

## Agradecimentos

Aos colegas e professores que comigo colaboraram, apresentando sugestões e críticas, os meus agradecimentos.

Às empresas *Schneider Electric*, *Siemens* e *Omron*, pela sua colaboração e permissão em utilizar a sua documentação, o meu muito obrigado.

O autor

Junho de 2007

## ÍNDICE

|                                                         |               |
|---------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Capítulo 1 – O Autómato .....</b>                    | <b>1</b>      |
| 1.1. Introdução.....                                    | 1             |
| 1.2. Arquitectura do autómato .....                     | 3             |
| 1.3. Vantagens do autómato programável.....             | 5             |
| 1.4. Classificação dos autómatos.....                   | 5             |
| 1.5. Funcionamento do autómato .....                    | 6             |
| 1.5.1. Fases do funcionamento .....                     | 7             |
| 1.5.2. Tempo de ciclo.....                              | 8             |
| 1.6. Programação de autómatos.....                      | 9             |
| 1.6.1. Linguagens de programação .....                  | 9             |
| 1.6.1.1. Lista de instruções .....                      | 10            |
| 1.6.1.2. Diagrama de contactos .....                    | 12            |
| 1.6.2. Notas sobre programação .....                    | 14            |
| <br><b>Capítulo 2 – Autómatos Twido .....</b>           | <br><b>15</b> |
| 2.1. Memória dos autómatos .....                        | 18            |
| 2.1.1. Salvaguarda da memória .....                     | 19            |
| 2.1.2. Endereçamento da memória.....                    | 20            |
| 2.1.3. Endereços dos bits.....                          | 23            |
| 2.1.4. Endereços dos principais bits do sistema .....   | 25            |
| 2.2. Principais especificações dos autómatos Twido..... | 26            |
| 2.3. Principais especificações das E/S.....             | 28            |
| 2.3.1. Ligações das E/S .....                           | 29            |
| 2.4. Instruções básicas .....                           | 31            |
| 2.4.1. Símbolos das instruções básicas .....            | 32            |
| 2.5. Programar o autómato .....                         | 33            |
| 2.6. Modos de operação do autómato.....                 | 34            |
| 2.6.1. Alteração do modo de operação.....               | 34            |
| 2.7. Inicialização do autómato.....                     | 34            |
| 2.8. Exemplos de programação .....                      | 36            |
| 2.8.1. Instruções lógicas com bits .....                | 36            |
| 2.8.2. Instruções lógicas com parêntesis .....          | 39            |
| 2.8.3. Instruções MPS, MRD e MPP .....                  | 41            |
| 2.8.4. Instruções Set/Reset .....                       | 43            |
| 2.8.5. Blocos função.....                               | 44            |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 2.8.6. Temporizadores.....            | 45 |
| 2.8.7. Contadores .....               | 52 |
| 2.8.8. Instruções de comparação ..... | 61 |
| 2.8.9. Regulação analógica .....      | 63 |
| 2.8.10. Programadores de tambor.....  | 66 |
| 2.8.11. Horodatadores .....           | 68 |

### Capítulo 3 – Autômatos S7-200..... 69

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Memória dos autômatos .....                          | 71  |
| 3.1.1. Salvaguarda da memória.....                        | 72  |
| 3.1.2. Endereçamento da memória.....                      | 73  |
| 3.1.3. Endereços dos bits.....                            | 76  |
| 3.1.4. Endereços das principais marcas especiais .....    | 77  |
| 3.2. Principais especificações dos autômatos S7-200 ..... | 78  |
| 3.3. Principais especificações das E/S.....               | 79  |
| 3.3.1. Ligações das E/S .....                             | 80  |
| 3.4. Instruções básicas .....                             | 83  |
| 3.4.1. Símbolos das instruções básicas .....              | 84  |
| 3.5. Programar o autômato .....                           | 85  |
| 3.6. Modos de operação do autômato.....                   | 86  |
| 3.6.1. Alteração do modo de operação.....                 | 87  |
| 3.7. Inicialização do autômato.....                       | 88  |
| 3.8. Exemplos de programação .....                        | 89  |
| 3.8.1. Instruções lógicas com bits .....                  | 89  |
| 3.8.2. Blocos lógicos.....                                | 93  |
| 3.8.3. Instruções LPS, LRD e LPP.....                     | 96  |
| 3.8.4. Instruções Set/Reset.....                          | 97  |
| 3.8.5. Temporizadores.....                                | 99  |
| 3.8.6. Contadores .....                                   | 105 |
| 3.8.7. Instrução de transferência .....                   | 113 |
| 3.8.8. Instruções de comparação .....                     | 114 |
| 3.8.9. Regulação analógica .....                          | 116 |

### Capítulo 4 – Autômatos CPM1A/2A ..... 119

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 4.1. Memória dos autômatos .....     | 121 |
| 4.1.1. Salvaguarda da memória.....   | 122 |
| 4.1.2. Endereçamento da memória..... | 123 |
| 4.1.3. Endereços dos bits.....       | 124 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.3.1. Autômatos CPM1A .....                                | 124 |
| 4.1.3.2. Autômatos CPM2A.....                                 | 125 |
| 4.1.4. Endereços dos terminais de E/S.....                    | 126 |
| 4.1.5. Endereços dos principais bits/palavras especiais ..... | 127 |
| 4.2. Principais especificações dos autômatos CPM1A/2A.....    | 128 |
| 4.3. Principais especificações das E/S.....                   | 129 |
| 4.3.1. Ligações das E/S .....                                 | 130 |
| 4.4. Instruções básicas .....                                 | 133 |
| 4.4.1. Símbolos das instruções básicas .....                  | 134 |
| 4.5. Consola de programação CQM1 .....                        | 135 |
| 4.5.1. Modos de operação .....                                | 135 |
| 4.5.2. Funções das teclas .....                               | 136 |
| 4.6. Programar o autômato com a consola .....                 | 137 |
| 4.7. Programar o autômato com o computador .....              | 140 |
| 4.8. Inicialização do autômato.....                           | 141 |
| 4.9. Exemplos de programação .....                            | 142 |
| 4.9.1. Instruções lógicas com bits .....                      | 142 |
| 4.9.2. Blocos lógicos.....                                    | 145 |
| 4.9.3. Bits temporários.....                                  | 148 |
| 4.9.4. Instruções Set/Reset e Keep.....                       | 149 |
| 4.9.5. Temporizadores.....                                    | 151 |
| 4.9.6. Contadores .....                                       | 155 |
| 4.9.7. Instrução de transferência .....                       | 158 |
| 4.9.8. Instruções de comparação .....                         | 160 |
| 4.9.9. Regulação analógica .....                              | 163 |

### Capítulo 5 – Método Grafcet..... 165

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 5.1. Introdução.....                      | 165 |
| 5.2. Elementos do Grafcet .....           | 166 |
| 5.2.1. Etapas.....                        | 167 |
| 5.2.1.1. Etapas iniciais.....             | 169 |
| 5.2.2. Transições .....                   | 170 |
| 5.2.2.1. Receptividades .....             | 171 |
| 5.2.3. Ligações orientadas.....           | 172 |
| 5.3. Regras de evolução do Grafcet.....   | 173 |
| 5.4. Tipos de ligações entre etapas ..... | 173 |
| 5.4.1. Sequência única .....              | 174 |
| 5.4.2. Sequências alternativas .....      | 175 |
| 5.4.3. Sequências simultâneas.....        | 177 |
| 5.4.4. Salto de etapas.....               | 179 |

|                                                         |            |
|---------------------------------------------------------|------------|
| 5.4.5. Repetição de etapas .....                        | 180        |
| 5.4.6. Outras estruturas .....                          | 180        |
| 5.4.6.1. Diagramas ligados .....                        | 181        |
| 5.4.6.2. Sub-rotinas .....                              | 182        |
| 5.4.6.3. Macroetapas .....                              | 184        |
| 5.4.7. Síntese das ligações .....                       | 185        |
| 5.4.8. Simplificação de sequências .....                | 186        |
| 5.5. Tipos de receptividades .....                      | 187        |
| 5.5.1. Receptividades prioritárias .....                | 187        |
| 5.5.2. Receptividades exclusivas .....                  | 189        |
| 5.5.3. Receptividades simultâneas .....                 | 190        |
| 5.5.4. Receptividades dependentes de flancos .....      | 191        |
| 5.6. Tipos de acções .....                              | 194        |
| 5.6.1. Acções não memorizadas .....                     | 194        |
| 5.6.2. Acções memorizadas .....                         | 195        |
| 5.6.2.1. Outras formas de memorização .....             | 195        |
| 5.6.3. Acções dependentes do tempo .....                | 197        |
| 5.6.4. Acções condicionadas .....                       | 198        |
| 5.6.5. Acções impulso .....                             | 199        |
| 5.7. Níveis de Grafcet .....                            | 200        |
| <b>Capítulo 6 – Programar o Grafcet .....</b>           | <b>201</b> |
| 6.1. Introdução .....                                   | 201        |
| 6.2. Método de programação do Grafcet .....             | 202        |
| 6.2.1. Aplicação do método de programação .....         | 203        |
| 6.2.1.1. Programar sequências únicas .....              | 203        |
| 6.2.1.2. Programar sequências alternativas .....        | 204        |
| 6.2.1.3. Programar sequências simultâneas .....         | 205        |
| 6.2.1.4. Programar a etapa inicial .....                | 206        |
| 6.3. Programar as acções .....                          | 207        |
| 6.3.1. Situações especiais .....                        | 208        |
| 6.4. Exemplo de aplicação .....                         | 209        |
| 6.4.1. Diagrama funcional da aplicação .....            | 209        |
| 6.4.2. Resolução do exemplo com o autómato Twido .....  | 212        |
| 6.4.2.1. Bits utilizados .....                          | 212        |
| 6.4.2.2. Equações para programar o autómato .....       | 213        |
| 6.4.2.3. Programa em diagrama de contactos .....        | 214        |
| 6.4.2.4. Programa em lista de instruções .....          | 216        |
| 6.4.3. Resolução do exemplo com o autómato S7-200 ..... | 217        |
| 6.4.3.1. Bits utilizados .....                          | 217        |

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 6.4.3.2. Equações para programar o autómato .....         | 218 |
| 6.4.3.3. Programa em diagrama de contactos .....          | 219 |
| 6.4.3.4. Programa em lista de instruções .....            | 221 |
| 6.4.4. Resolução do exemplo com o autómato CPM1A/2A ..... | 222 |
| 6.4.4.1. Bits utilizados .....                            | 222 |
| 6.4.4.2. Equações para programar o autómato .....         | 223 |
| 6.4.4.3. Programa em diagrama de contactos .....          | 224 |
| 6.4.4.4. Programa em lista de instruções .....            | 225 |
| 6.4.5. Esquema de ligação do autómato .....               | 226 |
| 6.4.6. Ensaio da montagem .....                           | 228 |

## **Capítulo 7 – Exemplos de Aplicação ..... 229**

### **PARTE I – Aplicações em autómatos Twido ..... 230**

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. Exemplo 1 – Inversão de marcha de motor trifásico ..... | 230 |
| 7.2. Exemplo 2 – Rega automática .....                       | 238 |
| Solução 1 .....                                              | 239 |
| Solução 2 .....                                              | 249 |
| 7.3. Exemplo 3 – Semáforos .....                             | 258 |
| 7.4. Exemplo 4 – Parque de estacionamento .....              | 271 |

### **PARTE II – Aplicações em autómatos S7-200 ..... 284**

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 7.5. Exemplo 5 – Arranque directo de motor trifásico ..... | 284 |
| 7.6. Exemplo 6 – Portão automático .....                   | 293 |
| 7.7. Exemplo 7 – Selecção de caixas .....                  | 302 |
| 7.8. Exemplo 8 – Trituração de pedra .....                 | 314 |

### **PARTE III – Aplicações em autómatos CPM1A/2A ..... 326**

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 7.9. Exemplo 9 – Monta-cargas .....                   | 326 |
| 7.10. Exemplo 10 – Arranque estrela – triângulo ..... | 336 |
| 7.11. Exemplo 11 – Guilhotina .....                   | 350 |
| 7.12. Exemplo 12 – Elevador .....                     | 360 |

## **Anexo 1 – Montagem e Cablagem de Autómatos ..... 377**

|                      |     |
|----------------------|-----|
| A1.1. Montagem ..... | 377 |
|----------------------|-----|

|                                                   |         |
|---------------------------------------------------|---------|
| A1.2. Cablagem.....                               | 378     |
| A1.2.1. Auxiliares de cablagem.....               | 378     |
| A1.2.2. Distribuição da aparelhagem.....          | 380     |
| A1.2.3. Distâncias mínimas.....                   | 381     |
| A1.2.4. Regras de cablagem.....                   | 382     |
| A1.2.5. Cores/secções dos condutores.....         | 382     |
| <br>Anexo 2 – Sensores e Actuadores.....          | <br>385 |
| A2.1. Sensores.....                               | 385     |
| A2.1.1. Sensores passivos e activos.....          | 385     |
| A2.2. Actuadores.....                             | 386     |
| A2.2.1. Motores eléctricos.....                   | 386     |
| A2.2.2. Cilindros.....                            | 387     |
| A2.3. Referenciação de sensores e actuadores..... | 390     |
| A2.4. Protecções.....                             | 390     |
| A2.4.1. Entradas do autómato.....                 | 391     |
| A2.4.2. Saídas do autómato.....                   | 391     |
| <br>Glossário.....                                | <br>393 |
| <br>Endereços Internet.....                       | <br>394 |
| <br>Bibliografia.....                             | <br>395 |
| <br>Índice Alfabético e Remissivo.....            | <br>397 |

# 1. O AUTÓMATO

## 1.1. INTRODUÇÃO

O Autómato Programável (AP) ou Controlador Lógico Programável (*Programmable Logic Controller – PLC*) utiliza-se, por excelência, no comando de circuitos de automatismos.



Figura 1.1 – Exemplo de um autómato programável.

Trata-se de um equipamento electrónico, programado pelo utilizador, com funcionamento cíclico assegurado por um programa que, devido à facilidade de uso e preço cada vez mais atractivo, entrou definitivamente na automatização dos pequenos e grandes sistemas. O autómato pode ser considerado como um computador cuja arquitectura, sistema operativo, linguagem de programação, entradas/saídas e forma construtiva estão especialmente adaptados para aplicações de controlo industrial. Está concebido para funcionar em ambientes industriais agressivos (temperatura, vibrações, microcortes na tensão, ruído eléctrico, etc.), por isso, é também um equipamento muito robusto.