneamente”. (EMBRAPA, 2000)

Segundo a Embrapa existem duas formas de se determinar a evapotranspiração:

- Métodos Diretos: Como mostrado na figura 2.5 o balanço hídrico de campo, o uso de lisímetros ou evapotranspirômetros e o balanço de energia, os quais são usados para determinar a evapotranspiração em nível experimental, através do uso de instrumentos e do manejo necessário.
- Métodos Indiretos: fórmulas empíricas ou baseadas em princípios físico-fisiológicos ou também pela utilização de instrumentos que medem a evaporação da água (evaporímetros).

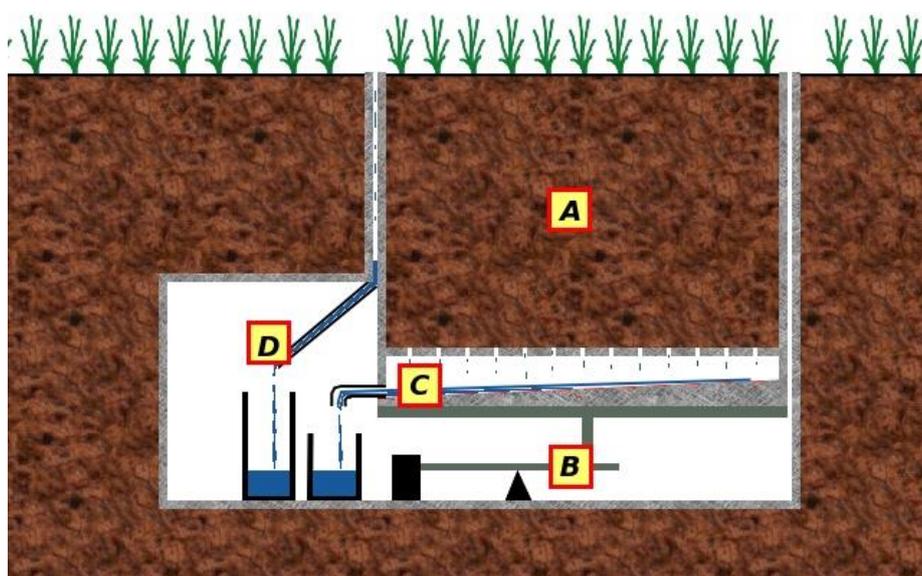


Figura 2.5 Modelo esquemático de um lisímetro de balança.

Legenda:

- A) Terreno em estudo
- B) Balança
- C) Água coletada pela drenagem
- D) Água coletada pelo escoamento

Fonte: LISÍMETRO. Disponível em: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Lisímetro>> Acesso em: 29 nov. 2019



A Figura 2.6 Simboliza um tanque de 20 metros quadrados utilizado para medir a evaporação. Suas medidas são parecidas com às obtidas em lagos. Logo não há muita influência de fatores externos.

Fonte: AGROCLIMATOLOGIA. *Evapotranspiração*. Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/aula8_Evapotranspiracao.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2019

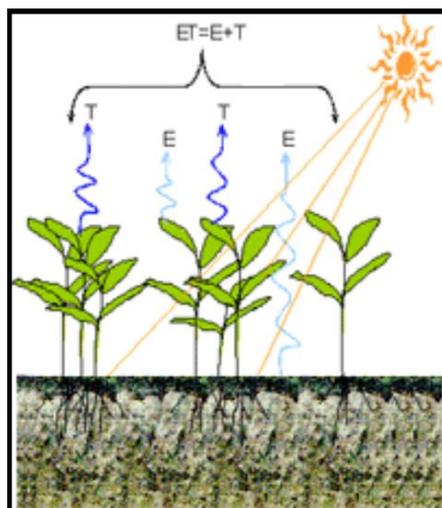


Figura 2.7 Representa o processo de evapotranspiração como sendo a transferência simultânea de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e transpiração das plantas.

Fonte: AGROCLIMATOLOGIA. *Evapotranspiração.* Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/aula8_Evapotranspiracao.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2019

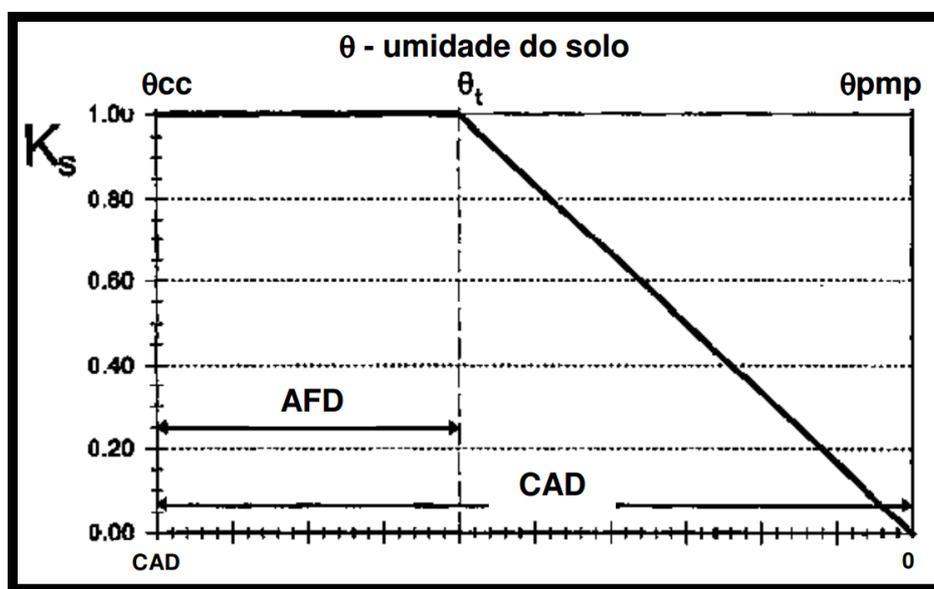


Figura 2.8 Retrata a percentagem de redução de ET com a umidade do solo (K_s)

Fonte: AGROCLIMATOLOGIA. *Evapotranspiração.* Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/aula8_Evapotranspiracao.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2019

2.2.2 Tipos de evapotranspiração

Existem quatro tipos diferentes de evapotranspiração:

Evapotranspiração potencial (ETp): É a soma da água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, por unidade de tempo, de uma grande superfície e totalmente coberta por vegetação de pequeno porte e bem suprida de água.

Evapotranspiração atual (ETa) ou real (ETr): água transferida para a atmosfera através da evaporação e transpiração de uma cultura em condições reais de fatores atmosféricos e umidade do solo, em todos os estágios de desenvolvimento.

Evapotranspiração de referência (ETo): Esse tipo ocorre em superfícies vegetadas com gramas batatais, bem provida de água, em fase de desenvolvimento ativo e com a bordadura adequada.

Evapotranspiração de cultura (ETc): É a evapotranspiração de uma planta específica crescendo sob condições definidas, incluindo condições de água e fertilidade no solo e outras condições de cultivo

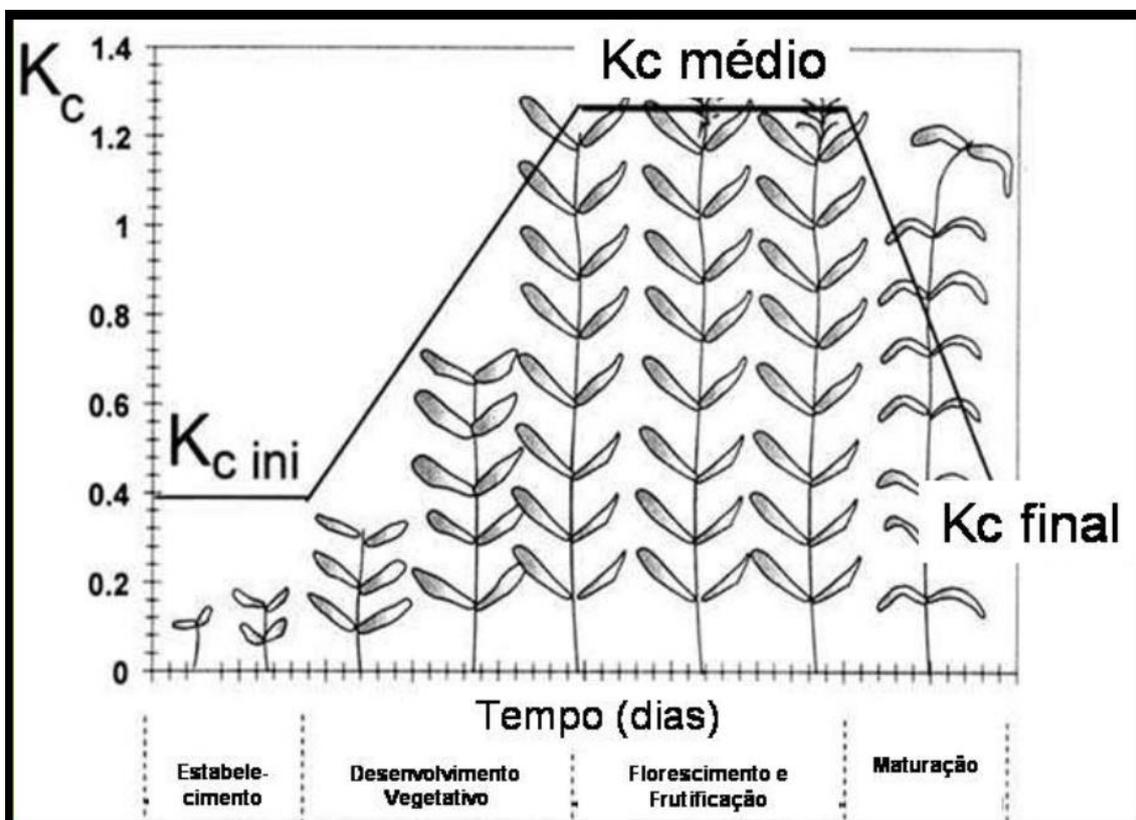


Figura 2.9 Descreve a variação de Kc com o desenvolvimento de culturas anuais, os valores de Kc acompanham a área foliar da cultura. As culturas anuais possuem um valor de Kc inicial que varia de 0,3 a 0,5, Kc médio de 0,8 a 1,2 e o Kc final de 0,4 a 0,7, dependendo do tipo de cultura. No caso de culturas perenes ou árvores, ocorre uma variação nos valores de Kc dependendo do IAF e o do tipo de cultura.

Fonte: AGROCLIMATOLOGIA. *Evapotranspiração.* Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/aula8_Evapotranspiracao.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2019

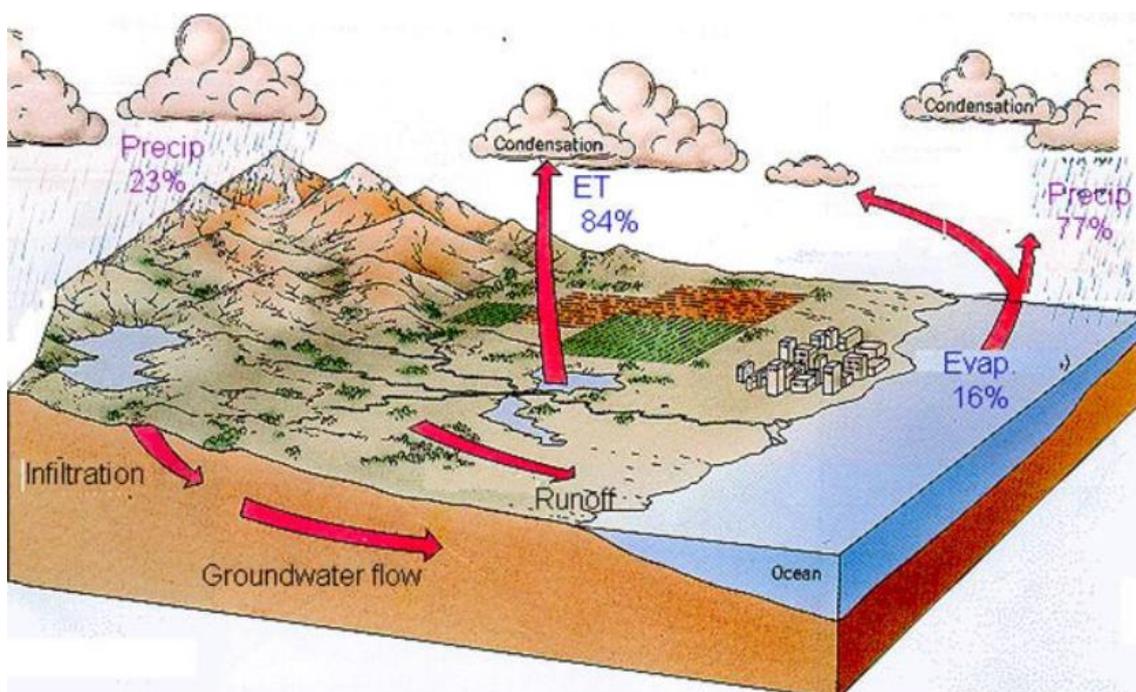


Figura 2.10 Configura o ciclo da evapotranspiração, onde as setas representam o caminho percorrido pela água.

Fonte: AGROCLIMATOLOGIA. *Evapotranspiração.* Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/aula8_Evapotranspiracao.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2019

No processo de evapotranspiração o fator mais importante é a temperatura do ambiente, quanto maior a temperatura maior é a perda de água do solo para a atmosfera, mas também existe outro fator que influencia nesse processo. Esse fator é o vento: quando o mesmo atinge velocidades razoavelmente altas isso acelera o processo de evapotranspiração.

Um dos obstáculos à implementação desse modelo de irrigação é justamente o vento que atinge as plantações. Isso porque se a velocidade do vento fosse acrescentada no sistema de irrigação como uma variável a mais, a seleção dos critérios para que ocorra a irrigação ficaria mais criteriosa e correria o risco de as plantas serem prejudicadas pela falta de irrigação durante um período razoavelmente longo.

2.3 Agricultura de Precisão (AP)

Atualmente não é realizada uma análise detalhada do solo antes de fazer a aplicação dos insumos (fertilizantes, defensivos, água...), ou seja, as áreas grandes são tratadas como homogêneas, dessa forma é utilizada a mesma quantidade de fertilizante e água para toda a área, atendendo apenas às necessidades médias e desconsiderando as necessidades específicas de regiões menores do campo. O resultado dessa forma de plantio é uma lavoura com produtividade não uniforme. A AP busca resolver esse problema fornecendo para cada região do solo a quantidade correta de água e fertilizantes.

Logo a AP é uma prática que busca a economia de água e demais produtos utilizados nas lavouras, com base no fato de que cada metro quadrado do campo possui propriedades específicas e necessita de uma determinada quantidade de insumos. Através de recursos tecnológicos a AP busca a maior precisão possível na hora de fornecer esses insumos ao campo (AGROLINK, 2016).

A ideia de utilizar apenas quantidades necessárias de insumos em cada local específico do terreno não é nova, entretanto devido a ausência da tecnologia que temos hoje, essa ideia não obteve sucesso no passado. Atualmente já existe uso da AP visando reduzir custos e aumentar a produtividade, para isso é necessário um trabalho cuidadoso, que necessita do uso de dados obtidos através de satélites. Os agricultores lançam mão dessa técnica para identificar a variabilidade dentro de um campo e manejá-la. Além do uso de

equipamentos tecnológicos sofisticados a AP também busca ser mais eficiente através do manejo dos fatores de produção associados às condições de diversidade de uma área agrícola.



Figura 2.11 Diagrama da agricultura de precisão

Fonte: AGROLINK. *Agricultura de precisão*. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/georreferenciamento/agricultura-de-precisao_361504.html>. Acesso em: 26 nov. 2019

O fator que mais contribui para o sucesso da AP são as informações obtidas a respeito do tipo de solo e características da produção em relação a esse solo. Dessa forma é possível aperfeiçoar a entrada de água e fertilizantes em pequenas porções do campo, ou seja, os insumos são ministrados na quantidade exata que a horta necessita. Assim a AP gera uma economia de capital e auxilia na preservação ambiental, já que os seus recursos permitem conhecer, localizar geograficamente e delimitar áreas de diferente produtividade (AGROLINK, 2016).

2.3.1 Vantagens provenientes da agricultura de precisão

A agricultura de precisão pode trazer aos produtores redução dos custos de produção, principalmente em relação aos agroquímicos fertilizantes e/ou corretivos. Centros especializados na área da agricultura de precisão dizem que é possível reduzir em média de 20 a 30% do valor gasto com calcário, fósforo e potássio. Outro grande benefício é a redução de danos ao meio ambiente, como não há exageros de água e outros produtos, isso evita que o solo seja prejudicado e conseqüentemente ajuda na preservação do meio ambiente. (AGROPRECISION 2017)

2.3.2 Dificuldades para uso da agricultura de precisão

A agricultura de precisão ainda passa por alguns obstáculos para poder alcançar os agricultores em geral. Como as lavouras ocupam uma área consideravelmente grande do campo, a quantidade de dados a serem analisados é grande, isso gera muito trabalho e dificuldades. Os obstáculos também são: o elevado custo dos equipamentos utilizados e a adaptação e popularização das tecnologias e técnicas as diferentes regiões do planeta (SENAR, 2019).

2.4 Dispositivos que compõem um sistema de agricultura de precisão

Agricultura de precisão é a base para a elaboração do sistema de irrigação presente neste trabalho. Portanto, é importante que se entenda tal prática, os recursos utilizados e as principais vantagens dessa prática. Os dispositivos de um sistema de agricultura de precisão são: GPS, sistemas de informação geográfica (SIG), sensoriamento remoto e software agrícolas.

3 Materiais e Métodos

O capítulo anterior abordou o conceito de agricultura de precisão, os benefícios e vantagens ao meio ambiente. Além disso apresentou os instrumentos utilizados na AP e suas respectivas funções.

Neste capítulo, propõe-se um método de gerenciamento de irrigação, considerando a temperatura ambiente e a umidade do solo. O método foi desenvolvido aplicando conceitos e recursos da evapotranspiração e da AP como: monitoramento instantâneo (ou em tempo real), um algoritmo de análise e tomada de decisão e o comando remoto de variáveis do sistema. O estudo foi feito em um arduino UNO, que é também apresentado neste capítulo, assim como todos os outros materiais utilizados.

Baseado na ideia da evapotranspiração, nos fatores que influenciam a mesma, o objetivo é apresentar uma metodologia de gerenciamento de irrigação, para lavouras, hortas ou jardins que permita a economia de água já que a agricultura é a área que mais consome água. A metodologia basicamente consiste da análise da influência da temperatura na evaporação e na umidade de água do solo, e seleção da melhor configuração que a combinação desses recursos permite. Para isso, analisa-se através da coleta de dados qual é a melhor temperatura e faixa de umidade do solo, seleciona-se a melhor configuração, dentre todas as possíveis, isto é, aquela que melhor adequa o processo de irrigação a uma maior economia de água.

As diferentes configurações do sistema, provenientes da combinação dos recursos de medição presentes no circuito, possibilitam distintas formas de regar, e portanto mudança no perfil de temperatura e umidade para cada configuração. De modo que o sistema, após

uma boa escolha desses fatores, pode ter melhores resultados quanto a economia de água para uma ou outra configuração.

3.1 Método

Inicialmente são apresentadas as variáveis envolvidas e as hipóteses adotadas, de modo a trazer melhor compreensão do algoritmo que é abordado em seguida.

3.1.1 Variáveis consideradas

As variáveis de entrada para este trabalho são: a temperatura ambiente e a umidade do solo. As variáveis de saída são: o acionamento da bomba d'água e também dos leds.

3.1.2 Variáveis de entrada

Temperatura Ambiente: A temperatura ambiente varia diretamente com o clima. O clima por sua vez varia de acordo com alguns fatores como a **latitude**, a **altitude**, as **massas de ar**, as **correntes marinhas** e a **maritimidade ou continentalidade**, isso sem falar da ação humana. Ou seja, a temperatura ambiente não só muda de acordo com a localidade, mas também com as estações do ano e com o instante do dia analisado. Neste trabalho, a curva anual média de irradiância (Figura 3.2) é resultado da coleta de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, disponibilizados pela Estação Brasília localizada pelas coordenadas 15,79° latitude Sul e 47,93° longitude Oeste. A coleta de dados foi realizada de hora em hora, durante 9 anos (de 7 de maio de 2000 a 31 de maio de 2009). Uma vez que tais dados são fornecidos em quilo Joules por metro quadrado (kJ/m²) foi preciso fazer a conversão para Watt por metro quadrado (W/m²) de modo a adequar a unidade para a realidade do estudo (OLIVEIRA,2011).

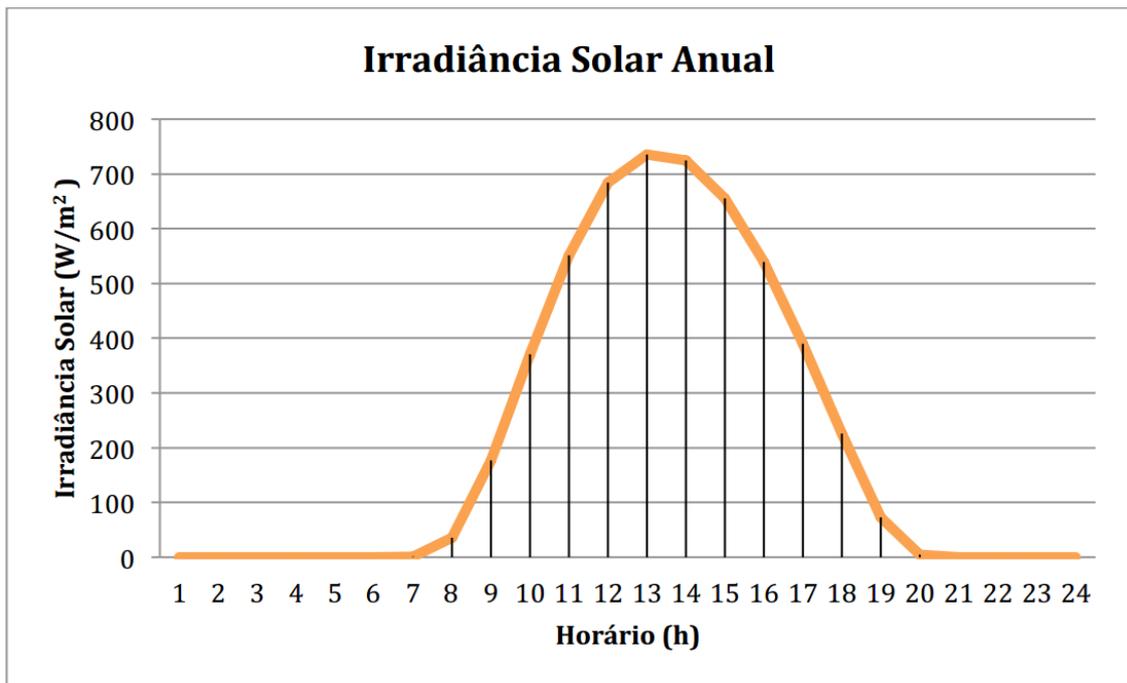


Figura 3.1- Curva de irradiância solar anual média por horário.

Fonte: LOPES, L. Z. (2011). *Alimentador Radial de Distribuição para Simulações de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica*. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 125p.

Umidade do solo: A umidade do solo depende não apenas do clima como do tipo de solo. Isso porque alguns solos são mais compactados do que outros e possuem mais capacidade de reter líquido. Dependendo da taxa de umidade do solo os nutrientes do mesmo podem se tornar estratificados (ou em camadas) no perfil do solo, podendo assim fazer com que a planta não receba todos os nutrientes necessário e afete a qualidade da sua produção, principalmente se a planta não receber esses nutrientes durante a sua fase de crescimento. Portanto, é necessário ser feita uma amostragem do solo antes do plantio para determinar a taxa de umidade do mesmo, e também deve ser feita uma análise da umidade durante o tempo de plantio (SACI, 2019).

Resposta do sistema: Após a análise das configurações consideradas para a temperatura ambiente e umidade do solo tem-se como variáveis de saída: o acionamento da bomba d'água e dos leds.

Acionamento da bomba d'água: O acionamento da bomba d'água se baseia nos valores escolhidos para a temperatura máxima do ambiente, a umidade mínima e a umidade máxima do solo. Ou seja, o sistema verifica se todos esses critérios são satisfeitos. Esses critérios são: a temperatura máxima do ambiente e a umidade do solo.

3.1.3 O algoritmo

O algoritmo recebe como entradas os parâmetros dos sensores de temperatura e umidade. Em seguida são comparados os parâmetros recebidos com os valores pré-determinados, a partir daí, o sistema verifica se os critérios para o acionamento da bomba d'água foram atendidos. Em caso negativo, o sistema mantém a bomba desligada e aguarda o recebimento de novos parâmetros. Em caso positivo, a bomba d'água é ligada e se mantém ligada até que um dos parâmetros não seja mais satisfeito.

Essa rotina está ilustrada a seguir para um determinado momento do dia, mas a monitora em tempo real todas as horas do dia. No caso, o instante escolhido foi às 6 horas, pois nessa hora pôde-se verificar menos incidência de luz solar e conseqüentemente o processo de evapotranspiração ocorre de forma mais lenta no instante analisado. O algoritmo detalhado é descrito no item a seguir, juntamente com o fluxograma da Figura 3.3.

Para verificar a eficiência do algoritmo foram feitos experimentos em campo, onde o sensor de umidade foi colocado no solo, o solo foi molhado e após isso foram coletados os dados em um determinado intervalo de tempo, ou seja, observou-se o tempo que o solo demora para perder umidade. Esse experimento foi realizado em dois horários diferente do dia e em dias diferentes.

Abaixo estão detalhadas essas etapas:

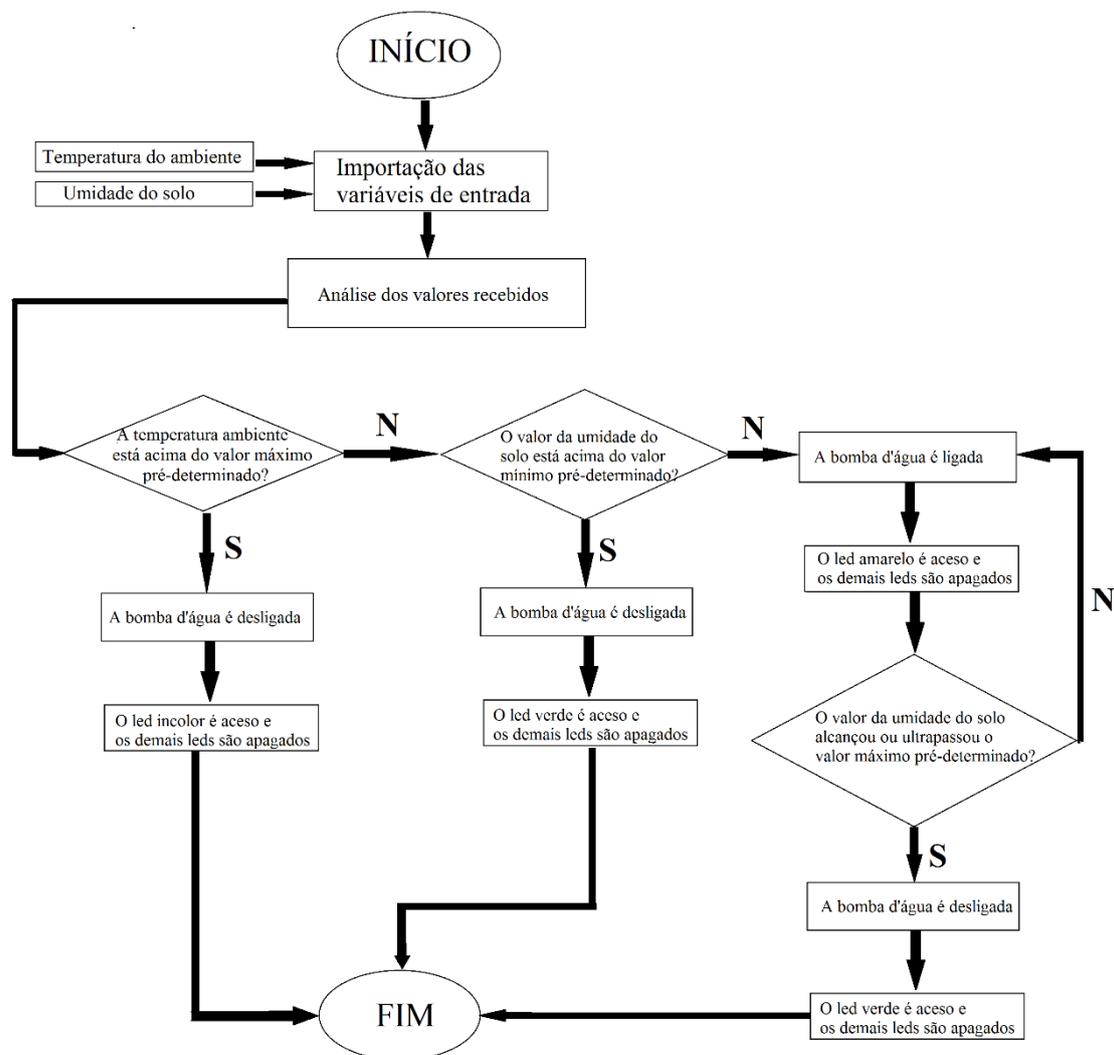
1. Inicialmente determinam-se os valores da temperatura máxima do ambiente, umidade mínima do solo e umidade máxima do solo. Esses valores são escolhidos através de um conjunto de botões presentes na “protoboard”.

2. Importam-se as variáveis de entrada (temperatura ambiente e umidade do solo). Em um caso real, a proposta é que o sistema monitore constantemente temperatura ambiente e umidade do solo.

3. Comparam-se os valores recebidos pelos sensores com os valores pré-determinados. Os valores recebidos pelo sensor de umidade variam de 0 a 1023 no entanto quando o solo está completamente úmido o valor mostrado pelo sensor é de aproximadamente 300 e quando está completamente seco é em torno de 900, ou seja, a medida que o solo vai secando os valores enviados pelo sensor de umidade aumentam.

4. Caso a temperatura ambiente esteja acima do valor máximo pré-determinado o sistema não aciona a bomba d’água independente do valor da umidade do solo. Um led incolor é aceso para indicar que o valor da temperatura ambiente está acima do permitido. Se a umidade do solo estiver abaixo do valor mínimo um led vermelho é aceso juntamente com o led incolor, indicando que além da temperatura ambiente não estar adequada para se fazer a irrigação, o solo está com a umidade abaixo do ideal. No entanto se a umidade do solo estiver acima do valor mínimo um led verde é aceso juntamente com o led incolor, mostrando que apesar da temperatura ambiente não estar adequada para se fazer a irrigação, o solo está com um valor ideal de umidade.

5. Se o valor da temperatura ambiente estiver abaixo do valor máximo o algoritmo verifica se o valor da umidade do solo está acima do valor mínimo, caso esteja o sistema mantém a bomba desligada e um led verde aceso. Quando o valor da umidade do solo chegar a níveis abaixo do valor mínimo pré-determinado o sistema aciona a bomba d'água juntamente com um led amarelo, que indica que a bomba d'água foi acionada. O sistema mantém ambos os elementos acionados até que a umidade do solo alcance valores iguais ou acima do valor de umidade máxima pré-determinado. A partir desse ponto a bomba d'água é desligada e um led verde é aceso indicando que o solo está com um bom nível de umidade. O sistema permanece dessa forma até que o valor da umidade do solo chegue a níveis abaixo do valor mínimo pré-determinado. Quando isso ocorre o processo se repete.



A Figura 3.2 mostra o fluxograma do algoritmo, explicitando as etapas de funcionamento do sistema.

3.2 Materiais

3.2.1 Ferramentas computacionais

Os experimentos de campo são realizados através de dados coletados pelo Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ) que é um software “add-in” para o Microsoft Excel que adquire até 26 canais de dados a partir de microcontroladores e registra os números em colunas no Excel à medida que eles chegam. Ele fornece planilha de análise dos dados coletados em campo, de laboratório de análise de sensores em tempo real e monitoramento de equipamentos (SOFTWARE.INFORMER, 2016).

Além do PLX-DAQ foi utilizado o ARDUINO IDE que é uma aplicação multiplataforma escrita em Java derivada dos projetos Processing e Wiring. É esquematizado para introduzir a programação para pessoas não familiarizadas com o desenvolvimento de software. Inclui um editor de código com recursos de realce de sintaxe, parênteses correspondentes e identificação automática, sendo capaz de compilar e carregar programas para a placa com um único clique. Com isso não há a necessidade de editar Makefiles ou rodar programas em ambientes de linha de comando.

Tendo uma biblioteca chamada "Wiring", ele possui a capacidade de programar em C/C++. Isto permite criar com facilidade muitas operações de entrada e saída, tendo que definir apenas duas funções no pedido para fazer um programa funcional:

- *setup()* – Inserida no início, na qual pode ser usada para inicializar configuração, e
- *loop()* – Chamada para repetir um bloco de comandos ou esperar até que seja desligada (WIKIPÉDIA, 2010).

3.2.2 Arduino UNO

O Arduino foi criado em 2005 por um grupo de 5 pesquisadores : Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis. O objetivo era elaborar um dispositivo que fosse ao mesmo tempo barato, funcional e fácil de programar, sendo dessa forma acessível a estudantes e projetistas amadores. Além disso, foi adotado o conceito de hardware livre, o que significa que qualquer um pode montar, modificar, melhorar e personalizar o Arduino, partindo do mesmo hardware básico.

Assim, foi criada uma placa composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e que pode ser facilmente conectada a um computador e programada via IDE (*Integrated Development Environment*, ou *Ambiente de Desenvolvimento Integrado*) utilizando uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extras além de um cabo USB.

Depois de programado, o microcontrolador pode ser usado de forma independente, ou seja, você pode colocá-lo para controlar um robô, uma lixeira, um ventilador, as luzes da sua casa, a temperatura do ar condicionado, pode utilizá-lo como um aparelho de medição ou qualquer outro projeto (FILIPEFLOP, 2014).



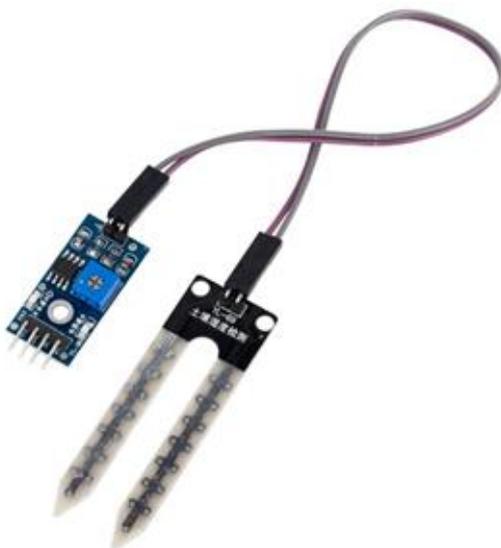
A Figura 3.3 Apresenta uma placa de Arduino UNO do mesmo modelo que foi utilizada no sistema.

Fonte: FILIPEFLOP (2014). *O que é Arduino?*. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 26 nov. 2019

3.2.3 Sensor de umidade do solo higrômetro

O sensor de umidade de solo possui dois tipos de saídas: A0 e D0, onde A0 é o canal analógico, no qual passa pelo conversor A0 que trabalha com bits (faixa de 0 até 1023). Já o canal D0, é o canal digital, que trabalha somente com 0 ou 1 (ligado ou desligado), para ajustar o ponto onde o sensor vai ligar esta saída, podendo ser ajustado através do potenciômetro, encontrado em cima do módulo do Sensor de Umidade de Solo (USINAINFO, 2016).

Neste trabalho o sensor de umidade do solo foi utilizado no modo analógico, dessa forma o usuário do sistema de irrigação poderá escolher os valores que desejar para a umidade máxima e para a umidade mínima do solo.



A Figura 3.4 Sensor de umidade do solo higrômetro, que foi empregue no sistema. Onde foi utilizado o canal analógico A0.

Fonte: FILIPEFLOP (2014). *O que é Arduino?*. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 26 nov. 2019

3.2.4 Módulo Relé 5V de 2 Canais

Os relés são componentes eletromecânicos capazes de controlar circuitos externos de grandes correntes a partir de pequenas correntes ou tensões, ou seja, acionando um relé com uma pilha podemos controlar um motor que esteja ligado em 110 ou 220 volts, por exemplo. O Módulo Relé 5V de 2 Canais permite que a partir de um microcontrolador seja possível controlar cargas AC (alternada) de forma simples e prática. Por ter 2 canais, é possível controlar até duas cargas AC de até 10A e de forma independente. Comumente é utilizado para controle de lâmpadas, ventiladores e outras saídas (MASTERWALKWER, 2011).

Como o relé possui a capacidade de abrir ou fechar um circuito após receber um sinal vindo do Arduino, neste trabalho o relé foi utilizada a entrada NA do relé para acionar uma bomba d'água (após receber um sinal de "HIGH" do arduino) e então realizar a irrigação do solo.

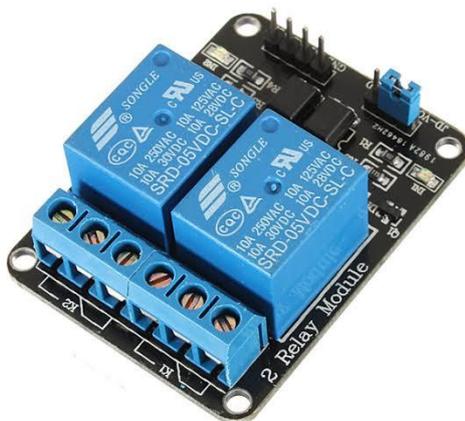


Figura 3.5 Mostra o módulo Relé 5V de 2 Canais, que é usado para acionar a bomba d'água que realiza a irrigação. A princípio poderia ter sido utilizado um módulo relé de 1 canal, no entanto como o relé de 2 canais é capaz de executar as mesmas funções do relé de 1 canal, foi decidido usar o de 2 canais, caso precisasse usar o outro canal para alguma outra função.

Fonte: FILIPEFLOP (2014). *O que é Arduino?*. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 26 nov. 2019

3.2.5 Sensor de Temperatura DS18B20

Este sensor de temperatura é a versão à prova de água do sensor DS18B20. Dessa forma ele é ideal para aplicações em ambientes úmidos ou onde é necessário monitorar a temperatura a uma longa distância do microcontrolador. Uma vantagem desse sensor é a sua capacidade de fornecer leituras com resolução de 9-bit a 12-bit (configuráveis).

Outra grande vantagem desse sensor é possuir uma interface de comunicação simples através de um único fio (1-Wire), o que lhe permite utilizar apenas uma porta digital do microcontrolador para transferir os dados. E por possuir um número serial único de 64-bit, vários DS18B20 podem ser interligados no mesmo barramento 1-Wire. Isto permite a colocação de sensores de temperatura em muitos lugares diferentes, sendo um recurso muito útil em controles de climatização ambiental, temperaturas de sensoriamento no interior de edifícios, equipamentos ou máquinas, e monitoramento e controle de processos (HUINFINITO, 2019).

Devido a esta vantagem de ser à prova de água, este sensor foi o mais indicado para ser utilizado neste trabalho, já que o sensor corre o risco de ser molhado durante a irrigação ou durante uma chuva. Durante o funcionamento do sistema o DS18B20 faz a medição da temperatura ambiente constantemente e envia os dados para o Arduino.



Figura 3.6 Sensor de Temperatura DS18B20 que foi usado no sistema para realizar a medição da temperatura ambiente. Um resistor de 4,7 KOhm foi ligado do fio de dados (fio amarelo) para o VCC. Esse resistor de Pull Up garante que a leitura do sensor no pino digital não irá ficar flutuando e se manterá estabilizada.

Fonte: MERCADO LIVRE (2019). *Sensor De Temperatura Ds18b20 Sonda À Prova D'água Arduino*. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-709274359-sensor-de-temperatura-ds18b20-sonda-prova-dagua-arduino-_JM?quantity=1>. Acesso em: 26 nov. 2019

4 Resultados e Discussões

Neste capítulo são apresentados os resultados e a análise completa de 2 cenários. Cada cenário levou em consideração diferentes temperaturas de ambiente, de modo a observar a perda de água do solo durante um determinado intervalo de tempo.

4.1 Parâmetros utilizados

4.1.1 Horário

Para as simulações considera-se a análise em dois momentos do dia (manhã e início da tarde) e em dias diferentes. Isso porque para o estudo em questão não se faz necessária a análise de mais de um momento do dia, para a demonstração do método. Com base na previsão do tempo observada um dia antes, os momentos escolhidos foram: às 9:30 e 12:15 horas.

4.1.2 Perda de água do solo por evaporação

Uma das formas do solo perder água após a irrigação é através da evaporação, no primeiro cenário considera o sensor de umidade do solo realizando medidas logo após o solo ser molhado, essas medidas possuem duração de aproximadamente uma hora. No segundo cenário o solo é molhado com a mesma quantidade de água e as medidas são realizadas no mesmo espaço de tempo, mas a temperatura ambiente é mais elevada, isso facilita a perda de água do solo.

4.1.3 Estratégia de análise

Para a análise do estudo, adota-se o seguinte estratégia:

- Enviar os valores de temperatura e umidade do solo para o Excel usando o software PLX-DAQ;
- Criar gráficos no Excel utilizando as médias dos dados coletados.

4.2 Determinação da variação de umidade do solo

No primeiro momento, usando um algoritmo específico para coletar dados dos sensores e enviar os mesmos para a planilha do Excel, foram analisados dois cenários diferentes: no primeiro cenário foram feitas medidas a partir das 9:31 hs onde a temperatura ambiente variou de 22 °C a 25 °C. Já no segundo cenário foram realizadas medidas em outro dia a partir das 12:13 hs e a temperatura ambiente variou de 32 °C a 35°C. Constatou-se que no primeiro cenário houve uma variação de aproximadamente 42 unidades nos valores enviados pelo sensor de umidade, e no segundo cenários houve uma a variação de 81 unidades. Portanto a maior perda de umidade do solo ocorreu no segundo cenário.

4.3 Valores médios dos resultados

As Figuras 4.1 e 4.2, mostram uma média construída a partir dos valores provenientes do sensor de umidade do solo. Devido ao fato de não ser possível utilizar o mesmo algoritmo para fazer a coleta de dados e a aguação este algoritmo apenas coletou os dados. Com base em pesquisas de campo foi constatado que o ideal seria realizar a aguação aproximadamente quando o sensor marcar 400 e desligá-la aproximadamente em 750. Como o sensor sofre oscilações, a melhor forma de visualizar essa variação de umidade foi através da média dos valores. No primeiro cenário a umidade variou de 504 a 546 enquanto que no segundo cenário variou de 416 a 498.

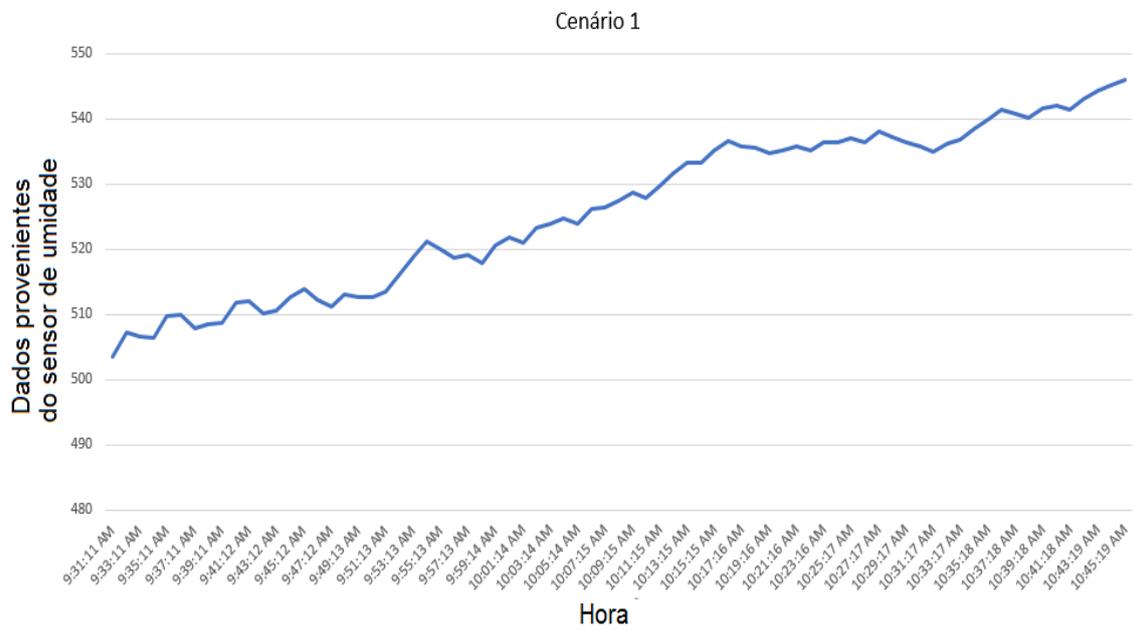


Figura 4.1 – Mostra o gráfico da média dos dados provenientes do sensor de umidade gerados no cenário 1

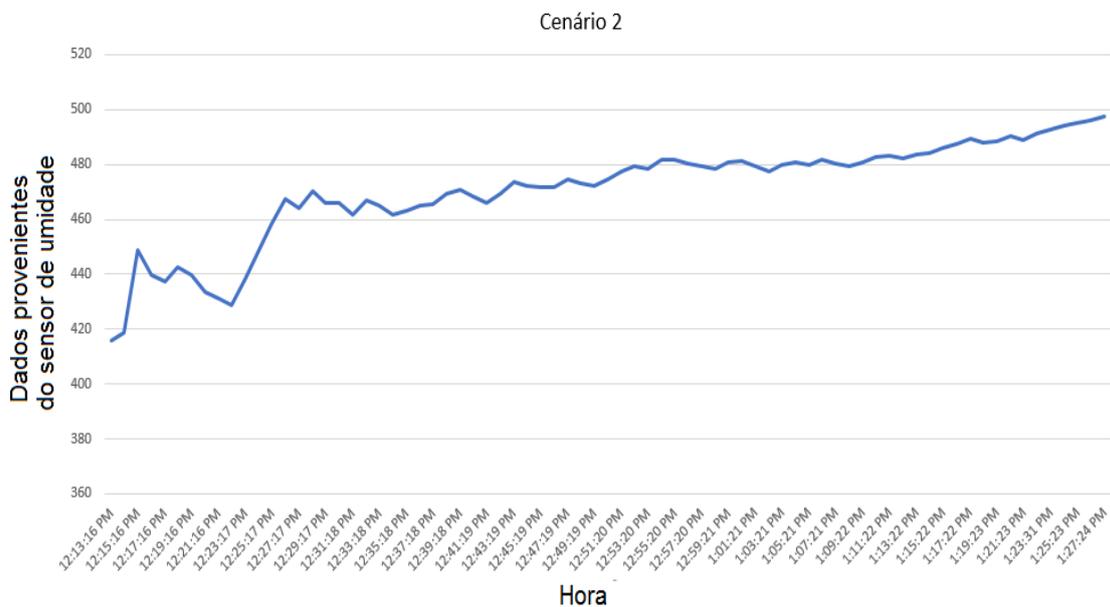


Figura 4.2 – Mostra o gráfico da média dos dados provenientes do sensor de umidade gerados no cenário 2

5 Conclusões

Apresenta-se um sistema de controle visando à economia de água. As diversas hipóteses criadas e simulações realizadas permitiram concluir que a metodologia contribui com: a) melhor análise das condições de umidade do solo, evitando-se que o mesmo fique com excesso ou escassez de água; b) maior lucro para o agricultor devido a economia de água. Ou seja, utilizando-se o sistema de controle de umidade do solo é possível ter uma lavoura mais produtiva e melhor monitorada.

O estudo de caso baseado no monitoramento dos dados de umidade do solo apresentou oscilações no que diz respeito aos dados avaliados. Como o esperado, a média dos valores apresentou uma perda diferente de umidade do solo, de modo que pode-se verificar a configuração que permite maior economia de água durante a aguçagem de lavouras.

5.1 Sugestões para desenvolvimentos futuros

Muitos estudos ainda devem ser realizados para se completar o estudo acerca do sistema para aquisição e atuação para controle de umidade do solo. Dessa forma, apresentam-se, a seguir, recomendações para aprofundamento das análises feitas e sugestões para futuros trabalhos.

- Análise da metodologia abordada para diferentes tipos de solo.
- Considerar outros fatores que também influenciam na evapotranspiração como, por exemplo, o vento.
- Considerar que tipos de plantas diferentes, necessitam de quantidades diferentes de água.

Referências

SENTELHAS, Paulo César. Importância da Evapotranspiração para a agricultura irrigada. 2012. Disponível em <<https://irrigacao.blogspot.com/2013/08/importancia-da-evapotranspiracao-para.html>> Acesso em: 30 nov. 2019.

STONE, Luis Fernando. Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação. 1995. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/202731/determinacao-da-evapotranspiracao-para-fins-de-irrigacao>> Acesso em: 30 nov. 2019.

NUNES, José Luis da Silva. Agricultura de Precisão. 2016. Disponível em <https://www.agrolink.com.br/georreferenciamento/agricultura-de-precisao_361504.html> Acesso em: 30 nov. 2019.

NUNES, José Luis da Silva. Agricultura de Precisão. 2016. Disponível em <https://www.agrolink.com.br/georreferenciamento/gps_361505.html> Acesso em: 30 nov. 2019.

PENA, Rodolfo Alves. SIG. 2019. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/sig.htm>> Acesso em: 30 nov. 2019.

EMBRAPA. Agricultura de precisão resultados de um novo olhar. 2014. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114687/1/Agricultura-de-precisao-cap.4.pdf>> Acesso em: 30 nov. 2019.

PENA, Rodolfo Alves. Desperdício de água. 2019. Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/desperdicio-agua.htm>> Acesso em: 30 nov. 2019.

REDAÇÃO, PENSAMENTO VERDE. As principais fontes de água potável. 2013. Disponível em <<https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/as-principais-fontes-de-agua-potavel/>> Acesso em: 30 nov. 2019.

AGÊNCIA, NACIONAL DE ÁGUAS. Normativos de fiscalização. 2017. Disponível em <<https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/resolucoes-e-normativos/normativos-de-fiscalizacao>> Acesso em: 30 nov. 2019.

PENA, Rodolfo Alves. Consumo de água no mundo. 2019. Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/consumo-agua-no-mundo.htm>> Acesso em: 30 nov. 2019.

PENA, Rodolfo Alves. Práticas que mais consomem água. 2019. Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/praticas-que-mais-consomem-agua.htm>> Acesso em: 30 nov. 2019.

TRABALHO INTERDISCIPLINAR. Gráficos e estatísticas do consumo de água mundial. 2011. Disponível em <http://trabalhoserrano.blogspot.com/2011/09/graficos-e-estatisticas-do-consumo-de_05.html> Acesso em: 30 nov. 2019.

EQUIPE ECYCLE. Poluição da água: tipos, causas e consequências. 2010. Disponível em <<https://www.ecycle.com.br/2945-poluicao-da-agua.html>> Acesso em: 30 nov. 2019.

ÁGUA BLOG. A situação do consumo e desperdício de água no Brasil. 2017. Disponível em <<https://www.eosconsultores.com.br/consumo-e-desperdicio-de-agua/>> Acesso em: 30 nov. 2019.

SERRAO, Levi. Cenários e perspectivas para o agronegócio brasileiro. 2014. Disponível em <<https://slideplayer.com.br/slide/1221892/>> Acesso em: 30 nov. 2019.

AGROPRECISION, Grandes benefícios que a agricultura de precisão traz aos produtores. 2017. Disponível em <<https://www.agroprecision.com.br/grandes-beneficios-que-a-agricultura-de-precisao-traz-aos-produtores/>> Acesso em: 30 nov. 2019.