



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



Alberto Bednarck

**SISTEMA DE DOSAGEM DE CORANTES COM ANÁLISE
QUALITATIVA ATRAVÉS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM**

Canoas, Novembro de 2010



ALBERTO BEDNARCK

**SISTEMA DE DOSAGEM DE CORANTES COM ANÁLISE
QUALITATIVA ATRAVÉS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Elétrica da ULBRA como um
dos requisitos obrigatórios para a obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista

Departamento:

Engenharia Elétrica

Área de Concentração

Automação de processo

Processamento de imagem

Professor Orientador:

MSc. Eng. Eletr. Augusto A. D. de Mattos – CREA-RS: 088003-D

Canoas

2010



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do autor: Alberto Bednarck

Matrícula: 022005504-1

Título: Sistema de dosagem de corantes com análise qualitativa através de processamento de imagem.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Professor Orientador:

MSc. Eng. Eletr. Augusto A. D. de Mattos

CREA-RS: 088003-D

Banca Avaliadora:

MSc. Eng. Eletr. Dalton Vidor

CREA-RS: 079005-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

MSc. Eng. Eletr. Márcio Gil Faccin

CREA-RS: 122301-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Assinaturas:

Autor
Alberto Bednarck

Orientador
Augusto A. D. de Mattos

Avaliador
Dalton Vidor

Avaliador
Márcio Gil Faccin

Relatório Aprovado em:



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram, em especial, aos meus pais, Alberto e Rejane, e à minha noiva, Clarissa, pela confiança e compreensão em todos os momentos desta importante etapa.



AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Ao professor Augusto Mattos, pelo apoio e confiança dedicada.

Aos colegas da UTE-Canoas, pelas sugestões, observações valiosas e pelo empenho de colaborar em cada etapa de construção deste trabalho.



EPÍGRAFE

*"A teoria também se converte em graça material uma vez que se apossa dos
homens."*

Karl Marx



RESUMO

BEDNARCK, Alberto. **Sistema de dosagem de corantes com análise qualitativa através de processamento de imagem.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica — Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2010.

Este trabalho consiste na elaboração de um sistema de dosagem de corantes que possibilite realizar uma análise qualitativa do resultado, através de processamento de imagens. Voltado à aplicação de corantes disponíveis ao consumidor no comércio, o sistema proporciona uma nova opção de produto no mercado varejista de tintas, com valor intermediário entre os valores aplicados atualmente.

O sistema é composto por um microcontrolador (89S52), um sistema mecânico desenvolvido para possibilitar a correta dosagem de volume desejado e uma interface gráfica elaborada através da ferramenta MATLAB. A partir da identificação das cores primárias (RGB), é fornecida uma análise das cores da imagem captada, por uma câmera de vídeo acoplada ao sistema mecânico.

De acordo com os resultados obtidos, o sistema implementado proporciona uma satisfatória precisão na dosagem em função do volume desejado. Também se conclui que é possível a reprodução de uma determinada dosagem. A avaliação qualitativa desta, através do processamento de imagem, se mostra eficaz nesta análise.

Palavras-chave: Sistema de dosagens. Corantes. Cores RGB. Tintas. Análise de imagens.



ABSTRACT

BEDNARCK, Alberto. **Pigment dosage system with qualitative analysis through image processing.** Work of Conclusion of Course in Electrical Engineering - Electrical Engineering Department. Lutheran University of Brazil. Canoas, RS. 2010.

This work consists of elaborating a pigment dosage system which makes a qualitative analysis possible, from the results of its dosage through images processing. Focusing the pigments available for the consumers in the retail trade, the system provides a new product option in the ink retail market, with an average value comparing to ones the market offers today.

The system is composed by a microcontroller (89S52), a mechanical system developed to allow the correct volume dosage and a graphic interface elaborated through MATLAB tool. From the primary colors identification (RGB), there is a color analysis in the caught image, through a camera attached to the mechanical system.

According to the acquired results, the implemented system provides a satisfactory precision in the desired volume dosage. It is also possible to conclude that it is possible to reproduce a determined dosage. With the image processing, the qualitative evaluation is efficient in this analysis.

Keywords: Dosage system, Pigment, RGB Colors, Inks, Image analysis.



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Motor de passo unipolar com derivação central (Center tape).....	16
Figura 2 - Motor de passo bipolar sem derivação central.....	17
Figura 3 - Motor de passo unipolar utilizado no sistema de dosagem	18
Figura 4 - Estrutura interna dos microcontroladores das famílias 8051 e 8052 (NICOLSI, 6ª Edição).....	19
Figura 5 - Características especiais do 8051 (NICOLSI, 6ª Edição)	20
Figura 6 - Modelos de microcontroladores	20
Figura 7 - Imagem colorida formada a partir de imagens monocromáticas.....	22
Figura 8 - Histograma apresentando a intensidade das cores primárias.....	23
Figura 9 - Representação do modelo RGB. (GONZALEZ, 2004).....	23
Figura 10 - Absorção das cores vermelha, verde e azul pelos cones, nos olhos humanos, em função do comprimento de onda. (GONZALEZ, 2002).....	24
Figura 11 - Formação de um pixel correspondente a uma imagem RGB (GONZALEZ, 2004)	24
Figura 12 - Diagrama em blocos do sistema de dosagens elaborado.....	25
Figura 13 - Composição do sistema de dosagens.....	26
Figura 14 - Reservatório utilizado para armazenamento de corante de cor vermelha.....	27
Figura 15 - Reservatório conectado ao sistema através de mangueiras flexíveis.....	27
Figura 16 - Estrutura desenvolvida para movimentação do êmbolo.....	28
Figura 17 - Instalação da seringa no sistema.....	29
Figura 18 - Esquemático de funcionamento das válvulas de retenção nas etapas de sucção e injeção de corantes.....	30
Figura 19 - Válvula de retenção modelo T51P0006 da fabricante Norgren.....	30
Figura 20 - Válvulas de retenção instaladas na saída do sistema.	31
Figura 21 - Válvulas de retenção instaladas na sucção do sistema.	31
Figura 22 - Estrutura base de sustentação	32
Figura 23 - Kit ULBEE51 desenvolvido.....	33
Figura 24 - Kit ULBEE51 conectado ao circuito de potência.....	34
Figura 25 - Circuito de ligação da placa de potência.....	35
Figura 26 - Placa do circuito de potência montado.....	35
Figura 27 - Circuito do motor de passo unipolar utilizado	36
Figura 28 - Sequência de acionamento full-step utilizada.	37
Figura 29 - Motor de passo acoplado ao sistema.	37
Figura 30 - Câmera de vídeo instalada no sistema	38
Figura 31 - Resultados da análise apresentados na forma de histogramas.....	39
Figura 32 - Resultados da análise apresentados na forma valores médios da intensidade de cada cor.....	39
Figura 33 - Sequência de funcionamento da rotina desenvolvida.....	40
Figura 34 - Interface gráfica desenvolvida no MATLAB.....	46
Figura 35 - Área de IMAGEM da interface	47
Figura 36 - Área de CONTROLE da interface	50
Figura 37 - Área de AJUSTE da interface.....	51
Figura 38 - Área de ANÁLISE da interface	53
Figura 39 - Dosagens e análises realizadas (20 ml cor vermelha).....	55
Figura 40 - Dosagens e análises realizadas (10 ml cor vermelha).....	55
Figura 41 - Dosagens e análises realizadas (20 ml cor verde).....	56
Figura 42 - Dosagens e análises realizadas (10 ml cor verde).....	56
Figura 43 - Dosagens e análises realizadas (20 ml cor azul).....	56
Figura 44 - Dosagens e análises realizadas (10 ml cor azul).....	57



Figura 45 - Gráfico com os resultados dos ensaios realizados com a cor vermelha59
Figura 46 - Gráfico com os resultados dos ensaios realizados com a cor verde60
Figura 47 - Gráfico com os resultados dos ensaios realizados com a cor azul.....60



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Método Full-Step.....	17
Tabela 2 - Método Full-Step com energização de duas bobinas.....	17
Tabela 3 - Método Half-Step.....	18
Tabela 4 - Resultado dos ensaios realizados (cor vermelha)	59
Tabela 5 - Resultado dos ensaios realizados (cor verde)	59
Tabela 6 - Resultado dos ensaios realizados (cor azul).....	60



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ROM: Read Only Memory - Memória Apenas de Leitura.

RAM: Random Access Memory - Memória de acesso aleatório.

PWM: Pulse Width Modulation - Modulação por largura de pulso

UART: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

I/O: Input /Output

P 0/1/2/3: Portas de entrada ou saída do kit ULBEE51

USB: Universal Serial Bus

LED: Light Emitting Diode

GUI: Graphical User Interface

R: Red

G: Green

B: Blue



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Motores de passo	16
2.2. Microcontroladores (família 8051).....	18
2.3. Processamento de Imagens	22
3. DESCRIÇÃO GERAL DOS SISTEMAS	25
3.1. Descrição do Sistema Mecânico.....	26
3.2. Descrição dos Sistemas Eletroeletrônicos	32
3.3. Descrição do sistema de processamento de imagem e interface gráfica	37
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	40
4.1. Rotina desenvolvida em Assembly:	40
4.2. Interface Gráfica MATLAB R2009b:.....	46
4.3. Composição e análise das cores:	54
4.4. Ensaio de perdas:	58
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
6. REFERÊNCIAS	63
OBRAS CONSULTADAS	64
GLOSSÁRIO	65
APÊNDICE A – KIT ULBEE51	66
APÊNDICE B – ORÇAMENTO	67
APÊNDICE C – ROTINA EM ASSEMBLY	68
APÊNDICE D – MATLAB – PROCESSAMENTO DE IMAGENS E INTERFACE GRÁFICA	72



1. INTRODUÇÃO

Embora existam, atualmente no comércio de tintas, máquinas dosadoras de corantes de grande porte, a utilização destas representa um significativo acréscimo no valor de venda do produto. A ideia de projetar uma máquina dosadora de pequeno porte voltada à utilização de corantes disponíveis no pequeno comércio representa benefícios tanto ao comerciante quanto ao cliente.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de dosagem que possibilite a utilização de corantes de baixo custo e também disponibilize, ao usuário, uma análise da cor resultante do processo. O projeto proporciona benefícios ao comerciante e ao cliente. Ao comerciante, possibilita uma maior independência, considerando que as máquinas disponíveis hoje no mercado são dos grandes fabricantes de tintas. Aos clientes, o sistema proporciona a oportunidade de acesso a produtos com valores reduzidos em relação aos aplicados hoje pelo mercado.

O sistema desenvolvido disponibiliza ao usuário a possibilidade de dosagem das cores primárias vermelho, verde e azul (Sistema “RGB” - Red, Green e Blue). A estrutura mecânica é semelhante a uma bomba de injeção. Através do controle de motores de passo, é possível movimentar o êmbolo de uma seringa para succionar e injetar o volume de corante desejado. O controle do fluxo de corantes nas seringas é realizado através de válvulas de retenção. Para controlar o sistema de dosagem, foi utilizado o kit de desenvolvimento ULBEE51, elaborado na disciplina de microcontroladores do curso de Engenharia Elétrica. O kit utiliza o microcontrolador da ATMEL AT89S52 em conjunto com uma memória de 256k bytes e também possibilita comunicação serial com microcomputador.

Uma interface gráfica foi elaborada com o apoio da ferramenta MATLAB (MathWorks) possibilitando ao usuário enviar e receber comandos e informações do sistema. O funcionamento do processo é abordado com maior ênfase no CAPÍTULO 3 deste trabalho.

Conforme previsto, a construção deste trabalho envolveu a contratação de serviços, aquisição de materiais, equipamentos e utilização de recursos próprios. O



projeto mecânico foi desenvolvido com o objetivo de utilizar a maior parte de equipamentos e peças disponíveis, e facilmente encontrados, no mercado. Para o correto funcionamento do sistema mecânico, peças foram criadas e montadas em empresa contratada. O projeto eletroeletrônico, excetuando a aquisição dos motores de passo, foi desenvolvido com recursos próprios — o orçamento previsto e real está disponível no APÊNDICE B.

Os ensaios de perdas de volume, elaboração e análise de cores realizadas e as rotinas de programação resultantes deste projeto estão apresentados e comentados no CAPÍTULO 4 deste trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Motores de passo

O motor de passo é um motor caracterizado por muita precisão em seu movimento. É utilizado em processos em que é muito importante controlar o número de rotações do seu eixo, tais como bombas de injeção, impressoras, sistemas de automação industrial, robótica e antigos drives de disquetes. Cada passo de um motor corresponde ao menor deslocamento angular para o qual ele foi projetado. O número de passos está ligado ao número de polos do rotor. Existem diversas resoluções referentes ao deslocamento angular de cada motor como, por exemplo, 0.72, 1.8, 3.6, 7.5 e 15 graus, ou seja, 500, 200, 100, 48, 24 passos por rotação, respectivamente.

Quando uma corrente elétrica percorre os estatores instalados no interior dos motores de passo, esta gera o campo magnético necessário para o movimento do rotor. O rotor é construído com ímãs permanentes projetados de acordo com o número de passos. Um circuito externo é necessário para promover a oscilação do sinal que percorrerá os estatores e fará com que o rotor do motor entre em movimento.

Na realização do controle de acionamento de motores de passo, é muito importante a definição e o propósito de acionamento destes motores, pois, para alguns casos, se deseja maior precisão, maior torque ou maior velocidade. Com diferentes métodos de energização das bobinas é possível a priorização de cada uma destas características de funcionamento. Os motores podem ser acionados através de passo completo (Full-step), ou meio passo (Half-step).

Existem motores de passo unipolares e bipolares. Os motores unipolares têm uma derivação (Center tape) entre duas bobinas, conforme figura 1.

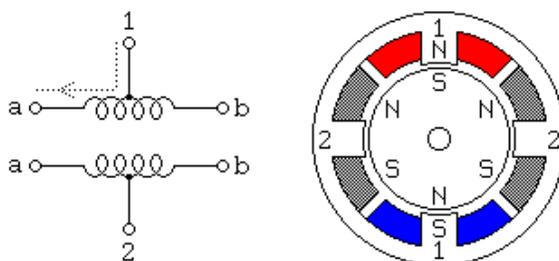


Figura 1 - Motor de passo unipolar com derivação central (Center tape)



Motores bipolares não têm derivação no enrolamento entre bobinas (ver Figura 2) e o controle destes motores é mais complexo que o dos unipolares. Motores bipolares fornecem um maior torque.

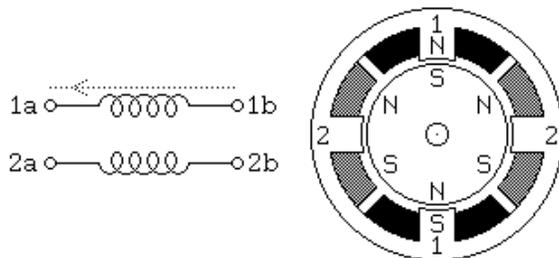


Figura 2 - Motor de passo bipolar sem derivação central

Para acionamento de um motor de quatro bobinas através da sequência de passo completa, a orientação deverá ser seguida conforme tabela abaixo. Este método de acionamento proporciona um menor torque, porém maior velocidade.

Nº do passo	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	Bobina 0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	0	1	0	0	4
3	0	0	1	0	2
4	0	0	0	1	1

Tabela 1 - Método Full-Step

Para acionamento de um motor de quatro bobinas através da sequência de passo completa, energizando duas bobinas por vez com o objetivo de um maior torque, a orientação deverá ser seguida conforme tabela abaixo. A figura 3 apresenta o motor de passo unipolar, utilizado neste projeto, e acionado com esta sequência.

Nº do passo	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	Bobina 0	Decimal
1	1	1	0	0	12
2	0	1	1	0	6
3	0	0	1	1	3
4	1	0	0	1	9

Tabela 2 - Método Full-Step com energização de duas bobinas



Para acionamento de um motor de quatro bobinas através da sequência de meio passo, com o objetivo de uma maior precisão porém menor velocidade, a orientação deverá ser seguida conforme tabela abaixo.

Nº do passo	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	Bobina 0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	1	1	0	0	12
3	0	1	0	0	4
4	0	1	1	0	6
5	0	0	1	0	2
6	0	0	1	1	3
7	0	0	0	1	1
8	1	0	0	1	9

Tabela 3 - Método Half-Step



Figura 3 - Motor de passo unipolar utilizado no sistema de dosagem

2.2. Microcontroladores (família 8051)

Microcontroladores são elementos que têm, em uma única estrutura, memórias ROM e RAM, contadores/temporizadores, PWM e conversores analógicos digitais, além de uma CPU. Esta característica diferencia os microcontroladores dos



microprocessadores que normalmente necessitam a utilização de vários componentes para cada respectiva função. Sendo assim, os microcontroladores permitem a implementação de sistemas mais compactos e baratos do que os microprocessados. Em contrapartida, as CPUs dos microcontroladores são menos capazes, limitam-se a instruções mais simples, têm a frequência de clock mais baixa, e menor espaço de memória endereçável.

A família de microcontroladores 8051 é extremamente utilizada em função de sua versatilidade. Sua arquitetura separa a memória de programa da memória de dados. Neste caso, quando utilizamos a memória de programa não utilizamos a memória de dados por usarem o mesmo barramento.

A arquitetura da família 8051, conforme figura 4, corresponde a uma CPU de 8 bits, 64k bytes de endereçamento de memória de programa, 64k bytes de endereçamento de memória de dados, 4k bytes de memória de programa interna, 128 bytes de memória de dados RAM interna, 32 linhas de I/O, 4 portas de 8 bits, 2 timers/contadores de 16 bits, full duplex UART e 6 fontes de interrupção.

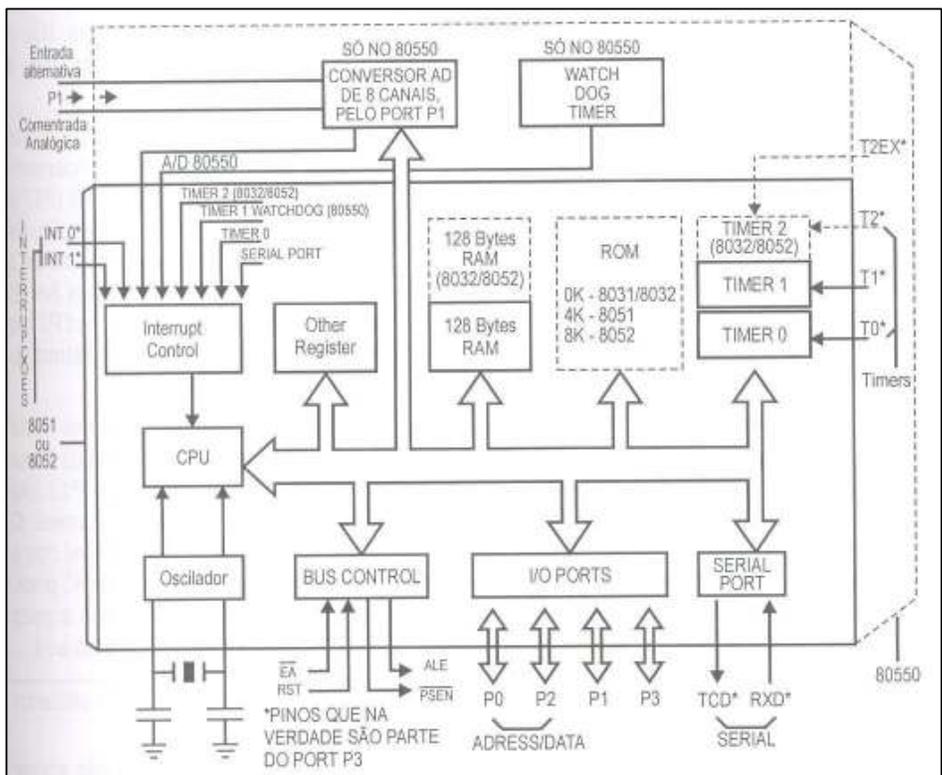


Figura 4 - Estrutura interna dos microcontroladores das famílias 8051 e 8052 (NICOLSI, 6ª Edição)



As características citadas são básicas e formam o núcleo da família 8051. Entretanto, novas funções e características podem ser adicionadas conforme figura abaixo.

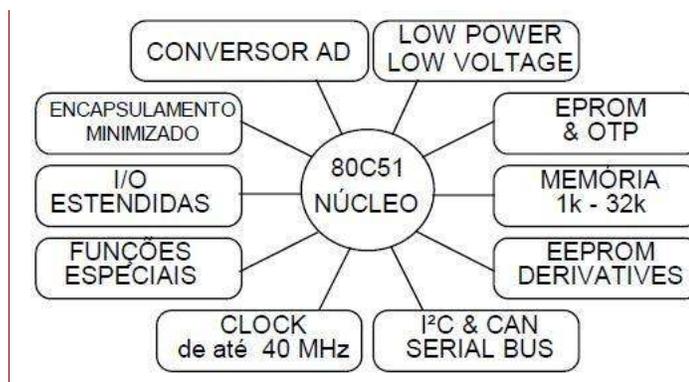


Figura 5 - Características especiais do 8051 (NICOLSI, 6ª Edição)

2.2.1 PINOS DO MICROCONTROLADOR (8051)

Os microcontroladores da família 8051 têm dois modelos básicos: PDIP e PLCC. Os dois modelos apresentados na figura 6, embora diferentes na aparência, apresentam a mesma quantidade de pinos e as mesmas funções.

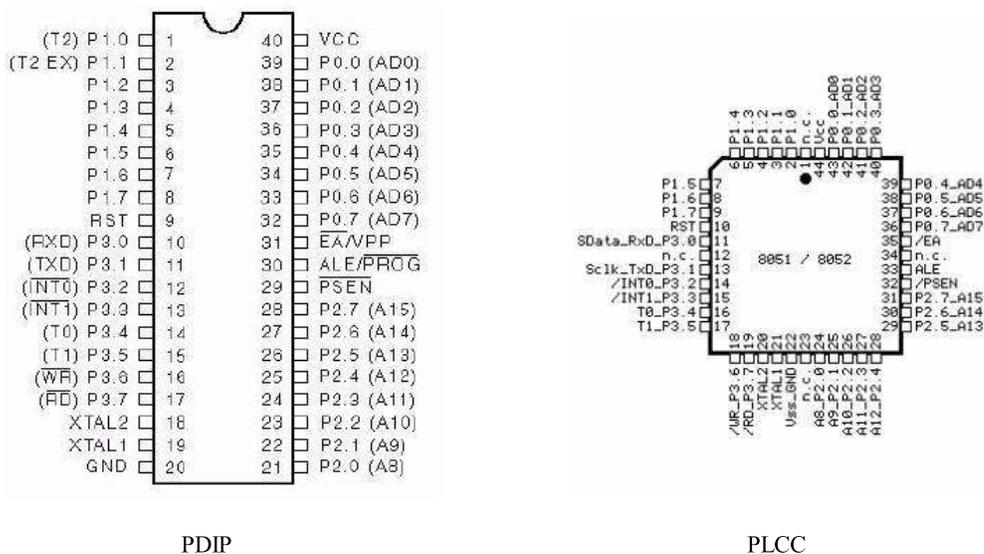


Figura 6 - Modelos de microcontroladores



2.2.2 DESCRIÇÃO FUNCIONAL DA PINAGEM (8051)

i. Quatro portas estão disponíveis como linhas de I/O: P0, P1, P2 e P3.

- P0: É uma porta bidirecional com dreno aberto. Uma vez conectada à porta externa, fornece o barramento de dados multiplexado com a parte menos significativa do barramento de endereços (AD0-AD7). Permite também a leitura dos bytes de instrução durante a verificação de programas.

- P1: É uma porta bidirecional, podendo ter seus pinos individualmente endereçáveis. Pode suprir ou drenar uma carga TTL (= 4LSTTL), ou várias cargas MOS diretamente sem pull-up externo.

- P2: Esta é uma porta bidirecional com dreno aberto. Uma vez conectada à porta externa, fornece o barramento de dados multiplexado com a parte mais significativa do barramento de endereços (AD8-AD15). Permite também a leitura dos bytes de instrução durante a verificação de programas.

- P3: É uma porta de I/O bidirecional de 8 bits, com resistores de pull-up internos, em que cada pino também pode servir a funções especiais.

ii. Alimentação

- Vcc: alimentação de 5V.

- Vss: Conexão de terra.

iii. Oscilador

- XTAL1: Entrada do amplificador inversor do oscilador e entrada para o gerador de clock interno. Se for usado clock externo, serve como entrada para o mesmo.

- XTAL2: Saída do amplificador inversor do oscilador e entrada para o gerador de clock interno. Se for usado clock externo, serve como entrada para o mesmo.

iv. Sinais de controle para ligação do microcontrolador a dispositivos externos:

- ALE (Address Latch Enable) – Saída que habilita o latch de endereços. É ativo em nível alto durante os seis primeiros ciclos de clock.



· PSEN: (Program Strobe Enable) – Saída que habilita a memória de programa externa. É ativada em nível baixo quando o microcontrolador busca instruções ou operandos na memória externa. Durante busca na memória interna não é ativada.

· EA: (External Address) - Entrada de seleção de memórias. Quando em nível lógico 0, a CPU trabalha apenas com a memória de programa externa. Se em nível lógico 1, a CPU executa instruções da memória de programa interna, desde que o registrador PC (contador de programa) apresente valor menor que 4096.

- v. Com o RST, é possível realizar reset no sistema pela aplicação de nível lógico 1, durante 2 ou mais ciclos de máquina.

2.3. *Processamento de Imagens*

O processamento de imagens consiste em analisar imagens, alterando-as ou não, com o propósito de extrair informações, reconhecer, comparar, classificar os elementos que as compõem, transformá-las de forma a alterar suas características, como brilho e contraste, realçar os traços ou corrigir alguma imperfeição, como ruído. Imagens que apresentam variação de valores em mais de uma banda de frequência necessitam ser representadas por mais de uma função. É o caso das imagens coloridas, que apresentam uma função de intensidade para cada cor primária. A sobreposição destas imagens, que individualmente são monocromáticas, compõe uma imagem colorida conforme representação mostrada na Figura 7.

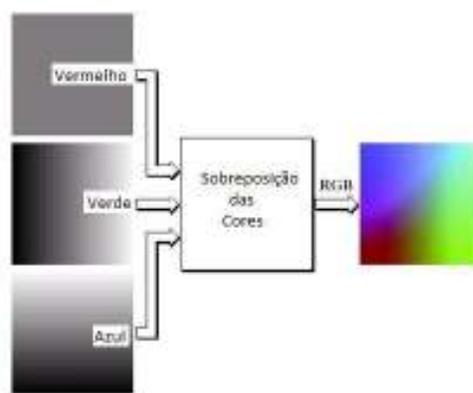


Figura 7 - Imagem colorida formada a partir de imagens monocromáticas



A representação da frequência dos determinados níveis de intensidade de cor pode ser apresentada na forma de gráficos, conhecidos como histogramas conforme a Figura 8.

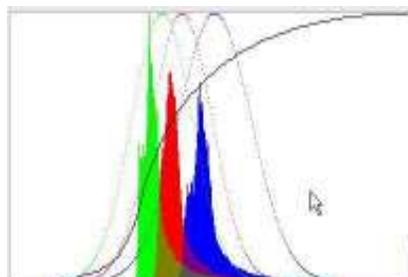


Figura 8 – Histograma apresentando a intensidade das cores primárias.

A análise desenvolvida neste projeto está direcionada para imagens do sistema RGB, abreviatura do sistema de cores aditivas formado por Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue). Baseado no sistema cartesiano, o modelo de cores RGB pode ser representado por um cubo, em que três arestas representam as cores primárias RGB e outras três representam as cores secundárias amarelo, ciano e magenta, resultantes das combinações entre as primárias. A Figura 9 mostra a representação.

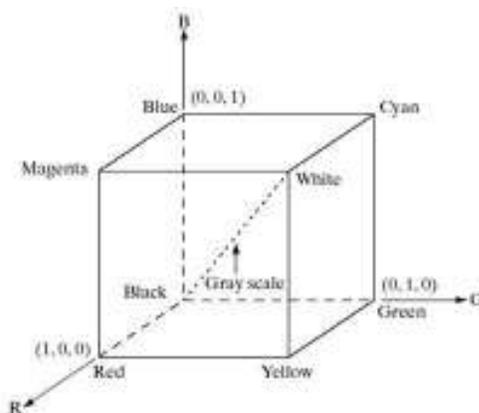


Figura 9 - Representação do modelo RGB. (GONZALEZ, 2004)

O modelo de cores RGB é aditivo. No processo aditivo, o preto é gerado pela ausência de qualquer cor, indicando que nenhuma luz está sendo transmitida. O branco é a mistura de todas elas, o que indica que uma quantidade máxima de vermelho, verde e azul está sendo transmitida.



As cores podem ser produzidas a partir de uma combinação das primárias, ou da composição das suas combinações. Não existe um conjunto finito de cores primárias visíveis que produza todas as cores, mas sabe-se que uma grande parte delas pode ser produzida a partir de três primárias escolhidas das extremidades e do centro do espectro de luzes visíveis. Isso é mostrado na Figura 10, e ocorre devido à capacidade de absorção visual, proporcionada pelos cones e bastonetes, que são os sensores visuais nos olhos humanos.

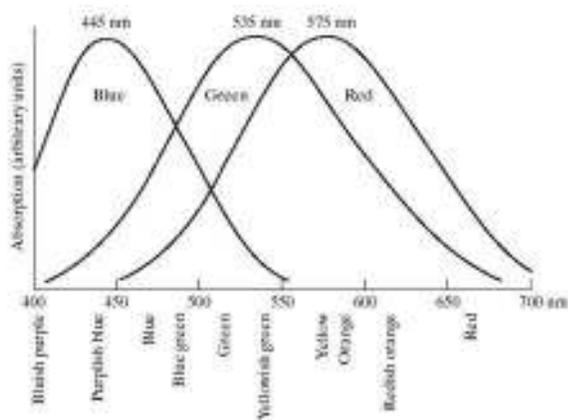


Figura 10 - Absorção das cores vermelha, verde e azul pelos cones, nos olhos humanos, em função do comprimento de onda. (GONZALEZ, 2002)

Uma imagem colorida RGB pode ser representada como uma matriz $M \times N \times 3$ de pixels coloridos. Portanto, uma imagem pode ser vista como uma pilha de três imagens sobrepostas como mostra a Figura 11.

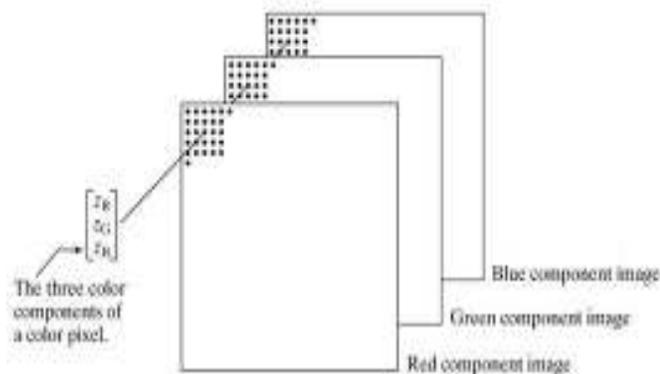


Figura 11 – Formação de um pixel correspondente a uma imagem RGB (GONZALEZ, 2004)

3. DESCRIÇÃO GERAL DOS SISTEMAS

O projeto elaborado abrange três sistemas fundamentais: sistema mecânico, sistema eletroeletrônico e sistema de processamento de imagens e interface gráfica. Neste capítulo, será realizada uma apresentação mais detalhada de cada um destes sistemas. O diagrama em blocos (Figura 12) apresenta a correta sequência do processo de dosagem e análise de imagens.

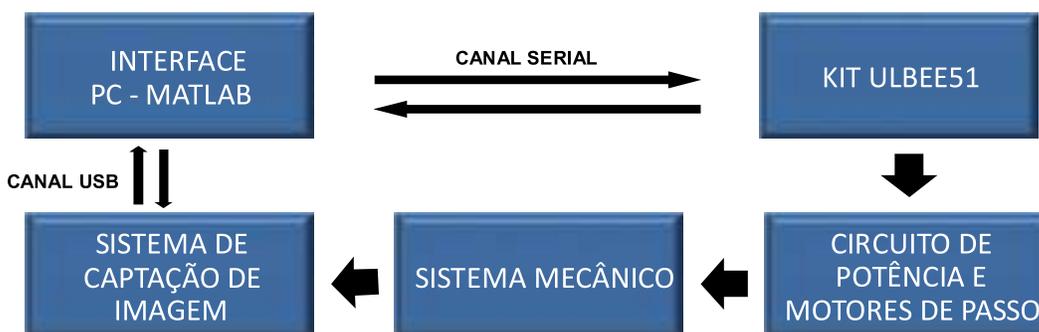


Figura 12 – Diagrama em blocos do sistema de dosagens elaborado

O sistema mecânico é composto por reservatórios de corantes, estrutura responsável pelo deslocamento do êmbolo, seringas, válvulas de retenção e base de sustentação. O objetivo do sistema é a realização precisa da dosagem de corantes conforme volume pré-estabelecido para a elaboração de uma determinada cor.

O sistema eletroeletrônico, compreendido por kit ULBEE51, circuito de potência e motores de passo, é responsável pelo acionamento do sistema mecânico conforme comando enviado, via canal serial, a partir da interface gráfica.

Por fim, o sistema de processamento de imagens e interface é composto pela estrutura de captação de imagens e interface gráfica elaborada através da ferramenta MATLAB. Além do propósito de facilitar a utilização do sistema, permite a realização da análise de imagens captadas por uma câmera, informando para o usuário a composição das cores primárias RGB. A Figura 13 apresenta as principais estruturas que compõem o sistema de dosagens desenvolvido.

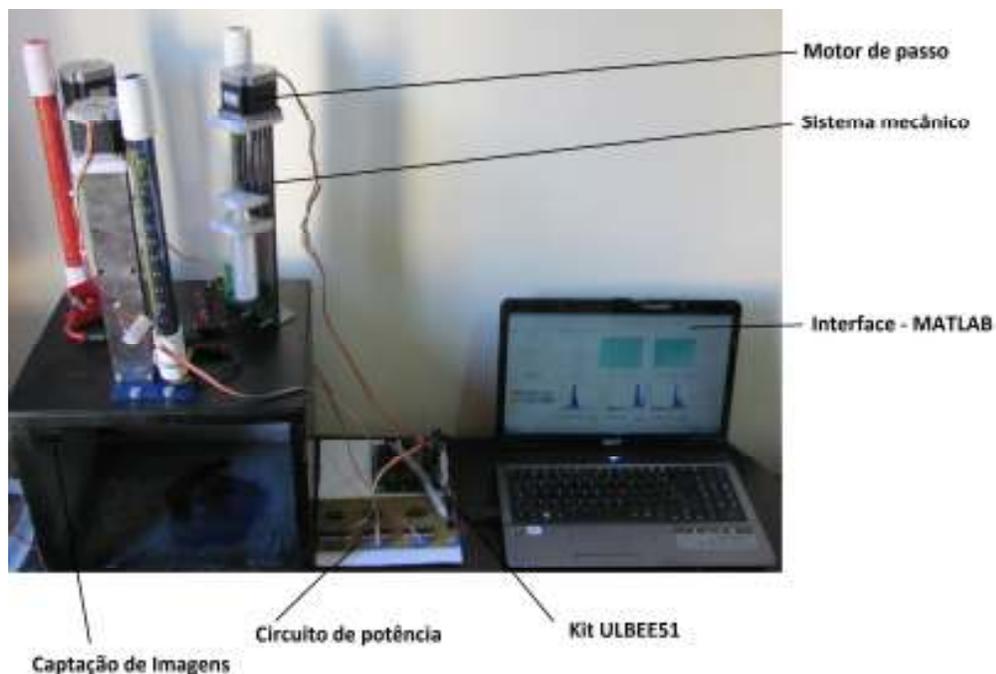


Figura 13 – Composição do sistema de dosagens

3.1. Descrição do Sistema Mecânico

3.1.1 Reservatório de corantes:

Os corantes, utilizados no sistema, são armazenados em reservatórios confeccionados em plástico que têm, na extremidade inferior, uma conexão para engate de mangueira de 6mm de diâmetro. Os reservatórios são capazes de armazenar 70ml de corante. Uma escala graduada, no corpo do reservatório, mostra a quantidade de corante armazenada. A seguir, as figuras 14 e 15 mostram o reservatório utilizado e a conexão deste ao sistema.

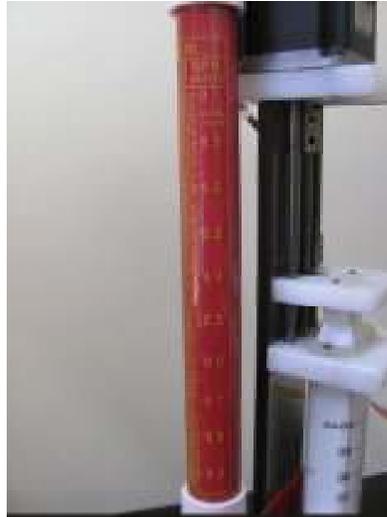


Figura 14 - Reservatório utilizado para armazenamento de corante de cor vermelha



Figura 15 - Reservatório conectado ao sistema através de mangueiras flexíveis

3.1.2 Estrutura para deslocamento do êmbolo:

A estrutura movimentadora do êmbolo corresponde a uma barra roscada de 6 mm de diâmetro e 125 mm de comprimento, um acoplamento desenvolvido para unir a barra roscada ao eixo do motor de passo, uma peça onde o êmbolo da seringa é fixado e hastes para deslizamento. A peça projetada para movimentar-se sobre a barra roscada foi desenvolvida em nylon (technyl).



A função da peça presa ao êmbolo é deslocar-se para cima, no sentido horário de rotação do eixo, puxando o êmbolo da seringa e, conforme sentido anti-horário de rotação, se deslocar no sentido inverso, empurrando o êmbolo. As hastes, desenvolvidas em aço, têm a função de garantir o equilíbrio de forças, diminuindo o atrito e conseqüentemente facilitando o deslocamento da peça presa ao êmbolo.

A função do acoplamento é transferir a rotação exercida pelo eixo do motor para a barra roscada que, por sua vez, é responsável por acionar a peça movimentadora do êmbolo da seringa. Para o correto funcionamento do sistema, o acoplamento deve permitir rotacionar o eixo do motor, exercendo sobre a barra a mesma rotação. O acoplamento foi desenvolvido de forma a não permitir perdas no deslocamento angular entre o motor e a barra. Projetado e desenvolvido em aço, permite a união entre um eixo de 8mm de diâmetro (eixo do motor) e um eixo de 6 mm de diâmetro (barra roscada) travados em ambos os lados por parafusos de fixação.

Testes foram realizados para verificar a força necessária à movimentação do êmbolo. Isso garantiu a melhor forma de deslocamento do êmbolo, e, conseqüentemente, menor torque proveniente dos motores de passo. Os principais componentes da estrutura responsável pela movimentação do êmbolo são apresentados na figura abaixo.



Figura 16 - Estrutura desenvolvida para movimentação do êmbolo



3.1.3 Seringas:

Para a elaboração deste projeto foram utilizadas seringas com 50 ml de capacidade de armazenamento. Conforme mostra a Figura 17, as seringas são fabricadas em plástico e necessitam um baixo torque para a movimentação do êmbolo.

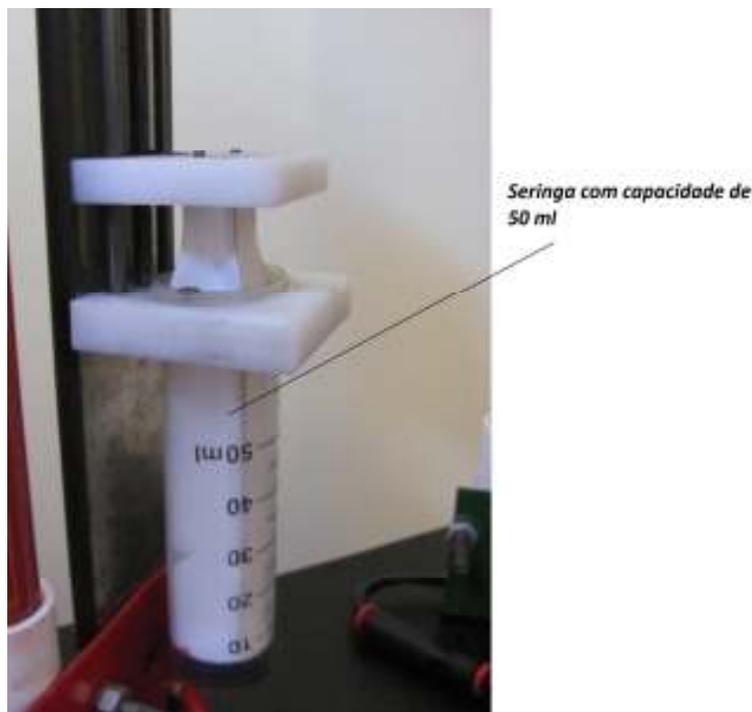


Figura 17 - Instalação da seringa no sistema

3.1.4 Válvulas de retenção:

Foram utilizadas válvulas de retenção para o controle do fluxo de corantes nas seringas e nos reservatórios. Este modelo de válvula permite o fluxo de fluidos em apenas um sentido. Desta forma, cada conjunto mecânico de dosagem utiliza duas válvulas de retenção com o objetivo de controlar fluxos de saída do reservatório de corante, entrada na seringa e saída da seringa. Isso impede a entrada de ar na etapa de sucção e o retorno do corante ao reservatório na etapa de injeção. As válvulas de retenção, fabricadas em plástico, são projetadas para atuar com uma pressão máxima até 10 bar e próprias para tubos de 6 mm de diâmetro. A



Figura 18, a seguir, apresenta o esquemático de funcionamento para as etapas de sucção e injeção de corantes.



Figura 18 - Esquemático de funcionamento das válvulas de retenção nas etapas de sucção e injeção de corantes.

As figuras 19, 20 e 21 apresentam, respectivamente, o modelo utilizado no processo, a instalação das válvulas na saída do sistema e a instalação entre os reservatórios e as seringas.



Figura 19 - Válvula de retenção modelo T51P0006 da fabricante Norgren.

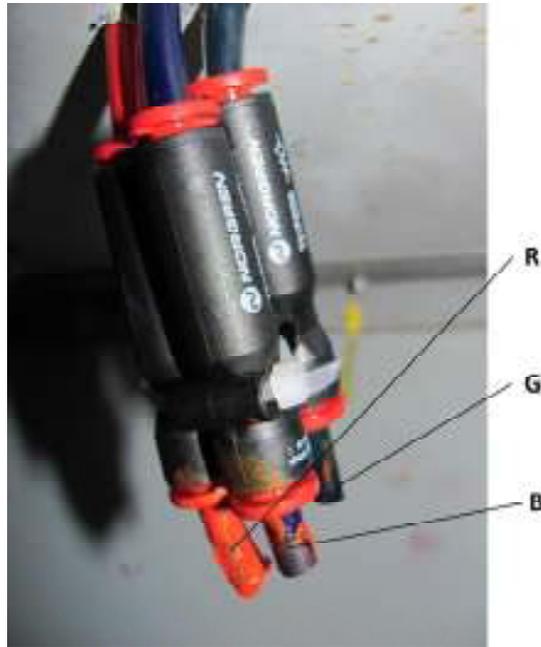


Figura 20 - Válvulas de retenção instaladas na saída do sistema.



Figura 21 - Válvulas de retenção instaladas na sucção do sistema.

Com o objetivo de verificar o funcionamento das válvulas, inicialmente foram realizados testes de acionamento da retenção, com água, em que a estanqueidade foi o principal critério de observação. Os testes mostraram que as válvulas utilizadas atuam satisfatoriamente, pois nenhum dos ensaios apresentou perdas ou falha no acionamento das retenções.



3.1.5 Estrutura base do sistema de dosagem:

Para a instalação dos três sistemas correspondentes a cor vermelha, verde e azul, foi construída uma base. Uma estrutura de aço e alumínio foi elaborada com o objetivo, não apenas de servir como base para o sistema de instalação, mas também para proporcionar, em seu interior, um ambiente próprio para a realização das análises das cores. No interior da estrutura, uma câmera de vídeo capta as imagens, que são analisadas e apresentadas na interface gráfica desenvolvida.



Figura 22 - Estrutura base de sustentação

3.2. Descrição dos Sistemas Eletroeletrônicos

Sistemas eletroeletrônicos foram desenvolvidos para a realização do controle de acionamento dos motores de passo e consequente atuação sobre o sistema mecânico. O kit ULBEE51, utilizando o microcontrolador 89S52 (ATMEL), foi usado para realizar o controle de acionamento dos motores e comunicar-se com a interface desenvolvida no MATLAB R2009b. Um circuito de potência foi criado para possibilitar o acionamento dos motores.



3.2.1 Kit ULBEE 51:

O sistema microcontrolado corresponde ao kit ULBEE51 desenvolvido na disciplina de Sistemas Microcontrolados do curso de Engenharia Elétrica. Este kit utiliza o microcontrolador da ATMEL 89S52 em conjunto com uma memória de 256k bytes (SRAM KM62256CLP). O kit também possibilita a realização de comunicação serial que, neste projeto, é utilizada para fazer a integração entre o sistema microcontrolado e a interface gráfica desenvolvida. Foram utilizadas as portas de I/O P1 e P3. A porta P1 foi configurada para fornecer a correta sequência de energização das bobinas dos motores de passo. A porta P3 é responsável pelo controle dos Latches (74HC373) instalados no sistema para controlar o barramento de saída comum aos três motores instalados. A rotina de controle foi desenvolvida em Assembly e carregada no microcontrolador através da ferramenta de Hyperterminal do Windows com o auxílio da ferramenta PAULMON 2.0 gravada previamente no microcontrolador.

A etapa de ensaios realizados no hardware caracterizou-se pelos testes de comunicação serial executados após o desenvolvimento da rotina em Assembly, e os testes de acionamento dos pinos das portas P1 e P3 utilizadas neste projeto. As figuras 23 e 24 são imagens do kit utilizado e da conexão com o circuito de potência, respectivamente. A arquitetura do kit pode ser verificada no APÊNDICE A deste trabalho.



Figura 23 - Kit ULBEE51 desenvolvido



Figura 24 - Kit ULBEE51 conectado ao circuito de potência

3.2.2 Circuito de potência e motores de passo:

Para o correto funcionamento dos motores de passo, um circuito de potência capaz de fornecer tensão e corrente necessárias ao acionamento dos motores foi desenvolvido. Os sinais de acionamento das bobinas, gerados pelo kit ULBEE51 através da porta P1, são guiados a um barramento comum onde são conectadas as entradas dos três latches, 74HC373. O controle destes latches é realizado através da porta P3 do kit onde os pinos P3.3, P3.4 e P3.5 correspondem às cores vermelho, verde e azul respectivamente.

Para o acionamento de cada motor, correspondente a respectiva cor desejada, o kit envia primeiramente o sinal de habilitação do latch através da porta P3 e, em seguida, fornece por meio dos pinos P1.1, P1.2, P1.3 e P1.4, a correta sequência de energização das bobinas do motor de passo. O circuito utiliza Mosfets modelo IRF540, que são responsáveis pela amplificação do sinal de corrente e



resistores de 22kΩ utilizados como “pull down” para garantir que não existam tensões flutuantes na saída dos Latches utilizados. O circuito é representado pela Figura 25, e sua montagem final é visualizada na Figura 26.

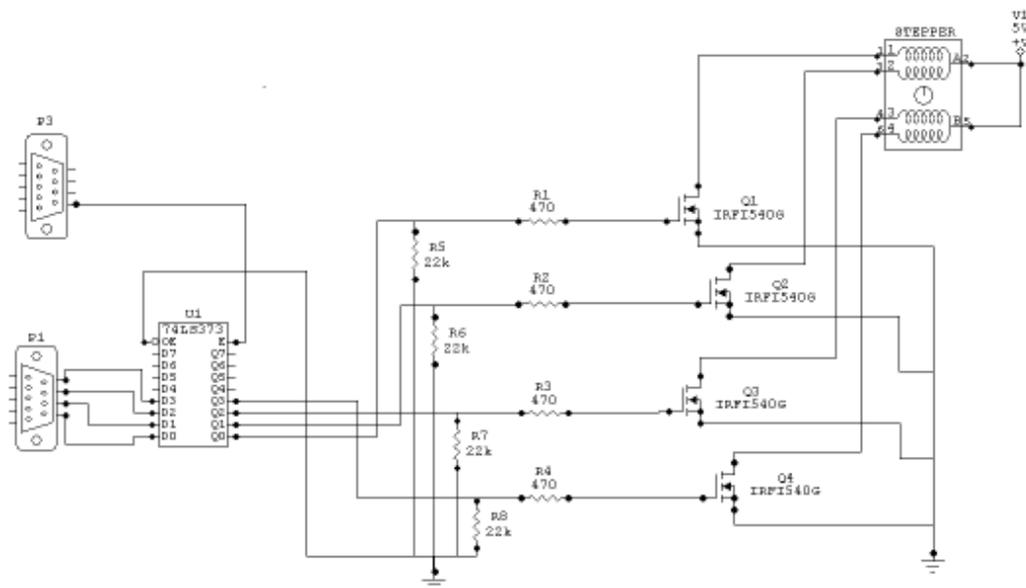


Figura 25 - Circuito de ligação da placa de potência

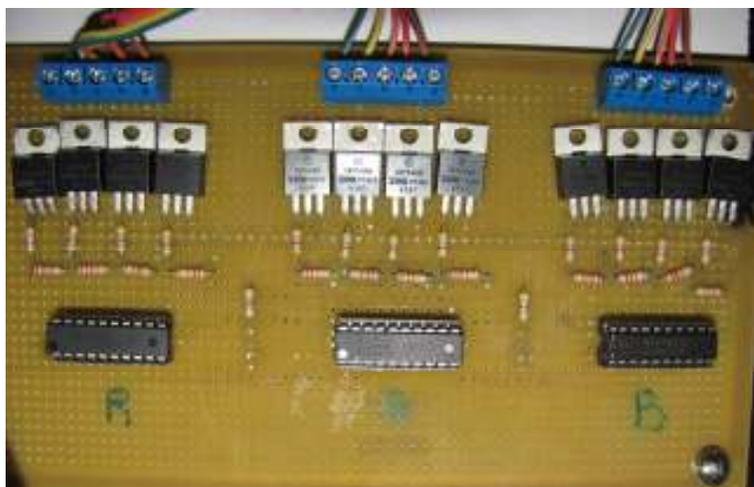


Figura 26 - Placa do circuito de potência montado



Os motores de passo utilizados neste projeto são responsáveis pela movimentação das barras roscadas e consequente atuação dos êmbolos, fazendo com que estes succionem corantes para o interior das seringas ou injetem corantes para o exterior. Motores unipolares modelo 23KM, da fabricante Astrosyn, com precisão de 1.8° graus por passo, foram utilizados. Para a rotação completa é necessária a atuação de 200 passos — o motor de passo utilizado é apresentado na Figura 29. São motores de 4 V de tensão, corrente de 2 A por fase e resistência de 2Ω — a Figura 27 mostra o esquema de ligação das bobinas. Para o acionamento destes motores, foi adotada a sequência full-step com energização de duas bobinas por vez, o que garante um maior torque final, conforme mostra a Figura 28. A sequência de acionamento, configurada em Assembly, é fornecida aos motores através da porta P1 do kit ULBEE51.

Com o objetivo de proporcionar o torque adequado ao sistema, ensaios de acionamento dos motores foram realizados. Através dos testes de sequência de passo e do tempo de acionamento das bobinas, considerando a viscosidade dos corantes utilizados, chegou-se à conclusão de que a sequência full-step, com energização de duas bobinas por vez e um tempo de 11,2 ms, entre cada energização, seria suficiente para movimentar os êmbolos das seringas.

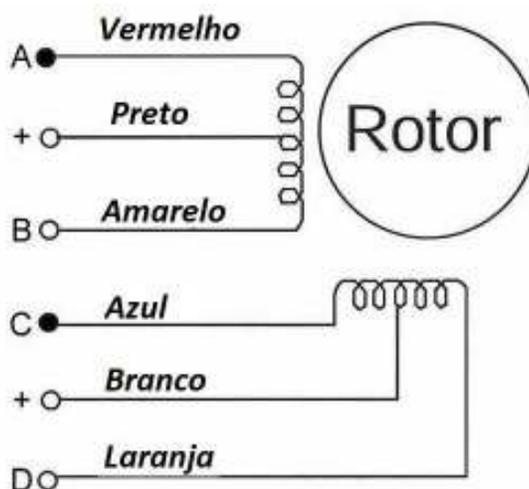


Figura 27 - Circuito do motor de passo unipolar utilizado



Nº do passo	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	Bobina 0	Decimal
1	1	1	0	0	12
2	0	1	1	0	6
3	0	0	1	1	3
4	1	0	0	1	9

Figura 28 - Sequência de acionamento full-step utilizada.



Figura 29 - Motor de passo acoplado ao sistema.

3.3. Descrição do sistema de processamento de imagem e interface gráfica

Para a elaboração do sistema de processamento de imagens, foram utilizados os seguintes recursos: câmera para captação da imagem, luz artificial e ferramenta para análise, disponível na interface gráfica elaborada através do MATLAB. O programa MATLAB é uma ferramenta desenvolvida pela empresa MathWorks que, dentre suas inúmeras funções, também possibilita elaborar interfaces gráficas, bem como disponibiliza recursos para processamento de



imagens. Outras informações podem ser obtidas através do endereço www.mathworks.com.

3.3.1 Sistema de captação de imagem:

O processo de captação de imagens deve ser livre de qualquer influência externa ao sistema que possa afetar a análise, principalmente iluminação. Com isso, a captação de imagem é realizada em um sistema fechado onde não há influência de luz externa. A iluminação necessária é fornecida por um sistema próprio de leds brancos.

A imagem é captada por uma câmera (webcam), conectada via USB com a interface, e instalada no interior da base de sustentação das dosadoras, conforme a Figura 30. A câmera utilizada é uma webcam, da fabricante Leadership, utiliza sinal VGA e possui uma resolução de 640 x 480 pixels.



Figura 30 - Câmera de vídeo instalada no sistema



3.3.2 Análise de imagem:

A análise realizada permite avaliar a composição das cores RGB da imagem captada. As imagens captadas são compostas por três matrizes sobrepostas, cada uma correspondente a uma das cores R, G ou B. O método de análise desenvolvido consiste na separação destas matrizes e apresentação da intensidade, correspondente a cada cor, na forma de histogramas (Figura 31) e através do cálculo do valor médio da intensidade verificada em cada uma das matrizes (figura 32). Uma interface gráfica foi desenvolvida para facilitar a apresentação e interpretação dos valores obtidos.

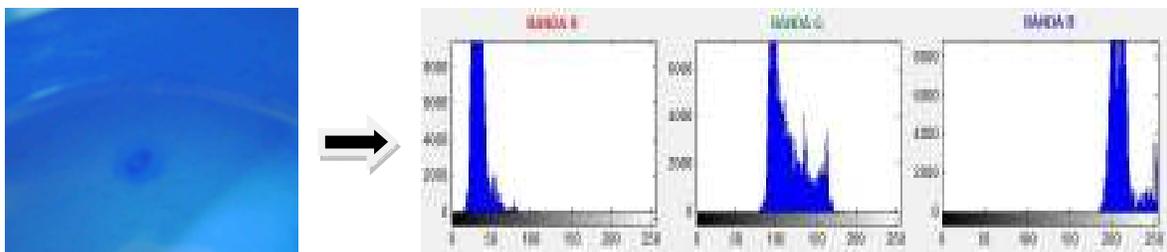


Figura 31 - Resultados da análise apresentados na forma de histogramas

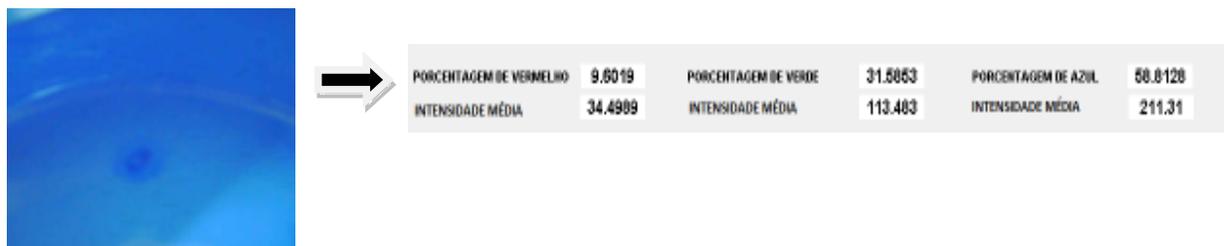


Figura 32 - Resultados da análise apresentados na forma valores médios da intensidade de cada cor

Como proposta secundária, neste projeto, tentou-se verificar a relação entre a porcentagem de intensidade de cada cor na imagem principal e o volume de corante necessário para a elaboração da cor a partir do resultado da análise. Este processo está descrito com mais detalhes no CAPÍTULO 4 deste trabalho.



4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A apresentação e discussão referente aos resultados obtidos neste trabalho estão organizadas e divididas em subitens, neste capítulo, com o objetivo de facilitar a compreensão do leitor. Este capítulo apresenta as principais rotinas dos programas desenvolvidos para controle do sistema de dosagem (Assembly), interface gráfica e processamento de imagens (MATLAB), bem como exibe e discute os ensaios de elaboração de cores e de perdas de volume.

4.1. Rotina desenvolvida em Assembly:

A rotina em Assembly foi desenvolvida para fornecer os comandos de controle do sistema de dosagem, configurados no microcontrolador, e permitir a comunicação serial entre o kit ULBEE51 e a interface gráfica, desenvolvida em MATLAB. Através desta comunicação é possível enviar comandos e receber informações do processo. O diagrama em blocos, mostrado na Figura 33, apresenta um resumo da sequência desenvolvida através da rotina em Assembly.

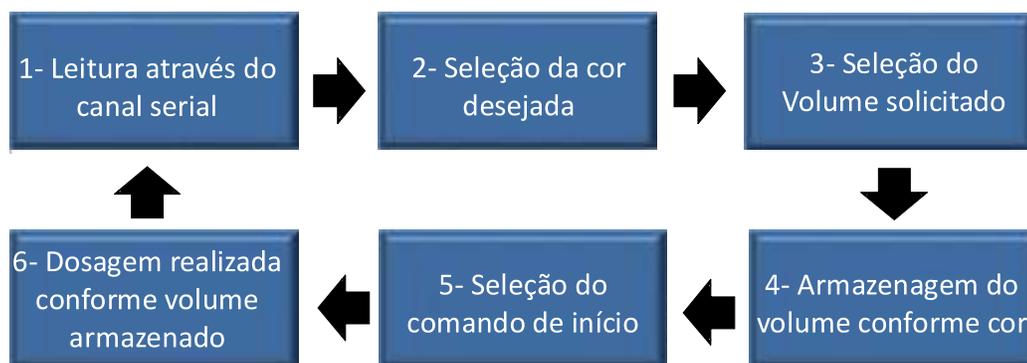


Figura 33 – Sequência de funcionamento da rotina desenvolvida



Neste capítulo, serão apresentadas e comentadas as principais rotinas e sub-rotinas desenvolvidas. As demais rotinas poderão ser verificadas no APÊNDICE C deste trabalho.

A rotina principal consiste numa estrutura desenvolvida para que, sempre que houver a chamada da interrupção serial, o sistema avalie o dado recebido e interprete como uma informação de cor desejada, volume solicitado ou início do processo de dosagem. No momento em que a interrupção serial é finalizada, a rotina prossegue chamando as sub-rotinas na seguinte ordem: verificação de cor e volumes desejados e verificação de início do processo.

```
*****
;
;                               ROTINA PRINCIPAL                               *
;
*****

MAIN: ACALL LEITURA      ; CHAMA SUBROTINA DE LEITURA
      ACALL COR_RGB      ; VERIFICA COR DESEJADA E VOLUME PARA DOSAGEM
      ACALL START        ; VERIFICA COMANDO DE START

      JMP MAIN
```

A sub-rotina de leitura (sub-rotina 1) permite que o sistema apenas realize a verificação de uma determinada solicitação do usuário quando finalizado o processo de recebimento ou envio. Isso será possível assim que um byte estiver disponível para leitura no registrador SBUF ou for finalizado o envio de um byte para a interface gráfica.

SUB-ROTINA-1

```
*****
;
;                               BYTE DE LEITURA OU ENVIO                               *
;
*****

LEITURA: JNB RXEMPTY,$   ;AGUARDA FIM DE RECEBIMENTO
          CLR RXEMPTY     ;LIMPA FLAG DE RECEBIMENTO
          RET             ;RETORNA

ENVIO:   JNB TXEMPTY,$   ; AGUARDA ENVIO DE DADO
          CLR TXEMPTY     ; LIMPA FLAG DE ENVIO FINALIZADO
          RET
```



Na sub-rotina 2, de acordo com o dado recebido no buffer de leitura, o sistema avalia a solicitação do usuário e segue de acordo com o valor lido. Se o dado enviado corresponder à dosagem de uma cor individual, por exemplo, “R” (52 em hexadecimal), o sistema permanecerá aguardando pelo próximo byte enviado e, assim que recebido, armazenará na memória destinada ao volume de dosagem da cor R. Se o dado enviado corresponder a “P” (50 em hexadecimal), o sistema aguardará os próximos três bytes enviados e interpretará a solicitação como uma mistura de cores. Armazenará os valores recebidos nas respectivas memórias destinadas ao volume de cada uma das cores.

SUB-ROTINA-2

```
*****
;
;                               SELEÇÃO DE CORES E VOLUME                               *
;
*****

COR_RGB: CJNE R0,#50H,RED      ; VERIFICA COMANDO CORRESPONDE A MISTURA "RGB"
        ACALL LEITURA        ; AGUARDA PRÓXIMO BYTE
        MOV REC_R,REC_BYTE    ; ARMAZENA BYTE RECEBIDO COMO VOLUME DE "R"
        ACALL LEITURA        ; AGUARDA PRÓXIMO BYTE
        MOV REC_G,REC_BYTE    ; ARMAZENA BYTE RECEBIDO COMO VOLUME DE "G"
        ACALL LEITURA        ; AGUARDA PRÓXIMO BYTE
        MOV REC_B,REC_BYTE    ; ARMAZENA BYTE RECEBIDO COMO VOLUME DE "B"
        RET                   ; RETORNA PARA VERIFICAR START

RED:    CJNE R0,#52H,GREEN     ; VERIFICA SE O COMANDO CORRESPONDE A MISTURA "R"
        ACALL LEITURA        ; AGUARDA PRÓXIMO BYTE
        MOV REC_R,REC_BYTE    ; ARMAZENA BYTE RECEBIDO COMO VOLUME DE "R"
        MOV REC_G,#00H        ; GARANTE QUE NÃO HÁ VOLUME PARA "G"
        MOV REC_B,#00H        ; GARANTE QUE NÃO HÁ VOLUME PARA "B"
        RET

GREEN:  CJNE R0,#47H,BLUE     ; VERIFICA SE O COMANDO CORRESPONDE A MISTURA "G"
        ACALL LEITURA        ; AGUARDA PRÓXIMO BYTE
        MOV REC_G,REC_BYTE    ; ARMAZENA BYTE RECEBIDO COMO VOLUME DE "G"
        MOV REC_R,#00H        ; GARANTE QUE NÃO HÁ VOLUME PARA "R"
        MOV REC_B,#00H        ; GARANTE QUE NÃO HÁ VOLUME PARA "B"
        RET                   ; RETORNA PARA VERIFICAR START
```



```
BLUE: CJNE R0,#42H,VOLTA ; VERIFICA SE O COMANDO CORRESPONDE A MISTURA "B"
      ACALL LEITURA      ; AGUARDA PRÓXIMO BYTE
      MOV REC_B,REC_BYTE  ; ARMAZENA BYTE RECEBIDO COMO VOLUME DE "B"
      MOV REC_R,#00H     ; GARANTE QUE NÃO HÁ VOLUME PARA "R"
      MOV REC_G,#00H     ; GARANTE QUE NÃO HÁ VOLUME PARA "G"

VOLTA: RET                ; RETORNA PARA VERIFICAR START
```

Conforme a sub-rotina 3, se o dado enviado pela serial for “S” (53 em hexadecimal), o sistema envia uma informação de início do processo de dosagem para a interface e passa para a etapa de controle dos motores de passo.

SUB-ROTINA-3

```
,*****
;
;                               VERIFICAÇÃO DE START                               *
;*****
START: CJNE R0,#53H,RETORNO_2 ; VERIFICA COMANDO DE START
      MOV SBUF,#49H          ; ENVIA SINAL DE INICIO DA DOSAGEM
      ACALL ENVIO            ; CHAMA SUBROTINA DE ENVIO
```

Após a solicitação de início, e, se o volume armazenado na memória for diferente de zero, o sistema começa o processo de dosagem na sequência R, G, e, por último, B, conforme mostra a sub-rotina 4. Primeiro, o sistema armazena o valor de volume no acumulador A e, se o valor for igual a zero, a dosagem desta cor será ignorada e outra será avaliada. No momento em que uma ou mais cores são solicitadas, o sistema procede com a dosagem enviando um sinal através da porta P3 para habilitar o latch correspondente àquela cor. Isso fará com que os dados enviados para a sequência de energização das bobinas do motor de passo estejam disponíveis apenas para o motor da cor solicitada. Dentro desta mesma sub-rotina, o comando para sucção e injeção de corantes é chamado.



SUB-ROTINA-4

```
*****
;
;           COMANDO DE CONTROLE DOS MOTORES           *
;
*****

CONTROL_R: MOV A,REC_R      ; MOVE O VALOR DO VOLUME DE "R" PARA O ACUMULADOR
            JZ CONTROL_G    ; SE FOR ZERO PASSA PARA O CONTROLE DE "G"
            INC R1          ; INCREMENTA INDICADOR DE MANUTENÇÃO DE R
            SETB P3.3       ; HABILITA 373 DE R
            CLR P3.4        ; DESABILITA 373 DE G
            CLR P3.5        ; DESABILITA 373 DE B
            ACALL FILL      ; CHAMA SUBROTINA DE SUCCÃO
            MOV A,REC_R     ; CARREGA NOVAMENTE O VALOR DO VOLUME DE "R" EM A
            ACALL DELAY     ; CHAMA DELAY PARA INTERVALO ENTRE SUCCÃO E INJEÇÃO
            ACALL EMPTY     ; CHAMA SUBROTINA DE INJEÇÃO
            CLR P3.3        ; DESABILITA 373 DE R

CONTROL_G: MOV A,REC_G      ; MOVE O VALOR DO VOLUME DE "G" PARA O ACUMULADOR
            JZ CONTROL_B    ; SE O VOLUME FOR ZERO PASSA PARA O CONTROLE DE "B"
            INC R2          ; INCREMENTA INDICADOR DE MANUTENÇÃO DE G
            CLR P3.3        ; DESABILITA 373 DE R
            CLR P3.5        ; DESABILITA 373 DE B
            SETB P3.4       ; HABILITA 373 DE G
            ACALL FILL      ; CHAMA SUBROTINA DE SUCCÃO
            MOV A,REC_G     ; CARREGA NOVAMENTE O VALOR DO VOLUME DE "G" EM A
            ACALL DELAY     ; CHAMA DELAY PARA INTERVALO ENTRE SUCCÃO E INJEÇÃO
            ACALL EMPTY     ; CHAMA SUBROTINA DE INJEÇÃO
            CLR P3.4        ; DESABILITA 373 DE G

CONTROL_B: MOV A,REC_B      ; MOVE O VALOR DO VOLUME DE "B" PARA O ACUMULADOR
            JZ MANUT_R      ; SE O VOLUME FOR ZERO RETORNA À ROTINA PRINCIPAL
            INC R3          ; INCREMENTA INDICADOR DE MANUTENÇÃO DE B
            CLR P3.4        ; DESABILITA 373 DE G
            CLR P3.3        ; DESABILITA 373 DE R
            SETB P3.5       ; HABILITA 373 DE B
            ACALL FILL      ; CHAMA SUBROTINA DE SUCCÃO
            MOV A,REC_B     ; CARREGA NOVAMENTE O VALOR DO VOLUME DE "B" EM A
            ACALL DELAY     ; CHAMA DELAY PARA INTERVALO ENTRE SUCCÃO E INJEÇÃO
            ACALL EMPTY     ; CHAMA SUBROTINA DE INJEÇÃO
            CLR P3.5        ; DESABILITA 373 DE B
```



A sub-rotina 5 foi desenvolvida para elaborar o processo de sucção de corantes. O acumulador armazena o valor correspondente ao número de voltas necessárias para a estrutura mecânica garantir o volume desejado pelo usuário. A sequência de sinais enviados para a porta P1 (STEPPER) corresponde ao método full-step, energizando duas bobinas por vez.

SUB-ROTINA-5

```
*****
;
;                               CONTROLE STEPPER MOTOR                               *
;
*****
FILL: MOV STEPPER,#0CH
      ACALL DELAY
      MOV STEPPER,#06H
      ACALL DELAY
      MOV STEPPER,#03H
      ACALL DELAY
      MOV STEPPER,#09H
      ACALL DELAY
      DJNZ R4,FILL
      MOV R4,#10H
      DJNZ A,FILL      ; REALIZA O LAÇO DE ACORDO COM O VOLUME DESEJADO
      RET
```

A sub-rotina 6 foi desenvolvida para elaborar o processo de injeção de corantes. O acumulador armazena o valor correspondente ao número de voltas necessárias para a estrutura mecânica garantir o volume desejado pelo usuário. A sequência de sinais enviados para a porta P1 (STEPPER) corresponde ao método full-step, energizando duas bobinas por vez. A sequência de acionamento é apenas invertida comparada ao processo de sucção.

SUB-ROTINA-6

```
EMPTY:
      MOV STEPPER,#09H
      ACALL DELAY
      MOV STEPPER,#03H
      ACALL DELAY
      MOV STEPPER,#06H
```



```
ACALL DELAY
MOV STEPPER,#0CH
ACALL DELAY
DJNZ R4,EMPTY
MOV R4,#10H
DJNZ A,EMPTY ; REALIZA O LAÇO DE ACORDO COM O VOLUME DESEJADO
MOV P1,#00H
RET
```

4.2. Interface Gráfica MATLAB R2009b:

Utilizando a ferramenta GUI (Graphical User Interface), do MATLAB R2009b, foi desenvolvida a interface gráfica deste projeto (Figura 34). No software MATLAB também foram desenvolvidas as rotinas responsáveis pela realização da análise das cores captadas pela câmera de vídeo, instalada no sistema de dosagem. Neste capítulo, serão apresentadas e comentadas as principais rotinas desenvolvidas. As demais rotinas poderão ser verificadas no APÊNDICE D deste trabalho.

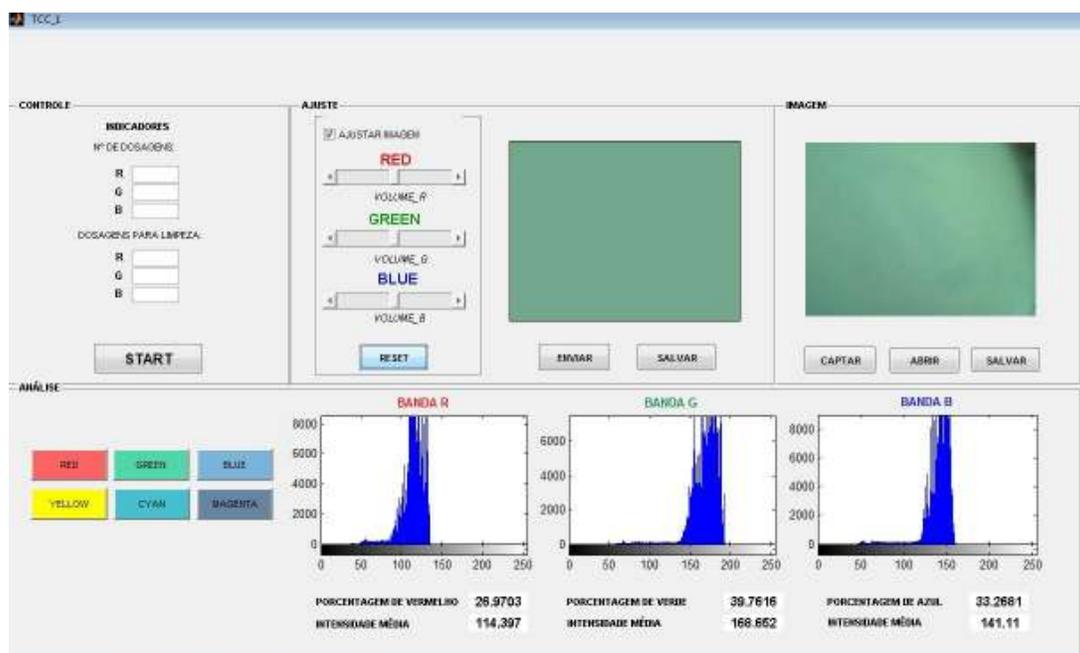


Figura 34 - Interface gráfica desenvolvida no MATLAB



As rotinas 1, 2 e 3 referem-se à área de IMAGEM, conforme Figura 35 abaixo. Os botões ABRIR, CAPTAR e SALVAR estão relacionados às rotinas 1, 2 e 3 respectivamente.



Figura 35 – Área de IMAGEM da interface

A rotina 1, descrita abaixo, foi elaborada para ser executada sempre que o botão “ABRIR”, conforme Figura 35, for pressionado pelo usuário. Esta rotina possibilita que o usuário selecione e visualize uma imagem de um arquivo já gravado no microcomputador. A imagem será analisada, e o resultado será apresentado na forma de histogramas e valores médios das intensidades correspondentes às cores primárias que compõem a imagem original. O percentual da intensidade média de cada uma das cores é uma tentativa de relacionar o resultado da análise realizada com o volume necessário para reproduzir uma amostra. Este processo está descrito com mais detalhes no subitem 4.3 deste capítulo.

ROTINA 1 - Executes on button press in ABRIR.

```
function ABRIR_Callback(hObject, eventdata, handles)
[FileName Path]=uigetfile({'*.jpg;*.bmp'}, 'Abrir Imagem');
if isequal(FileName,0)
    return
else
    I=imread(strcat(Path,FileName));
    R=I(:,:,1);
    G=I(:,:,2);
    B=I(:,:,3);
    MEDIA_R = mean(mean(R));
    MEDIA_G = mean(mean(G));
    MEDIA_B = mean(mean(B));
    TOTAL=MEDIA_R+MEDIA_G+MEDIA_B;
```



```
PERC_R=(MEDIA_R/TOTAL)*100;
set(handles.media1,'String',PERC_R);
PERC_G=(MEDIA_G/TOTAL)*100;
set(handles.media2,'String',PERC_G);
PERC_B=(MEDIA_B/TOTAL)*100;
set(handles.media3,'String',PERC_B);
set(handles.media4,'String',MEDIA_R);
set(handles.media5,'String',MEDIA_G);
set(handles.media6,'String',MEDIA_B);
axes(handles.foto);
imshow(I);
axis off;
axes(handles.teste);
imhist(R);
title('BANDA R','Color','r','FontWeight','bold');
axes(handles.teste1);
imhist(G);
title('BANDA G','Color',[0,0.5,0.25],'FontWeight','bold');
axes(handles.teste2);
imhist(B);
title('BANDA B','Color','b','FontWeight','bold');
handles.slider1=0
handles.slider2=0
handles.slider3=0
d=0
e=0
f=0
libera_ajuste=0
carrega=0
end
handles.local=strcat(Path,FileName);
guidata(hObject,handles)
save RGB MEDIA_R MEDIA_G MEDIA_B R G B I
save MEDIAS d e f carrega
save AJUSTE libera_ajuste
```

A rotina 2, descrita a seguir, foi elaborada para ser executada sempre que o botão “CAPTAR”, conforme Figura 35, for pressionado pelo usuário.. Assim que pressionado o botão, a câmera de vídeo (webcam) é acionada, e a imagem captada é apresentada ao usuário. Nesta mesma rotina, é realizada a separação das matrizes correspondentes às cores primárias da imagem original. Os valores que formam estas matrizes são apresentados para cada uma das bandas R, G e B. Os valores correspondem a números inteiros de 8 bits, escala de 0 a 255.



ROTINA 2 - Executes on button press in CAPTAR.

```
function CAPTAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
vidobj = videoinput('winvideo');
triggerconfig(vidobj, 'manual');
start(vidobj)
for i = 1:7
X = getsnapshot(vidobj);
end
axes(handles.foto);
image(X,'Parent',handles.foto);
axis off;
R=X(:,:,1);
G=X(:,:,2);
B=X(:,:,3);
axes(handles.teste);
imhist(R);
title('BANDA R','Color','r','FontWeight','bold');
axes(handles.teste1);
imhist(G);
title('BANDA G','Color',[0,0.5,0.25],'FontWeight','bold');
axes(handles.teste2);
imhist(B);
title('BANDA B','Color','b','FontWeight','bold');
MEDIA_R = mean(mean(R));
MEDIA_G = mean(mean(G));
MEDIA_B = mean(mean(B));
TOTAL=MEDIA_R+MEDIA_G+MEDIA_B;
PERC_R=(MEDIA_R/TOTAL)*100;
set(handles.media1,'String',PERC_R);
PERC_G=(MEDIA_G/TOTAL)*100;
set(handles.media2,'String',PERC_G);
PERC_B=(MEDIA_B/TOTAL)*100;
set(handles.media3,'String',PERC_B);
set(handles.media4,'String',MEDIA_R);
set(handles.media5,'String',MEDIA_G);
set(handles.media6,'String',MEDIA_B);
handles.slider1=0
handles.slider2=0
handles.slider3=0
d=0
e=0
f=0
libera_ajuste=0
carrega=0
stop(vidobj)

save RGB MEDIA_R MEDIA_G MEDIA_B R G B
save MEDIAS d e f carrega
save AJUSTE libera_ajuste
guidata(hObject,handles)
```

A rotina 3 foi elaborada para ser executada sempre que o botão “SALVAR”, conforme Figura 35, for pressionado pelo usuário. Assim que pressionado o botão, será aberta a caixa de salvar do Windows, possibilitando escolher o local e o nome do arquivo a ser salvo. As imagens poderão ser salvas nos formatos *.jpg , *.bmp e *.tif.



ROTINA 3 - Executes on button press in SALVAR.

```
function SALVAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
rgb = getimage(handles.foto);
if isempty(rgb),return,end
fileTypes = supportedImageTypes;
[f,p] = uiputfile(fileTypes);
if f==0,return,end
fName = fullfile(p,f);
imwrite(rgb,fName);
msgbox(['Imagem salva em ',fName]);

function fileTypes = supportedImageTypes
fileTypes = {'*.jpg','JPEG (*.jpg)'; '*.tif','TIFF (*.tif)'; ...
            '*.bmp','Bitmap (*.bmp)'};
```

A rotina 4 refere-se à área de CONTROLE, conforme Figura 36 abaixo. O botão START está relacionado à rotina 4.

The image shows a graphical user interface window titled "CONTROLE". Inside the window, there is a section titled "INDICADORES". Below this title, there is a label "Nº DE DOSAGENS:" followed by three input fields labeled "R", "G", and "B". Below these fields, there is another label "DOSAGENS PARA LIMPEZA:" followed by three more input fields labeled "R", "G", and "B". At the bottom of the window, there is a large button labeled "START".

Figura 36 – Área de CONTROLE da interface

A rotina 4 foi elaborada para ser executada sempre que o botão “START”, conforme Figura 36, for pressionado pelo usuário. Assim que pressionado o botão, será enviado ao kit ULBEE51 o código “S”, em ascii, o que corresponde ao valor 53 em hexadecimal necessário para a inicialização do processo de dosagem. Assim que enviado o sinal de comando, para o microcontrolador, a rotina aguarda uma resposta para certificar-se de que o processo realmente foi iniciado.



ROTINA 4 - Executes on button press in START.

```
function START_Callback(hObject, eventdata, handles)
load s
fopen(s);
fprintf(s,'%s','S');
h = waitbar(0,'Please wait...');
steps = 1000;
for step = 1:steps
    % computations take place here
    waitbar(step / steps)
end
close(h)
tline = fscanf(s,'%s',1)
if tline == 'I'
    msgbox('PROCESSO DE DOSAGEM INICIADO.','DOSADORA DE CORANTES');
else
end

fclose(s);
delete(s);
clear s
```

As rotinas 5 e 6 referem-se à área de AJUSTE, conforme Figura 37 abaixo. Os SLIDERS e o flag AJUSTAR IMAGEM estão relacionados às rotinas 5 e 6 respectivamente.

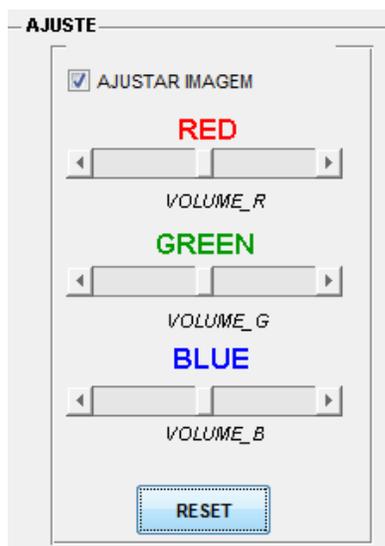


Figura 37 – Área de AJUSTE da interface

A rotina 5 foi elaborada para ser executada sempre que o “Slider1”, conforme Figura 37 correspondente à cor vermelha (RED), for pressionado pelo usuário. Esta rotina foi desenvolvida para possibilitar alterar a intensidade da cor vermelha da imagem selecionada para ajuste. A mesma rotina se aplica às cores verde e azul e podem ser verificadas no APÊNDICE D deste trabalho.



ROTINA 5- Executes on slider1 movement.

```
function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.slider1=get(hObject,'Value');
handles.slider1=100*handles.slider1;

    load AJUSTE
    if libera_ajuste==0
        return
    else
if (handles.slider1<50)
    set(handles.text2,'String',handles.slider1);
    load RGB
    load MEDIAS
    MEDIA1= MEDIA_R + handles.slider1;
    d=MEDIA1/255
    if d>1
        msgbox('VALOR LIMITE PARA A VERMELHA.','DOSADORA DE CORANTES');
        return
    else
        if e==0
            MEDIA2= MEDIA_G;
            e=MEDIA2/255
        else
            if f==0
                MEDIA3= MEDIA_B;
                f=MEDIA3/255
            else
                end
            end
        end
        set(handles.text3,'String',MEDIA1);

if handles.slider1>0
    carrega=1
else
    carrega=0
end

        axes(handles.ajustavel);
        x=[0,0,1,1];
        y=[0,1,1,0];
        fill(x,y,[d,e,f])
        axis off
        save MEDIAS d e f carrega

    else
        set(handles.text3,'String','LIMITE MÁXIMO DE DOSAGEM');
    end
end

guidata(hObject,handles);
```

A rotina 6 foi elaborada para ser executada sempre que o flag “AJUSTAR IMAGEM”, Figura 37, for selecionado pelo usuário. Assim que selecionado o flag, o usuário passa a visualizar uma imagem formada a partir dos valores médios de intensidade. Os valores são calculados através dos dados disponíveis nas matrizes correspondentes a cada uma das cores primárias.



ROTINA 6 - Executes on button press in AJUSTE.

```
function AJUSTE_Callback(hObject, eventdata, handles)
if (get(hObject,'Value') == get(hObject,'Max'))
    load MEDIAS
    load RGB
    libera_ajuste=1
    axes(handles.ajustavel);
    if carrega==0
        d=MEDIA_R/255
        e=MEDIA_G/255
        f=MEDIA_B/255
    else
        end
    x=[0,0,1,1];
    y=[0,1,1,0];
    fill(x,y,[d,e,f])
    axis off
    save AJUSTE libera_ajuste
else
    libera_ajuste=0
    axes(handles.ajustavel);
    cla
    save AJUSTE libera_ajuste
end
guidata(hObject,handles);
```

As rotinas 7 e 8 referem-se à área de ANÁLISE, conforme Figura 38 abaixo. Os botões RED e MAGENTA estão relacionados às rotinas 7 e 8 respectivamente.

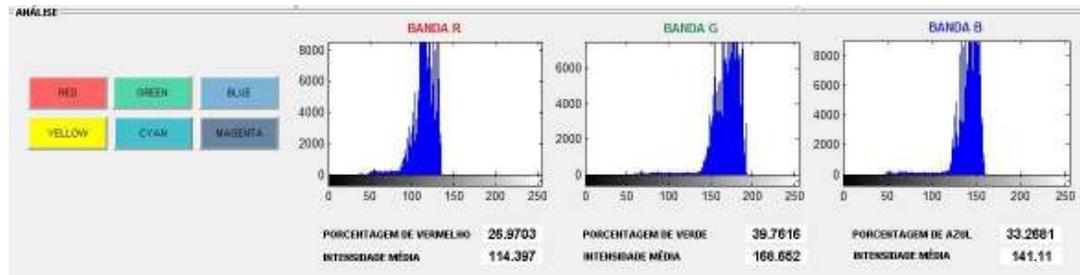


Figura 38 – Área de ANÁLISE da interface

A rotina 7 foi desenvolvida para ser executada sempre que o botão “RED”, correspondente à cor vermelha, for pressionado pelo usuário — ver Figura 38. Assim que pressionado o botão, a rotina disponibiliza a porta serial e envia os comandos necessários para a escolha da cor vermelha, bem como envia o valor de volume configurado para dosagem. A mesma rotina se aplica às cores verde e azul e podem ser verificadas no APÊNDICE D deste trabalho.



ROTINA 7 - Executes on button press in RED.

```
function RED_Callback(hObject, eventdata, handles)
load s
fopen(s);
fprintf(s,'%s','R');
fwrite(s,28)
fclose(s);
delete(s);
clear s
```

A rotina 8 foi elaborada para ser executada sempre que o botão correspondente à cor magenta for pressionado pelo usuário — ver Figura 38. Assim que pressionado o botão, a rotina disponibiliza a porta serial e envia os comandos necessários para a elaboração da cor magenta (mistura das cores vermelha e azul), bem como envia os valores de volumes correspondentes às cores vermelha e azul. O mesmo processo se aplica às demais cores secundárias, amarelo e ciano, e pode ser verificado no APÊNDICE D deste trabalho.

ROTINA 8 - Executes on button press in MAGENTA.

```
function MAGENTA_Callback(s, eventdata, handles)
load s
fopen(s);
fprintf(s,'%s','P');
fwrite(s,55)
fwrite(s,0)
fwrite(s,55)
fclose(s);
delete(s);
clear s
```

4.3. Composição e análise das cores:

Nesta etapa do processo, o objetivo principal consiste em realizar as dosagens com o intuito de elaborar e analisar as cores desejadas. Para a realização dos testes, foram utilizados corantes e tinta base para receber a dosagem, ambos da marca Suvinil. A base C (PVA) é utilizada nas máquinas Selfcolor, modelo de máquina dosadora da Suvinil. Os corantes da marca Suvinil são próprios para tingir tintas à base de água.

Os testes realizados servem para averiguar a possibilidade de formação das cores e a confiabilidade do processo. Para isso, um volume padrão de 250 ml de base C foi utilizado para cada ensaio realizado. Foram verificadas as cores primárias vermelha, verde e azul. Para cada cor testada, foram feitas duas dosagens



com 10 e 20 ml de corantes. Depois de elaboradas as cores, foram realizadas as análises através da interface gráfica desenvolvida.

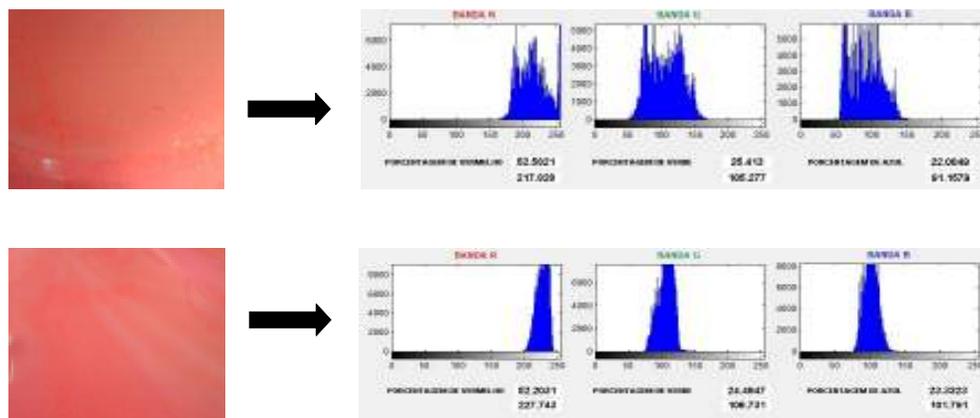


Figura 39 - Dosagens e análises realizadas (20 ml cor vermelha).

O primeiro ensaio resultou em um erro médio inferior a 6%, no valor da intensidade média das cores, entre as duas análises realizadas.

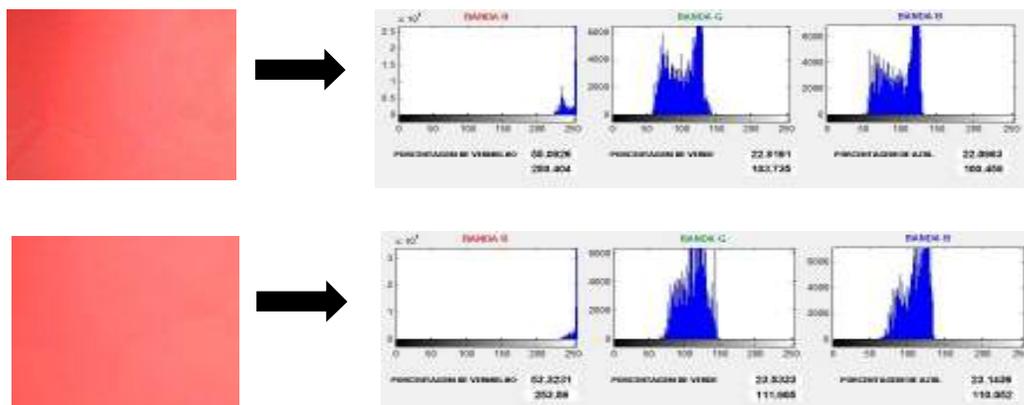
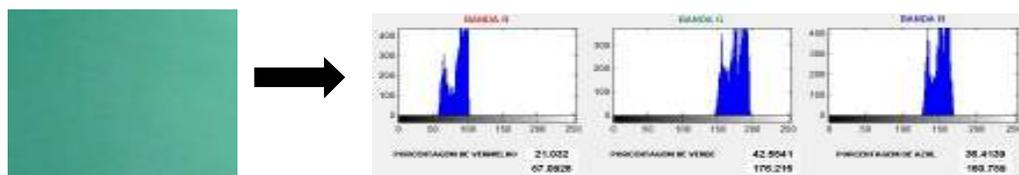


Figura 40 - Dosagens e análises realizadas (10 ml cor vermelha)

O segundo ensaio resultou em um erro médio inferior a 6%, no valor da intensidade média das cores, entre as duas análises realizadas.



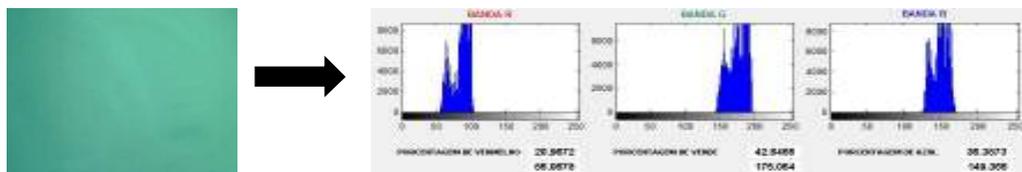


Figura 41 - Dosagens e análises realizadas (20 ml cor verde)

O terceiro ensaio resultou em um erro médio inferior a 2%, no valor da intensidade média das cores, entre as duas análises realizadas.

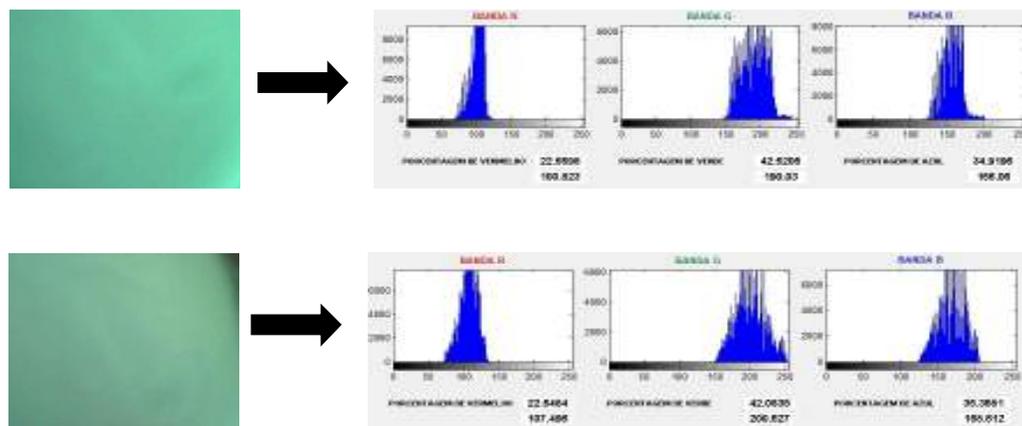


Figura 42 - Dosagens e análises realizadas (10 ml cor verde)

O quarto ensaio resultou em um erro médio inferior a 7%, no valor da intensidade média das cores, entre as duas análises realizadas.

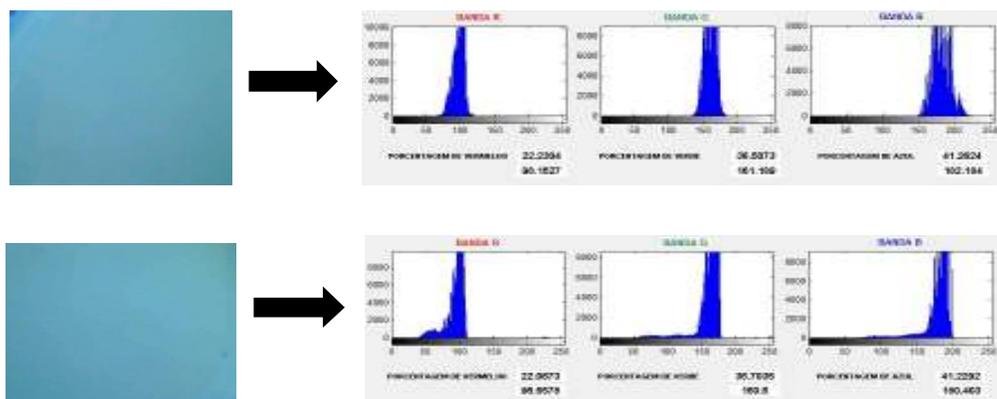


Figura 43 - Dosagens e análises realizadas (20 ml cor azul)



O quinto ensaio resultou em um erro médio inferior a 2%, no valor da intensidade média das cores, entre as duas análises realizadas.

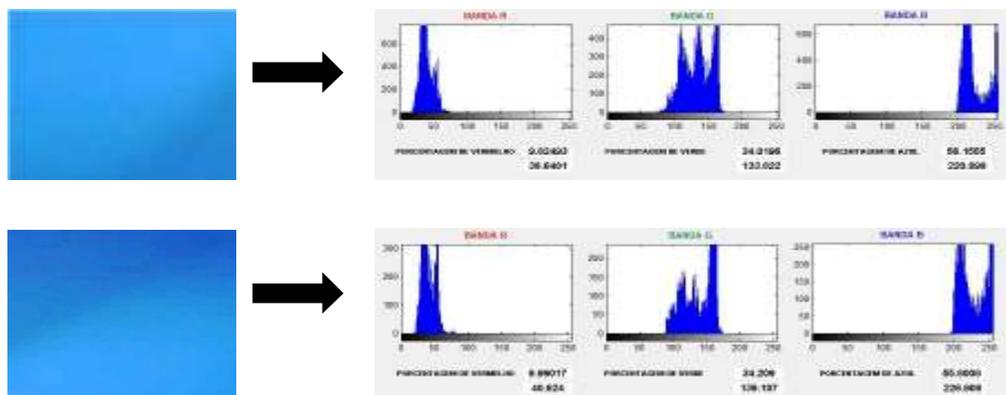


Figura 44 - Dosagens e análises realizadas (10 ml cor azul)

O sexto ensaio resultou em um erro médio inferior a 4%, no valor da intensidade média das cores, entre as duas análises realizadas.

Conforme verificado nos testes, a influência da luz incidente sobre a amostra é um fator determinante no resultado da análise. Contudo, comparando as análises realizadas, o erro verificado entre dosagens e leituras não é superior a 7%.

Como proposta secundária deste trabalho, houve a tentativa de elaborar cores, ou chegar a uma determinada tonalidade, partindo do resultado das análises. Entretanto, verificou-se a impossibilidade desta implementação em função dos corantes e da base utilizada. Inicialmente, a proposta previa relacionar a porcentagem de intensidade de cada cor presente na amostra com o volume necessário para a dosagem resultar em uma cor semelhante à avaliada.

Nos ensaios realizados, algumas evidências foram constatadas. Foram realizados testes de verificação das cores secundárias amarela, ciano e magenta. Nestes testes, verificou-se que não é possível formar a cor amarela através das misturas dos corantes de cor vermelha e verde.

As cores magenta e ciano, embora apresentem um tom mais escuro, aproximaram-se satisfatoriamente dos resultados previstos. Após verificação das especificações dos corantes junto à fabricante, foi confirmado que a partir dos corantes utilizados não seria possível compor a cor amarela e que, para obter tal cor, o fabricante disponibiliza um corante específico.



A base utilizada também apresentou influência sobre os testes. A base C, própria para dosadoras da Suvinil, apresenta uma cor diferente da cor branca. Essa diferença de cor não permite prever, com precisão, o resultado da dosagem. No entanto, percebe-se que a interferência ocorre principalmente na tonalidade. Não foi possível verificar o grau de interferência da base utilizada na composição das cores secundárias.

4.4. Ensaio de perdas:

Com o objetivo de avaliar as perdas de volume, proporcionadas pelo sistema mecânico, foi elaborado um teste de verificação de volume dosado pelo sistema em função do volume solicitado via interface. Conforme especificação de montagem, a barra roscada tem um passo completo equivalente a 1 mm de deslocamento para cada volta completa do motor. Este deslocamento, quando exercido sobre o êmbolo da seringa, deverá preenchê-la com um volume de aproximadamente 1 ml conforme apresentado abaixo.

$$\text{Volume da seringa} = \text{Área da base} \times \text{Altura}$$

$$\text{Área da base} = \pi r^2$$

$$\text{Altura} = h$$

$$r = 17,6 \text{ (raio da seringa)}$$

$$\text{Área da base} = 973,14 \text{ mm}^2$$

Para uma altura de 1 mm, proporcionada por uma volta do motor, o volume esperado será de 973,14 mm³ ou 0,973 ml. No entanto, a realização dos testes mostrou que, a cada 1.8 voltas do motor, 1 ml de corante é dosado pelo sistema. Com isso, a diferença de volume calculado e medido nos testes foi compensada na configuração de acionamento dos motores.

A tabela abaixo apresenta os resultados obtidos nos testes realizados com o objetivo de averiguar o comportamento das perdas para diferentes volumes de dosagens. Para a realização dos testes, uma pipeta graduada foi utilizada como instrumento de medição.



SISTEMA DE DOSAGEM DA COR VERMELHA (R)							
Volume solicitado (ml)	Volume dosado Teste 1 (ml)	Erro (%)	Volume dosado Teste 2 (ml)	Erro (%)	Volume dosado Teste 3 (ml)	Erro (%)	Erro Médio (%)
5	4,9	2,00	5	0,00	4,9	2,00	1,33
10	10	0,00	9,8	2,00	10	0,00	0,67
15	15,2	-1,33	15,3	-2,00	15,2	-1,33	-1,56
20	20,3	-1,50	20,2	-1,00	20,5	-2,50	-1,67

Tabela 4 - Resultado dos ensaios realizados (cor vermelha)

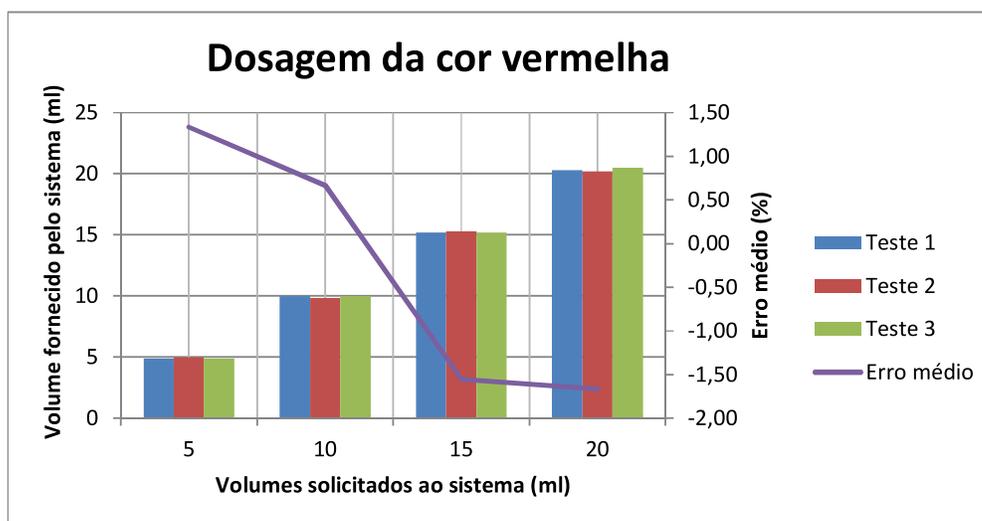


Figura 45 - Gráfico com os resultados dos ensaios realizados com a cor vermelha

SISTEMA DE DOSAGEM DA COR VERDE (G)							
Volume solicitado (ml)	Volume dosado Teste 1 (ml)	Erro (%)	Volume dosado Teste 2 (ml)	Erro (%)	Volume dosado Teste 3 (ml)	Erro (%)	Erro Médio (%)
5	5	0,00	5,1	-2,00	5	0,00	-0,67
10	10,2	-2,00	10,1	-1,00	10,2	-2,00	-1,67
15	15	0,00	15,2	-1,33	15,2	-1,33	-0,89
20	20,2	-1,00	20,1	-0,50	20	0,00	-0,50

Tabela 5 - Resultado dos ensaios realizados (cor verde)

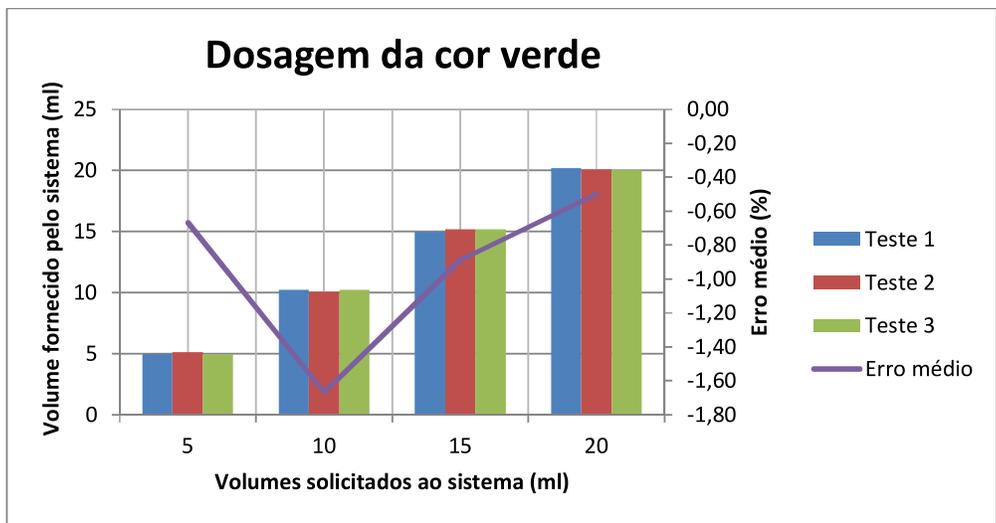


Figura 46 - Gráfico com os resultados dos ensaios realizados com a cor verde

SISTEMA DE DOSAGEM DA COR AZUL (B)							
Volume solicitado (ml)	Volume dosado Teste 1 (ml)	Erro (%)	Volume dosado Teste 2 (ml)	Erro (%)	Volume dosado Teste 3 (ml)	Erro (%)	Erro Médio (%)
5	5	0,00	5,1	-2,00	5,1	-2,00	-1,33
10	9,9	1,00	10	0,00	10,2	-2,00	-0,33
15	15	0,00	15,2	-1,33	15,1	-0,67	-0,67
20	20	0,00	20,2	-1,00	20	0,00	-0,33

Tabela 6 - Resultado dos ensaios realizados (cor azul)

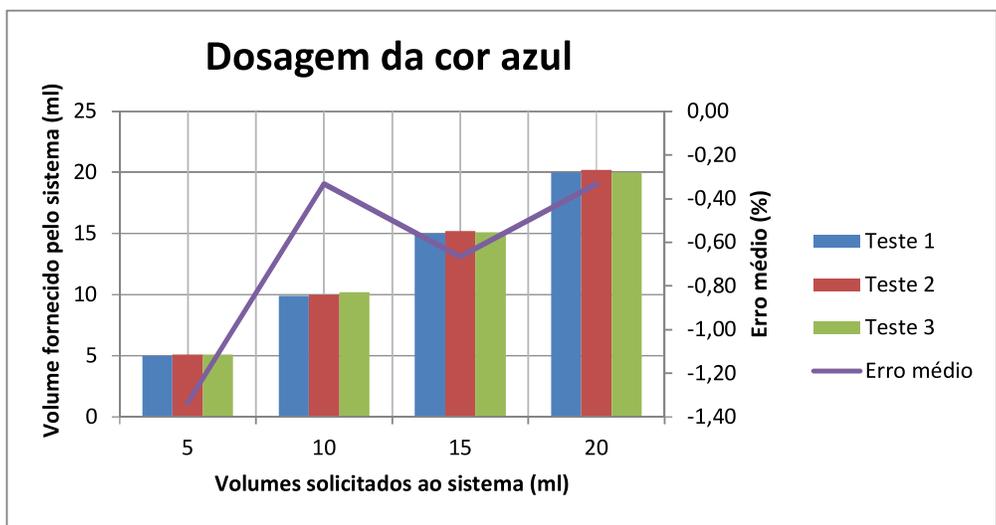


Figura 47 - Gráfico com os resultados dos ensaios realizados com a cor azul



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido permite a dosagem de três cores e, embora tenha sido concebido para utilizar as cores primárias vermelho, verde e azul, poderá ser utilizado com quaisquer cores. Com isso, a primeira etapa da proposta do trabalho foi realizada com êxito. Da mesma forma, o objetivo de elaborar um sistema que permitisse avaliar o resultado da dosagem, através de processamento de imagens, foi alcançado. O sistema permite realizar a análise da imagem desejada, apresentando os resultados na forma de histogramas e de valores médios da intensidade de cada uma das cores presentes.

Conforme os ensaios realizados, os resultados mostram que o sistema apresenta boa precisão no processo de dosagem. Os erros médios calculados entre os volumes solicitados pelo usuário e os volumes dosados pelo sistema não ultrapassam 2%. Embora as estruturas sejam idênticas para os três êmbolos, diferentes resultados foram obtidos para cada uma das estruturas. Isso é justificado pelas incrustações de corantes nas válvulas de retenção que permitem alterações no volume de dosagem devido à liberação de entrada de ar nas seringas. Para diminuir e equilibrar as perdas, nas três estruturas, um processo de limpeza deve ser implementado.

Na fase de análise das cores houve grande dificuldade de proporcionar a iluminação adequada para o processo. Entretanto, a utilização de leds brancos foi suficiente para obter valores satisfatórios nas análises. Comparando-se as análises realizadas, o erro verificado entre amostras para uma mesma dosagem não é superior a 7%. Não é possível classificar esse resultado como positivo ou negativo em função da inexistência de análise semelhante para padrão de comparação.

Na etapa de composição das cores, houve a tentativa de elaborar uma proposta secundária: criar uma cor, ou chegar a uma determinada tonalidade, partindo do resultado das análises. Esta proposta não foi implementada, pois fatores como a escolha da cor dos corantes utilizados e a escolha da tinta base não possibilitaram. Como sugestão para um novo projeto, a elaboração de um sistema que permita utilizar mais alguns corantes, como o amarelo e o preto, talvez possibilite a conclusão desta segunda proposta de reproduzir uma cor a partir dos resultados da análise.



Quanto aos recursos financeiros, o valor final aplicado ao projeto representa uma queda de 16,11% em relação ao valor no orçamento previsto. Isso se deve, principalmente, à relação de custo previsto e real utilizado no processo de contratação do serviço de usinagem das peças.



6. REFERÊNCIAS

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E.; EDDINS, Steven. Digital image processing using MATLAB. New Jersey: Prentice Hall, 2004.

NICOLOSI, Denys E.C, Microcontrolador 8051 detalhado. Érica, 2003.

ATMEL. 8-bit Microcontrolador With 8k Bytes Flash – AT 89C52. Atmel Corporation. San Jose, 1999. <http://www.atmel.com>



OBRAS CONSULTADAS

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. Processamento de imagens digitais. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

CHAPMAN, Stephen J., Programação em MATLAB para engenheiros; tradução técnica Flávio Soares Correa da Silva. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

MATLAB - The Mathworks Inc. Creating graphical user interfaces, version 1 2000.

MATLAB - The Mathworks Inc. Image processing toolbox, version 5. 2004.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. Digital image processing. New Jersey: Prentice Hall, 2002.



GLOSSÁRIO

RGB: é a abreviatura do sistema de cores aditivas formado por Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue).

PVA: Acetato de polivinila, ou PVA, é um polímero sintético. O PVA é vendido como uma emulsão em água, como um adesivo para materiais porosos. Muito utilizado na fabricação de tintas.

MATLAB: é um software interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico. O MATLAB integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em ambiente fácil de usar em que problemas e soluções são expressos somente como eles são escritos matematicamente, ao contrário da programação tradicional.

Assembly: é uma notação legível por humanos para o código de máquina que uma arquitetura de computador específica usa.

Pixel: é o menor elemento num dispositivo de exibição (como um monitor), ao qual é possível atribuir-se uma cor. De uma forma mais simples, um pixel é o menor ponto que forma uma imagem digital, sendo que o conjunto de milhares de pixels forma a imagem inteira.

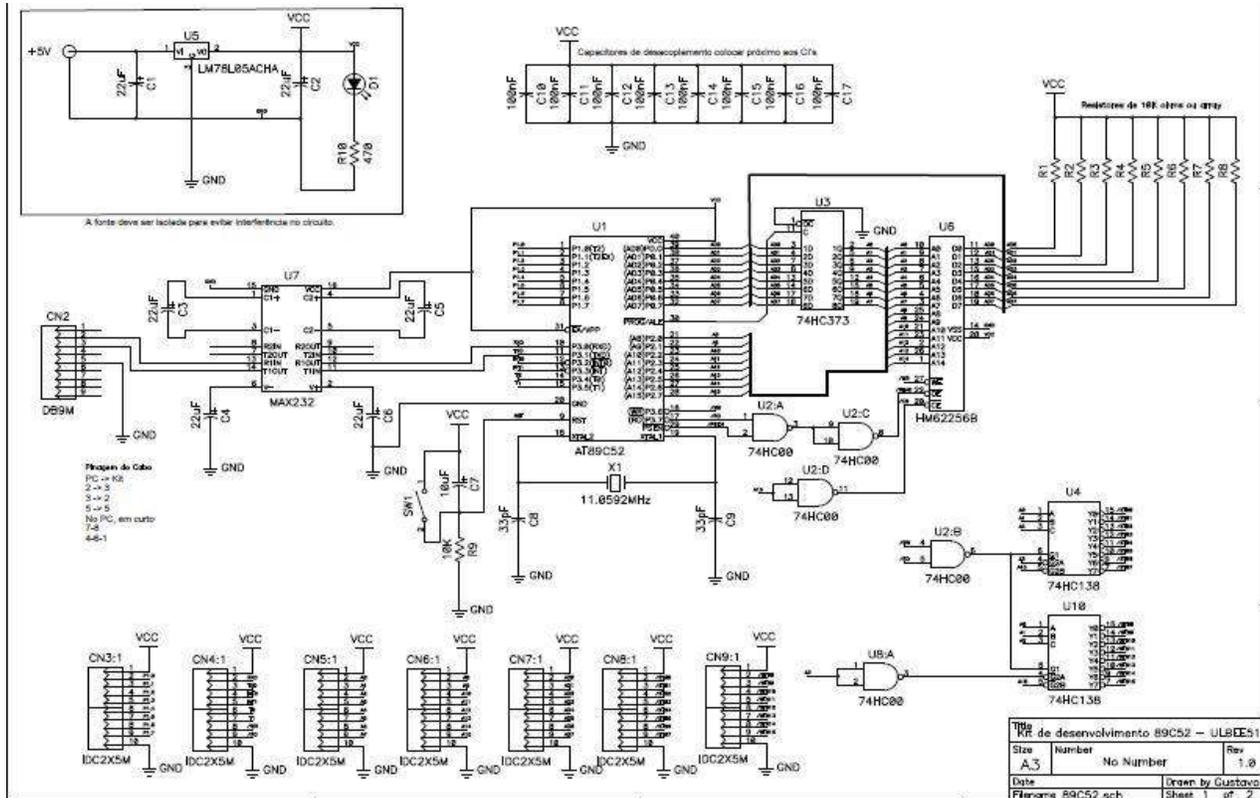
VGA (Video Graphics Array): é um standard de gráficos de computadores introduzido em 1987 pela IBM, sendo também usado vulgarmente para designar o conector associado ao standard.

ASCII: é uma codificação de caracteres de 8 bits baseada no alfabeto inglês. Os códigos ASCII representam texto em computadores, equipamentos de comunicação, entre outros dispositivos que trabalham com texto.

GUI: é um tipo de interface do utilizador que permite a interação com dispositivos digitais através de elementos gráficos, como ícones e outros indicadores visuais, em contraste a interface de linha de comando.



APÊNDICE A – KIT ULBEE51





APÊNDICE B – ORÇAMENTO

A tabela abaixo apresenta os valores envolvidos nas etapas de projeto e desenvolvimento da estrutura mecânica, circuitos eletroeletrônicos e ensaios realizados.

Descrição	Quantidade	Custo previsto	Custo real
Projeto inicial da estrutura mecânica	1	0	0
Seringas de 50 ml para injeção de corantes	3 unid	R\$ 15,00	R\$ 9,00
Válvulas de retenção	6 unid	R\$ 200,00	R\$ 300,00
Usinagem e retífica das peças	3 conj	R\$ 750,00	R\$ 600,00
Kit microntrolador 8051	1 kit	0	0
Motores de passo unipolares	3 unid	R\$ 120,00	R\$ 65,00
Corantes para utilização em ensaios	* 15 unid (35 ml cada)	0	0
Tinta base C (Suvinil) p/ aplicação de corantes	* 3 Litros	0	0
Base para instalação do sistema de dosagem	1	R\$ 100,00	R\$ 20,00
Web cam para análise de imagens	1	0	0
TOTAL	-----	R\$ 1.185,00	R\$ 994,00

*Produtos cedidos por comerciante para elaboração do projeto.

Custo previsto e real do projeto elaborado.



APÊNDICE C – ROTINA EM ASSEMBLY

```
.*****
;
;          CONFIGURAÇÃO DA SERIAL E TIMER          *
.*****
SETUP:
MOV A,PCON;          SMOD = 1 para duplo Baud Rate
ORL A,#80h
MOV PCON,A
MOV SCON,#01010000b; Modo 1, 8 bit Taxa variável
MOV A,TCON
ORL A,#01000000b;    Set TR1 bit - start baud timer
MOV TCON,A
MOV TMOD,#00100000b; TIMER1 MODE2
MOV IE,#10010000b;  HABILITAÇÃO DA INTERRUPÇÃO SERIAL
MOV TH1,#250      ;    Baud Rate 9600bps
MOV TL1,#250      ;    Baud Rate 9600bps
```

A configuração da comunicação serial realizada permite a comunicação assíncrona com dispositivos a uma taxa de velocidade de 9600bps (Baud Rate). A comunicação foi configurada para funcionar através de interrupção serial gerada pelo microcontrolador. No entanto, durante o processo de movimentação dos êmbolos, a comunicação é bloqueada e habilitada apenas ao fim da dosagem, evitando uma interrupção indevida do processo.

```
.*****
;
;          INTERRUPÇÃO SERIAL          *
.*****

ORG 8023H; INTERRUPÇÃO SERIAL
LJMP RS232
```



```
.*****
;
;               ATENDIMENTO INTERRUÇÃO DA SERIAL           *
;*****
RS232:
    PUSH ACC
    PUSH PSW

CK_PORT: JB TI, ENVIA
          JB RI, RECEBE
          JMP CK_PORT

ENVIA:   CLR TI
          SETB TXEMPTY
          JMP EXIT

RECEBE:  CLR RI
          MOV REC_BYTE, SBUF
          SETB RXEMPTY
          MOV R0, REC_BYTE

EXIT:
    POP PSW
    POP ACC
    RETI

.*****
;
;               DEFINIÇÕES DE FLAGS E MEMÓRIAS PARA ARMAZENAMENTO
;*****

FLAGS   EQU 20H
TXEMPTY EQU FLAGS.0 ; Envio serial finalizado
RXEMPTY EQU FLAGS.1 ; Recebimento serial finalizado
REC_BYTE EQU 22H   ; Byte recebido
REC_R EQU 40H     ; Armazena volume R
REC_G EQU 41H     ; Armazena volume G
REC_B EQU 42H     ; Armazena volume B
```

Para a realização de controle da comunicação serial e solicitações feitas pelo usuário, como volume solicitado para dosagem de corante, foram criados flags e definidas memórias específicas para o armazenamento dos dados recebidos.



```
.*****
;
;                               INDICADORES DE MANUTENÇÃO                               *
;*****
;
MANUT_R: CJNE R1,#32H,MANUT_G      ; VERIFICA NECESSIDADE DE LIMPEZA
        MOV SBUF,#55H              ;ENVA SINAL DE NECESSIDADE DE LIMPEZA DE R
        ACALL ENVIO                ; CHAMA SUBROTINA DE ENVIO
        MOV R1,#00H                ; RESET DO INDICADOR DE MANUTENÇÃO DE R
;
MANUT_G: CJNE R2,#32H,MANUT_B      ; VERIFICA NECESSIDADE DE LIMPEZA
        MOV SBUF,#56H              ;ENVA SINAL DE NECESSIDADE DE LIMPEZA DE G
        ACALL ENVIO                ; CHAMA SUBROTINA DE ENVIO
        MOV R2,#00H                ; RESET DO INDICADOR DE MANUTENÇÃO DE G
;
MANUT_B: CJNE R3,#32H,RETORNO_1    ; VERIFICA NECESSIDADE DE LIMPEZA
        MOV SBUF,#57H              ;ENVA SINAL DE NECESSIDADE DE LIMPEZA DE B
        ACALL ENVIO                ; CHAMA SUBROTINA DE ENVIO
        MOV R3,#00H                ; RESET DO INDICADOR DE MANUTENÇÃO DE B
;
RETORNO_1: ACALL DELAY
        MOV SBUF,#46H              ;ENVA SINAL DE NECESSIDADE DE LIMPEZA DE B
        ACALL ENVIO                ; CHAMA SUBROTINA DE ENVIO
;
RETORNO_2: RET
```

Com o propósito de sugerir ao usuário uma limpeza, como manutenção de um dos sistemas de dosagem, foi desenvolvida uma rotina que envia dados para a interface, sugerindo a manutenção assim que o número de dosagens de cada corante atingir a sequência de 50 (cinquenta) dosagens consecutivas.

```
.*****
;
;                               DELAY STEPPER MOTOR                               *
;*****
;
DELAY:
        MOV R6,#04H
WAIT:  MOV R5,#0FFH
WAIT1:
        DJNZ R5,WAIT1
        DJNZ R6,WAIT
        RET
```



Esta rotina foi desenvolvida para fornecer um intervalo entre os comandos dos sinais da P1 responsáveis pela energização das bobinas dos motores de passo. Diante dos testes realizados, verificou-se que um tempo de aproximadamente 11ms seria suficiente para a realização do acionamento.



APÊNDICE D – MATLAB – PROCESSAMENTO DE IMAGENS E INTERFACE GRÁFICA

```
% --- Executes on slider2 movement.

function slider2_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.slider2=get(hObject,'Value');
handles.slider2=100*handles.slider2;

    load AJUSTE
    if libera_ajuste==0
        return
    else

if (handles.slider2<50)
    set(handles.text4,'String',handles.slider2);
    load RGB
    load MEDIAS
    MEDIA2= MEDIA_G + handles.slider2;
    e=MEDIA2/255
    if e>1
        msgbox('VALOR LIMITE PARA A VERDE.','DOSADORA DE CORANTES');
        return
    else
        if d==0
            MEDIA1= MEDIA_R;
            d=MEDIA1/255
        else
            if f==0
                MEDIA3= MEDIA_B;
                f=MEDIA3/255
            else
                end
            end
        end
        set(handles.text5,'String',MEDIA2);

if handles.slider2>0
    carrega=1
else
    carrega=0
end
    axes(handles.ajustavel);
    x=[0,0,1,1];
    y=[0,1,1,0];
    fill(x,y,[d,e,f])
    axis off
    save MEDIAS d e f carrega

else
    set(handles.text5,'String','LIMITE MÁXIMO DE DOSAGEM');
```



```
end  
end
```

```
guidata(hObject,handles);
```

Esta estrutura foi elaborada para ser executada sempre que o “Slider2” correspondente à cor verde (G) for pressionado pelo usuário. O objetivo é possibilitar alterar a intensidade da cor verde da imagem selecionada para ajuste.

```
% --- Executes on slider3 movement.  
  
function slider3_Callback(hObject, eventdata, handles)  
handles.slider3=get(hObject,'Value');  
handles.slider3=100*handles.slider3;  
  
    load AJUSTE  
    if libera_ajuste==0  
        return  
    else  
if (handles.slider3<50)  
set(handles.text6,'String',handles.slider3);  
load RGB  
load MEDIAS  
MEDIA3= MEDIA_B + handles.slider3;  
f=MEDIA3/255  
if f>1  
msgbox('VALOR LIMITE PARA A AZUL.','DOSADORA DE CORANTES');  
return  
else  
if d==0  
MEDIA1= MEDIA_R;  
d=MEDIA1/255  
else  
if e==0  
MEDIA2= MEDIA_G;  
e=MEDIA2/255  
else  
end  
end  
end  
set(handles.text7,'String',MEDIA3);  
if handles.slider3>0  
carrega=1  
else  
carrega=0  
end  
axes(handles.ajustavel);  
x=[0,0,1,1];  
y=[0,1,1,0];  
fill(x,y,[d,e,f])  
axis off  
save MEDIAS d e f carrega  
else  
set(handles.text7,'String','LIMITE MÁXIMO DE DOSAGEM');  
  
end  
end  
  
guidata(hObject,handles);
```



Esta estrutura foi elaborada para ser executada sempre que o “Slider3” correspondente à cor azul (B) for pressionado pelo usuário. Esta rotina foi desenvolvida para possibilitar alterar a intensidade da cor azul da imagem selecionada para ajuste.

```
% --- Executes on button press in GREEN.

function GREEN_Callback(hObject, eventdata, handles)
load s
fopen(s);
fprintf(s,'%s','G');
fwrite(s,28)
fclose(s);
delete(s);
clear s
```

Esta estrutura foi elaborada para ser executada sempre que o botão “GREEN” correspondente à cor verde for pressionado pelo usuário. Assim que pressionado o botão, a rotina disponibiliza a utilização da porta serial e envia os comandos necessários para a escolha da cor verde, bem como envia o valor de volume configurado para dosagem.

```
% --- Executes on button press in BLUE.

function BLUE_Callback(hObject, eventdata, handles)
load s
fopen(s);
fprintf(s,'%s','B');
fwrite(s,28)
fclose(s);
delete(s);
clear s
```

Esta estrutura foi elaborada para ser executada sempre que o botão “BLUE”, correspondente à cor azul, for pressionado pelo usuário. Assim que pressionado o botão, a rotina disponibiliza a utilização da porta serial e envia os comandos necessários para a escolha da cor azul, bem como envia o valor de volume configurado para dosagem.

```
% --- Executes on button press in RESET.
```



```
function RESET_Callback(hObject, eventdata, handles)
    load RGB
    d=MEDIA_R/255
    e=MEDIA_G/255
    f=MEDIA_B/255
    axes(handles.ajustavel);
    x=[0,0,1,1];
    y=[0,1,1,0];
    fill(x,y,[d,e,f])
    axis off
    libera_ajuste=1
    save AJUSTE libera_ajuste
```

Esta estrutura foi elaborada para ser executada sempre que o botão “RESET” for pressionado pelo usuário. Assim que pressionado o botão, a imagem visualizada para ajuste retornará seus padrões de cores ao formato original.

```
% --- Executes on button press in CYAN.

function CYAN_Callback(hObject, eventdata, handles)
load s
fopen(s);
fprintf(s,'%s','P');
fwrite(s,0)
fwrite(s,55)
fwrite(s,55)
fclose(s);
delete(s);
clear s
```

Esta estrutura foi elaborada para ser executada sempre que o botão “CYAN”, correspondente à cor ciano, for pressionado pelo usuário. Assim que pressionado o botão, a rotina disponibiliza a utilização da porta serial e envia os comandos necessários para a elaboração da cor ciano (mistura das cores verde e azul), bem como envia os valores de volumes correspondentes às cores verde e azul.

```
% --- Executes on button press in YELLOW.

function YELLOW_Callback(hObject, eventdata, handles)
load s
fopen(s);
fprintf(s,'%s','P');
fwrite(s,28)
fwrite(s,28)
fwrite(s,0)
fclose(s);
delete(s);
clear s
```



Esta estrutura foi elaborada para ser executada sempre que o botão “YELLOW”, correspondente à cor amarela, for pressionado pelo usuário. Assim que pressionado o botão, a rotina disponibiliza a utilização da porta serial e envia os comandos necessários para a elaboração da cor amarela (mistura das cores vermelha e verde), bem como envia os valores de volumes correspondentes às cores vermelha e verde.