

# Estufa Agrícola Automatizada com Auxílio do MSP430 para Cultivo de Morangos

Arthur Evangelista dos Santos  
Universidade de Brasília,  
Faculdade do Gama — UnB, FGA  
Matrícula: 14/0016686  
Email: arthuevangelista@hotmail.com

Gabriela Conceição dos Santos  
Universidade de Brasília,  
Faculdade do Gama — UnB, FGA  
Matrícula: 16/0152038  
Email: gabrielacsantos.engunb@gmail.com

**Abstract**—Este projeto visa criar um protótipo de estufa agrícola automatizada para o cultivo de morangos aplicando sensores eletrônicos para controlar as condições de umidade e temperatura com auxílio do microcontrolador MSP430.

**Keywords**—MSP430, microcontrolador, automação, morangos, estufa.

## I. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### A. O Morangueiro

O morangueiro pertence a Família Rosaceae. De origem Européia, as plantas cultivadas para o consumo de sua fruta são o resultado de um sucessivo trabalho de melhoramento genético e cruzamento entre algumas espécies do Gênero *Fragaria*. Atualmente, existem mais de 15 variedades de morangueiros. É um vegetal rasteiro, de caule do tipo estolho, produzindo gemas que permitem com que novas plantas, com raízes e folhas, sejam formadas, assexuadamente. Uma imagem do morangueiro encontra-se abaixo na Fig. 1. No Brasil, sua produção é mais significativa nos meses de junho a dezembro e requer boa umidificação do solo. Por este motivo, ácaros e pulgões são suas principais pragas.



Fig. 1. Morangueiro

Desta planta origina-se o morango (Fig. 2), cuja parte vermelha, comestível, é, na verdade, o receptáculo floral desenvolvido. Assim, ele é um pseudofruto; sendo os frutos, do tipo aquênio, as estruturas amarronzadas que se encontram incrustadas nele.

*Características gerais do cultivo do morango*

:



Fig. 2. Fruto e pseudofruto do morango

- **Clima:** Locais com temperatura alta durante o dia e baixa durante a noite são considerados bons para o cultivo do morangueiro. O calor é importante para o crescimento vegetativo das plantas, enquanto o frio é imprescindível a frutificação. A floração é favorecida por temperaturas abaixo de 10 °C e desfavorecida por temperaturas acima de 25 °C. O comprimento do dia, ou seja, o número de horas de luz, também tem influência sobre a produção. A estas características é dado o nome de fotoperíodo.

**Fotoperíodo** trata-se da proporção entre luz e escuridão num ciclo de 24 horas (Santos, D.M.M., 2004). O morango, classificado como planta C3 quanto à fotossíntese e short-day plant (SDP) quanto ao fotoperíodo, deve estar exposto por volta de 8 a 10 horas de luz diária. O período de escuridão também possui influência na produção de flores. Porém, o pouco excesso de iluminação devido às condições de solstício ou equinócio na região não terá tanta influência no desenvolvimento do vegetal. Por este motivo, não optou-se por um plástico preto ou de coloração que evitasse a exposição à iluminação.

Para manter o fotoperíodo em condições ideais de plantio, será utilizada uma interrupção no MSP430 que ativará um LED capaz de fornecer o espectro de luz apropriado para a planta.

- **Sistemas de cultivo:** O morango pode ser cultivado em canteiros a céu aberto, em estufas e em combinação com o uso de túnel baixo. Atualmente está sendo implantado o sistema de cultivo hidropônico.

- Local de plantio: O morangueiro produz melhor em solos areno-argilosos e bem drenados. As áreas devem ser de fácil acesso e ter bom suprimento de água para irrigação. Deve ser evitado o plantio em local recentemente cultivado com tomate, batata, fumo ou com o próprio morango. Há de se pesquisar sobre outros métodos que tornem possível o plantio de culturas morangos no mesmo local. Também deve ser evitado o plantio em terras de baixa úmida.
- Período de plantio: A época de plantio varia de acordo com a região e a cultivação a ser plantada. De um modo geral, planta-se de janeiro a maio. Em regiões mais quentes, a época recomendada é de abril a maio. Em locais com altitude acima de 1.000 metros, as cultivares de dia neutro podem ser plantadas até setembro.
- Irrigação: A irrigação do morangueiro pode ser feita por aspersão, porém o gotejamento (fertirrigação) tem sido mais eficiente e econômico. Por este motivo, neste trabalho será utilizado o método de irrigação por gotejamento. Geralmente irriga-se três vezes por semana e com duração de 30 a 45 minutos, evitando o excesso de água.

#### B. O Morangueiro no Distrito Federal

A cultura do morangueiro iniciou-se no Distrito Federal em meados da década de 70, tendo sido primeiramente introduzida e conduzida de forma empírica pelos agricultores de origem japonesa vindos da região de Atibaia, São Paulo, até hoje o principal pólo de produção de morango naquele estado.

Estes agricultores pioneiros vieram iniciar o cultivo de hortaliças e de frutas para abastecer o novo mercado do Planalto Central. Muitos foram assentados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, a partir de 1970, no "Projeto Integrado de Colonização Alexandre Gusmão (PICAG)", na Região Administrativa de Brazlândia, atualmente o principal produtor de morango do Distrito Federal.

A cultura do morango adaptou-se muito bem as condições climáticas e de solo do Planalto Central, que apresenta altitude de aproximadamente 1000 metros. Além disso, essa região possui temperaturas mais altas no verão, que favorecem a produção de mudas e na sequência passa por um inverno ameno e seco, o que auxilia no período de floração, frutificação e melhora de forma significativa a qualidade dos frutos cultivados.

Segundo a Emater-DF (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal), no ano de 2016, a safra de morangos no Distrito Federal alcançou cerca de 5250 toneladas, números que colocam o Distrito Federal na disputa do sexto lugar da produção nacional entre os estados produtores da fruta. São, em média, 240 produtores de morango em todo o DF. Desses, 35% de produtores agrícolas da cidade são os que distribuem o que se consome no DF.

#### C. Estufas Agrícolas

Em grande parte da história da humanidade, fomos caçadores-coletores. Há cerca de 10.000 anos, começamos a

domesticar plantas e animais como uma forma de tornar a nossa oferta de alimentos mais acessível e previsível.

Sendo assim, para melhorar a produção agrícola, surgiram as estufas agrícolas. O objetivo do cultivo agrícola em estufas é proporcionar um ambiente controlado, em relação a fatores climáticos como temperatura, umidade, luz e quantidade de água (rega), para que as plantas possam ter um crescimento em um ambiente ideal (Silva, 1976).

A estrutura de uma estufa agrícola depende bastante de sua finalidade. Geralmente, é constituída por uma armação, de alumínio ou outro material resistente, com uma altura suficiente para poder cultivar e caminhar dentro sem incômodos, ela é coberta por um plástico transparente, em alguns casos possui uma tela, conhecida como sombrite, que auxilia na regulação da temperatura interna da estufa além de ventiladores e em alguns casos lâmpadas para o controle de luminosidade (Fig. 3).



Fig. 3. Estrutura de uma estufa convencional para o cultivo de morangos

O aumento significativo da utilização de estufas se deu, em parte, pela criação do plástico, devido ao seu baixo custo e versatilidade, porém existem outros fatores que influenciam tal fato, como o melhor desenvolvimento do plantio, aumento de produtividade, colheita nas entressafras e produtos de melhor qualidade.

#### D. Automação de Estufas

Em uma estufa existem diversas variáveis que podem ser monitoradas e verificadas para o controle do plantio, como temperatura, umidade e luminosidade. Considerando o ponto de vista dos produtores agrícolas, a correta leitura dos dados e posterior tomada de decisão pode trazer resultados satisfatórios.

A automatização de uma estufa é uma excelente ferramenta de auxílio ao agricultor, pois permite a tomada de decisão no momento certo, conforme a análise das variáveis verificadas.

## II. JUSTIFICATIVA

Apesar de ser considerado um dos maiores produtores de morango do Brasil, durante o de 2017, o Distrito Federal veio enfrentando um grave crise hídrica, o que afetou de

forma significativa a produção de morangos nessa região. Segundo dados da Emater, a restrição no abastecimento de água provocou a diminuição da área plantada em cerca de 30%, de 150 hectares em 2016 para 105 hectares neste ano.

Além disso, a desaceleração na produção de mercado de morangos do DF ocasionou a diminuição do número de trabalhadores envolvidos direta e indiretamente com a atividade, gerando a queda na renda das famílias e do Produto Interno Bruto (PIB) do Morango.

Diante disso, a escolha do projeto de construção de uma estufa automatizada foi motivada pela simples possibilidade de se oferecer uma nova alternativa para o melhoramento do cultivo de morangos no Distrito Federal, uma vez que a estufa proposta será capaz de controlar todas as necessidades da cultura e o ambiente da estufa, o que proporcionará aos produtores mais qualidade em seus frutos e uma maior renda. Também será possível controlar a quantidade de água utilizada na irrigação da plantação gerando, consequentemente, economia de recursos hídricos e financeiros na produção de morangos.

### III. OBJETIVOS

Considerando que cada espécie de planta necessita de situações climáticas diferentes e específicas para se desenvolver, o projeto proposto tem o intuito de otimizar o cultivo de morangos através do desenvolvimento de uma estufa capaz de gerenciar (monitorar e atuar) o controle das condições ambientais dentro do ambiente da estufa através da disponibilização de recursos de automação como irrigação automática, sistemas de ventilação, iluminação e controle de temperatura ambiente, utilizando o microcontrolador MSP430.

Em resumo, os objetivos deste trabalho são:

- Economia de água devido a automação do ambiente;
- Captação de dados de umidade e temperatura ambiente;
- Captação de dados de umidade do solo;
- Controle de irrigação da estufa;
- Controle da iluminação e do fotoperíodo da planta;
- Controle da temperatura no ambiente interno da estufa;
- Apresentação dos dados adquiridos pelos sensores ao usuário.

### IV. ESTRUTURA

A estrutura do protótipo da estufa foi inicialmente construída com canos PVC (Policloreto de Vinila) de 25 mm de diâmetro, e coberta com filme plástico transparente. A escolha desses materiais foi feita pois se tratam de materiais resistentes, acessíveis, de baixo custo e suprem bem as necessidades de controle do mini-ecossistema da estufa. Como mencionado também na seção I-A, não optou-se por um plástico preto ou de coloração que evitasse a exposição à iluminação.

As dimensões da estruturas foram determinadas a partir da densidade de plantio estipulada para o cultivo do morangueiro

em estufas, onde esta define que o espaçamento entre os morangueiros deve ser de no mínimo 20 cm e altura máxima que a planta pode atingir 30 cm.

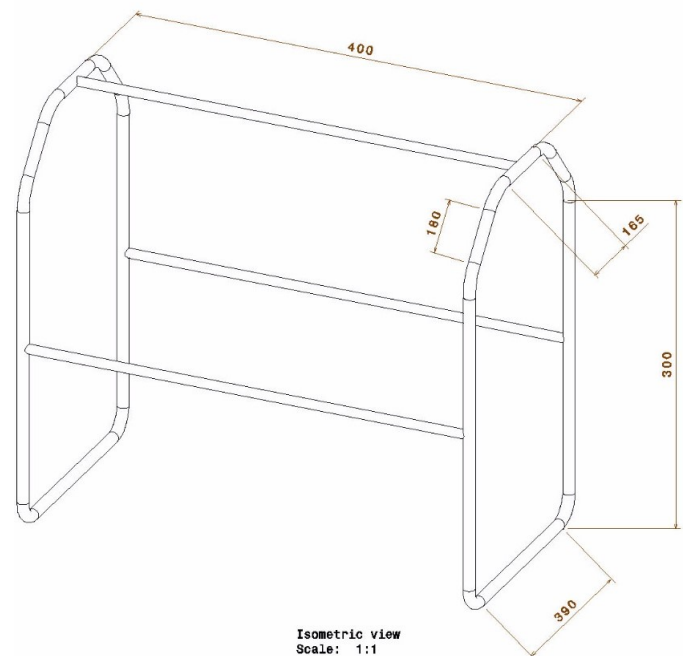


Fig. 4. Vista Isométrica do CAD da Estrutura realizado no software CATIA.

### V. COMPARTIMENTO PARA ELETRÔNICA

Tendo em vista a acomodação dos componentes eletrônicos, optou-se por montar uma segunda estrutura para concentrar tais componentes. Trata-se de uma caixa de madeira MDF onde serão concentrados: o MSP430, o módulo level-shifter, o display de cristal líquido, a pastilha térmica e os coolers, as fontes de alimentação e o módulo relé. Assim, a realização da manutenção em algum destes componentes torna-se de fácil acesso. Outra vantagem é a facilidade de acesso quanto a etapa de testes nos componentes e validação de algoritmos no MSP430. Os demais componentes (os sensores DHT11, umidostato e o LED de espectro completo) devem interagir diretamente com o ambiente interno à estufa e, portanto, estão no interior do plástico transparente de cobertura da estufa.

Esta caixa contará com aberturas para circulação de ar na região inferior e na superior, como pode ser observado nas Fig. 6 e no detalhamento na Fig. 7. A motivação para esta configuração se dá pela exaustão do cooler de resfriamento da pastilha térmica estar contida neste compartimento. A configuração das aberturas inferiores favorece o estrangulamento do fluxo de ar, aumentando sua velocidade e fazendo com que o ar frio e menos denso resfrie os componentes do compartimento interno. As aberturas superiores também estrangulam o fluxo de ar, fazendo com que o ar quente e interno do compartimento saia com maior velocidade para o ambiente externo.

Maiores detalhes quanto à configuração dos coolers e o funcionamento da pastilha térmica estarão na seção VI.





Fig. 5. Estrutura construída em cano PVC.

Resumidamente, a pastilha é um paralelepípedo com pouca espessura. Esta aquecerá de um lado e resfriará do outro e as aletas de alumínio em conjunto com os coolers serão responsáveis pela troca de calor externo. Como ambos os lados poderão aquecer ou resfriar, foram colocadas aletas e coolers nos dois lados. Este conjunto está apoiado no compartimento para eletrônica e um dos lados estará virado para o interior da estufa.

## VI. VISÃO GERAL DO SISTEMA

O sistema do projeto proposto pode ser dividido duas partes. Uma parte de hardware, dotado do microcontrolador MSP430, sensores eletrônicos, os quais são encarregados pela aquisição de dados do sistema, e atuadores, responsáveis por irrigar, iluminar, ventilar e reduzir ou aumentar a temperatura. E uma parte de software, responsável pelo processamento dos dados e do controle dos periféricos atuadores.

### A. Hardware

#### 1) Lista de Componentes:

- MSP-EXP430G2553LP;
- Sensor de luz (LDR 5mm);
- Sensor de temperatura e umidade (DHT11);
- Resistores de 10kOhm;
- Transistor Mosfet BS170;
- Módulo sensor de umidade do solo (Umidostato);
- Módulo relé 4 canais;

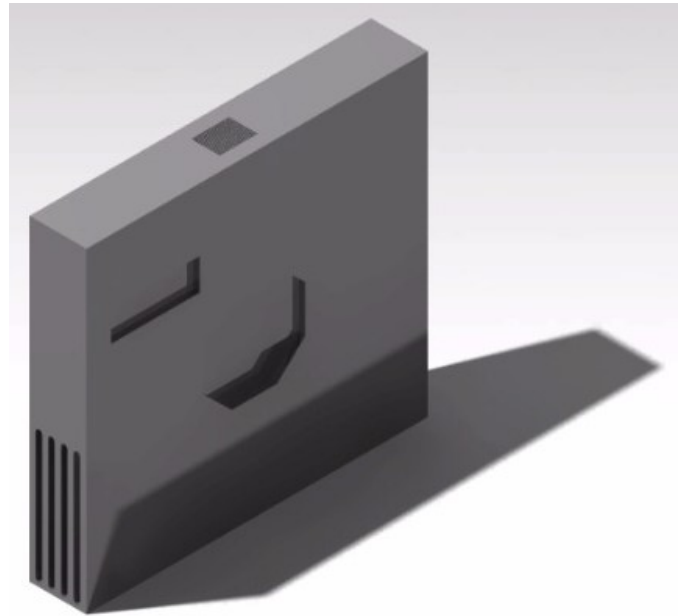


Fig. 6. Vista Isométrica do CAD do compartimento para eletrônica realizado no software CATIA.

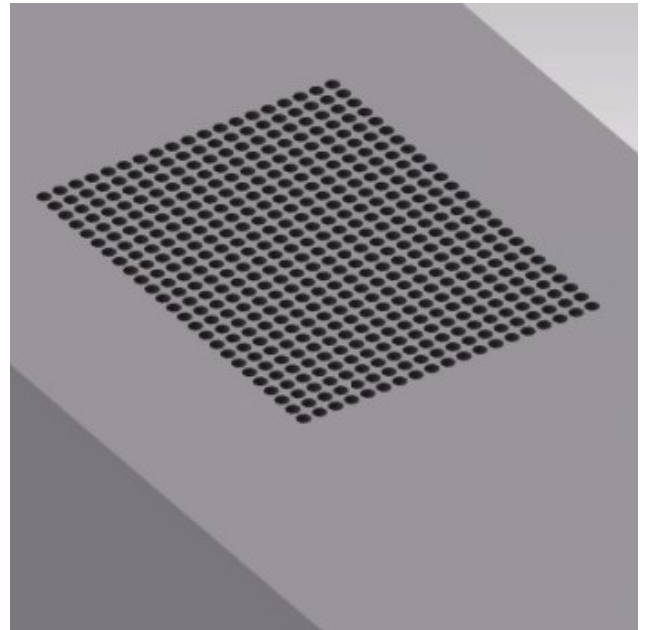


Fig. 7. Detalhamento da abertura superior do compartimento para eletrônica.

- LED de espectro completo;
- Pastilha térmica de efeito Peltier TEC1-12706;
- 2 Coolers de 12V;
- Fontes de 3,3V, 5V e 12V;
- Válvula Solenóide.

2) *Descrição do Hardware:* Para melhor ilustrar a montagem dos componentes, foi realizado um diagrama de blocos

para o sistema, que pode ser visualizado na Fig. 8. Uma breve descrição de cada componente será apresentada a seguir.

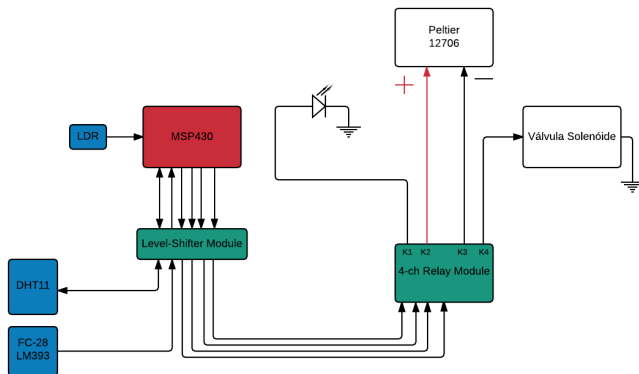


Fig. 8. Diagrama de Blocos do sistema da estufa.

- **MSP-EXP430G2553LP:** O MSP430 será o micro-controlador responsável pelo processamento dos dados e a tomada de decisão de acordo com os dados. Este componente receberá os dados de temperatura e umidade relativa do ar no interior da estufa, os dados de umidade do solo e os dados de luminosidade e tomará as decisões melhor descritas na seção VI-A3.
- **Sensor de luz (LDR 5mm):** Após consultoria a colegas da área de fisiologia vegetal e devido às características fotoperiódicas do morango, foi optado pelo uso de um sensor de luminosidade LDR (*Light Dependent Resistor*) para identificar a existência ou não de luminosidade na região próxima à planta. O sensor é basicamente um resistor que ao submetido à luz, aumenta sua condutividade elétrica.
- **Level-shifter para redução de tensão:** Uma montagem utilizando dois resistores de 10k ohm e um transistor mosfet BS170. O level-shifter reduz a tensão para que seja possível conectar componentes que utilizam diferentes tensões como nível lógico alto. Se um sinal chega com 3,3 V o level-shifter subirá esta tensão para 5 V em sua saída para que seja utilizado por outro componente.

A recíproca é verdadeira. Portanto, se um sinal tiver 5 V, a saída do level-shifter terá 3,3 V. Testes foram realizados com este componente para verificar se ele funciona e quais os níveis de tensão em sua saída. Houve também uma preocupação quanto a frequência máxima de operação, uma vez que este componente será utilizado na saída de todos os sensores e nas saídas do MSP430. Foi confirmada o nível de ruído apresentado na saída do level-shifter a partir de 5MHz, o que ratifica a informação fornecida pelo datasheet do componente transistor BS170. O esquemático desta montagem encontra-se na Fig. 9 abaixo.

Também foi realizada um esquemático para todos redutores de tensão que serão utilizados no projeto e foi montada um *layout* para placa de circuito impresso (PCB do inglês *printed circuit board*). O intuito de se utilizar uma PCB é facilitar a montagem do circuito e evitar perdas de tensão, diminuindo o ruído devido às

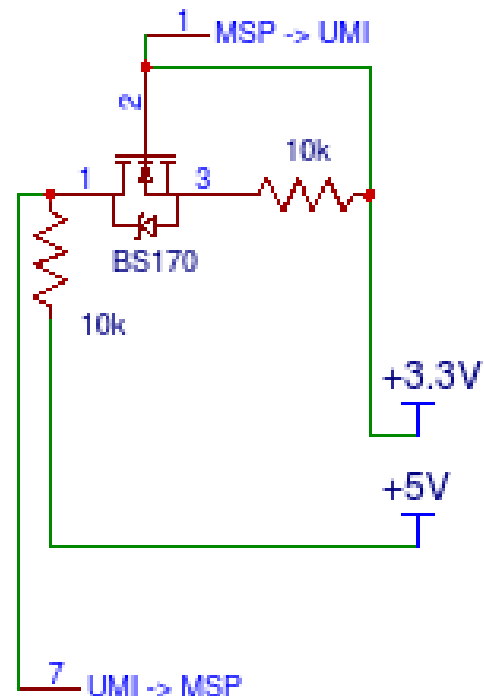


Fig. 9. Esquemático da unidade *level-shifter* (reduzora de tensão).

linhas de transmissão do sinal. Até a data de redação deste relatório, a PCB encontra-se em sua versão 1.0. O estudo quanto ao uso de *ground plate* para redução de ruído está em andamento para as demais versões.

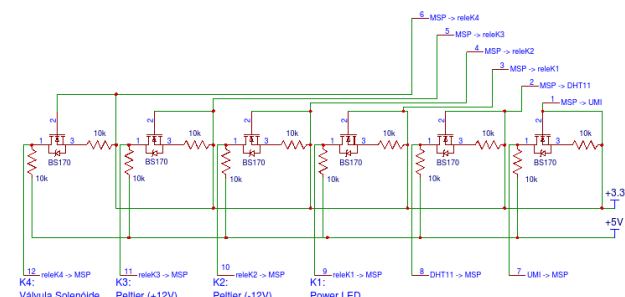


Fig. 10. Esquemático do bloco de *level-shifter's* utilizados no projeto.

- **Módulo relé 4 canais:** Será utilizado um módulo com 4 relés para controle dos dispositivos com tensão de 12V (pastilha térmica e a válvula solenóide) e do LED de espectro completo de 3,3V que consome uma corrente acima da suportada pelo MSP430
- **Módulo sensor de umidade do solo (umidostato):** Possui formato de garfo (apenas duas pontas que deverão estar fincadas no solo). Ao identificar umidade ocorrerá uma diferença de potencial entre as pontas do garfo. A corrente que passará entre as duas pontas é muito pequena (resistência próxima dos M ohm). Quanto maior a resistência, menor a umidade entre as pontes. A corrente, portanto, é muito baixa para que se insira o sensor diretamente na porta analógica do

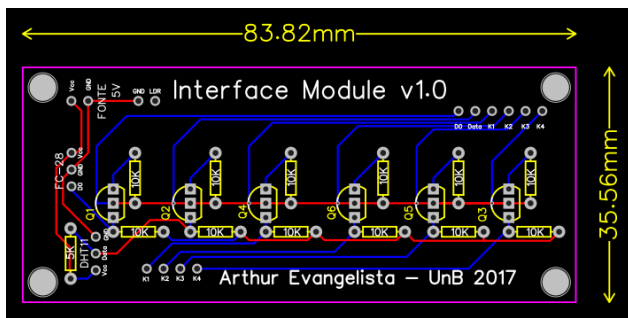


Fig. 11. Layout para PCB a ser confeccionada para o projeto.

micro. É necessário o uso de um módulo comparador. Nada mais é que um amplificador operacional em modo comparador. Quando comprado o sensor, o comparador LM393 (*low offset voltage dual comparator*) vem no conjunto.

A tensão de trabalho é de 3,3 V a 5 V. O comparador tem quatro pinos: Vcc, GND, D0 (digital) e A0 (analógico). Para usar a saída digital foi necessário utilizar o potenciômetro já encontrado no módulo para calibrar o sensor.

O potenciômetro irá ajustar em qual medida de umidade a saída digital terá nível lógico zero. Podemos utilizar uma entrada digital do MSP430 ativa em alta para identificar quando a umidade está baixa. Ou seja, Quando D0 = 1 a umidade está baixa. Quando D0 = 0, há umidade suficiente, não há necessidade de ligar o irrigador (válvula solenóide).

Utilizaremos apenas o pino digital para o projeto. A leitura dos dados de umidade do solo podem ser comutados com a leitura dos dados de umidade do ar (DHT11), liberando a porta digital para outra aplicação.

Utilizar uma porta analógica para leitura de dados seria mais preciso, mas exigirá um processamento do sinal analógico antes deste ser inserido no microcontrolador (*técnicas de amostragem do sinal, uso do critério de Nyquist e o uso de uma média móvel ou filtro digital para evitar ruído ou sinais aleatórios*).

- **Display de Cristal Líquido:** Para visualização dos dados (umidade do ar, umidade do solo e temperatura) será utilizado um display. Dependendo da temperatura será ativado um exaustor (ventilar a estufa) e uma pastilha térmica (aquece ou resfria o ambiente da estufa). Da umidade do ar/solo serão ligadas as válvulas de irrigação.

Possui uma biblioteca na IDE do arduino:

(`#include<LiquidCrystal.h>`) e pode ser facilmente implementada no MSP430 utilizando algoritmos disponíveis na documentação do fabricante. O display será meramente utilizado para referência do usuário quanto aos dados do mini-clima da estufa.

- **Sensor DHT11:** O sensor DHT11 é responsável por realizar a medição de umidade relativa do ar (usando um sensor do tipo HR202 (entre 20% e 90%)) e da temperatura (usando um termistor NTC (entre 0 e 50 °C)). Possui quatro pinos: Vcc, GND, Dados

(comunicação UART) e N.C (pino vazio). Possui uma biblioteca própria no Arduino `#include<dht.h>`.

Para escrever os dados no display, é necessário separar os dígitos. Por se tratar de um sensor de comunicação UART, é necessário um delay entre uma leitura e a outra. O MSP430 enviará um sinal para o *slave* (o sensor) avisando que está em modo de leitura e o DHT11 enviará outro sinal para o *master* (o MSP430) indicando que está enviando dados. Será utilizada uma interrupção com o timer A para realizar o delay de leitura dos dados.

Possui uma biblioteca para MSP430 disponível no link do github a seguir: <https://github.com/bafeigum/DHT11-Library-for-MSP430>.

O princípio de funcionamento desta biblioteca é semelhante ao descrito anteriormente. É utilizado um timer (o timer A) e uma interrupção para comunicação com a placa:

- Precisa estar setado em UP mode e contando a cada 250 kHz (pode-se utilizar o SMCLOCK sendo /4);
- ISR seta um volatile unsigned char TOUT no TA0. Esse ISR também deverá dar clear na interrupt flag, setando CCIFG no registrador TACCL0;
- São enviados 5 elementos de um vetor (chamado packet) para o MSP430:
  - packet[0] = primeiro byte de umidade
  - packet[1] = segundo byte de umidade (deve ser ZERO)
  - packet[2] = primeiro byte de temperatura
  - packet[3] = segundo byte de temperatura (deve ser ZERO)
  - packet[4] = byte da soma dos 4 bytes anteriores (usado para checagem dos dados (em caso de falha na comunicação))

#### • **Válvula Solenóide:**

- **LED de Espectro Completo:** O LED de espectro completo utilizado pode ser visualizado na Fig. 12 abaixo. Este LED utiliza uma alimentação de 3,3V e consome por volta de 0,9 A de corrente, fornecendo quase 3W de potência luminosa para o sistema. De acordo com o gráfico da Fig. 13, disponível no datasheet do componente, o espectro de luz que este LED fornece é o suficiente para manter a fotossíntese da planta no trecho de claridade de seu fotoperíodo. Para controlar este LED, será utilizado o canal K1 do relé, ligado a uma das saídas do MSP430. A escolha para esta configuração se deve à corrente consumida pelo LED que é muito superior à maior corrente fornecida pelo MSP430. Outra vantagem de se utilizar o módulo relé é a proteção contra fugas de corrente do relé para o dispositivo que o controla.

- **Pastilha Térmica de Efeito Peltier TEC1-12706:** Será utilizada uma pastilha térmica de efeito Peltier (TEC1-12706) em conjunto com os Coolers de 12V para o aquecimento e resfriamento da estufa. Esta pastilha necessita de uma fonte de alimentação de 12V e consome até 6A para manter o efeito em sua superfície. O efeito Peltier ocorre quando dois



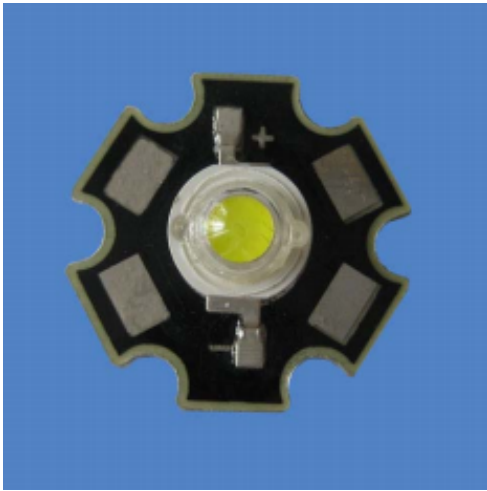


Fig. 12. LED de espectro completo e da PCB de alumínio do conjunto.

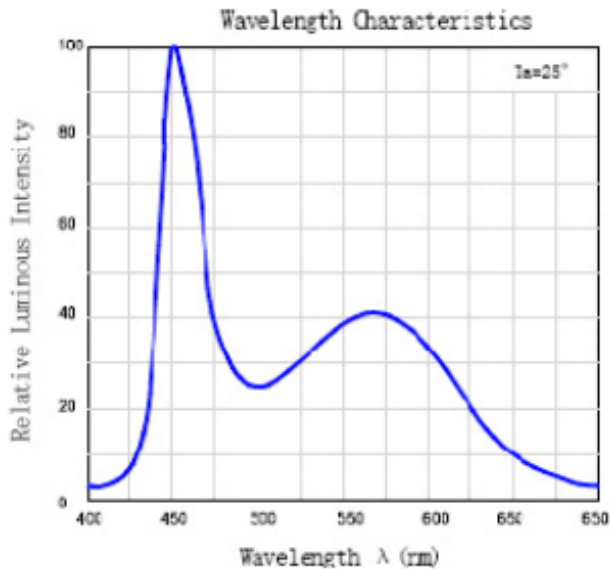


Fig. 13. Gráfico da característica óptica do LED de espectro completo (fonte: 3W High Power LED datasheet).

materiais, quando aplicada uma corrente, em uma junção do material dissipar calor e na outra absorver calor. A energia dissipada ou absorvida é proporcional a corrente elétrica (Bobeau, 2013).

A pastilha TEC1-12706 (Fig. 14) utilizada neste projeto provê resfriamento de até  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  de um lado e aquecimento de até  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  do outro. Para evitar a queima do componente, transferir o calor do ambiente para a pastilha e vice-versa, e aumentar a área de fluxo térmico, foram instaladas aletas de alumínio. As aletas transferem o calor do e para o ambiente pelo fenômeno de condução térmica.

Como citado brevemente na seção V, ambos os lados da pastilha poderão aquecer ou resfriar, a depender da polaridade da tensão submetida. Portanto, foram colocadas aletas e coolers nos dois lados da pastilha. O conjunto está apoiado no compartimento para eletrônica e um dos lados estará virado para o



Fig. 14. Pastilha Térmica de Efeito Peltier TEC1-12706.

interior da estufa.

Testes foram realizados com o conjunto montado para certificar seu funcionamento. Quando invertida a polaridade da tensão pelos canais K2 e K3 do módulo relé, a pastilha rapidamente aquece ou resfria. A Fig. 15 a seguir melhor ilustra o funcionamento deste conjunto.

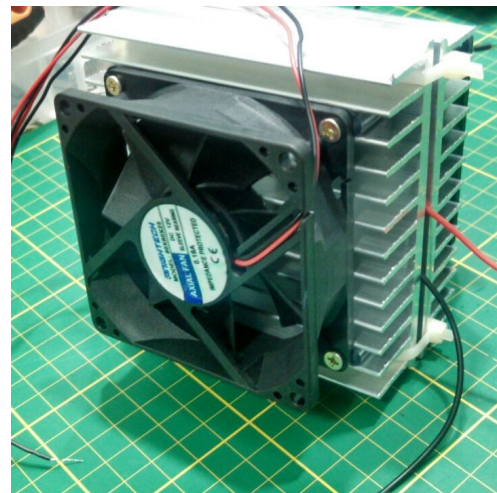


Fig. 15. Conjunto do sistema de aquecimento/resfriamento montado.

- **Coolers 12V:** Serão utilizados dois Coolers de 12V para realizar o transito de ar no ambiente interno à estufa e no ambiente externo. Para o ambiente interno, o Cooler (*Cooler A*) irá puxar o ar e lançará este fluxo com maior velocidade nas aletas. Quando em contato com estas aletas, ocorrerá o fenômeno de condução térmica que resfriará ou aquecerá o ar, posteriormente lançado nas aberturas da estrutura de alumínio. Para o ambiente externo, o Cooler (*Cooler B*) irá

executar o mesmo procedimento, porém o intuito é a troca de ar com o ambiente externo para evitar que o material semiconductor da pastilha superaqueça. De acordo com leitura realizada do livro de Swart (2008), o caso de superaquecimento resultará em uma maior agitação dos átomos do semiconductor fazendo com que o semiconductor passe da banda de transição para banda de condução. Neste caso, a pastilha se tornará um curto-circuito e poderá danificar o projeto.

A configuração do Cooler A e Cooler B foram planejadas de modo que não ocorram casos de superaquecimento como o mencionado anteriormente e permitam a circulação e troca de calor com os ambientes interno e externo à estufa.

- **Fontes de tensão 5V e 12V:** Para alimentação do sistema e de seus componentes, serão utilizadas 2 fontes de alimentação. Uma fonte de 5V para alimentar os sensores, o MSP430, o LED de espectro completo e o módulo level-shifter que necessitam de 5V de alimentação. É possível a alimentação de 5V no MSP430 pois a launchpad fornecida pela Texas Instruments (TI) já vem equipada com circuito redutor de tensão. Um redutor de tensão montado com uma configuração de resistores será utilizado para alimentar o LED de espectro completo. Todos estes componentes consumirão, no caso mais pessimista, um total de 0,86 A.

A segunda fonte de alimentação será utilizada para alimentação dos componentes que exigem 12V. Estes são os Coolers A e B, a pastilha térmica TEC1-12706 e a válvula solenóide. Estes componentes consumirão, no caso mais pessimista, um total de 6,94 A. O alto consumo de energia se deve à pastilha térmica. Vale ressaltar que esta pastilha não estará funcionando a todo momento.

3) *Descrição do Software:* Para melhor ilustrar o caminho lógico deste sistema, foi construído um Diagrama Lógico que encontra-se na primeira página de anexos deste trabalho. O código do MSP430 deverá executar os seguintes passos:

- Realizar a leitura dos dados de temperatura e umidade relativa do ar adquiridos pelo sensor DHT11 e recebidos via comunicação UART (como descrito na seção VI-A2).
- Realizar a leitura dos dados de umidade do solo adquiridos pelo sensor FC-28 e pelo comparador LM393 recebidos via porta de entrada digital. Caso o sensor apresente resultado nível lógico um, há pouca umidade. Caso o sensor apresente nível lógico zero, há umidade suficiente. A calibragem do sensor foi realizada conforme descrito na seção VI-A2.
- Realizar a leitura dos dados de luminosidade adquiridos pelo sensor LDR de 5mm. Esta entrada até o momento da redação deste relatório está como entrada analógica. Quando esta entrada apresentar resultado zero, significa que não há luminosidade na região próxima à planta.
- **Quanto à estrutura de decisão do MSP430:**

- Se a temperatura não for ideal para o desenvolvimento, deverá ser realizado um ajuste. Para este ajuste, os canais de entrada K2 e K3 do módulo relé estarão conectadas a duas portas de saída do MSP430.

Se a temperatura for abaixo de um certo *threshold*, as saídas conectadas nos canais deverão ser K2 = 0 e K3 = 1, respectivamente. Este comando irá polarizar um dos lados da pastilha térmica, o que resultará no aquecimento da estufa.

Se a temperatura for acima deste *threshold*, as saídas deverão resultar em K2 = 1 e K3 = 0. Deste modo, a polarização da pastilha térmica será inversa e, portanto, ocorrerá o resfriamento da estufa.

Se a temperatura estiver no patamar ideal, K2 = 0 e K3 = 0, o que cortará a alimentação da pastilha térmica.

- Se o solo não estiver com a quantidade ideal de umidade será ligado o canal K4 do módulo relé, conectado a uma saída do MSP430, e será iniciada uma contagem.

Esta contagem será previamente calibrada para que a válvula solenóide, ativada pelo canal K4, libere apenas a quantidade ideal de água para o solo, evitando que a planta fique encharcada. Para esta contagem, será utilizado o timer A ou o timer B, dependendo da disponibilidade.

- Se não houver luminosidade que seja útil ao desenvolvimento da planta, será tomado em consideração a relação fotoperiódica da planta. **Fotoperíodo** trata-se da proporção entre luz e escuridão num ciclo de 24 horas (Santos, D.M.M., 2004). Sendo assim, deve ser considerado o período ótimo de luz para que haja o pleno desenvolvimento da planta e a obtenção de flores.

Como citado na seção IV, devido às características do morango, um contador no MSP430 deve ser acionado toda vez que o sensor LDR identificar luz.

Se o fotoperíodo da planta não tiver sido concluído, será acionado um LED de espectro completo pelo canal K1 = 1 do módulo relé, conectado a uma saída do MSP430. Para o modo de economia de energia, este LED poderá ser acionado apenas se o sensor LDR não identificar luminosidade. Quando concluído o fotoperíodo, K1 = 0 e o LED será desacionado.

- Se todas as condições acima estiverem de acordo, ocorrerá o retorno do sistema à condição inicial e será realizada novamente a leitura dos dados dos sensores.

## VII. REQUISITOS

- Uso do launchpad MSP430;
- Controle do fluxo de água com Relés e válvulas solenóides;
- Sensores de umidade e temperatura;
- Display para apresentação dos dados;
- Fontes para fornecimento de 3.3 V, 5 V e 12 V para o sistema;
- LED capaz de fornecer o espectro de luz necessário para planta;



- Pastilha térmica para o rápido ajuste de temperatura;

### VIII. BENEFÍCIOS

- Uso da opção *low-power mode* do MSP430 pode oferecer vantagem nos momentos em que não estiver sendo utilizado;
- Os relés e válvulas todas e modo normalmente fechado (NC) provê economia substancial de energia;
- Controle do consumo de recursos hídricos;
- Monitoramento do crescimento da planta e dos relacionados ao microclima no qual ela se encontra;
- Certeza de colheita no período de safra e entressafra;
- Economia de tempo e dinheiro para o produtor com o trabalho relacionado ao plantio e colheita dos morangos.

### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos colegas:

Mariana Costa Dias, Doutoranda em Bioinformática e Mestre em Biologia Vegetal sub-área Fisiologia Vegetal pela UFMG; pela consultoria e pela indicação de artigos relacionados à fisiologia das plantas e do morango.

Arthur Pereira Wernke, Graduando em Engenharia Aeroespacial pela UnB - FGA; pelo auxílio no uso do compilador  $\text{\LaTeX}$  pela assistência nos cálculos de transporte de calor.

Victor Menezes Ribeiro, Graduando em Engenharia Aeroespacial pela UnB - FGA; pelo auxílio nos CAD's da estrutura e plantas de corte do compartimento para eletrônica.

Josias Diego Martins, Engenheiro da Bobsien P&D; pelo trabalho realizado no tópico deste relatório e pela sugestão do uso do efeito Peltier para aquecimento/resfriamento da estufa.

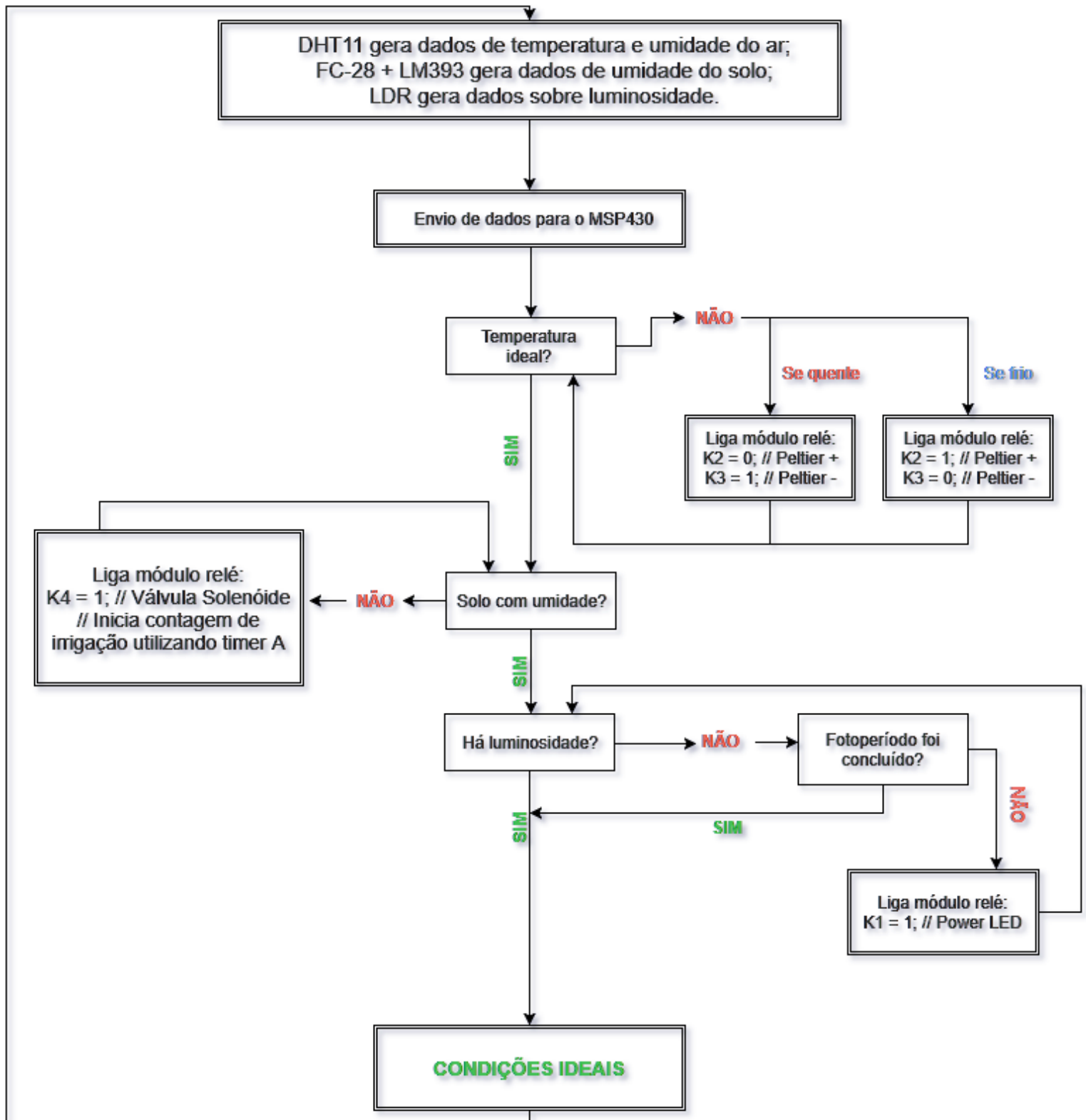
### REFERENCES

- [1] H. Kopka and P. W. Daly, *A Guide to  $\text{\LaTeX}$* , 3rd ed. Harlow, England: Addison-Wesley, 1999.
- [2] ROMANINI, Carlos E. B. *et al. Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido*. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., [s.l.], v. 14, n. 11, p.1194-1201, 2010. FapUNIFESP (SciELO).
- [3] RURALNEWS, Redação. *Estufas - produção agrícola em ambientes controlados.2015*. Disponível em: <http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=202>.
- [4] ARAGUAIA, Mariana. *Morango*; Brasil Escola. Disponível em: (<http://brasilescuela.uol.com.br/frutas/morango.htm>). Acesso em 31 de setembro de 2017.
- [5] PALHA, Maria da Graça. *Manual do Morangueiro*; 2005.
- [6] Morato, J., Cruz, S., Pereira, F., Metrôlho, J. C.. *Multi-Monitorização de Estufas Agrícolas*. Escola Superior de Tecnologia. Escola Superior Agrária. Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- [7] SOUSA, André Luiz C. N. D. e BUSSON, Bruna O.. *Projeto de Sistema de Irrigação para Unidade de Agricultura Familiar*. 2016.
- [8] SCARPARE, João Alexio Filho. *Vernalização em cinco cultivares de morangueiro*. 2007.
- [9] HENZ, Gilmar P.; *Desafios enfrentados por agricultores familiares na produção de morango no Distrito Federal*. 2010.
- [10] Texas Instruments. LM393, LM293, LM193, LM2903 Dual Differential Comparators datasheet. October, 1979.

- [11] ON Semiconductor. BS170 — Small Signal MOSFET datasheet, Rev.7. November, 2017.
- [12] AOSONG. "Temperature and humidity module — DHT11 Product Manual". s.d.
- [13] Foton Ukraine. 3W High Power LED datasheet. [entre 2011 e 2017].
- [14] Texas Instruments.  $\mu\text{A}7800$  SERIES — POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS datasheet, Revised May 2003. May 1976.
- [15] Texas Instruments. Interfacing the 3-V MSP430 to 5-V Circuits. October 2002.
- [16] Texas Instruments. Mixing C and Assembler With the MSP430. March 2002.
- [17] BRAGA, Newton C. Dissipadores de calor (ART208). Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/1405-art208>. Acesso em: 30 out. 2017.

## ANEXOS

- Diagrama Lógico



- Código

```

1  #include <msp430.h>
2  #include <msp430g2553.h>
3
4  /* =====
5   * DECLARACAO DE CONSTANTES
6   * ===== */
7
8  /* MODULO RELE -> SAIDAS */
9  #define K1 BIT0 // K1 = P1.0
10 #define K2 BIT1 // K2 = P1.1
11 #define K3 BIT2 // K3 = P1.2
12 #define K4 BIT3 // K4 = P1.3
13
14 #define LED BIT6 // LED = P1.6
15
16 /* SENSORES -> ENTRADAS */
17 #define LDR BIT4 // LDR = P1.4
18 #define UMI BIT5 // UMI = P1.5
19 #define DHTPIN BIT7 // DHT11 = P1.7
20
21 /* ===== */
22
23 /* =====
24 * VARIAVEIS GLOBAIS / PROTOTIPOS DE
25 FUNCOES
26 * ===== */
27
28 /* DHT 11 */
29 unsigned char volatile TOUT;
30 unsigned char volatile SECOND_TIMER=0;
31
32 unsigned char data[5];
33
34 void acorda(void);
35 unsigned char resposta(void);
36 unsigned char lerByte(void);
37 unsigned char lerPacket(unsigned char *);
38 unsigned char checkParidade(unsigned char *);
39
40 /* ===== */
41
42 #pragma vector = TIMER0_A0_VECTOR
43 __interrupt void CCR0_ISR(void){
44     SECOND_TIMER++;
45     TOUT=1;
46     TACCTL0 &= ~(CCIFG);
47     // _BIC_SR_IRQ(LPM0_bits);
48 }
49
50 /* =====
51 * PROGRAMA PRINCIPAL
52 * ===== */
53
54 void main(void){
55     WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;
56
57     /* DECLARA ENTRADAS E SAIDAS */
58     P1DIR |= K1 + K2 + K3 + K4;
59     P1OUT |= (K1 + K2 + K3 + K4);
60
61     P1REN |= (UMI + DHTPIN);
62     P1OUT |= (UMI + DHTPIN);
63
64     /* CONFIGURACAO DO TIMER */
65     BCSCCTL1 = CALBC1_1MHZ;
66     DC0CTL = CALDC0_1MHZ;
67
68     TACCR0 = 50000;
69     TACCTL0 = CCIE;
70     TA0CTL = TASSEL_2 + ID_2 + MC_1 +
71     TACLRL;
72     _enable_interrupt();
73
74     //LPM0;

```

```

72
73     P1OUT |= K2;
74     P1OUT &= ~(K3);
75
76     while(1){
77
78         /* INTERFACE COM DHT11 */
79         if(SECOND_TIMER >= 5){
80             acorda();
81             if(resposta()){
82                 data[0] = lerByte();
83                 data[1] = lerByte();
84                 data[2] = lerByte();
85                 data[3] = lerByte();
86                 data[4] = lerByte();
87             }
88
89             if (checkParidade(data)){
90                 P1OUT |= LED;
91             } else {
92                 P1OUT &= ~(LED);
93                 break;
94             }
95
96             if(data[2] >= 0x10){
97                 P1OUT |= K2;
98                 P1OUT &= ~(K3);
99             } else {
100                 if(data[2] <= 0x16){
101                     P1OUT |= K3;
102                     P1OUT &= ~(K2);
103                 } else {
104                     P1OUT |= (K2 + K3);
105                 }
106             } /* fim do if-else */
107
108             TACTL |= TACLRL;
109             TA0CTL |= 0x10;
110             TACCR0 = 50000;
111             SECOND_TIMER = 0;
112             /* fim da interface com o DHT11
113
114             */ /* fim do if-else (second timer)
115
116             */ /* fim do while */
117         } /* FIM DO PROGRAMA PRINCIPAL */
118
119 /* =====
120 * FUNCOES DO DHT11
121 * ===== */
122
123 unsigned char lerByte(){
124     TOUT = 0;
125     unsigned char numero = 0;
126     unsigned char i;
127     TACCTL0 &= ~(CCIE);
128     for (i=8; i>0; i--){
129         while (!(P1IN & DHTPIN));
130         TACTL |= TACLRL;
131         TA0CTL |= 0x10;
132         TACCTL0 |= CCIE;
133         while ((P1IN & DHTPIN));
134         TA0CTL &= ~(0x30);
135         if (TAR > 13)
136             numero |= 1 << (i-1);
137     }
138     return numero;
139 } /* fim lerByte */
140
141 unsigned char resposta(){
142     TOUT=0;
143     TACTL |= TACLRL;
144     TACCR0 = 25;
145     TACCTL0 |= CCIE;
146     while (!(P1IN & DHTPIN) && !TOUT);

```



```

145     if (TOUT)
146         return 0;
147     else {
148         TACTL |= TACLR;
149         TACCTL0 |= CCIE;
150         while ((PIN & DHTPIN) && !TOUT);
151         if (TOUT)
152             return 0;
153         else {
154             TACCTL0 &= ~(CCIE);
155             return 1;
156         }
157     } /* fim do if-else */
158 } /* fim resposta */
159
160 void acorda() {
161     PIDIR |= DHTPIN;
162     PIOUS &= ~(DHTPIN);
163     __delay_cycles(25000);
164     PIOUS |= DHTPIN;
165     __delay_cycles(30);
166     PIDIR &= ~(DHTPIN);
167 } /* fim acorda */
168
169 unsigned char checkParidade(unsigned char
170 *data){
171     if (data[4] != (data[0] + data[1] +
172 data[2] + data[3])){
173         return 0;
174     }
175     else return 1;
176 } /* fim check Paridade */

```