

CURSO DE ELETRÔNICA

ELETRÔNICA DIGITAL - I

Newton C. Braga



VOLUME

3

NCB

**CURSO DE ELETRÔNICA
ELETRÔNICA DIGITAL - PARTE 1**

NEWTON C. BRAGA



Instituto NCB

www.newtoncbraga.com.br

contato@newtoncbraga.com.br

CURSO DE ELETRÔNICA -

Eletrônica Digital - 1

Autor: Newton C. Braga

São Paulo - Brasil - 2012

Palavras-chave: Eletrônica - Engenharia Eletrônica
- Componentes - Educação Tecnológica

Diretor responsável: Newton C. Braga

Diagramação e Coordenação: Renato Paiotti

MAIS INFORMAÇÕES

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA

<http://www.newtoncbraga.com.br>

NOTA IMPORTANTE

Esta série de livros fornece conhecimentos básicos de eletrônica para cursos regulares, cursos a distância e para autodidatas consistindo, portanto numa literatura cuja finalidade é apoio, iniciação ou complementação de conhecimentos. Sua aquisição não implica no direito a obtenção de certificados ou diplomas os quais devem ser emitidos pelas instituições que adotam o livro ou ainda ministram cursos de outras formas. Da mesma forma o autor ou a editora não se responsabilizam por eventuais problemas que possam ser causados pelo uso indevido das informações nele contidas como o não funcionamento de projetos, ferimentos ou danos causados a terceiros de forma acidental ou proposital, ou ainda prejuízos de ordem moral ou financeira. Os eventuais experimentos citados quando realizados por menores devem ter sempre a supervisão de um adulto. Todo cuidado foi tomado para que o material utilizado seja encontrado com facilidade na época da edição do livro, mas as mudanças tecnológicas são muito rápidas o que nos leva a não nos responsabilizarmos pela eventual dificuldade em se obter componentes para os experimentos quando indicados em outros livros desta série.

Copyright by
INSTITUTO NEWTON C. BRAGA
1ª edição

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfilmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos, videográficos, atualmente existentes ou que venham a ser inventados. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial em qualquer parte da obra em qualquer programa juscibernético atualmente em uso ou que venha a ser desenvolvido ou implantado no futuro. Estas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal, cf. Lei nº 6.895, de 17/12/80) com pena de prisão e multa, conjuntamente com busca e apreensão e indenização diversas (artigos 122, 123, 124, 126 da Lei nº 5.988, de 14/12/73, Lei dos Direitos Autorais).

ÍNDICE

1 - Eletrônica Analógica e Digital -

Sistemas de Numeração	11
1.1 - Analógico e digital	12
1.2 – Lógica digital	14
1.3 – Sistemas de numeração	16
1.4 – Numeração binária	18
1.4.1 - Quilo, Mega e Giga	24
1.5 – Binários menores que 1	25
1.5.1 - Potências Negativas de 2	26
1.6 – Formas diferentes de usar o sistema binário ..	26
1.6.1 - Sistema BCD (Decimal Codificado em Binário)	26
1.6.2 – Código Biquinário	28
1.6.3 – Código Excesso 3 (XS3)	28
1.6.4 - Código Aiken ou 2421	29
1.6.5 – Código Gray	29
1.6.6 – Código 987654321	30
1.6.7 - ASCII	31
1.6.8 – Código Fortran	32
1.6.9 - Códigos de erros	33
1.6.10 – Binário com Paridade	33
1.6.11 - Código 2 de 5	34
1.7 - Sistema Hexadecimal	34
1.8 – Aritmética Binária	37
Termos em inglês	40

2 - A Álgebra de Boole

2 - A Álgebra de Boole	43
2.1 - A algebra de Boole	44
2.2 - Os níveis lógicos	45
2.3 - Operações Lógicas	46
2.3.1 – Raciocínio Lógico e notações	48
2.4 - Função Lógica NÃO ou Inversora	50
2.5 - Função Lógica E (AND)	52
2.6 - Função lógica OU	54
2.7 - Função NÃO-E (NAND)	56
2.8 - Função Não-Ou (NOR)	59
2.9 - Função Ou-exclusivo (Exclusive-OR)	61

2.10 - Função Não-Ou exclusivo ou coincidência (Exclusive-NOR)	62
2.11 - Propriedades das operações lógicas	63
Relações Booleanas	73
Teoremas de De Morgan:	73
2.12 - Fazendo tudo com portas NAND ou Não-OU	74

3 - Famílias de Circuitos, Lógicos Digitais

3 - Famílias de Circuitos, Lógicos Digitais	79
3.1 - O transistor como chave eletrônica	80
3.2 - Melhorando o desempenho	81
3.3 - A família TTL	83
3.3.1. - Consumo & Velocidade	86
3.4 - Outras Características da Família TTL	86
3.4.1 - Correntes de entrada:	86
3.4.2 - Correntes de saída	88
3.4.3 - Fan In e Fan Out	89
3.4.4 - Velocidade	91
3.5 - Subfamílias TTL	92
3.6 - Compatibilidade entre as subfamílias	95
3.7 - Open Collector e Totem-Pole	96
3.8 - Tri-State	98
Termos em Inglês:	101

4 - A Família de Circuitos

Integrados CMOS	103
4.1 – Os circuitos integrados CMOS	104
4.2 - Aplicações digitais	107
4.3 – Consumo e velocidade	108
4.4 – Famílias e Subfamílias CMOS	112
4.5 – Sensibilidade ao manuseio	113
4.6 - As Configurações CMOS	116
4.7 -Especificações	118
4.7.1 – Desacoplamento	121
4.8 – Interfaceando	121
4.9 – Fontes de alimentação	126
Termos em Inglês	132

5 - Combinando Funções Lógicas (Lógica Combinacional)	135	7 - Os Flip-Flops e Funções, Integradas em Circuitos Integrados	183
5.1 - As tabelas verdade	136	7.1 - Os flip-flops TTL	184
5.2 - Lógica Combinacional	137	7.2 - Os flip-flops CMOS	194
5.3 - Como Projetar Um Circuito Combinacional ..	140	7.3 - Funções lógicas TTL	200
5.4 - Simplificando e Minimizando	148	7.4 - Funções lógicas CMOS	204
5.5 - Diagramas de Karnaugh	149	7.5 - A Função Tri-State Expansível do 4048	209
Termos em inglês	155	Termos em Inglês:	212
6 - Os Elementos Biestáveis	157	A - RESPOSTAS - FONTES PARA INTEGRADOS TTL	215
6.1 - Os Flip-Flops	158	A.1 - Fontes para integrados TTL	215
6.2 - Flip-flop R-S	159	Fonte TTL de 5 V x 1 A	215
6.2.1 - Repiques	164	Fonte TTL 5 V x 5 - LM301	216
6.3 - Flip-flops RS com Clock Mestre-Escravo	164	Fonte de 5 V x 500 mA	216
6.4 - O flip-flop J-K Mestre-Escravo	170		
6.5 - O flip-flop tipo D	175		
6.6 - Flip-flop tipo T	175		
6.7 - Transformando Flip-Flops	177		
6.8 - Nos equipamentos digitais	179		
6.9. Os flip-flops antigos	180		
Termos em inglês:	181		

Em 1972, já com experiência no ensino de eletrônica em cursos presenciais, fui contratado por uma grande organização de ensino por correspondência para renovar seu curso prático de eletrônica. Completado esse trabalho, fui trabalhar na Editora Saber em 1976 onde passei a publicar nas páginas da Revista Saber Eletrônica o primeiro Curso de Eletrônica em Instrução Programada, uma novidade que atraiu a atenção de milhares de leitores que tiveram sua formação inicial totalmente apoiada nos ensinamentos que então disponibilizamos. O sucesso deste curso fez com que em diversas ocasiões posteriores o curso fosse repetido e atualizado nas páginas da mesma revista e na revista Eletrônica Total. Neste intervalo publicamos a primeira edição completa desse curso que recebeu o nome de Curso Básico de Eletrônica e chegou até sua quinta edição, posteriormente sendo em 2009 transformado numa apostila. No entanto, desde a primeira edição e o primeiro curso na revista, muita coisa mudou, e se bem que diversas atualizações fossem feitas, chegou o momento de se fazer algo novo, adaptado aos novos tempos da eletrônica, num formato mais atual e com conteúdo que seja mais útil a todos que desejarem aprender o básico da eletrônica. Desta forma o conteúdo do curso anterior foi separado em dois, Curso de Eletrônica - Eletrônica Básica (já publicado – Vol 1 da série) e Curso de Eletrônica - Eletrônica Analógica (que é este volume – Vol 2), os quais devem ser completados com uma nova versão do Curso de Eletrônica Digital. O Curso de Eletrônica Digital foi remodelado, sendo dividido em dois volumes. Este é o primeiro e depois do segundo teremos um quinto volume da série com uma parte prática. Assim, neste primeiro volume do Curso de Eletrônica Digital, abordamos todo o conhecimento adquirido nos volumes anteriores passando isto para esta tecnologia além de incluir mais informações sobre novas tecnologias, novos componentes e novas aplicações. Podemos dizer que este livro, como os demais, podem ser considerados a plataforma de iniciação ideal para muitos cursos, dos técnicos às disciplinas eletivas, da reciclagem de conhecimentos até aqueles que desejam ter na eletrônica uma segunda atividade ou precisam deles para o seu trabalho em área relacionada.

Newton C. Braga

Desde 1999, quando criamos a primeira versão deste Curso de Eletrônica Digital que pudesse servir de iniciação aos que desejassem ter conhecimentos desta tecnologia, ela passou por grandes transformações. Do fim da válvula ao transistor, quando começamos e os primeiros circuitos integrados, a eletrônica evoluiu para a tecnologia dos CIs de alto grau de integração, os FPGAs, os DSPs, microcontroladores e as montagens em superfície. Assim, nosso livro Curso de Eletrônica Digital, com o primeiro volume tratando dos conceitos básicos e componentes das tecnologias TTL e CMOS, ele pode ser considerado um curso atualizado com finalidades um pouco diferentes das que visava na época de sua criação original. A eletrônica digital está presente numa infinidade de aplicações de uma forma muito avançada, no entanto, para que possamos dominar essas novas aplicações, precisamos conhecer seus fundamentos. Desta forma, este Curso de Eletrônica digital é um curso de fundamentos que devem ser aplicados nos ramos específicos nos quais o profissional vai se especializar. Estes ramos incluem a automação (mecatrônica), telecomunicações, instrumentação, eletrônica embarcada, e muitos outros. Assim, nosso curso visando justamente às necessidades de conhecimento que a preparação para essas áreas pedem, tem uma abordagem direta e rápida de conceitos que, em princípio, exigem o conhecimento prévio dados nos dois primeiros volumes da série, Eletrônica Básica e Eletrônica Analógica.

Capítulo 1 - Nesta lição estudaremos as diferenças entre o que é analógico e o que é digital, com uma introdução à lógica digital e os sistemas de numeração, com ênfase a numeração binária. Também veremos como utilizar os binários e o sistema hexadecimal, além das regras da aritmética binária.

Capítulo 2 – O assunto desta lição é a Álgebra de Boole, base de toda a tecnologia digital. Estudaremos também as funções lógicas utilizadas na prática, analisando suas propriedades e suas aplicações. Estas funções são as E, OU, Não-E e Não-Ou além de outras.

Capítulo 3 – A terceira lição deste curso analisa o transistor como chave eletrônica e como ele pode ser utilizado nos circuitos digitais. Teremos uma introdução à família TTL, suas subfamílias e também analisaremos a compatibilidade com outras famílias. Trataremos de algumas características importantes desta família como as saídas tri-state.

Capítulo 4 – A lição 4 dedica-se aos componentes da família lógica CMOS, analisando-se suas aplicações e características. Vere-

mos quais são as funções disponíveis e suas configurações. Também veremos como interfacear os componentes desta família com outros circuitos.

Capítulo 5 – O assunto desta lição é a lógica combinacional, ou seja, como os circuitos lógicos digitais podem ser combinados para realizar funções complexas. Aprenderemos como simplificar os circuitos e como usar os diagrama da Karnaugh para esta finalidade.

Capítulo 6 – A importância dos flip-flops na tecnologia digital é muito grande e existem diversos tipos destes blocos. Analisaremos nesta lição como funcionam os diversos tipos de flip-flops e onde eles podem ser usados. Também veremos como eles podem ser transformados.

Capítulo 7 – A importância dos flip-flops ficou patente na lição anterior. Nesta lição estudaremos tanto os flip-flops em tecnologia TTL como CMOS e como usá-los. Também trataremos de algumas funções lógicas disponíveis em tecnologia TTL e CMOS.

Enfim, o conteúdo estudado pode ser considerado como mais um degrau de uma escada que levará os interessados a um mundo de conhecimento técnico capaz de significar sua realização profissional e muito mais que isso, a satisfação pessoal de dominar as mais importantes tecnologias de nosso tempo.

Newton C. Braga



» Eletrônica Analógica e Digital

» Sistemas de Numeração

Nesta primeira lição de nosso curso trataremos do relacionamento entre a eletrônica analógica (que estudamos nos dois primeiros volumes desta série de Cursos) e a eletrônica digital. Veremos quais são as diferenças entre as duas eletrônicas, de modo a poder entender melhor o que realmente se denomina eletrônica digital. Teremos uma noção básica sobre o modo como os circuitos digitais processam numericamente as informações funcionam e como os sistemas de numeração, com ênfase na numeração binária e hexadecimal. Esta lição será então formada pelos seguintes itens:

- 1.1 – Analógico e digital
- 1.2 – Lógica digital
- 1.3 – Sistema de numeração
- 1.4 – Numeração binária
- 1.5 - Binários menores que 1
- 1.6 – Formas diferentes de usar binários
- 1.7 – Sistema hexadecimal
- 1.8 – Aritmética binária

Objetivos desta lição:

- Diferenciar grandezas analógicas e digitais
- Entender o que é lógica digital
- Estudar os diferentes sistemas de numeração
- Conhecer a numeração binária
- Contato com alguns códigos binários importantes
- Aprender como funciona a numeração hexadecimal
- Entender como as operações de soma, subtração, multiplicação e divisão com binários são realizadas

DSP

Uma tecnologia muito importante em nossos dias é a que faz uso dos DSPs ou Digital Signal Processor ou Processadores Digitais de Sinais. Estes circuitos processam sinais analógicos, convertendo-os para a forma digital e depois retornam com estes sinais processados para sua forma original analógica. Trata-se de um “interfaceamento” digital do mundo analógico. A Texas Instruments possui uma ampla linha de processadores de sinais digitais, como os da série TMS320.

**1.1 - Analógico e digital**

Por que digital? Esta é certamente a primeira pergunta que qualquer leitor que está “chegando agora”, e tem apenas alguma base teórica da Eletrônica, principalmente da eletrônica analógica, como a ensinada nos primeiros volumes desta série, faria ao encontrar o nosso curso.

Por este motivo, começamos nosso curso justamente por explicar as diferenças entre as duas eletrônicas, de modo que elas fiquem bem claras. Devemos lembrar que em muitos equipamentos, mesmo classificados como analógicos ou digitais, encontraremos os dois tipos de circuitos. É o caso dos computadores, processadores, equipamentos de telecomunicações, automatismos e instrumentos de laboratório, e muitos outros que, mesmo sendo classificados como “máquinas estritamente digitais”, podem ter em alguns pontos de seus circuitos configurações analógicas.

Uma definição encontrada nos livros especializados atribui o nome “Eletrônica Digital” aos circuitos que operam com quantidades que só podem ser incrementadas ou decrementadas em passos finitos.

Um exemplo disso é dado pelos circuitos que operam com impulsos. Só podemos ter números inteiros de pulsos sendo trabalhados em qualquer momento em qualquer ponto do circuito. Em nenhum lugar encontramos “meio pulso” ou “um quarto de pulso”.

A palavra digital também está associada a dígito (do latim digitus de “dedo”) que esta associado à representação de quantidades inteiras. Não podemos usar os dedos para representar meio pulso ou um quarto de pulso.

Na eletrônica analógica trabalhamos com quantidades ou sinais que podem ter valores que variam de modo contínuo numa escala. Os valores dos sinais não precisam ser inteiros. Por exemplo, um sinal de áudio, que é analógico, varia suavemente entre dois extremos enquanto que um sinal digital só pode variar aos saltos, conforme mostra a figura 1.

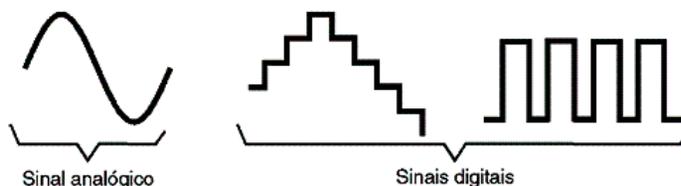


Figura 1 – Um sinal digital varia em saltos, ou seja, assume valores discretos

Conforme o leitor pode perceber, a diferença básica entre os dois tipos de eletrônica está associada inicialmente ao tipo de sinal com que elas trabalham e no que elas fazem com os sinais.

De uma forma resumida podemos dizer que:

- A eletrônica digital trabalha com sinais que só podem assumir valores discretos ou inteiros.

· A eletrônica analógica trabalha com sinais que podem ter qualquer valor entre dois limites.

Onde Encontramos A Eletrônica Digital

COMPUTADORES - os computadores atuais são digitais em sua totalidade, e praticamente não se usa outro tipo de configuração, a não ser no interfaceamento com o mundo exterior, pois somos analógicos. No entanto, nem sempre foi assim. Nas primeiras décadas deste século, quando os circuitos eram ainda valvulados os primeiros computadores eram máquinas analógicas. A imprecisão, e algumas outras dificuldades técnicas, que estes computadores apresentavam fizeram com que eles logo fossem substituídos pelos circuitos digitais que nós usamos hoje.

TELECOMUNICAÇÕES - Antigamente também, todos os equipamentos de telecomunicações trabalhavam diretamente com sinais analógicos vindos de microfones, câmeras de TV e outras fontes. No entanto, atualmente a maioria das transmissões de informações sem fio, por ondas de rádio, e por meios físicos como fibras ópticas e cabos, ocorre na forma digital. Os sinais analógicos são convertidos em digitais e, com isso, transmitidos de forma muito mais eficiente.

INDÚSTRIA E AUTOMAÇÃO - Antigamente, os controles de máquinas industriais eram simples, não passando de interruptores e chaves ou, no máximo, dispositivos que controlavam diretamente sinais analógicos. Também neste caso, tivemos uma evolução com o uso de microprocessadores, microcontroladores e DSPs (Digital Signal Processors ou Processadores Digitais de Sinais). Neles, os sinais analógicos de sensores e controle são convertidos em sinais digitais e usados nos equipamentos.

INSTRUMENTAÇÃO – A maioria dos instrumentos de laboratório são digitais. Com uma precisão maior e a possibilidade de processar as medidas feitas, eles ainda podem ter recursos para gravar ou enviar dados através da internet ou outros meios de transmissão, com recursos muito maiores do que os equivalentes analógicos.

ELETRÔNICA DE CONSUMO – Muitos dos eletro-eletrônicos que utilizamos hoje possuem chips de controle que nada mais são do que microcontroladores, operando de forma totalmente digital. Isso ocorre com seu aquecedor a gás, seu forno de microondas, seu relógio digital, calculadora, TV, DVD player, e muito mais.

ELETRÔNICA EMBARCADA – Todos os veículos modernos possuem um microcontrolador que gerencia o funcionamento de suas

Nosso mundo digital – a todo instante estamos em contato com equipamentos digitais. Na foto temos apenas alguns deles.



partes, do motor aos sistemas de segurança e navegação, incluindo-se o GPS e sistemas de entretenimento.

ELETRÔNICA MÉDICA – Uma vasta quantidade de equipamentos médicos utiliza recursos digitais no seu controle, com um grau de sofisticação elevado, pela capacidade dos circuitos empregados. São equipamentos de raios-X, tomografia, etc.

1.2 – Lógica digital

Todos os equipamentos que usam circuitos digitais funcionam obedecendo a um tipo de comportamento baseado no que se denomina Lógica.

Diferentemente dos circuitos amplificadores comuns que simplesmente amplificam, atenuam ou realizam algum tipo de processamento simples dos sinais, os circuitos digitais não processam os sinais baseados em uma finalidade simples que é determinada quando são fabricados.

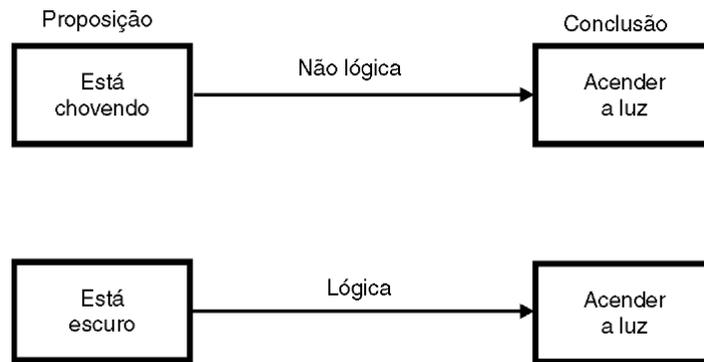
Os circuitos digitais de todos os equipamentos que fazem uso desta tecnologia são capazes de combinar os sinais, tomando decisões segundo um comportamento lógico.

É evidente que, se o leitor deseja realmente entender as coisas que ocorrem com os circuitos digitais, deve partir exatamente do aprendizado do comportamento que desejamos que eles tenham, ou seja, um comportamento lógico e isso implica em saber que tipo de comportamento é este.

Podemos dizer que a partir da lógica podemos tirar conclusões a partir de fatos conhecidos, ou tomar decisões a partir de fatos conhecidos.

Por exemplo, a decisão de “acender uma lâmpada quando está escuro” é uma decisão lógica, pois a proposição e a conclusão são fatos relacionados.

Ao contrário, a decisão de “acender uma lâmpada porque está chovendo” não é uma decisão lógica, pois os fatos envolvidos não têm relação.



Elementos simples de lógica são a base de funcionamento dos circuitos digitais.

Figura 2 – Decisões que envolvem lógica e que não são lógicas

Outros exemplos de lógica:

- Acionar um relé quando a temperatura chega a um determinado valor
- Tocar uma campainha quando uma peça chegar a uma determinada posição.
- Abrir uma porta quando a senha correta for digitada num teclado

Evidentemente, os fatos relacionados acima são simples e servem para exemplificar como as coisas funcionam.

Na eletrônica dos controles lógicos de máquinas, como os microprocessadores, microcontroladores, DSPs e computadores, o que temos é a aplicação da lógica digital, ou seja, de circuitos que operam tomando decisões em função de coisas que acontecem no seu próprio interior ou em dispositivos que estejam ligados a eles.

As decisões são extremamente simples, mas se combinarmos muitas delas poderemos ter comportamentos muito complexos, como os encontrados nos computadores, máquinas industriais, microcontroladores, robôs, etc.

É claro que estes equipamentos e seus circuitos digitais não podem entender coisas como está escuro ou está chovendo e tomar decisões.

Os circuitos lógicos digitais trabalham com sinais elétricos.

Assim, os circuitos lógicos digitais nada mais fazem do que receber sinais com determinadas características e em sua função tomam decisões que nada mais são do que a produção de outro sinal elétrico.

Mas, se os sinais elétricos são digitais, ou seja, representam quantidades discretas, e se a lógica é baseada em tomada de decisões, o próximo passo no entendimento da eletrônica digital, com sua lógica é justamente partir para o modo como as quantidades discretas são representadas e entendidas pelos circuitos eletrônicos.

Definição de lógica

Uma definição comum de lógica é aquela que a coloca como “a ciência das leis do pensamento”, ou seja, do conhecimento das leis do pensamento. No entanto, uma definição mais adequada seria a de que “a lógica a ciência das leis do raciocínio”, no sentido de que ela garante que nossos pensamentos ocorram de forma correta levando a conhecimentos verdadeiros.

1.3 – Sistemas de numeração

O modo como contamos as quantidades vem do fato de possuímos 10 dedos. Assim, tomando os dedos das mãos, podemos contar objetos com facilidade até certo ponto.

O ponto crítico ocorre quando temos quantidades maiores do que 10. O homem resolveu o problema passando a indicar também a quantidade de mãos, ou de vezes em que os dez dedos são usados.

Assim, quando dizemos que temos 27 objetos, o 2 indica que temos “duas vezes as mãos cheias” ou duas dezenas mais 7 objetos. O 2 tem peso 10. Da mesma forma, quando dizemos que temos 237 objetos, o 2 agora indica que temos “duas dezenas de pares de mãos cheias” ou duas centenas enquanto que o 3 indica que temos mais 3 pares de mãos cheias e finalmente o 7, mais 7 objetos, conforme mostra a figura 3.

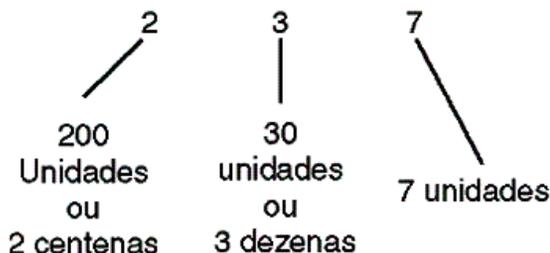


Figura 3 – O algarismo tem um valor que depende da sua posição relativa no número representado.

Em outras palavras a posição dos algarismos na representação dos números tem um peso e no nosso sistema de numeração que é decimal, esse peso é 10, conforme mostra a figura 4.

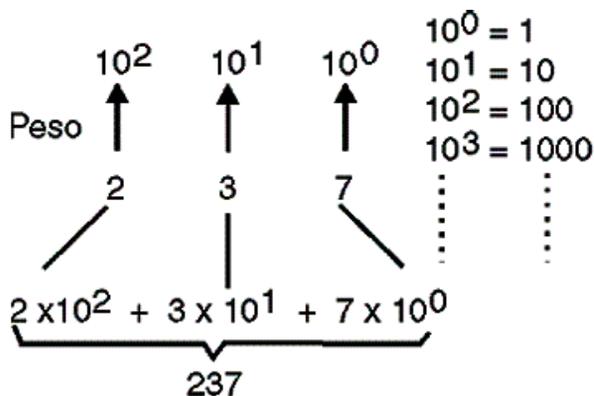


Figura 4 - No sistema de numeração decimal, os pesos dos algarismos são potências de 10

O que aconteceria se tivéssemos um número diferente de dedos, por exemplo, 2 em cada mão?

Isso significaria, em primeiro lugar, que no nosso sistema de base 4 (e não base 10) só existiriam 4 algarismos para representar os números: 1, 2, 3 e 4, conforme mostra a figura 5.

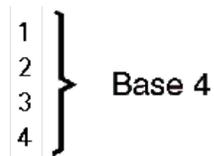


Figura 5 – Apenas 4 algarismos estariam disponíveis para representar as quantidades

Para representar uma quantidade maior do que 4, teríamos de usar mais de um algarismo.

Assim, para indicar 7 objetos na base 4, teríamos “uma mão cheia com 4” e mais 3. Isso daria 13, conforme mostra a figura 6.

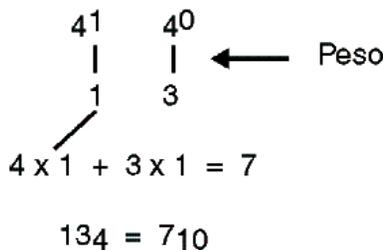


Figura 6 – Representando uma quantidade maior que 4. Para 7 teríamos 13_4 ,

Notação

O índice “4” no 13_4 indica que o valor representado está na base 4. Da mesma forma 7_{10} , o 10 indica que o valor representado está na base 10.

Veja então que no “13” na base 4, o 1 tem peso 4, enquanto que o 3 tem o seu valor normal.

De uma forma generalizada dizemos que, dependendo da base do sistema, os algarismos têm “pesos” que correspondem à sua posição no número, e que estes pesos são potências da base.

Por exemplo, para a base 10, cada algarismo a partir da direita tem um peso que é uma potência de 10 em ordem crescente, o que nos leva à unidade (10 elevado a 1), à dezena (dez elevado ao expoente 1), à centena (dez elevado ao quadrado), ao milhar (dez elevado ao cubo) e assim por diante, conforme mostra a figura 7.

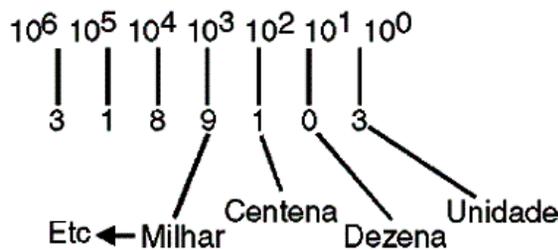


Figura 7 – Os pesos dos algarismos aumentam da direita para a esquerda

Em eletrônica digital, costumamos dizer que o dígito mais à direita, por representar a menor potência ou ter menor peso, é o dígito (ou bit*) menos significativo ou LSB (Least Significant Bit), enquanto que aquele que está mais à esquerda é o mais significativo ou MSB (Most Significant Bit).

* O bit que é o dígito binário (na base 2) será estudado mais adiante

Os circuitos eletrônicos não possuem dedos. É evidente também que não seria muito fácil projetar circuitos que sejam capazes de reconhecer 10 níveis de uma tensão, ou de outra grandeza elétrica, sem o perigo de que, qualquer pequeno problema os leve a uma confusão.

Uma pequena variação da tensão nestes circuitos pode mudar um 3 para 4 ou vice-versa, afetando os cálculos que ele tenha que realizar.

Muito mais simples para os circuitos eletrônicos é trabalhar com um sistema de numeração que esteja mais de acordo com o seu princípio de funcionamento e isso realmente é feito.

Um circuito eletrônico pode ter ou não ter corrente, pode ter ou não ter tensão, pode receber ou não um pulso elétrico.

Também é muito mais fácil diferenciarmos dois estados de elementos indicadores como uma lâmpada acesa ou apagada, uma campainha em silêncio ou tocando.

Ora, os circuitos eletrônicos são mais apropriados para operar com sinais que tenham duas condições possíveis, ou seja, que representem dois dígitos ou algarismos.

Também podemos dizer que as regras que regem o funcionamento dos circuitos que operem com apenas duas condições possíveis são muito mais simples.

Houve época em que se tentou trabalhar com as quantidades na forma original analógica, com a criação de computadores capazes de realizar cálculos complexos, mas com o tempo ficou claro que trabalhar com duas condições possíveis apenas para os circuitos, adotando uma lógica digital, era muito mais vantajoso, por diversos motivos.

Assim, o sistema adotado nos circuitos eletrônicos digitais modernos é o sistema binário ou de base 2 onde apenas dois dígitos são usados, correspondentes a duas condições possíveis de um circuito: 0 e 1.

Mas, como podemos representar qualquer quantidade usando apenas dois algarismos?

A idéia básica é a mesma usada na representação de quantidades no sistema decimal: atribuir pesos aos dígitos conforme sua posição no número.

Para entendermos melhor como tudo isso funciona, vamos tomar como exemplo o valor 1101 que em binário representa o número 13 decimal (*) e ver como isso ocorre.

O primeiro dígito da direita nos indica que temos uma vez o

Computadores analógicos

Usando amplificadores operacionais (veja Volume 2 – Eletrônica Analógica) foram construídos computadores capazes de realizar operações matemáticas com estes componentes. Estes computadores analógicos, originalmente foram criados para calcular tabelas de tiros, para aplicações militares. Na foto, um computador analógico vendido em kit na década de 50.



Computador analógico vendido em kit da década de 1950.

(*) Para não fazermos confusões em relação ao tipo de base que está sendo usada para representar um número ou quantidade, é comum colocarmos ao lado, como índice, a base que está sendo usada. Assim, ao falarmos em 1101 em binário, escrevemos simplesmente 1101_2 e para representar 13 em decimal, escrevemos 13_{10} . Esta forma de indicarmos as bases de um número, será adotada em nossas lições daqui por diante.

peso deste dígito ou 1. O zero do segundo dígito da direita para a esquerda, indica que não temos nada com o peso 2. Agora o terceiro dígito da direita para a esquerda, e que tem peso 4, é um 1, o que indica que temos “uma vez quatro”. Finalmente o primeiro dígito da esquerda que é um 1, e que está na posição de peso 8, nos diz que temos “uma vez oito”.

Somando uma vez oito, com uma vez quatro e uma vez um, temos o total que é justamente a quantidade que conhecemos em decimal como treze.

Veja então que, conforme mostra a figura 9, na numeração binária, os dígitos vão tendo pesos, da direita para a esquerda que são potencias de 2, ou seja, dois elevado ao expoente zero que é um, dois elevado ao expoente 1 que é 2; dois ao quadrado que é 4 e assim por diante.

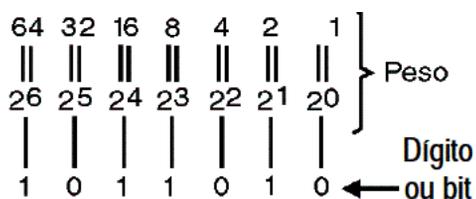


Figura 9 – Os pesos aumentam da direita para a esquerda, segundo potências de 2

Para o leitor, basta lembrar que a cada dígito que nos deslocamos para a esquerda, seu peso dobra, conforme mostra a figura 10.

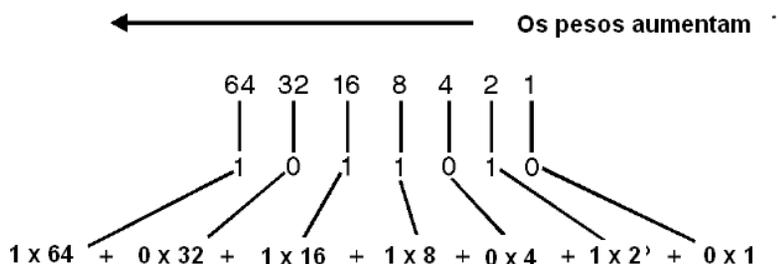


Figura 10 – Uma representação binária

Como não existe um limite para os valores dos pesos, isso significa que é possível representar qualquer quantidade em binário, por maior que seja, simplesmente usando a quantidade apropriada de dígitos.

Para 4 dígitos podemos representar números até 15; para 8 dígitos podemos ir até 255; para 16 dígitos podemos ir até 65 535 e assim por diante.

O leitor deve lembrar-se desses valores limites para 4, 8, 16 e 32 dígitos de um número binário, pois eles têm uma grande importância nas aplicações digitais modernas.