

Controle Digital

Notas de Aula de Teoria e de Laboratório

Manoel L. Aguiar

5 de Agosto de 2015

Conteúdo

| | | |
|----------|---|-----------|
| I | PRÁTICAS DE CONTROLE DIGITAL | 1 |
| 1 | ORGANIZAÇÃO DO LABORATÓRIO | 3 |
| 1.1 | Introdução | 3 |
| 1.2 | Realização de atividades e experimentos | 3 |
| 1.3 | Descrição dos equipamentos do Laboratório | 4 |
| 1.4 | Aquisição ou Entrada Digital | 4 |
| 1.4.1 | Entrada por Conversor A/D | 4 |
| 1.4.2 | Entrada por Porta Digital | 5 |
| 1.5 | Saída Digital | 6 |
| 1.5.1 | Saída por Conversor D/A | 6 |
| 1.5.2 | Saída por Porta Digital | 7 |
| 1.6 | Estrutura Geral do <i>hardware</i> do <i>LabAcquisition</i> | 8 |
| 1.7 | Características Específicas do <i>Hardware</i> no Laboratório | 9 |
| 2 | INTRODUÇÃO AO LabVIEW | 11 |
| 2.1 | Objetivos | 11 |
| 2.2 | Generalidades | 11 |
| 2.3 | Iniciando o LabVIEW | 13 |
| 2.4 | Operação Básica LabVIEW | 15 |
| 2.5 | Atividades Introdutórias | 16 |
| 3 | DIAGRAMAS E PAINÉIS BÁSICOS | 19 |
| 3.1 | Objetivos | 19 |
| 3.2 | Generalidades | 19 |
| 3.3 | Atividade de aplicação | 21 |
| 4 | ESTRUTURAS NÃO TEMPORIZADAS | 25 |
| 4.1 | Objetivos | 25 |
| 4.2 | Generalidades | 25 |
| 4.3 | Estrutura SEQUENCE | 26 |
| 4.4 | Estrutura CASE (Lógico e Múltiplo) | 26 |
| 4.5 | Estrutura FOR | 28 |
| 4.6 | Estrutura WHILE | 29 |
| 4.7 | Estrutura FORMULA - NODE | 29 |
| 4.8 | Atividade de aplicação | 30 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | SAÍDAS GRÁFICAS E PARA ARQUIVO NÃO TEMPORIZADAS | 32 |
| 5.1 | Objetivos | 32 |
| 5.2 | Generalidades. | 32 |
| 5.3 | Saídas gráficas | 33 |
| 5.3.1 | Saída <i>Chart</i> | 33 |
| 5.3.2 | Saída tipo <i>Graph</i> | 34 |
| 5.4 | Saída tipo <i>Graph XY</i> | 35 |
| 5.5 | Manipulação de dados de arquivos ou para arquivos | 36 |
| 5.6 | Interagindo com o Matlab por meio do LabVIEW : <i>MATLAB-Script</i> | 38 |
| 5.7 | Atividades de aplicação | 40 |
| 6 | ESTRUTURAS TEMPORIZADAS | 42 |
| 6.1 | Objetivos | 42 |
| 6.2 | Generalidades | 42 |
| 6.2.1 | Opção <i>Tick Count</i> (ms) | 43 |
| 6.2.2 | Opção <i>Wait</i> (ms) | 44 |
| 6.2.3 | Opção <i>Wait Until Next</i> (ms) <i>Multiple</i> | 44 |
| 6.2.4 | Opção <i>Time Delay</i> | 45 |
| 6.2.5 | Opções de Data e Manipulação | 45 |
| 6.3 | Atividade de aplicação | 45 |
| 7 | TRATAMENTO DE SINAIS ANALÓGICOS - ENTRADA E SAÍDA POR <i>HARDWARE</i> | 47 |
| 7.1 | Objetivos | 47 |
| 7.2 | Generalidades | 47 |
| 7.2.1 | Entrada Analógica e VIs de leitura analógica | 49 |
| 7.2.2 | Saída analógica e VIs de escrita | 52 |
| 7.3 | Atividades de aplicação | 53 |
| 8 | VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DO TEOREMA DA AMOSTRAGEM | 54 |
| 8.1 | Objetivos | 54 |
| 8.2 | Introdução e generalidades | 54 |
| 8.3 | Atividades de aplicação | 55 |
| 9 | PRÁTICAS DOS CONTROLADORES DIGITAIS | 57 |
| 9.1 | Introdução | 57 |

| | | |
|-----|---|----|
| 9.2 | Descrição do processo | 58 |
| 9.3 | Relação de Grupos e Critérios de Desempenho | 58 |
| 9.4 | Etapas de Avaliação | 58 |
| 9.5 | Descrição da placa do Processo | 65 |

Parte I

**PRÁTICAS DE CONTROLE
DIGITAL**

Laboratório 1

ORGANIZAÇÃO DO LABORATÓRIO

1.1 Introdução

Por meio das aulas de laboratório visa-se o estudo e aplicação de dispositivos e componentes para a realização de controladores digitais, a introdução de técnicas de controle digital, de ferramentas de análise e de implementação destas técnicas de controle bem como, a verificação experimental dos conceitos teóricos abordados nas Partes 1 e 2.

1.2 Realização de atividades e experimentos

O andamento do curso e respectivas atividades têm início com uma série de aulas com grande conteúdo expositivo, através das quais serão discutidas informações sobre tipos e modos de operação de sensores, atuadores, unidades de processamento e ferramentas de simulação/análise e implementação.

Nas diversas fases iniciais do curso serão propostas atividades de simulação com ferramentas de análise e também com o pacote de *software* a ser empregado na implementação de controle digital nas fases finais do curso.

Como forma de finalização e sedimentação dos conceitos teóricos e outros de caráter experimental, uma série de experimentos envolvendo diversos tipos de controladores digitais é proposta como forma de avaliação do aproveitamento do curso. Nesta fase, relativa ao último mês de aulas (5 últimas aulas), cada grupo deverá desenvolver análises teóricas, de simulação e de implementação de controladores estudados na teoria e executar um relatório pertinente dos resultados, bem como das etapas de realização dos

controladores.

1.3 Descrição dos equipamentos do Laboratório

Para a realização das práticas de laboratório de controle digital são disponibilizados alguns equipamentos para uso didático, mas que também são largamente empregados em sistemas industriais de automação, supervisão e controle de processos em grande escala.

O sistema empregado neste caso é o LabVIEW e o LabAcquisition da empresa National Instruments. Enquanto que o LabVIEW é um pacote de *software* muito versátil e dirigido para monitoramento e controle de processos, o *LabAcquisition* configura módulo de *hardware* que é gerenciado pelo programa LabVIEW.

No âmbito do laboratório este equipamento será configurado para controle de processos simples e locais. Normalmente os Controladores de Processos determinam e monitoram as grandezas de referência para os controladores locais em um sistema de controle distribuído ou rede.

Uma visão geral dos procedimentos e formas de uso do *software* LabVIEW é dada no arquivo “Apostila do LabVIEW” disponibilizada em arquivo PDF. Vários dos tópicos abordados na apostila serão estudados e implementados em atividades no laboratório.

Na sequência serão apresentados alguns aspectos da composição e arranjo operacional do sistema de *hardware* disponível, juntamente com a introdução simplificada de procedimentos e tecnologia de sensores e atuadores digitais.

1.4 Aquisição ou Entrada Digital

Por aquisição ou entrada digital entendem-se os procedimentos de fornecer ao processador uma grandeza física em forma digital para ser processada. Uma das formas é através de conversão Analógica-Digital A/D quando o sinal original é de natureza analógica ou contínua ou através de portas digitais quando a grandeza física é de natureza digital ou amostrada em níveis discretos.

1.4.1 Entrada por Conversor A/D

Os procedimentos para realização aquisição ou entradas digitais de sinais analógicos envolvem os conceitos de amostragem e digitalização ou conversão da forma analógica para a forma digital.

Neste aspecto entram em cena os dispositivos de conversão A/D que podem envolver uma grande diversidade de tecnologia e configuração de operação. Conversores A/D

podem atender aos requisitos de uma única entrada de sinal em 8 Bits de discretização até requisitos de múltiplas entradas em 16 Bits em um único “Chip”.

Discretização em 8 Bits significa $2^8 = 256$ diferentes níveis de discretização, enquanto que 16 Bits implicam em $2^{16} = 65536$ níveis de discretização em amplitude. Considerando-se que os “Chips” comerciais A/D operam com sinais de entrada variando entre 0 a 5V, ou 0 a 10V para configurações unipolares e entre -5 a 5V ou -10 a 10V para configuração bipolar, os níveis de discretização podem variar entre os níveis de 78,125 mV a 76 μ V dependendo do caso. A configuração de operação pode ser pré definida para um determinado “Chips” ou pode ser estabelecida por meio de programação em tempo real nos “Chips” A/D programáveis. Alguns “Chips” possuem ainda tecnologia para se configurar os níveis de ganho analógico necessário nas entradas de sinais.

As taxas de amostragem ou intervalos entre aquisições são determinados basicamente pelo usuário final em função da aplicação em questão, desde que obedecendo aos limites operacionais do “Chips” em uso. Neste aspecto existem “Chips” A/D’s que podem operar a uma taxa de amostragem de até centenas de MHz. Um aspecto que também determina a taxa de amostragem é a capacidade do processador principal de gerenciar dados a uma elevada frequência.

1.4.2 Entrada por Porta Digital

Neste caso, assume-se ou considera-se que o sinal se encontra ou é de natureza digital. Neste aspecto o sinal pode ser naturalmente discreto e que é diretamente quantizado em níveis lógicos, como por exemplo, estados lógicos de chaves multicanal ou de estado simples, sinalizadores ou sensores de estado. Outros tipos de sinais digitais possuem característica pulsante com frequência determinada ou não.

Para sinais de estado lógico, o meio de entrada convencional é por meio das chamadas portas I/O, que somente processam sinais digitais e também podem operar em dois sentidos, ou seja, também podem ser portas de saída digital como será visto adiante. Portas do tipo I/O são acessadas via uma estratégia sequencial ou temporizada definida na estrutura do programa em uso.

Para o caso de chaves ou dispositivos de estado lógico discreto, os sinais podem ainda entrar sem que sejam previstos, tais como aqueles que provocam interrupções na CPU do processador principal, mas também podem ser lidos de acordo com uma estratégia de *software*. Neste último caso, portas lógicas de n-Bits são disponibilizadas ao processador e que então são lidas de acordo como necessário. Quando um sinal discreto não se encontra em um nível de tensão adequado aos estados lógicos da unidade de processamento digital, este deve ser compatibilizado antes de ser conectado aos

pontos de entrada digital.

Sinais do tipo pulsante, novamente se não estiverem em níveis de amplitude adequados aos níveis de estado lógico, procede-se uma conformação de níveis. Desta forma, os sinais pulsantes podem ser processados em unidade que promove contagem de pulsos ou contadores, tal que o valor da contagem possa ser lido, periodicamente ou não pelo processador digital.

A leitura do contador pode ser utilizada para se obter o valor da frequência do sinal, da largura do pulso ou simplesmente a taxa de variação de contagem de pulsos, por exemplo na medição de velocidade angular de motores elétricos através de *encoder* incremental.

1.5 Saída Digital

Por saída digital entendem-se os procedimentos de conduzir um valor ou grandeza na forma digital no ambiente da CPU do processador para o ambiente externo à CPU, normalmente para os módulos periféricos de saída.

Periféricos de saída típicos dos sistemas de controle são circuitos eletrônicos que providenciam isolamento elétrica e conversão da entidade digital em níveis de tensão. Este valor de tensão é então conduzido a um bloco de saída pertinente que executa alguma ação em um dispositivo externo. Novamente tal como no caso de entrada digital, pode-se realizar a saída digital por conversão D/A (digital para analógica) ou por porta digital, sendo que esta última opção pode ser temporizada ou não.

1.5.1 Saída por Conversor D/A

Para este caso são empregados os “Chips” de conversores D/A que operam também com várias tecnologias e promovem uma conversão do nível lógico de n-Bits em um sinal de tensão proporcional. Também é usual que os conversores D/A sejam unipolar ou bipolar, obedecendo também aos níveis de amplitude de saída descritos no caso dos A/D e apresentam resolução em Bits semelhante aos A/D.

Na operação do conversor D/A, uma estratégia definida por *software* transfere ao “Chips” ou unidade D/A um valor digital de n-Bits que é convertido em tensão “dentro” deste bloco ou módulo. O sinal analógico é então disponibilizado em um pino do “Chip” ou do módulo de saída. A característica de resposta em frequência dos conversores D/A é função da tecnologia empregada na sua construção, podendo atingir 18 Bits de resolução com 10 ns de tempo de transição ou então menor do que 10 ns para resoluções entre 10 e 8 Bits.

Normalmente o nível de potência do sinal analógico de saída é o mínimo possível por

razões construtivas dos “Chips” em tamanho reduzido. Desta forma é sempre usual a propagação do sinal de saída através de um “*buffer*” ou módulo de isolamento que também provém um certo nível de potência para os circuitos eletrônicos subsequentes.

Se o sistema a ser acionado por este sinal for de potência ainda mais elevada, o sinal do D/A deve ser novamente amplificado ou servir de comando para um bloco de potência, por exemplo um circuito PWM analógico ou um módulo de disparos para SCR’s de potência.

1.5.2 Saída por Porta Digital

As portas de saída digitais podem ser basicamente de dois tipos: as temporizadas e não temporizadas, associadas a “*clock’s*” externos ou internos e que podem ou não ser sincronizados.

Porta de Saída não Temporizada

Uma porta de saída digital não temporizada é simplesmente um barramento de dados “*bufferizado*” disponível como porta I/O digital, onde o sinal digital é convertido Bit-a-Bit em um nível de tensão de acordo com os níveis de estado lógico. Neste caso cada Bit de saída irá comutar (ligar ou desligar) o estado de um dispositivo de saída específico através de relés eletrônicos ou mecânicos.

Neste caso, as ações de comando e controle são do tipo estanque em que o módulo de saída é apenas comutado em estado. O uso da porta de saída digital também é possível em forma de palavra digital em que os n-Bits da porta comanda um módulo de saída, por exemplo em um decodificador de segmentos de *display’s* digitais ou conjuntos de led’s de sinalização.

Porta Digital Temporizada

Portas digitais temporizadas são na realidade dispositivos periféricos que são acessados de forma frequente pelo *software*, o qual disponibiliza dados em forma digital e que determinam o modo de operação destes periféricos. Elementos típicos desta classe são os *Timers* e Contadores que, devidamente programados executam ou sintetizam formas de ondas de tensão, as quais são disponibilizadas aos dispositivos finais de saída. Nos módulos de saída, estas formas de ondas são amplificadas ou comanda módulos de potência ou ainda são re combinadas para gerar outros diferentes padrões de formas de onda.

Uma aplicação típica é a geração de PWM digital com o uso de *Timers* programáveis, cujos sinais pulsantes operam diretamente ou através de isoladores ópticos as bases de semicondutores de potência.

1.6 Estrutura Geral do *hardware* do *LabAcquisition*

Para os propósitos de controle e acionamento digital de sistemas, uma devida estrutura de *hardware* deve ser desenvolvida e, normalmente é definida pelo usuário. O usuário deve então projetar sua estrutura de forma a se obter um *hardware* dedicado ou obter no mercado um conjunto de sub-sistemas necessários e configurá-los adequadamente.

Os diversos fornecedores e fabricantes de sistemas digitais para controle e acionamento de processos possuem uma grande variedade de módulos e em muitos casos são intercambiáveis entre diferentes marcas e também podem ser programadas por uma grande variedade de *software* de apoio/gerenciamento disponível no mercado.

No caso do sistema disponível no laboratório, trata-se de um conjunto *hardware/software* da empresa *National Instruments*, o qual é designado como marca da empresa por *LabAcquisition/LabVIEW*.

A estrutura geral do *hardware* específico em uso no laboratório pode ser consultada em detalhes no arquivo NI_PCIe6321.PDF e está disponível no “*link*” Disciplinas *On-Line*. O nome do arquivo se refere ao modelo da placa de aquisição em questão, que possui 16 entradas analógicas (A/D) de 12 Bits a 100KHz de amostragem, 2 canais de saídas analógicas (D/A) de 12 Bits, porta digital I/O TTL de 8 Bits (linhas) e 2 *timers/counters Up/Down* de 24 Bits. Um diagrama de blocos desta estrutura geral pode ser encontrada no arquivo citado e é vista na Fig.1.1.

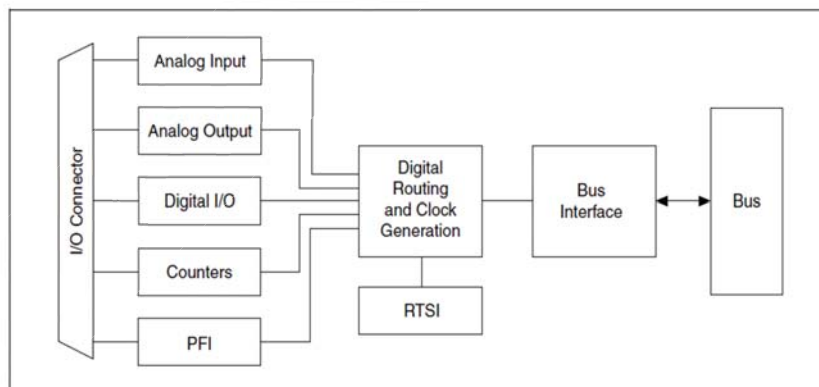


Figura 1.1: Estrutura geral da composição do *hardware* NI PCIe 6321

Este modelo de placa é alocada no barramento *PC-Express* de microcomputadores e é configurada pelo *driver* DAQ_MX da National Instruments. A placa disponibiliza todos os módulos de entrada e saída por meio de um cabo de 68 pinos que é conectado a uma placa externa específica contendo conectores tipo KRE. Nesta placa estão disponíveis todos os sinais de entrada e de saída relativos ao módulo de aquisição. Dois

1.7. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DO HARDWARE NO LABORATÓRIO9

sinais de entrada analógica e dois sinais de saída analógicas são direcionados para o Rack contendo um *backplane* padrão 5B tipo 5B101. Os sinais de entrada analógicas são isolados por meio dos módulos 5B41. Estes módulos operam na faixa de $\pm 10V$ e convertem esta faixa de tensões para $\pm 5V$ que são conduzidos para a placa de aquisição. Esta configuração de distribuição de sinais é indicada na figura 1.2.

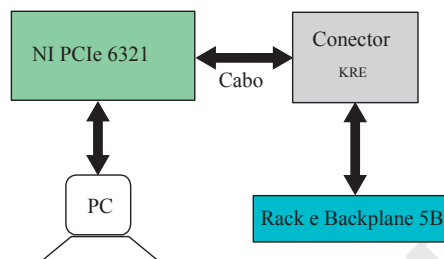


Figura 1.2: Disposição dos módulos de distribuição de sinais

O módulo 5B01 da figura 1.2 é um “*Backplane*” onde são fixados elementos isoladores da classe 5B41-03 que podem configurar ou adaptar sinais analógicos de entrada e também de saída (portas 13 e 14). Os elementos 5B são padrão e podem ser simples isoladores até complexos circuitos de conformação de sinais como amplificadores/atenuadores, filtragem, etc.

No módulo de conectores KRE da figura 1.2 são disponíveis diversos outros canais de entrada e saídas analógicos, bem como muitos outros de tipos de sinais I/O digitais, tais como indicados na figura 1.3.

Nas aulas seguintes serão abordados vários tópicos relacionados ao *software* LabVIEW que como veremos, mantém estreita relação com os tópicos de *hardware* aqui descritos. O LabVIEW pode funcionar independente do *hardware* de aquisição. Neste caso só é possível a realização de simulações com a linguagem G do LabVIEW. Para se entender as características básicas da linguagem G, encontra-se disponível no *link* Disciplinas *On-Line* um arquivo designado Apostila do LabVIEW que contém uma descrição básica dos procedimentos de programação com o LabVIEW.

1.7 Características Específicas do *Hardware* no Laboratório

No caso do *hardware* do *LabAcquisition* instalado no laboratório de controle, algumas configurações de operação foram definidas enquanto da instalação do *hardware* e do *software*.

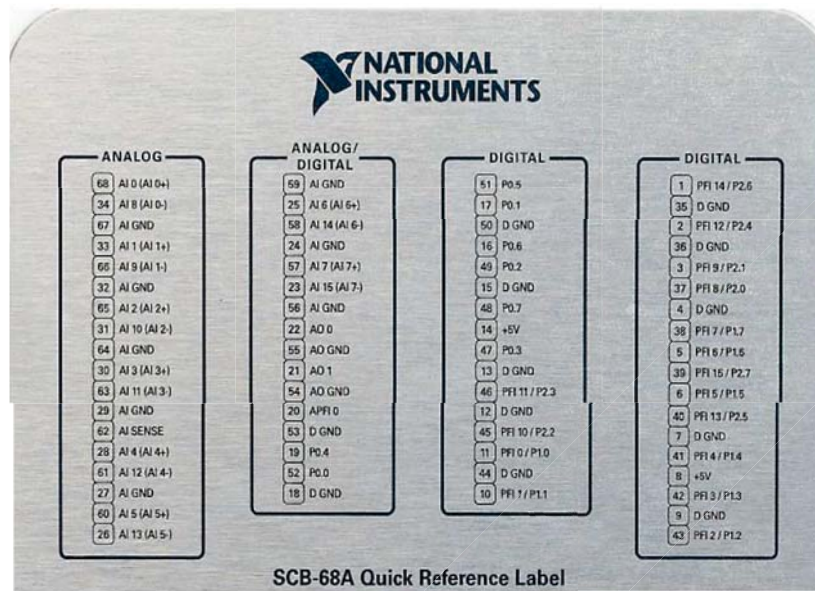


Figura 1.3: Identificação do sinais no Conector KRE

Entradas Analógicas : Só operam nos canais 0 e 1 da placa de aquisição, independente de onde se encontram os elementos de isolamento 5B41-03. Este elemento 5B só admite sinais entre $\pm 10V$ e transfere para a placa de aquisição um sinal de $\pm 5V$, portanto apresenta um fator de escala (atenuação) de 0.5. Cada um dos canais é isolado entre si. Na elaboração do VI de aquisição analógica devem ser utilizados os canais 0 e/ou 1, isto é, Ch_0 ou Ch_1.

Saídas Analógicas : Estas se referem a canal 0 e 1 da placa de aquisição e operam em modo bipolar de $\pm 10V$ e são acessíveis nas portas 13 e 14 do Rack. Na elaboração do VI de saída analógica devem ser utilizados os canais 0 e/ou 1, isto é, Ch_0 ou Ch_1.

Portas Digitais I/O : Disponíveis apenas na placa de conectores KRE.

Sinais Temporizados Timer/Counter : Disponíveis apenas na placa de conectores KRE.