

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 Conceio 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.



Fig. 2. Fruto e pseudofruto do morango

Características gerais do cultivo 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.
- **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 cultura 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 so:

- Economia de água devido a automação do ambiente;
- Captao de dados de umidade e temperatura ambiente;
- Captao 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.

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 espaamento entre os morangueiros deve ser de no mínimo 20 cm e altura máxima que a planta pode atingir 30 cm.

V. 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.

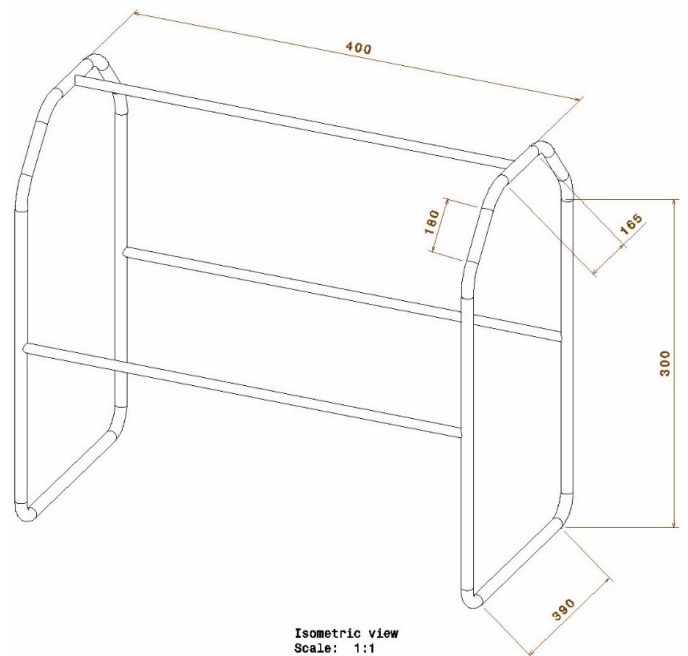


Fig. 4. Vista Isométrica do CAD da Estrutura realizada no software CATIA.

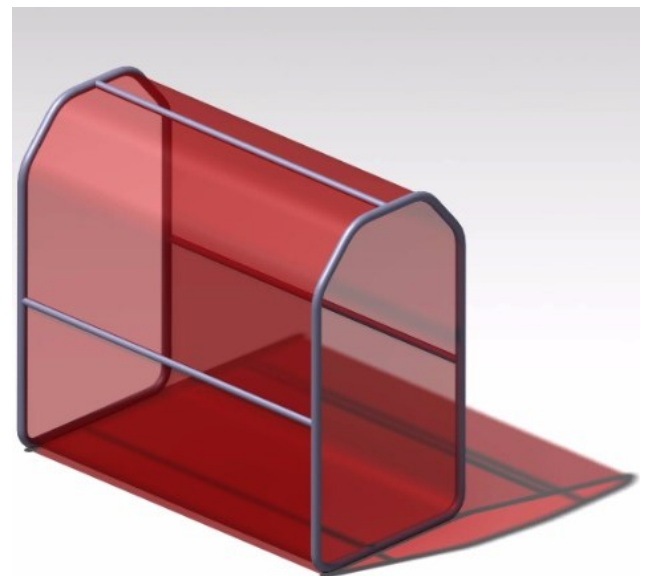


Fig. 5. Render da Estrutura.



Fig. 6. Estrutura construída em cano PVC.

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;

2) Descrição do Hardware:

- **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. 7 abaixo.

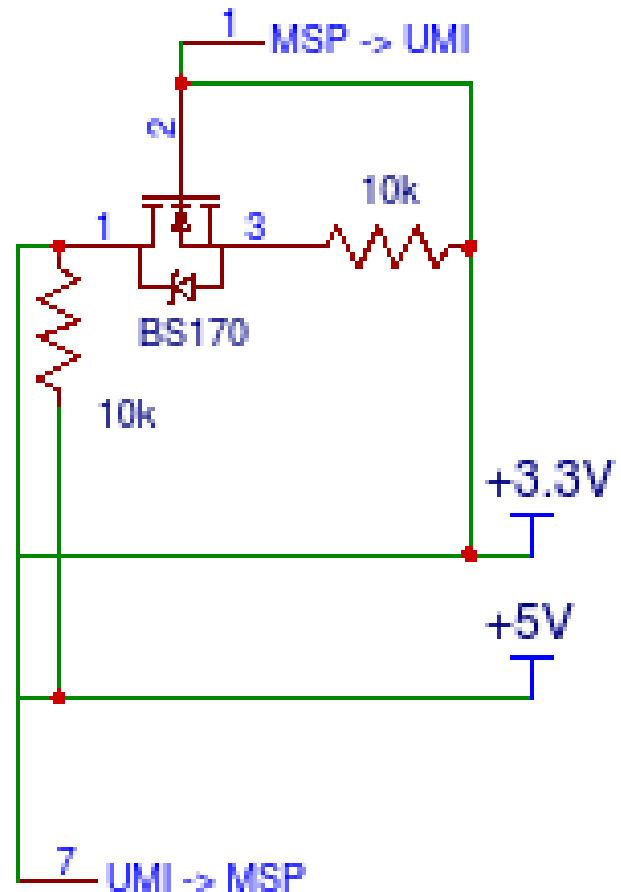


Fig. 7. Esquemático da unidade *level-shifter* (reduzora de tensão).

- **Módulo relé 4 canais:** Será utilizado um módulo com 4 relés para controle dos dispositivos com tensão de 12V ou com correntes superiores a suportada pelo MSP430;
- **Módulo sensor de umidade do solo (umidostato):** Possui formato de garfo (apenas duas pontas que devero 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 pontas. A corrente, portanto, é muito baixa para que se insira o sensor diretamente na porta analógica do 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))

Para melhor ilustrar o sistema, foi construído um Diagrama Lógico que encontra-se nos anexos deste trabalho.

VI. 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;

VII. 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 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:

Arthur Wernke, Graduando em engenharia aeroespacial pela UnB - FGA; pelo auxílio no uso do compilador \LaTeX pela assistência nos cálculos de transporte de calor.
Victor Ribeiro Menezes, Graduando em engenharia aeroespacial pela UnB - FGA; pelo auxílio nos CAD's da estrutura.

REFERENCES

ANEXOS

- [1] H. Kopka and P. W. Daly, *A Guide to L^AT_EX*, 3rd ed. Harlow, England: Addison-Wesley, 1999.
- [2] ROMANINI, Carlos E. B. *et al.* *Desenvolvimento e simulao de um sistema avanado de controle ambiental em cultivo protegido*. Rev. Bras. Eng. Agrc. Ambient., [s.l.], v. 14, n. 11, p.1194-1201, 2010. FapUNIFESP (SciELO).
- [3] RURALNEWS, Redao. *Estufas - produo agrcola em ambientes controlados*. 2015.
Disponvel em: <http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=202>.
- [4] ARAGUAIA, Mariana. *Morango*; Brasil Escola.
Disponvel em: <http://brasilecola.uol.com.br/frutas/morango.htm>.
Acesso em 31 de setembro de 2017.
- [5] PALHA, Maria da Graa. *Manual do Morangueiro*; 2005.
- [6] Morato, J., Cruz, S., Pereira, F, Metrlho, J. C.. *Multi-Monitorizao de Estufas Agrcolas*. Escola Superior de Tecnologia. Escola Superior Agrria. Instituto Politcnico de Castelo Branco.
- [7] SOUSA, Andr Luiz C. N. D. e BUSSON, Bruna O.. *Projeto de Sistema de Irrigao para Unidade de Agricultura Familiar*. 2016.
- [8] SCARPARE, Joo Alexio Filho. *Vernalizao em cinco cultivares de morangueiro*. 2007.
- [9] HENZ, Gilmar P.; *Desafios enfrentados por agricultores familiares na produo de morango no Distrito Federal*. 2010.

