

## SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA O MANEJO DA SUBIRRIGAÇÃO EM AMBIENTE PROTEGIDO

JÚLIO CÉSAR FERREIRA DE MELO JÚNIOR<sup>1</sup>; ELIEZER SANTURBANO GERVÁSIO<sup>2</sup> E ROBSON ANDRÉ ARMINDO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrícola, Prof. D.Sc., Colegiado de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Rodovia BR 407, km 12, Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho, Lote 543-C1, Petrolina, PE. julio.melo@oi.com.br

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Prof. D.Sc., Colegiado de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE. eliezer.gervasio@univasf.edu.br

<sup>3</sup>Engenheiro Agrícola, Prof. D.Sc., Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. rarmindo@ufpr.br

### 1 RESUMO

A automação dos sistemas de subirrigação em ambientes protegidos torna-se importante devido à redução dos custos com a diminuição do consumo de insumos e água, fomentando a atividade agrícola sustentável. Neste trabalho, teve-se por objetivo desenvolver um sistema de automação para o gerenciamento da subirrigação na produção de mudas de maracujazeiro amarelo em ambiente protegido. Para o desenvolvimento do sistema de automação, constituído pelo circuito eletrônico microcontrolado e o “*firmware*”, levou-se em consideração a forma de quantificação da água consumida pelas plantas, o número de tratamentos referentes às lâminas aplicadas, e os componentes do sistema de subirrigação. O microcontrolador utilizado para montagem do circuito eletrônico microcontrolado foi o PIC16F877A. Durante o desenvolvimento do sistema de automação foram realizados teste do funcionamento, em aplicativo computacional, em placa de protótipos e em placa definitiva. Concluiu-se, que o sistema de automação para o controle da subirrigação correspondeu de forma satisfatória e eficiente, não apresentando problemas de mau funcionamento. Ademais, baseando-se na quantidade e nos valores dos componentes eletrônicos e do material utilizado para a montagem do circuito eletrônico microcontrolado em placa definitiva, obteve-se um custo total de U\$ 772.76 americanos, consideravelmente baixo para um protótipo.

**Palavras-chaves:** lisimetria, microcontrolador, circuito eletrônico, maracujá.

MELO JÚNIOR, J. C. F. de; GERVÁSIO, E. S.; ARMINDO, R. A.  
AUTOMATION SYSTEM FOR THE SUBIRRIGATION MANAGEMENT IN GREENHOUSE

### 2 ABSTRACT

The automation of subirrigation systems in greenhouses is growing in importance due to the cost reduction it affords plus a decreased consumption of supplies and water, which fosters sustainable agricultural activity. The aim of this research was to develop an automation system for subirrigation management in the yellow passion seedlings greenhouse production.

The automation system consisted of a microcontrolled electronic circuit and firmware which development took into account the plant water consumption quantification method, the number of treatments related to different water depths as well as the subirrigation system components. A Microchip Technology PIC16F877A microcontroller chip was used. The circuit was tested in its development stages first in a computational application and then on a prototyping board and on the definitive printed circuit board. It was concluded that the automated subirrigation control system performed satisfactorily and efficiently showing no malfunctions. Further, given the quantity and cost of the electronic components and other materials employed, assembling the definitive circuit board resulted in a total cost of US\$ 772.76, significantly low for a prototype.

**Keywords:** lysimeter, microcontroller, electronic circuit, passion fruit.

### 3 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das principais atividades responsáveis pelo elevado consumo de água doce do planeta, devido, principalmente, ao uso ineficiente da água e perdas durante o processo de irrigação (Bernardo, 1992; Bernardo et al., 2006; Paz et al., 2000). Para adequar o consumo de água em ambientes protegidos, e conseqüentemente, tornar a irrigação mais eficiente, tem-se desenvolvido novas técnicas que permitem determinar o momento correto de se irrigar e a quantidade de água a ser aplicada, necessária para o adequado desenvolvimento da planta (Ribeiro et al., 2010).

A automação dos sistemas de irrigação em ambiente protegido é de extrema importância por reduzir custos referentes à utilização de insumos, corroborando para que a atividade agrícola se torne sustentável do ponto de vista ambiental, social e econômico. Nesse contexto, com a automação do sistema de irrigação, o manejo experimental torna-se menos oneroso, minimizando-se o acompanhamento da irrigação por trabalhadores que monitorariam o momento de irrigar, abrir e fechar válvulas, acionar e desacionar a motobomba (Coelho et al., 2008).

Com a evolução da instrumentação e da eletrônica digital, sugeriram os microcontroladores e sensores eletrônicos como as células de carga e os transdutores de pressão, que permitem automatizar o procedimento de subirrigação com precisão considerável, possibilitando-se a utilização dos recursos naturais disponíveis de forma inteligente.

O microcontrolador é o componente responsável pela aquisição e tratamento de dados provenientes dos elementos sensores, e pela tomada de decisão para o acionamento de válvulas e motobombas. Esse componente eletrônico é uma importante invenção do ramo da eletrônica, sendo fundamental na construção de eletroeletrônicos diversos (Bates, 2006). Conforme Sica (2006), os microcontroladores possuem memória RAM, EEPROM ou flash, para armazenamento de dados, conversores analógico/digital e interfaces USB ou Ethernet, entre outros módulos, além de operarem com potência de aproximadamente 50 mW e em frequências da ordem de MHz. Segundo Bacurau et al. (2011), existem diversos tipos de microcontroladores disponíveis no mercado produzidos por diversos fabricantes, sendo os principais: AMCC, Atmel, Basic Step, Freescale Semiconductor, Intel, National Semiconductor, Microchip Technology Silicon Laboratories e Texas Instruments.

Os minilímetros de pesagem eletrônicos, cujo elemento sensor é a célula de carga, permitem o monitoramento da massa dos recipientes contendo o substrato orgânico, água e a

planta, de modo a quantificar a massa de água consumida pela planta durante um determinado tempo. Ribeiro et al. (2010) apresentaram a utilização do minilímetro de pesagem como uma excelente alternativa para monitorar o consumo de água das plantas cultivadas nesses recipientes de reduzido volume. Silva et al. (1999) constataram que os lisímetros equipados com mecanismos de pesagem por intermédio de células de carga são os mais modernos e permitem a realização de medidas automatizadas. Aboukhaled et al. (1982) e Howell et al. (1991) consideraram os lisímetros de pesagem como um dos melhores equipamentos disponíveis para medir com exatidão o consumo de água pelas culturas.

Na prática da subirrigação automatizada, é necessária a utilização de sensores com o objetivo de controlar o nível de água dentro dos tanques, para evitar o transbordamento. Segundo Bacurau et al. (2011), atualmente, os sensores de pressão com interface elétrica mais utilizados são os construídos com elementos piezoresistivos, denominados transdutores de pressão. Nesse tipo de sensor, uma alteração na pressão induz uma tensão no diafragma, e conseqüentemente, nos resistores de material piezoresistivo internos. Os valores dos resistores mudam em proporção à força aplicada para uma determinada área, permitindo-se a conversão de pressão em um sinal de tensão elétrica proporcional à pressão.

Diante do exposto, teve-se como objetivo desenvolver um sistema de automação para o gerenciamento da subirrigação na produção de mudas de maracujazeiro amarelo em ambiente protegido.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de automação foi desenvolvido para o monitoramento do momento e da quantidade de água a ser aplicada, realizada pelo sistema de subirrigação, para o cultivo de mudas de maracujazeiro amarelo em recipientes e em ambiente protegido. Esse sistema foi implantado em viveiro agrícola localizado no Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, em Petrolina-PE, situado a latitude de 9°19'35" S, longitude de 40°32'53" O e altitude de 370 m.

### 4.1 Sistema e princípio de Subirrigação

A aplicação de água para a cultura foi realizada por intermédio do sistema de subirrigação, realizando-se a imersão do recipiente, que continha a planta, em água até próximo a sua borda, proporcionando o umedecimento do substrato presente nos tubetes. O umedecimento se deu por intermédio da entrada de água no orifício inferior do recipiente, permitindo sua distribuição no meio poroso, devido ao gradiente hidráulico.

Para o funcionamento do sistema de subirrigação foram construídos tanques que constituíram as bancadas de produção, para que os tubetes ficassem imersos em água até próximo a sua borda, durante o período da irrigação. Transcorrido esse tempo, o restante da água contida dentro dos tanques era bombeado para um reservatório a fim de ser reaproveitado para a próxima irrigação.

A quantidade de água no interior dos recipientes das quatro parcelas, representativas dos tratamentos que foram equivalentes aos níveis de depleção de água do substrato de 5, 15, 25 e 35% da massa da capacidade de "container", indicaram o momento para que a irrigação fosse realizada. Cada minilímetro foi representativo de um tratamento, monitorando-se a variação da massa de um conjunto de 27 recipientes, ocasionada pelo consumo de água pela planta devido à demanda evapotranspirométrica. Desse modo, quando foi atingida a massa

crítica pré-estabelecida para cada tratamento, o sistema de subirrigação foi acionado e permaneceu ligado até que o nível de água dentro dos tanques atingisse o patamar próximo à borda do recipiente, sem que houvesse o transbordamento da água nos tanques. Decorrido o tempo de irrigação, os tanques foram esvaziados, iniciando-se instantaneamente um novo ciclo de monitoramento para o tratamento.

## 4.2 Sistema de Automação

Para o desenvolvimento do sistema de automação, constituído pelo circuito eletrônico microcontrolado e “*firmware*”, levou-se em consideração a forma de quantificação da água consumida pelas plantas, o número de tratamentos referentes às lâminas aplicadas e os componentes do sistema de subirrigação, como: transdutores de pressão, válvulas hidráulicas de controle elétrico e motobombas.

O microcontrolador utilizado para montagem do circuito eletrônico microcontrolado foi o PIC16F877A de 8 bits e núcleo de 14 bits. Esse possui memória FLASH de programa com 8.192 palavras de 14 bits, memória RAM com 368 bytes e memória EEPROM com 256 bytes. A sua frequência de operação “*clock*” possui limite superior de 20 MHz, resultando em uma velocidade de processamento de 5 MIPS. O seu conjunto RISC se compõe de 35 instruções, podendo funcionar com a tensão de alimentação variando de 2 a 5,5 VCC, e sua pinagem DIP apresenta 40 pinos (Microchip, 2003).

Com a definição das rotinas do manejo do sistema de subirrigação foi realizada a representação formal do algoritmo descritivo, em linguagem de programação C, no ambiente de trabalho do compilador CCS PIC C Compiler Inc., que contém todas as ferramentas de um compilador C, e outros recursos avançados que permitiram a realização do trabalho com o microcontrolador da linha PIC. Após a compilação da representação formal do algoritmo descritivo, foi criado um arquivo hexadecimal, que foi embarcado na forma de “*firmware*” no microcontrolador PIC16F877A, e também utilizado na etapa de simulação virtual no aplicativo “*Proteus-ISIS*”.

Com auxílio do referido aplicativo computacional, que apresenta componentes eletrônicos virtuais como resistores, capacitores, fontes, microcontroladores, entre outros, realizou-se a montagem virtual do circuito eletrônico microcontrolado e a simulação do funcionamento do sistema de automação para o manejo do sistema de subirrigação.

Paralelamente ao desenvolvimento do algoritmo descritivo, bem como da sua representação formal, realizou-se também o dimensionamento do circuito eletrônico microcontrolado. No dimensionamento, considerou-se o condicionamento do sinal, aplicando-se os componentes eletrônicos devidamente necessários para que não ocorressem ruídos que interferissem no funcionamento do sistema de automação, além daqueles recomendados pelos fabricantes dos componentes e sensores utilizados.

A gravação do “*firmware*” originado da compilação da representação formal do algoritmo descritivo em linguagem de programação C, no microcontrolador PIC16F877A foi executada por intermédio de uma placa de desenvolvimento da marca EXSTO.

Após concluída a etapa da simulação virtual do funcionamento do “*firmware*”, o circuito eletrônico microcontrolado foi montado e testado em placa de protótipos. Nessa etapa, os próprios elementos sensores, célula de carga e transdutor de pressão foram utilizados para representar a resposta dos parâmetros de entrada do sistema que foram monitorados durante o manejo da subirrigação. Para a simulação do acionamento dos solenóides das válvulas hidráulicas de controle elétrico, bem como dos contadores das motobombas foram

utilizados relês e diodos emissores de luz. Todas as possíveis situações que poderiam ser observadas no manejo da subirrigação foram simuladas em placa de protótipos.

O desenho da placa definitiva foi realizado com auxílio de um aplicativo computacional “*Proteus-ARES*”, que possui um banco de dados com as características dimensionais dos componentes eletrônicos utilizados para a montagem do circuito eletrônico microcontrolado. Desse modo, o aplicativo possibilitou desenhar as trilhas do circuito eletrônico, bem como locar os componentes eletrônicos em escala real.

O procedimento de montagem e teste das placas definitivas foi a etapa final do desenvolvimento da automação para o sistema de subirrigação. Essas foram confeccionadas utilizando o método fotográfico (Bacurau et al., 2011), onde o desenho do circuito eletrônico impresso em transparência foi transferido para a placa de fenolite, para posterior corrosão em perclorato de ferro, resultando após a soldagem dos componentes, na placa definitiva do circuito eletrônico.

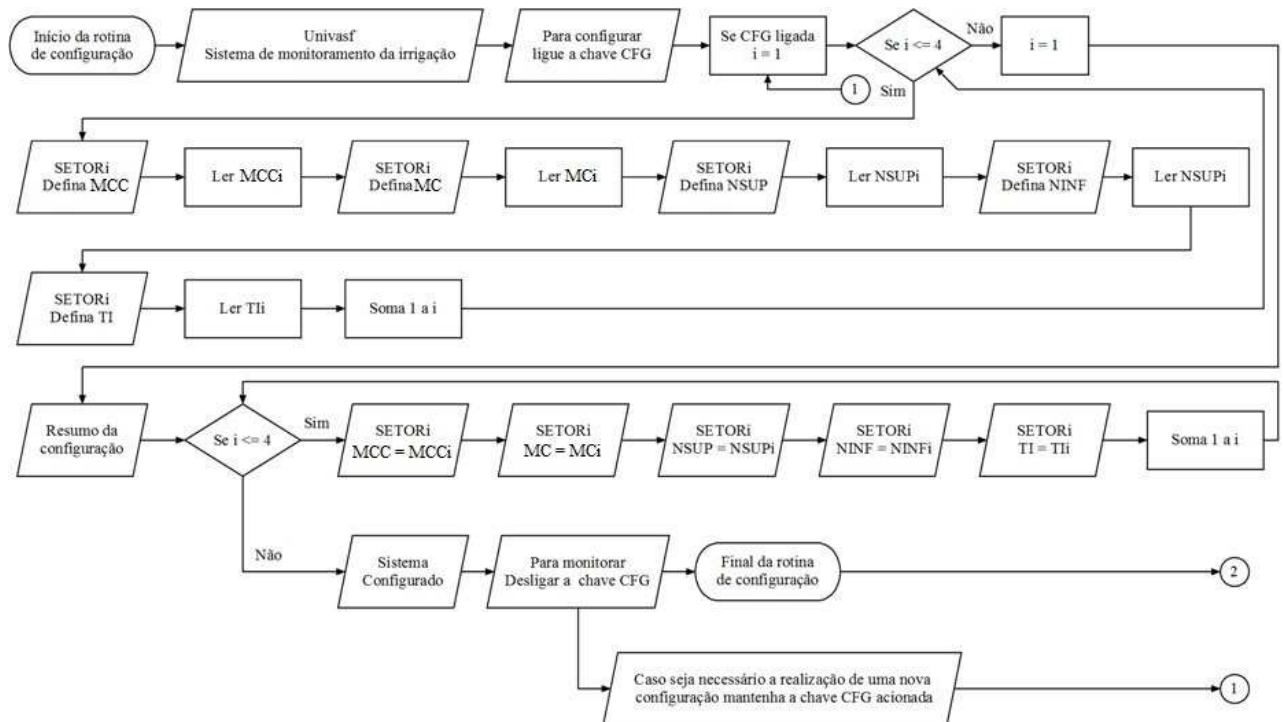
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento do momento da irrigação, bem como a reposição da água consumida pelas plantas, foi realizado pelo sistema de automação que possibilitou, por intermédio do sinal elétrico da célula de carga, a decisão do acionamento da motobomba e a abertura da válvula hidráulica de controle elétrico, para liberar a passagem da água para os tanques do setor onde estava sendo realizada a irrigação. Ademais, o controle do nível da água no tanque foi realizado levando em consideração a resposta do sensor, constituído pelo transdutor de pressão, que monitorou o nível da água dentro do tanque de irrigação para informar o momento de desligar a motobomba e fechar a válvula hidráulica de entrada, evitando o transbordamento da água.

Ao mesmo tempo que o sistema controlava o acionamento ou desligamento da motobomba e das válvulas de entrada, este realizava a retirada da água armazenada nos tanques dos setores de subirrigação, depois de decorrido o tempo de irrigação, por intermédio do controle de acionamento da válvula e motobomba de saída de cada setor de subirrigação, encerrando a irrigação. A água de irrigação foi reciclada sendo então conduzida para o reservatório.

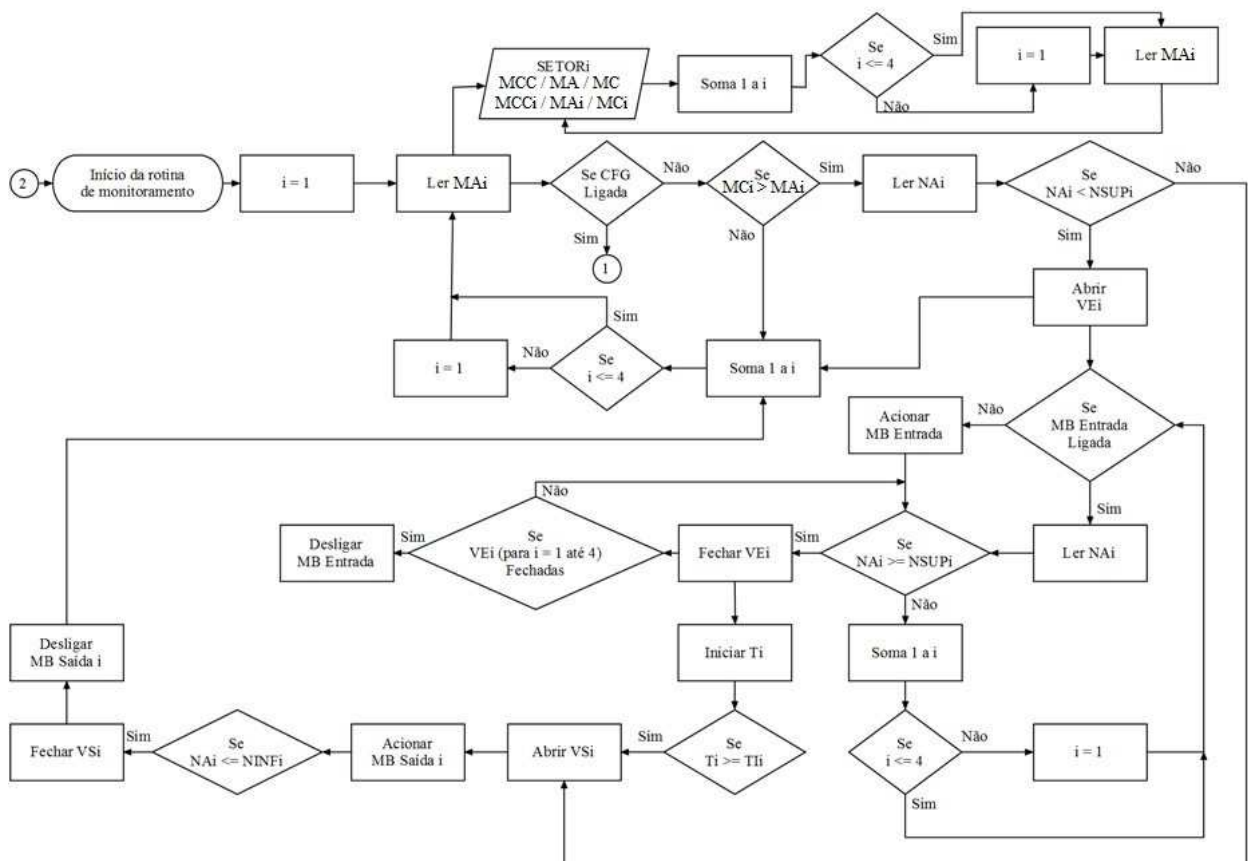
O algoritmo descritivo desenvolvido (Figuras 1 e 2) está apresentado no formato de fluxograma, onde se observam as rotinas e procedimentos que são executados para o monitoramento da subirrigação pelo sistema de automação. A representação formal comentada do algoritmo descritivo em linguagem de programação C foi omitida desse documento científico.

Na inicialização, o “*firmware*” informará as seguintes mensagens ao usuário por intermédio do display de cristal líquido (LCD), “UNIVASF” e “Sistema de Monitoramento da Irrigação”. Após essa apresentação, o “*firmware*” solicita ao usuário, por intermédio do LCD, para acionar a chave de configuração (CFG). Com o acionamento da chave CFG, o próximo passo é a configuração do sistema, onde o usuário define por intermédio dos botões de configuração os valores referentes à massa da capacidade de “*container*” (MCC), massa crítica (MC), nível inferior da água no tanque (NINF), nível superior (NSUP) e o tempo de irrigação (TI) para os quatro setores de subirrigação.



**Figura 1.** Rotina para a configuração dos parâmetros para o monitoramento da irrigação pelo sistema de automação, como parte integrante do algoritmo descritivo.

Depois de realizada a configuração da MCC, MC, NINF, NSUP e o TI, o algoritmo apresenta pelo LCD o resumo da configuração, mostrando todos os parâmetros configurados para os quatro setores de subirrigação. Para iniciar o monitoramento da subirrigação, o algoritmo descritivo solicita o desligamento da CFG por intermédio da mensagem “Desligar a Chave CFG”, que é apresentada no LCD. Desligando-se a chave CFG, o algoritmo inicia a rotina de monitoramento da massa da bandeja de recipientes, conforme apresentado pela Figura 2, obtida por meio dos minilísimetros, onde realiza a comparação entre a MC e MA para o primeiro setor; caso a MA seja menor do que a MC, e o nível atual da água no tanque (NA) for menor NSUP, são executados os comandos: para abrir a válvula hidráulica de entrada do setor 1, e verificar se a motobomba de entrada já está ligada, caso afirmativo, mantém-se ligada, caso contrário será acionada. Quando NA dos tanques do setor 1 for maior ou igual ao NSUP, o sistema fecha a válvula de entrada correspondente do setor, aciona o cronômetro para monitorar o TI, e verifica se existe outro setor sendo irrigado, no caso afirmativo o sistema mantém a motobomba acionada, caso contrário a motobomba de entrada é desligada.



**Figura 2.** Rotina para o monitoramento da irrigação pelo sistema de automação, como parte integrante do algoritmo descritivo.

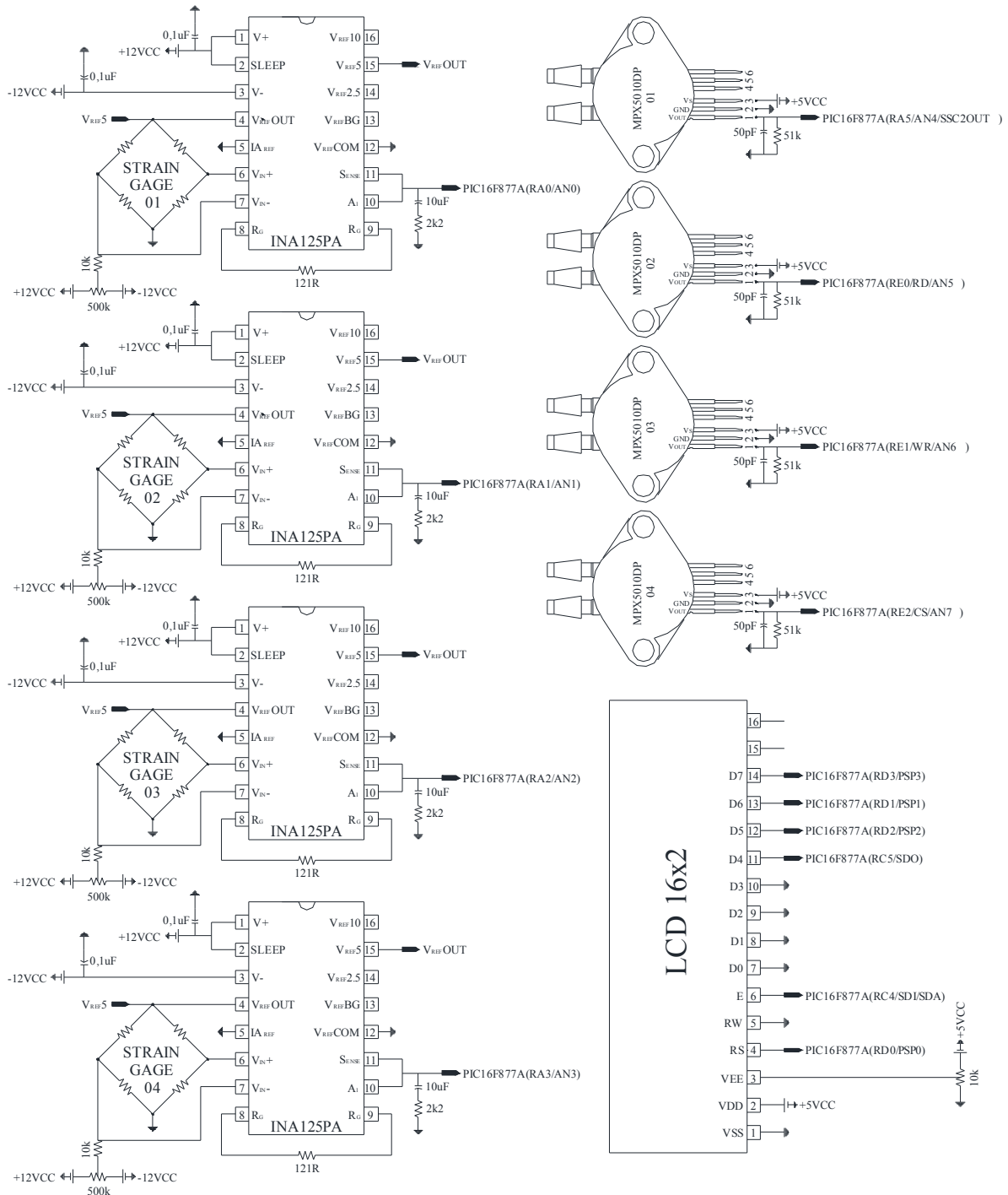
A próxima rotina é iniciada quando o tempo, desde o momento em que ocorreu o fechamento da válvula de entrada, atingir o valor do TI definido para o referido setor. Decorrido o TI o sistema verifica se o NA é maior que NINF, em caso afirmativo é acionada a válvula e a motobomba de saída do setor 1, até o momento em que o NA for menor ou igual ao NINF definido no momento da configuração do sistema.

Durante a execução dos comandos supramencionados, o sistema continua a monitorar os demais setores e aquele(s) em que a irrigação está sendo realizada durante todas as etapas do processo, além de apresentar no LCD o valor da MA para cada setor, bem como os valores referentes a MCC e MC estabelecidos no momento da configuração. Ademais, enquanto não ocorrer o acionamento da chave CFG para retornar a rotina de configuração do sistema, o monitoramento continuará sendo executado ciclicamente.

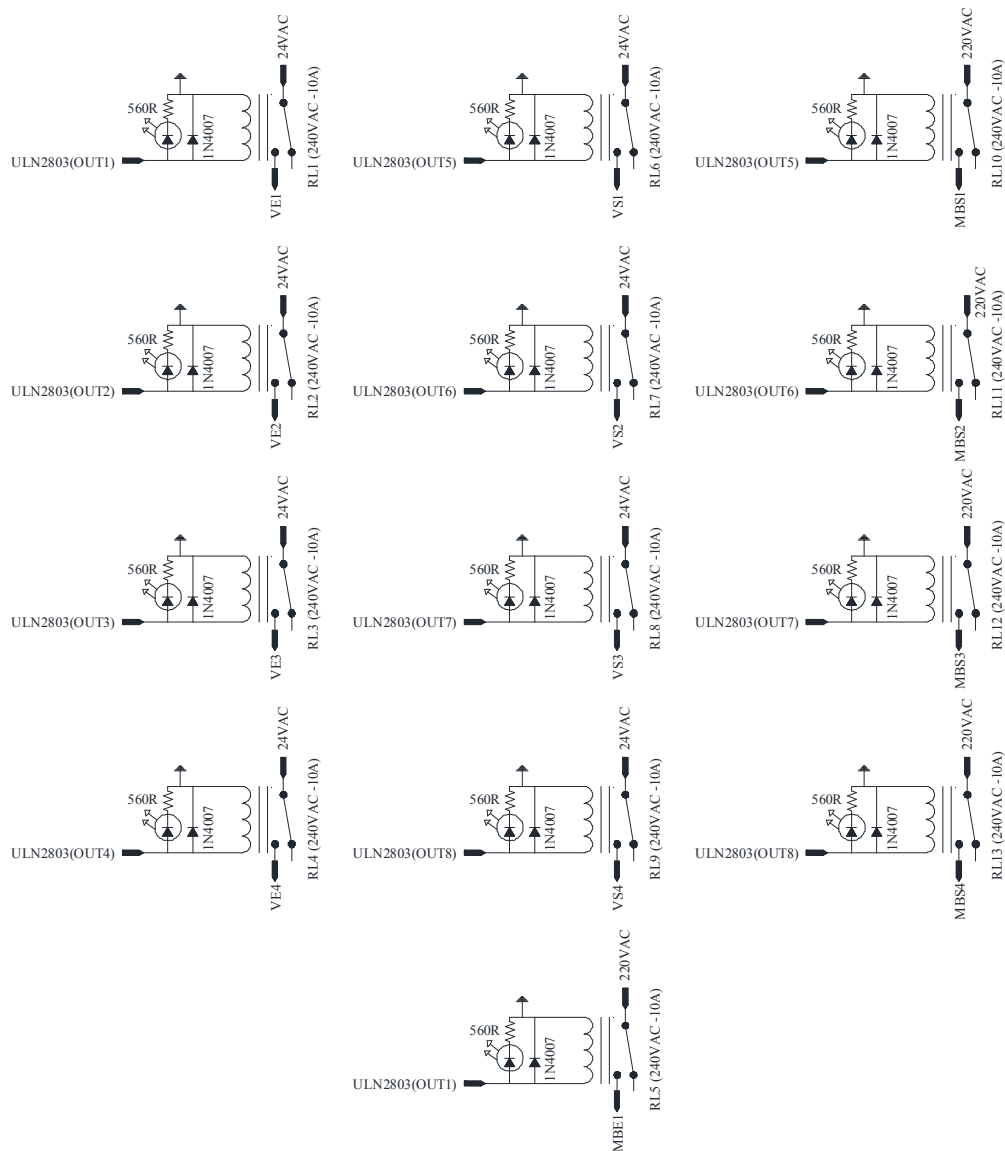
Justifica-se o fato de ter sido utilizado uma motobomba de saída para cada setor de irrigação, em virtude da válvula hidráulica de controle elétrico não permitir a passagem da água quando acionada em condição de sucção. Dessa forma a motobomba foi instalada na tubulação do sistema de subirrigação, antes da válvula hidráulica de controle elétrico, para que pudesse pressurizar a rede hidráulica possibilitando assim a abertura da válvula. Ademais, a opção da utilização da válvula hidráulica de controle elétrico do tipo globo com diafragma, que apresenta a faixa de pressão de funcionamento entre 70 a 1000 kPa, foi devido ao baixo custo do componente hidráulico verificado no mercado local, quando comparado ao de uma válvula hidráulica de controle elétrico, com abertura do tipo borboleta.







**Figura 4.** Diagrama unifilar do circuito eletrônico microcontrolado, apresentando a configuração de ligações para os componentes INA125PA, MPX5010DP e LCD 16x2, desenvolvido como parte integrante do sistema de automação.



**Figura 5.** Diagrama unifilar do circuito eletrônico microcontrolado, apresentando a configuração de ligações para os componentes relês de acionamento das válvulas hidráulicas de entrada e saída e das motobombas, desenvolvido como parte integrante do sistema de automação.

A montagem do circuito eletrônico microcontrolado em placa de protótipos foi realizada buscando encontrar a melhor configuração de locação para os componentes eletrônicos, levando em consideração as dimensões e as ligações elétricas, com vistas à otimização do “*layout*” da placa definitiva. Esse procedimento também foi realizado por Bacurau et al. (2011), Coelho et al. (2008), Ribeiro et al. (2010) e Santos & Gervásio (2010).

Durante a realização da simulação física do sistema de automação em placa de protótipos perante as situações que poderiam ser observadas na prática da subirrigação, o sistema de automação para o controle da subirrigação, correspondeu de forma satisfatória e eficiente, não apresentando problemas de mau funcionamento durante essa etapa. Além disso, nessa etapa, os sensores de entrada foram simulados, inicialmente, por potenciômetros, e após

alguns testes, esses foram substituídos pelas células de carga e transdutores de pressão (Motorola, 1997).

Utilizando, inicialmente, a configuração de “*layout*” do circuito eletrônico microcontrolado montado em placa de protótipos, desenvolveu-se o projeto das placas definitivas. Optou-se por subdividir o circuito eletrônico microcontrolado em três placas, sendo a principal a que realizou o controle e a leitura de dados dos sensores de massa e de pressão; a secundária a que permitiu o acionamento de válvulas hidráulicas de controle elétrico e motobombas, e a do LCD como terciária.

Após a obtenção do circuito eletrônico impresso nas placas de fenolite foi realizada a soldagem dos componentes eletrônicos. Com a soldagem dos componentes do circuito eletrônico microcontrolado em placa definitiva foi finalizado o desenvolvimento do sistema de automação, deixando-o em condições de ser utilizado para o monitoramento da subirrigação em ambiente protegido.

A relação dos componentes utilizados para a montagem do circuito eletrônico microcontrolado está apresentada na Tabela 1. Baseando-se na quantidade e nos valores dos componentes eletrônicos, dos sensores eletrônicos e do material utilizado para a montagem do circuito eletrônico microcontrolado em placa definitiva, obteve-se um custo total igual a R\$ 1.537,80, que correspondeu a U\$ 772,76 americanos, referente à cotação do câmbio no dia 10 de fevereiro do ano de 2012. Ressalta-se que esse valor é considerado baixo para um protótipo, tendo em vista que no custo total supramencionado não se adicionou o custo referente ao “*know-how*”, além de mencionar a aplicabilidade do sistema para o controle da subirrigação para produção de quaisquer espécies, mesmo que nesse trabalho tenha sido avaliada a aplicação para a produção de mudas de maracujazeiro amarelo.

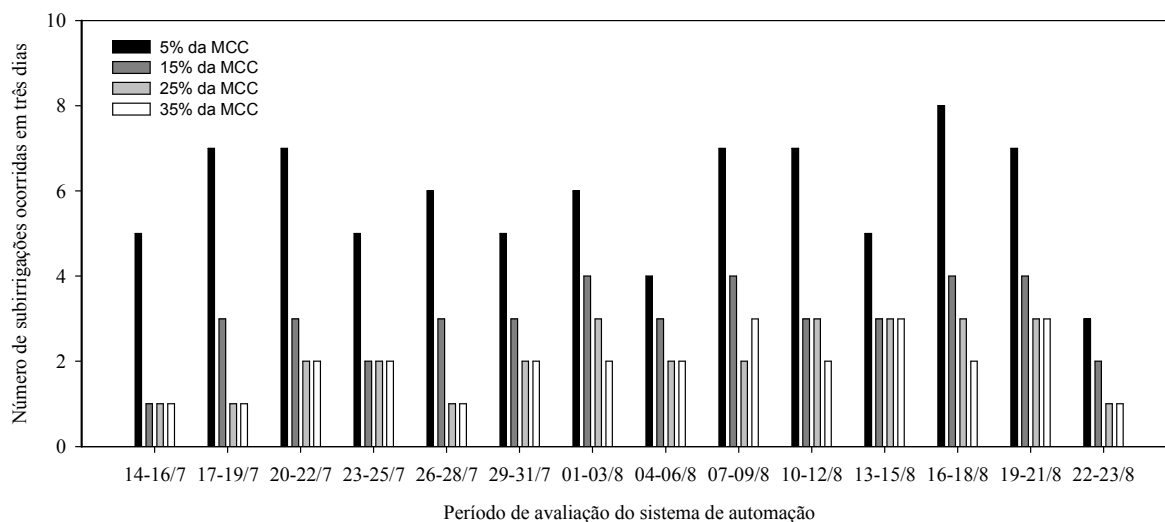
A avaliação do funcionamento do sistema de automação para o gerenciamento da subirrigação foi realizada para a condução de cultivos de mudas de maracujazeiro amarelo, durante o período de 14 de julho a 23 de agosto de 2011, que totalizaram 41 dias. A Figura 6 apresenta o número acumulado de subirrigações durante o período de três dias, ocorridas durante a avaliação do funcionamento do sistema de automação para os tratamentos representativos dos níveis de depleção de água do substrato de 5, 15, 25 e 35% da MCC. Observa-se que existiu uma variação do número de subirrigações inter e intratratamento, realizadas ao longo do período de condução das mudas, que foi devida, respectivamente, ao efeito do nível de depleção da água do substrato e a resposta da planta à demanda evapotranspirométrica dos períodos, determinados corretamente pelos minilísimetros.

Durante o período de análise para todas as situações observadas na prática, o sistema de automação correspondeu de forma satisfatória e eficientemente, não apresentando problemas de mau funcionamento como: desligamento involuntário, interrupção do processamento do microcontrolador sem desligamento, falhas de respostas aos comandos das chaves táteis durante o acionamento, falhas na recepção dos sinais dos sensores de massa e de pressão, ou falhas de acionamento de válvulas hidráulicas de controle elétrico e contadores das motobombas. Santos & Gervásio (2010), no desenvolvimento de um sistema de automação para a irrigação por microaspersão, verificaram versatilidade, segurança e baixo custo, que são conferidos a projetos de automação que utilizam microcontroladores.

**Tabela 1.** Relação e custo dos componentes utilizados para a montagem do circuito eletrônico microcontrolado

Descrição do componente eletrônico	Quantidade	Valor unitário*	Valor total*
Capacitor cerâmico 15pF 50V	2	0,08	0,16
Capacitor cerâmico 50pF 50V	4	7,50	30,00
Capacitor cerâmico 100nF 50V	1	0,09	0,09
Capacitor eletrolítico 0,1 $\mu$ F 50V	8	0,11	0,88
Capacitor eletrolítico 10 $\mu$ F 50V	4	0,14	0,56
Chave botão 8,5x8,5 mm com trava	1	0,41	0,41
Chave tátil 12x12x12 mm com 4 terminais	5	0,28	1,40
Cristal oscilador 4 MHz	1	1,88	1,88
Diodo zener 12V 1W 1N4742A	2	0,20	0,40
Diodo 1N4007	13	0,12	1,56
INA125PA	4	16,60	66,40
LCD16X2	1	26,89	26,89
LED 3mm vermelho	13	0,01	0,13
Microcontrolador PIC16F877A	1	26,58	26,58
MPX5010DP	4	35,23	140,92
Percloroeto de ferro 0,25kg	1	6,00	6,00
Placa de fenolite 0,15x0,25m	1	9,63	9,63
Placa de fenolite 0,10x0,30m	1	6,20	6,20
Placa de fenolite 0,05x0,10m	1	1,10	1,10
Relê 12VDC 10A 240VAC 5 pinos	13	2,50	32,50
Resistor de precisão 121 $\Omega$	4	0,08	0,32
Resistor 1k $\Omega$ 0,25W	1	0,05	0,05
Resistor 2k2 $\Omega$ 0,25W	4	0,05	0,20
Resistor 10k $\Omega$ 0,5W	10	0,14	1,40
Resistor 51k $\Omega$ 0,5W	4	0,15	0,60
Resistor 560 $\Omega$ 0,25W	28	0,05	1,40
SN74HC541N	2	1,13	2,26
“ <i>Strain gage</i> ” com capacidade de 20 kg	4	292,00	1.168,00
Trimpot multivoltas 500k $\Omega$	4	1,10	4,40
Trimpot cerâmico 10k $\Omega$	1	0,98	0,98
ULN2803AG	2	2,25	4,50
Valor total			R\$ 1.537,80
Valor em Dolar, cotação de 02/07/2012	1,99		US\$ 772.76

\*Valores em reais.



**Figura 6.** Número acumulado de subirrigações durante o período de três dias, ocorridas durante a avaliação do funcionamento do sistema de automação para o gerenciamento da subirrigação, para os tratamentos correspondentes aos níveis de depleção de água no substrato de 5, 15, 25 e 35% da MCC.

## 6 CONCLUSÕES

Tendo em vista o objetivo proposto e os resultados obtidos pode-se concluir que:

a. o sistema de automação para o controle da subirrigação desenvolvido correspondeu de forma satisfatória e eficiente, não apresentando problemas de mau funcionamento e ainda apresentou baixo custo com base na quantidade e nos valores dos componentes eletrônicos e do material utilizado para a montagem do circuito eletrônico microcontrolado em placa definitiva; e

b. a automação do sistema de subirrigação em ambiente protegido implicou no correto monitoramento do momento da irrigação, bem como para a aplicação dos níveis de depleção da água do substrato, definidos como percentuais de 5, 15, 25 e 35 % da massa da capacidade de “*container*” para os quatro tratamentos, aplicando as lâminas avaliadas, visando atender a demanda evapotranspirométrica das mudas durante a condução do experimento com o maracujazeiro amarelo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. 1.ed. Rome: FAO, 1982. 68p.

BACURAU R.M.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; LEAL, B.G.; SOARES, S.A.F. Sistema eletrônico para controle do nível de água em reservatórios. In: ESCOLA REGIONAL DE COMPUTAÇÃO BAHIA, ALAGOAS E SERGIPE, 11., 2011, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador: Universidade Estadual da Bahia/SBC, 2011. Disponível em: <[http://www.acso.uneb.br/erbase2011/Anais/Anais/03\\_WITGCBASE/01\\_Iniciacao%20Cientifica/IC\\_07\\_82575\\_1.pdf](http://www.acso.uneb.br/erbase2011/Anais/Anais/03_WITGCBASE/01_Iniciacao%20Cientifica/IC_07_82575_1.pdf)>. Acesso em: 05/01/2012.

BATES, M. **Interfacing PIC microcontrollers: Embedded design by interactive simulation**. 1.ed. Amsterdam: Newnes Elsevier, 2006. 312 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.1, n.1, p.1-7, 1992.

COELHO, T.S.G.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; GERVÁSIO, E.S. Desenvolvimento de sistema de automação para monitoramento da irrigação em viveiro de mudas. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3., 2008, Juazeiro. **Anais...** Petrolina: Universidade Federal do Vale do São Francisco/Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação, 2008. CD-Rom.

HOWELL, T.A.; SCHNEIDER, A.D.; JENSEN, M.E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, L.A.; JENSEN, M.E. **Lysimeter for Evapotranspiration and Environmental Measurements**, New York: ASCE, 1991. p.1-9.

MICROCHIP **Microchip PIC 16F87XA data sheet: 28/40/44 pin enhanced flash microcontrollers**. Arizona: Microchip Technology Incorporated, 2003. 234p.

MOTOROLA **Integrated silicon pressure sensor on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated**. Denver: Motorola Incorporated, 1997. 11p.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

RIBEIRO, F. P.; GERVÁSIO, E.S.; SANTOS, T.F.; MELO JÚNIOR, J.C.F. Automação de um sistema de irrigação localizada por meio da utilização de minilísímetros de pesagem. In: ALMEIDA, J.R.G.S. **Cadernos da Iniciação Científica da UNIVASF: Trabalhos Premiados**, 1.ed., v.1, Petrolina: UNIVASF, 2010. p.76-84.

SANTOS, T.F.; GERVÁSIO, E.S. Automação de sistema de irrigação por microaspersão em viveiro de produção de mudas. In: ALMEIDA, J.R.G.S. **Cadernos da Iniciação Científica da UNIVASF: Trabalhos Premiados**, 1.ed., v.1, Petrolina: UNIVASF, 2010. p.85-89.

SICA, C. **Sistemas automáticos com microcontroladores 8031/8051**. 1.ed. São Paulo: Novatec, 2006. 192p.

SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S.R. Análise de funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.53-58. 1999.