

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPTO. DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
COMPUTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**Implementação de um simulador Arduino
baseado em Android**

Autor: Kollins Gabriel Lima, nº. USP 9012931

Orientador: Prof. Dr. Evandro Luis Linhari Rodrigues

São Carlos

2018

Resumo

Texto em **UM PARÁGRAFO** apenas - deve conter tudo resumidamente (introdução, método(s), resultados e conclusões), de tal forma que seja possível compreender a proposta e o que foi alcançado.

Palavras-Chave: palavra1, palavra2, palavra3, palavra4, palavra5.

Abstract

[illegible]

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5.

Lista de Figuras

2.1	Diagrama de blocos da organização interna do ATmega328P	22
2.2	Diagrama de blocos da organização da CPU	23
2.3	Memória de programa ATmega328P	25
2.4	Memória de dados ATmega328P	26
2.5	Organização do módulo de Entrada/Saída (E/S) do ATmega328P	27
2.6	Organização do módulo de <i>Timer 0/2</i> do ATmega328P	29
2.7	Organização do módulo de <i>Timer 1</i> do ATmega328P. Para contar em 16-bits, os registradores TCNTn, ICRn, OCRnA e OCRnB são divididos em dois registradores de 8-bits (<i>Low</i> e <i>High</i>).	30
2.8	Alinhamento do resultado nos registradores ADCH e ADCL	32
2.9	Organização do conversor A/D	33
3.1	Diagrama de classes das modificações realizadas na IDE do Arduino	36
3.2	Seletor de dispositivos.	37
3.3	Localização do botão "Android"(primeiro da esquerda para a direita) na IDE.	38
3.4	Arquitetura do simulador	39

Lista de Tabelas

2.1	Vetor de interrupções ATmega328P	24
2.2	Modos de disparo do conversor A/D	34

Siglas

MVC	<i>Model-View-Controller</i> - Modelo-Visão-Controlador
POO	Programação Orientada a Objetos
UI	<i>User Interface</i> - Interface do Usuário
UML	<i>Unified Modeling Language</i> - Linguagem de Modelagem Unificada
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> - Modulação por Largura de Pulso
GVfs	<i>GNOME Virtual file system</i> - Sistema de arquivo virtual do GNOME
A/D	Analógico/Digital
E/S	Entrada/Saída

Sumário

1	Introdução	15
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivo	18
1.3	Justificativa	19
1.4	Organização do Trabalho	19
2	Embasamento Teórico	21
2.1	Visão Geral	21
2.2	CPU	22
2.3	Memória de Programa	25
2.4	Memória de Dados	25
2.5	Módulo de Entrada e Saída Digital	26
2.6	Temporizadores	28
2.6.1	Modo Normal	28
2.6.2	Modo CTC	28
2.6.3	Modo <i>Fast PWM</i>	29
2.6.4	Modo PWM com Correção de Fase	31
2.6.5	Modo PWM com Correção de Fase e Frequência	31
2.6.6	Captura de Eventos	31
2.7	Conversor A/D	32
3	Desenvolvimento do Projeto	35
3.1	Material	35
3.2	Método	36
3.2.1	Desenvolvimento na IDE do Arduino	36
3.2.2	Desenvolvimento Android	38
3.2.2.1	Arquitetura	38

3.2.2.2	Estratégias de implementação	40
3.2.2.2.1	<i>Clock</i>	40
3.2.2.2.2	Memória de Programa	41
4	Resultados e Discussões	43
5	Conclusão ou Conclusões	45
	Referências	45

Capítulo 1

Introdução

Os dispositivos móveis vem ganhando cada vez mais espaço no cotidiano das pessoas por trazer funcionalidades diversas em um dispositivo cada vez mais barato e portátil. Seja para fazer uma simples operação matemática, ou para navegar na *web*, tirar fotos, telefonar, etc., os *smartphones* e *tablets* tem evoluído cada vez mais tanto em questões de *hardware* quanto em *software*.

Em se tratando de *hardware*, os dispositivos móveis hoje carregam um grande poder computacional. Segundo uma matéria do Olhar Digital [1], o *desktop* top de linha em 2001 possuía 80 GB de HD, 128 MB de memória primária e um processador single core de 1,53 GHz. Hoje, um *smartphone* top de linha possui 8 núcleos de processamento, com frequências de até 2,8 GHz, memória primária de 4 GB e armazenamento interno de 256 GB (com possibilidade de expansão) [2], tudo isso em um *design* compacto que cabe no bolso. Graças à essa evolução, é possível realizar tarefas cada vez mais complexas em um dispositivo móvel.

Quanto a *software*, hoje existe uma maior padronização dos sistemas mobile, o que facilita o desenvolvimento de aplicações. O sistema operacional líder de mercado é o Android [3]. Tendo sua primeira versão lançada em 2008, diversos foram os motivos pela sua grande popularidade, tais como o fato de ser gratuito, *open-source* (sob a licença Apache 2.0, principalmente [4]), desenvolvimento em conjunto com empresas interessadas (*Open Handset Alliance* - OHA) e o uso do Java para o desenvolvimento de aplicativos, uma vez que essa é a linguagem de programação mais utilizada mundialmente [5], além de entregar ao usuário um sistema moderno, elegante e cheio de recursos.

Devido a constante presença dos dispositivos móveis (com sistema Android) e sua crescente capacidade de *hardware*, esta plataforma tem sido cada vez mais explorada por desenvolvedores. Uma prova disso é a loja oficial de aplicativos do Android (*Google Play*), que oferece uma infinidade de aplicativos (de calculadoras a jogos com gráficos realistas), muitos deles disponibilizados gratuitamente. É por este motivo também que esta plataforma foi escolhida para a realização deste trabalho,

que visa desenvolver um simulador das funcionalidades de um Arduino UNO.

A utilização do poder computacional de *smartphones / tablets* em substituição à sistemas tradicionais não é uma ideia nova. Pode-se citar trabalhos como o de Junior [6], que utilizou um dispositivo Android para a implementação de um osciloscópio de baixo custo. Utilizando um microcontrolador ARM Cortex M4F para aquisição dos sinais e comunicação *Bluetooth* com o *smartphone*, foi possível construir um osciloscópio com um custo de projeto de US\$35, com erro médio de 0,2% no eixo do tempo, 0,02V no eixo da tensão e taxa máxima de aquisição de 150 mil amostras por segundos, o que, segundo o autor, torna este um sistema "aceitável para o uso do projeto no ambiente de aprendizado", considerando a diferença de preço com osciloscópios comerciais.

Em uma abordagem semelhante, Nwokorie [7] utiliza um *smartphone*, junto à uma placa de Arduino UNO, para a criação de um microscópio. O chamado *SmartScope* utiliza uma estrutura de suporte com uma lente plano-convexa para adaptar a câmera do *smartphone* a captura de imagens microscópicas. A placa de Arduino controla o LED que serve como fonte de luz e permite o ajuste de intensidade do brilho por meio de botões, mostrando em um display LCD a configuração atual. O sistema tem funções de captura de imagem ou vídeo e permite o armazenamento dos dados coletados em um banco de dados (Microsoft Access). Assim como o trabalho de Junior, o grande objetivo é criar um sistema de baixo custo como alternativa aos microscópios comerciais e ajudar alunos sem experiência a aprender a realizar leituras no equipamento.

Também é possível citar o trabalho de Lin [8] que vai além do nível de aplicativo, fazendo modificações no kernel Linux para leitura de dados em um barramento CAN. Lin e sua equipe desenvolveram drivers e bibliotecas para realizar a leitura de dados de sensores em um automóvel por meio do barramento CAN. Dados relativos à velocidade, faróis, temperatura, chaves e alarme foram lidos diretamente das unidades de controle do veículo e mostrados na tela do *smartphone* em um aplicativo de instrumentação próprio, simulando o painel do carro. Seu trabalho evidencia que as possibilidades de uso dos sistemas Android podem se estender também para o nível de sistema.

Procurando na *Google Play*, é possível encontrar diversos aplicativos relacionados com Arduino. Muitos deles se encontram na forma de "aplicativo-tutorial", mostrando exemplos de código e diagramas para o ensino da plataforma, mas também é possível encontrar ambientes de desenvolvimento integrado (IDE) com capacidade de gravação das placas físicas, geradores de código automático, módulos para serem utilizados em projetos de automação (como controles *Wireless* que se integram às *Shields* do Arduino), etc.

Na parte de simuladores, vários foram os aplicativos de simulação/emulação de processadores e microcontroladores encontrados. Um destaque fica para o aplicativo *MCU Prototype Board Simulator*, que simula um kit de desenvolvimento (com botões, leds, LCD, etc.) e permite a execução de códigos

assembly do microcontrolador 68705.

Quanto à simulação de placas de Arduino, apenas um aplicativo foi encontrado. O *CircSim Circuit Simulator* apresenta a interface de um simulador convencional de circuitos eletrônicos para PC, entanto seu uso é praticamente impossibilitado dado que sua interface não se ajusta adequadamente em dispositivos móveis (fato que pode ser comprovado pelos comentários dos usuários na página do aplicativo).

Sendo assim, o presente trabalho surge também para preencher uma lacuna existente e oferecer mais uma possibilidade para explorar o Arduino, seja para estudantes, hobistas ou qualquer pessoa que se interesse pelo assunto.

1.1 Motivação

O Arduino é uma plataforma de *hardware* e *software* aberto, destinada à desenvolvimentos de projetos na área de eletrônica. Suas aplicações vem crescendo a cada dia e vão desde o uso educacional para ensino de robótica em escolas de ensino fundamental, até aplicações em IoT (Internet of Things - Internet das Coisas) nas universidades.

Uma das principais características do Arduino é sua simplicidade. Em suas versões mais básicas, utilizam microcontroladores de 8-bits, o que torna o sistema menos complexo e mais barato quando comparada com outras plataformas concorrentes (tais como Raspberry Pi e BeagleBone) [9]. Com isso, se tornou uma plataforma ideal para prototipagem e para aprendizado, englobando um público alvo de artistas, sem conhecimento prévio de eletrônica e programação, à engenheiros experientes, que usam a plataforma para prototipagem.

O desenvolvimento para essa plataforma demanda o uso de placas físicas de Arduino. Essas placas foram desenvolvidas com o objetivo de apresentarem baixo custo e facilitar a prototipagem, se integrando facilmente à módulos externos (*shields*) que adicionam ao sistema funções de interface, sensoriamento, etc. A desvantagem de se utilizar placas eletrônicas é, além do custo para adquiri-las, a necessidade de outros componentes externos, como leds, *protoboards*, multímetros, etc.

Uma opção às placas de Arduino são os simuladores. Para um usuário iniciante, o simulador representa a possibilidade de iniciar seus estudos sem a necessidade de gastos com equipamentos eletrônicos e sem o risco de perder estes equipamentos por uso indevido. Para usuários experientes, um simulador permite explorar diferentes ambientes/situações de funcionamento, além de outros benefícios como o monitoramento interno do sistema, vasta gama de equipamentos eletrônicos virtuais, equipamentos de medição (voltímetro, osciloscópio, etc.), entre outros.

Diversas são as opções de simuladores existentes, cada qual com características próprias. Alguns

que merecem destaque são:

- Proteus: Um dos mais completos encontrados. Possui recursos para montagem e simulação de circuitos eletrônicos analógicos e digitais, bem como desenvolvimento de layouts PCB. Tem como desvantagem o fato de ser um *software* comercial, com a versão básica para simulação Arduino custando US\$248,00 [10]
- Virtual Breadboard: Permite a simulação de circuitos eletrônicos digitais em um ambiente virtual, bem como a programação de microcontroladores dentro do próprio sistema. Possui uma versão gratuita, no entanto, para simulação de Arduino é preciso comprar um módulo separadamente pelo valor de US\$49,00 [11].
- Simuino: Simulador de Arduino UNO e MEGA para terminal. Apesar de gratuito e *Open-Source*, possui apenas versões para Linux e é distribuído apenas em formato de código fonte, sendo necessário fazer a compilação antes de usá-lo [12].
- CodeBlocks: Possui uma versão com ferramentas próprias para escrever e simular códigos Arduino, permitindo também o *upload* de código para placas físicas, com suporte à diversos modelos de *hardware*. A desvantagem fica por conta de não possuir uma interface gráfica para simulação, que ocorre toda em terminal apenas com textos indicando os estados de entrada e saída [13].
- Autodesk Tinkercad: Certamente, a melhor ferramenta encontrada. É um ambiente de aprendizado online gratuito que permite tanto a criação de projetos eletrônicos quanto de desenhos 3D. Possui um ambiente para codificação e depuração do código na própria ferramenta. A única desvantagem encontrada é o fato de funcionar *on-line*, sendo necessário fazer um cadastro para utilizá-la [14].

Apesar da grande quantidade de simuladores já existentes, como foi mostrado anteriormente, há uma grande falta deste tipo de *software* para dispositivos móveis. A grande motivação deste trabalho é poder contribuir com a comunidade que deseje aprender sobre desenvolvimento para Arduino, fornecendo uma opção de simulador para dispositivos móveis.

1.2 Objetivo

O objetivo principal do projeto é permitir a execução de programas desenvolvidos para a plataforma Arduino UNO em um aplicativo Android, permitindo assim a realização de testes sem a necessidade de uma placa de Arduino ou qualquer outro componente externo.

Também faz parte dos objetivos do trabalho a integração do simulador com a IDE oficial do projeto Arduino.

1.3 Justificativa

Este trabalho se justifica por atuar de forma a criar uma ferramenta *Open-Source* que beneficiará todos aqueles que desejam aprender/praticar o desenvolvimento para Arduino.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está distribuído em XXX capítulos, incluindo esta introdução, dispostos conforme a descrição que segue:

Capítulo 2: Descreve

Capítulo 3: Discorre sobre

Capítulo 4: Apresenta

Capítulo 2

Embasamento Teórico

Neste capítulo serão descritos o funcionamento e as características de cada módulo presente no microcontrolador usado no Arduino UNO (ATmega328P) e que será implementado no simulador.

2.1 Visão Geral

O ATmega328P é um microcontrolador RISC de 8-bits e arquitetura Harvard (memória de dados separada da memória de programa). Possui 28 pinos (encapsulamento PDIP), sendo 23 programáveis e pode trabalhar com frequência máxima de operação de 20MHz.

Entre os periféricos que estão integrados neste dispositivo, pode-se listar:

- Dois temporizadores de 8-bits com *prescaler* separados;
- Um temporizador de 16-bits;
- 6 canais de PWM;
- Conversor Analógico-Digital de 10-bits (8 canais multiplexados);
- Duas interfaces de comunicação serial SPI;
- Uma USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transceiver*) serial;
- Uma interface serial TWI (*2-wire Serial Interface*), compatível com I^2C da Philips;
- *Watchdog Timer* programável com oscilador separado;
- Entre outros.

A figura 2.1 apresenta um diagrama de blocos da organização interna do microcontrolador

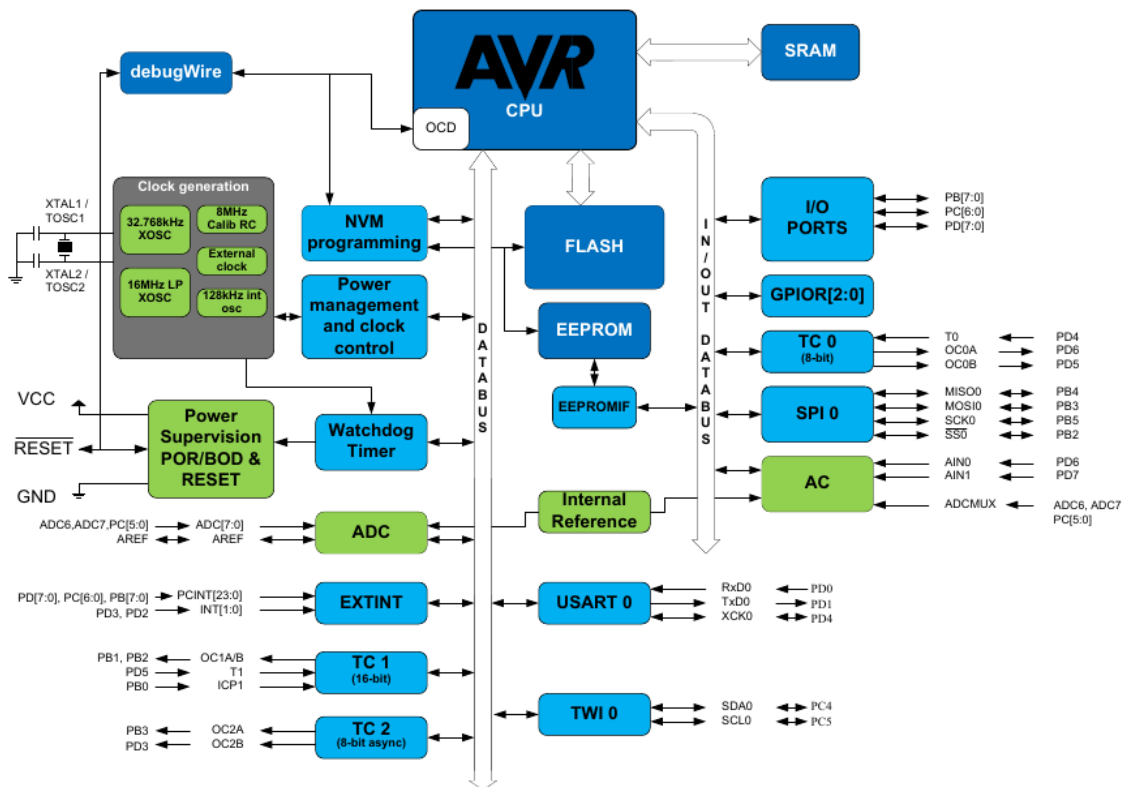


Figura 2.1: Diagrama de blocos da organização interna do ATmega328P

Fonte: Folha de dados ATmega328P

2.2 CPU

A CPU do ATmega328P é apresentada na figura 2.2. Ela possui um banco de 32 registradores de 8-bits, com os 6 últimos podendo ser utilizados como registradores de 16-bits (chamados de registrador X (R27:R26), Y(R29:R28) e Z(R31:R30)); PC de 14-bits; Registrador de *status* (8-bits) que armazenam as *flags* geradas por cada operação aritmética/lógica (zero, *carry*, *overflow*, etc); *Stack Pointer* de 16-bits e demais registradores auxiliares.

A CPU utiliza um *pipeline* de um estágio o que, junto com a arquitetura Harvard, permite que o sistema atinja uma velocidade máxima de 1 MIPS/MHz.

Em chamadas de sub-rotinas e interrupções, a CPU utiliza uma pilha implementada diretamente na memória SDRAM, cujo topo é apontado pelo registrador *Stack Pointer*. Esta estrutura de dados cresce do endereço mais alto da memória para o endereço mais baixo, de forma que o *Stack Pointer* deve ser corretamente inicializado para o último endereço da memória SDRAM.

As interrupções no ATmega328P são organizadas segundo sua prioridade. A tabela 2.1 mostra o vetor de interrupção contendo o endereço de desvio para cada tipo de interrupção. Quanto mais baixo o endereço, maior é a prioridade, de forma que o *RESET* é a interrupção de maior prioridade no

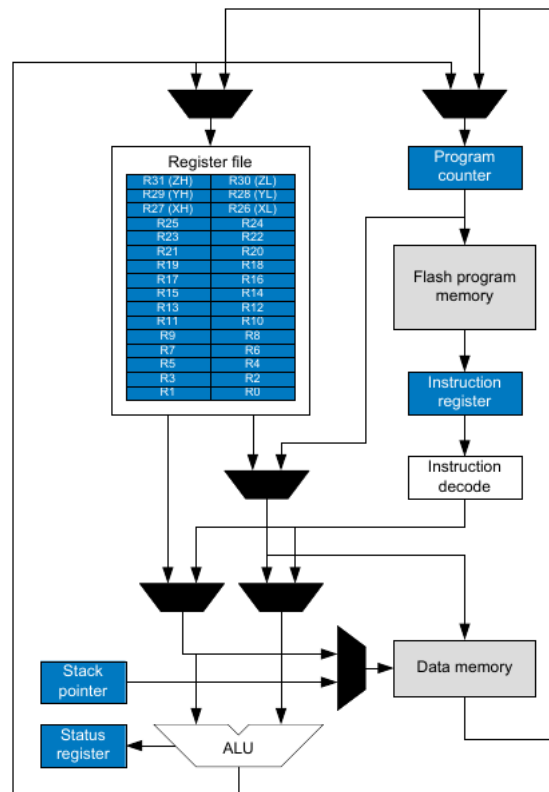


Figura 2.2: Diagrama de blocos da organização da CPU

Fonte: Folha de dados ATmega328P

sistema.

Importante resaltar que as interrupções são desabilitadas automaticamente ao iniciar o tratamento de uma interrupção (e reabilitadas ao terminar), no entanto, este comportamento pode ser alterado por *software* reabilitando as interrupções no começo da rotina.

As interrupções são classificadas em duas classes: as disparadas por evento e as disparadas por uma condição.

Quando as interrupções são disparadas por eventos, é habilitada uma *flag* indicando a ocorrência do evento. Se a interrupção estiver ativada para aquele evento, a interrupção será tratada ou enfileirada para execução posterior. Ou seja, em interrupções por evento, os eventos que não foram tratados são lembrados e serão executados em ordem de prioridade assim que possível.

Quando o disparo ocorre por uma condição, a chamada para a rotina de interrupção permanece ativa enquanto a condição estiver presente. Este tipo de interrupção não necessariamente habilita *flags* de modo que, se a condição for removida antes que a CPU possa tratar a interrupção correspondente, a interrupção não ocorrerá.

Tabela 2.1: Vetor de interrupções ATmega328P

Endereço de Desvio	Interrupção	Descrição
0x00	RESET	Interrupção de Reset
0x02	INT0	Interrupção Externa 0
0x04	INT1	Interrupção Externa 1
0x06	PCINT0	Interrupção de mudança de estado 0
0x08	PCINT1	Interrupção de mudança de estado 1
0x0A	PCINT2	Interrupção de mudança de estado 2
0x0C	WDT	Estouro do <i>Watchdog Timer</i>
0x0E	TIMER2_COMPA	Comparação <i>Timer</i> 2 canal A
0x10	TIMER2_COMPB	Comparação <i>Timer</i> 2 canal B
0x12	TIMER2_OVF	Estouro do <i>Timer</i> 2
0x14	TIMER1_CAPT	Captura de evento <i>Timer</i> 1
0x16	TIMER1_COMPA	Comparação <i>Timer</i> 1 canal A
0x18	TIMER1_COMPB	Comparação <i>Timer</i> 1 canal B
0x1A	TIMER1_OVF	Estouro do <i>Timer</i> 1
0x1C	TIMER0_COMPA	Comparação <i>Timer</i> 0 canal A
0x1E	TIMER0_COMPB	Comparação <i>Timer</i> 0 canal B
0x20	TIMER0_OVF	Estouro do <i>Timer</i> 0
0x22	SPI STC	Transferência SPI completa
0x24	USART_RX	Recepção USART completa
0x26	USART_UDRE	Registrador de dados vazio (USART)
0x28	USART_TX	Transmissão USART completa
0x2A	ADC	Conversão analógico-digital completa
0x2C	EE READY	EEPROM pronta
0x2E	ANALOG COMP	Comparador analógico
0x30	TWI	Interface serial I^2C
0x32	SPM READY	Armazenamento na memória de programa

2.3 Memória de Programa

A memória de programa é uma FLASH de 32kB x 8-bits, que está organizada da forma 16kB x 16-bits pois cada instrução do microcontrolador é de 16 ou 32-bits. Assim, o registrador PC de 14-bits pode fazer um endereçamento a palavra na memória de programa.

A figura 2.3 mostra a organização da memória de programa. Pode-se notar que o *Boot Loader* está posicionado em uma seção separada do restante da memória e isso ocorre por questões de segurança.

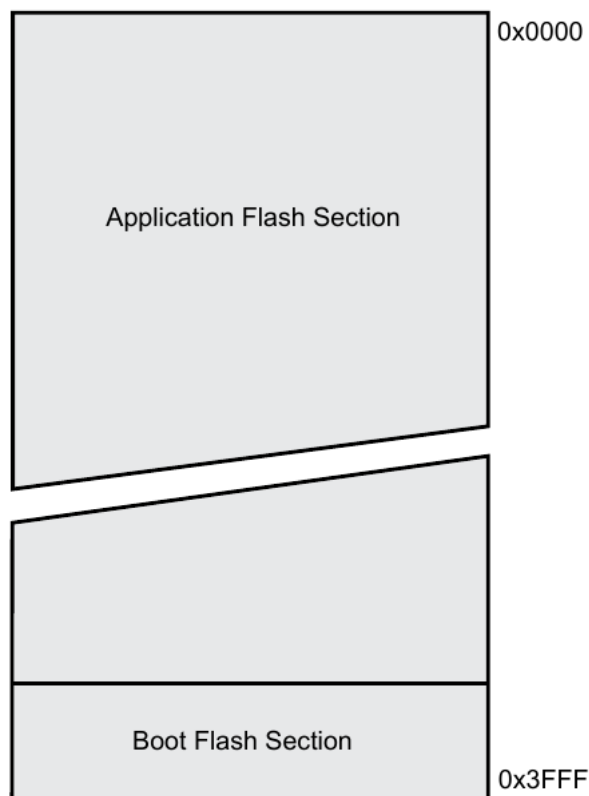


Figura 2.3: Memória de programa ATmega328P

Fonte: Folha de dados ATmega328P

2.4 Memória de Dados

O ATmega328P possui 2kB de memória de dados SDRAM, além do espaço de dados reservado aos registradores.

Apesar dos registradores não estarem fisicamente implementados na memória de dados, o microcontrolador faz um mapeamento linear da memória de modo a se obter, na prática, uma memória como mostrado na figura 2.4.

Existem diferentes modos de endereçamento que são aplicados à memória de dados. Todo o espaço de endereçamento suporta qualquer um dos modos listados, são eles:

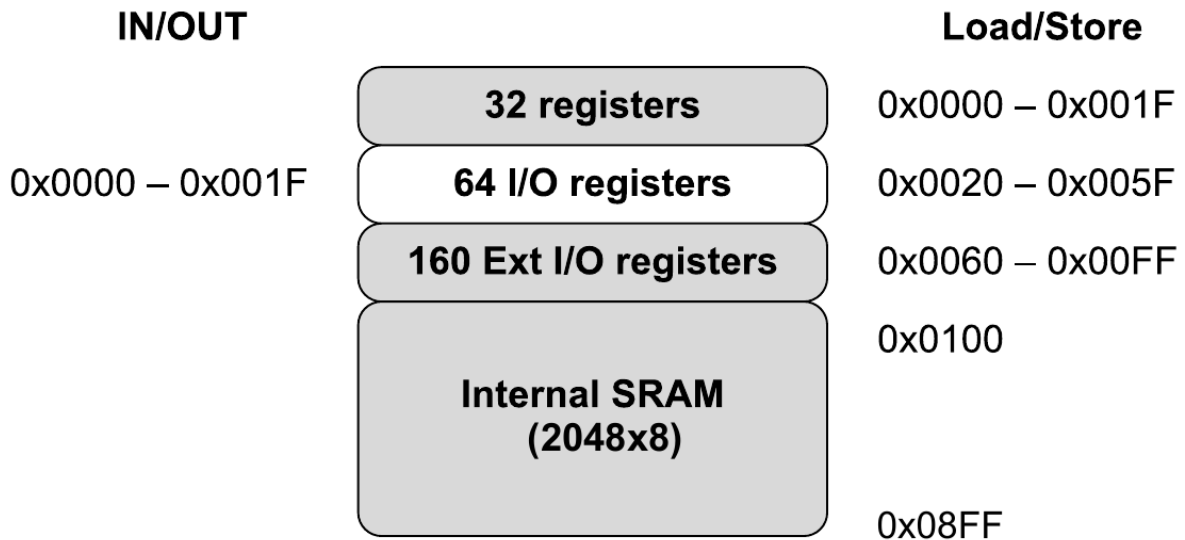


Figura 2.4: Memória de dados ATmega328P

Fonte: Folha de dados ATmega328P

- Direto: Acesso direto ao endereço desejado;
- Indireto com deslocamento: Acesso à 63 endereços deslocados a partir do endereço base, dado pelo registrador Y ou Z.
- Indireto: Acesso ao endereço dado pelos registradores X, Y ou Z.
- Indireto com pré-decremento: Registradores X, Y ou Z são decrementados antes de serem utilizados como ponteiro para endereçamento.
- Indireto com pós-incremento: Registradores X, Y ou Z são incrementados depois de serem utilizados como ponteiro para endereçamento.

2.5 Módulo de Entrada e Saída Digital

Como dito anteriormente, o ATmega328P possui 23 programáveis, que podem ser utilizados para entrada ou saída de sinal. A figura 2.5 mostra a organização interna do módulo de entrada/saída (E/S) do microcontrolador.

Os pinos podem ser configurados por meio dos registradores DDRxn, PORTxn e PINxn, onde "x" corresponde à letra do port e "n" corresponde ao número do bit no registrador. O registrador DDRxn é utilizado para configuração da direção do pino (entrada ou saída), enquanto o PORTxn configura o estado do pino (nível alto ou baixo) se é um pino de saída, caso contrário, seu efeito será ativar ou desativar o resistor de *pull-up* interno, se este estiver habilitado no registrador MCUCR.

2.6 Temporizadores

O ATmega328P possui 3 temporizadores internos, chamados *Timer 0*, *Timer 1* e *Timer 2*. Os modos de funcionamento disponíveis para cada temporizador são semelhantes, sendo eles: modo normal, modo CTC (*Clear on Compare Match*), *Fast PWM* e PWM com correção de fase. As fontes de clock para os temporizadores podem ser externa ou interna. Quanto interna, existe a possibilidade de controle da frequência por meio de um *prescaler*.

O *Timer 1* é um contador de 16-bits, enquanto os *Timers 0* e *2* são de 8-bits. O *Timer 2* possui uma função adicional de funcionamento assíncrono, podendo assim utilizar uma fonte de clock externa aplicada aos pinos TOSC1 e TOSC2 (os *Timers 0* e *1*, embora também possam ser acionados por clock externo, a detecção de borda que é realizada nos pinos T0 e T1 é feita de maneira síncrona). Também por seu funcionamento assíncrono, pode ser utilizado para despertar o sistema caso este esteja em determinados modos de hibernação.

Os temporizadores podem atuar nos pinos de saída OCxA e OCxB, sobrescrevendo a operação normal do pino. Para isso, no entanto, é preciso que os pinos sejam configurados como saída no registrador DDRxn.

As figuras 2.6 e 2.7 apresentam a organização interna dos *Timers 0/2* e do *Timer 1* respectivamente.

2.6.1 Modo Normal

No modo normal de operação, a contagem é feita continuamente até atingir o valor máximo (0xFF para 8-bits e 0xFFFF para 16-bits), quando ocorre um *overflow* e o sistema reinicia a contagem do zero. O estouro do contador pode ser utilizado para gerar uma interrupção.

Os registradores OCRnA e OCRnB são continuamente comparados com o valor de TCNTn (que armazena a contagem) e em caso de *match*, podem gerar interrupções no sistema e/ou atuar nos pinos OCxA e OCxB, podendo levá-los à nível alto, baixo ou inverter seus valores.

2.6.2 Modo CTC

O modo de funcionamento CTC apresenta as mesmas possibilidades do modo normal, no entanto o valor máximo de contagem é igual ao valor contido no registrador OCRxA, que pode ser ajustado a qualquer momento (Para o *Timer 1*, existe a opção de utilizar o registrador ICR1).

No entanto, diferente do modo normal, o reinício da contagem não pode gerar interrupção de *overflow*. Isso só é possível caso OCRxA (ou ICR1) seja igual à 0xFF (8-bits) ou 0xFFFF (16-bits). Neste caso, o modo CTC e o modo normal se comportam de maneiras idênticas.

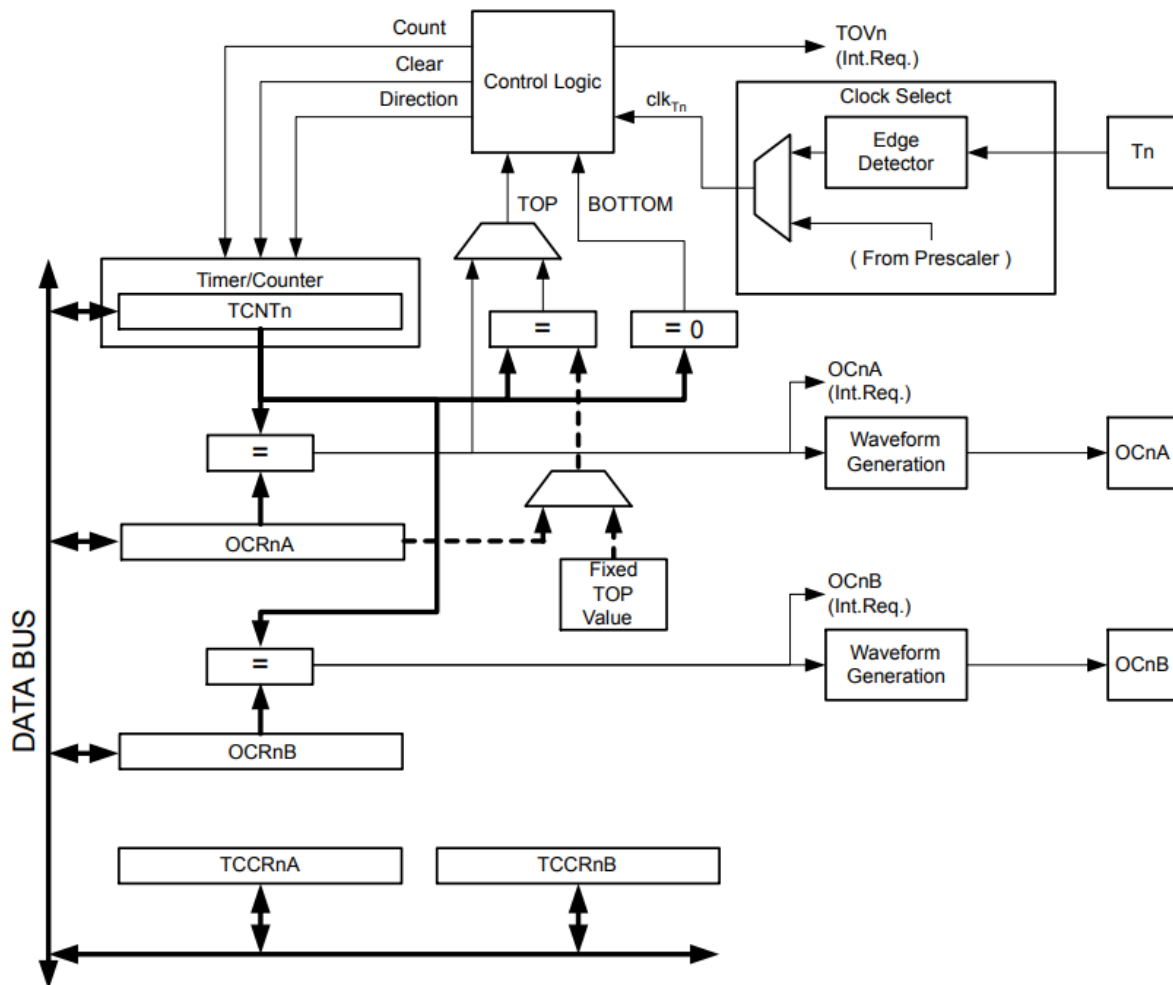


Figura 2.6: Organização do módulo de *Timer 0/2* do ATmega328P

Fonte: Folha de dados ATmega328P

2.6.3 Modo *Fast PWM*

No modo *fast PWM*, assim como no modo normal, a contagem é feita continuamente do valor mais baixo (0) ao valor mais alto (0xFF para 8-bits ou, no caso do *Timer 1*, este valor pode ser configurado para 0xFF, 0x1FF ou 0x3FF), havendo a possibilidade de alteração deste valor utilizando o registrador OCRnA (ou ICR1 para o *Timer 1*), como ocorre no modo CTC. Também como no modo normal, o estouro do contador pode gerar interrupção de *overflow*.

A diferença do modo *fast PWM* está na maneira como um *math* entre TCNTn e OCRnA/OCRnB é tratado. Além das possibilidades de disparo de interrupção, os pinos OCxA/OCxB podem ser configurados para apresentar nível baixo em caso de *math* e nível alto no estouro do contador (modo de funcionamento não-invertido), ou o contrário (modo de funcionamento invertido).

Outra característica do modo *fast PWM* está na atualização dos valores de OCRnA/OCRnB. Enquanto no modo normal e no modo CTC estes valores são atualizados imediatamente, no modo *fast*

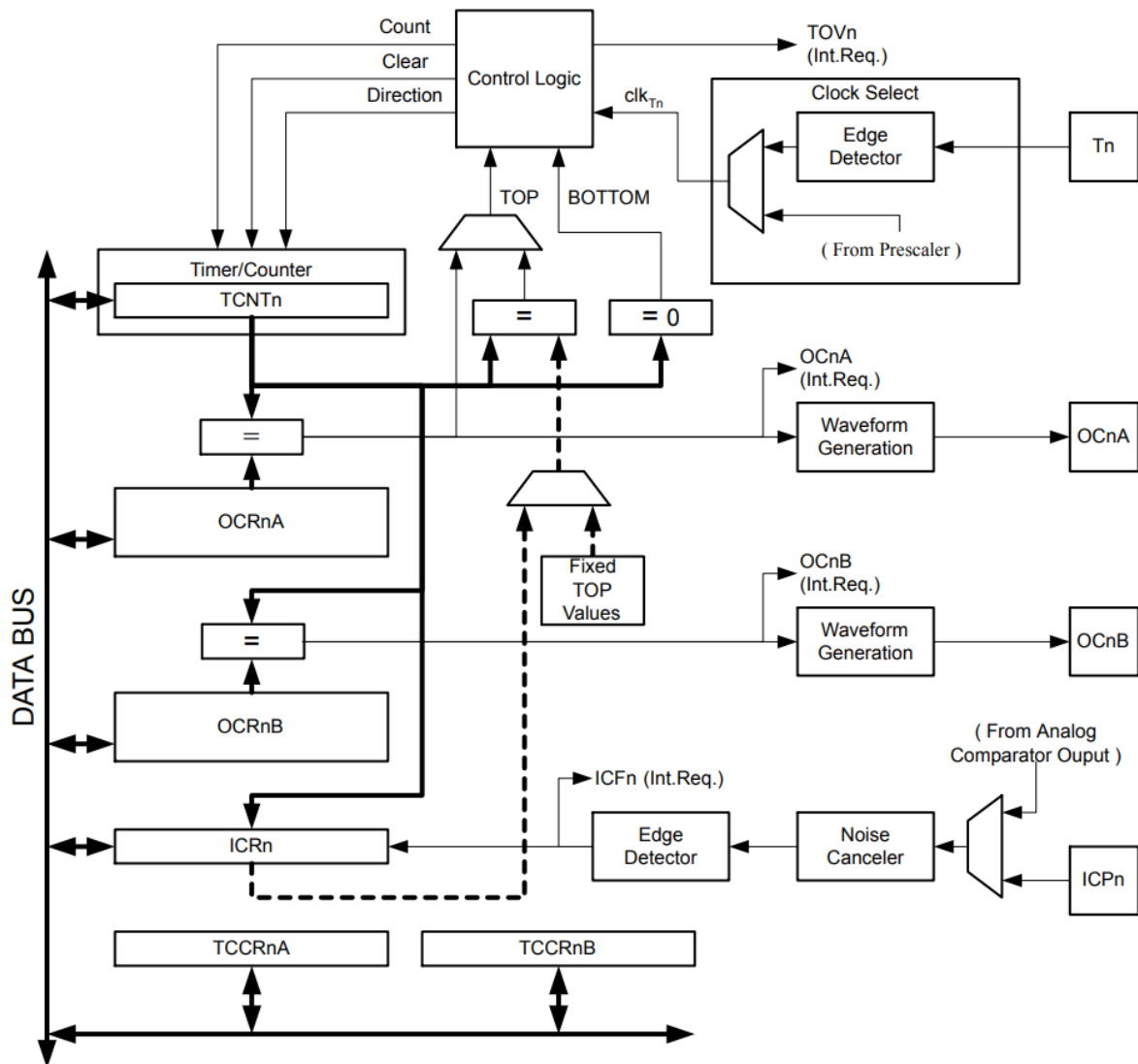


Figura 2.7: Organização do módulo de *Timer 1* do ATmega328P. Para contar em 16-bits, os registradores TCNTn, ICRn, OCRnA e OCRnB são divididos em dois registradores de 8-bits (*Low* e *High*).

Fonte: Folha de dados ATmega328P

PWM a atualização dos valores ocorre apenas quando TCNTn atinge o valor máximo da contagem. Com isso, evita-se que uma comparação seja perdida caso o valor de OCRnA/OCRnB seja menor que o valor de TCNTn, o que pode ocorrer nos modos normal e CTC.

2.6.4 Modo PWM com Correção de Fase

O modo PWM com correção de fase faz a contagem progressiva até o valor máximo (fixo ou variável, da mesma forma como ocorre no modo *fast PWM*) seguido de uma contagem regressiva até o valor mínimo (0), quando é disparada a condição de *overflow*. Esta característica, faz com que este modo atinja velocidades 2x menor que o modo *fast PWM*.

Neste modo de operação, os pinos OCxA/OCxB podem ser configurados para apresentar nível baixo em caso de *match* com OCRxA/OCRxB na contagem progressiva e nível alto em caso de *match* na contagem regressiva, ou o contrário. No caso do *Timer 1*, ainda existe a possibilidade de inverter o valor de OC1A em caso de *match*, seja em contagem progressiva ou regressiva.

Assim como no modo *fast PWM*, a atualização do valor de OCRxA/OCRxB não é instantânea, ocorrendo apenas no momento em que a contagem atinge o valor máximo. Importante resaltar que, tanto para o modo de correção de fase, quanto para o *fast PWM*, o valor de ICR1 é atualizado imediatamente, o que pode ocasionar em uma perda na comparação com TCNTx caso este registrador estiver sendo usado para definir o topo da contagem.

2.6.5 Modo PWM com Correção de Fase e Frequência

Este modo de operação está disponível apenas para o *Timer 1*. Seu funcionamento é idêntico ao modo de correção de fase, a diferença está no momento da atualização dos registradores OCRxA/OCRxB, que não ocorre no topo da contagem mas sim ao atingir o valor mínimo. Com isso, pode-se garantir a simetria dos pulsos gerados.

2.6.6 Captura de Eventos

O *Timer 1* apresenta uma funcionalidade extra que é a captura de eventos. Esta funcionalidade permite que o valor da contagem presente em TCNTx seja capturado e salvo no registrador ICR1.

O disparo do evento de captura pode ser dado pela saída do comparador analógico ou pelo pino ICP1, que pode ser configurado para disparo por borda de subida ou descida.

Se o registrador ICR1 não estiver sendo utilizado como valor máximo do contador, esta é a única forma de escrever neste registrador.

2.7 Conversor A/D

O ATmega328P possui integrado um conversor analógico/digital (A/D) com resolução de 10-bits e 8 canais de entrada (ADC0-ADC7) multiplexados, além de duas entradas fixas (0V e 1,1V) e um sensor de temperatura integrado. A figura 2.9 apresenta a organização interna do conversor A/D.

O conversor possui uma entrada de alimentação separada que é feita por meio do pino AVcc. Esta entrada pode ser utilizada como tensão de referência (V_{ref}) para conversão, ou ainda, podem ser escolhidas outras opções por meio do registrador ADMUX, podendo ser a entrada AREF ou referência interna de 1,1V.

Por ser um conversor de 10-bits, são necessários 2 registradores para armazenar o resultado da conversão, são eles o ADCL e o ADCH. O resultado da conversão é alinhado à esquerda por padrão, no entanto esta opção pode ser alterada para alinhamento à direita por meio do registrador ADMUX. A figura 2.8 mostra como o resultado é armazenado nos registradores ADCL e ADCH para cada modo.

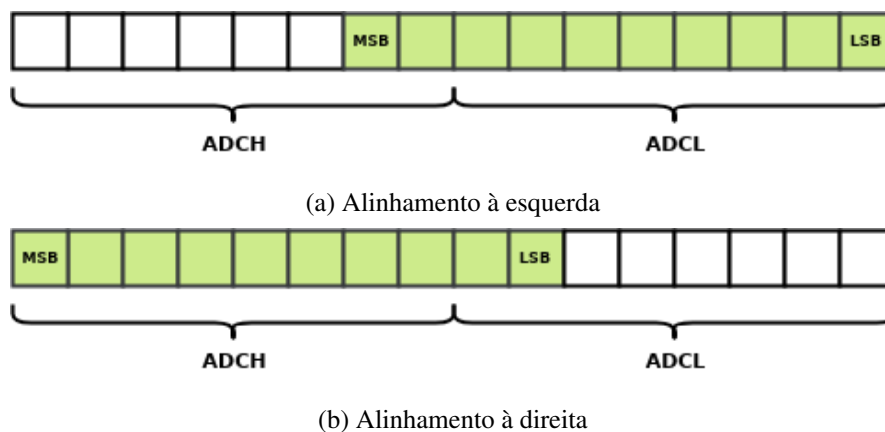


Figura 2.8: Alinhamento do resultado nos registradores ADCH e ADCL

Fonte: Autor.

Por segurança, uma leitura no registrador ADCL bloqueia a permissão de escrita no registrador ADCL e ADCH, garantindo assim que o dado lido é referente à mesma conversão (o acesso é liberado novamente ao realizar uma leitura em ADCH). Caso o resultado esteja alinhado à direita, pode-se obter um valor convertido de 8-bits apenas lendo o registrador ADCH.

Para iniciar uma conversão é necessário colocar em nível alto os bits ADEN (habilita o conversor) e ADSC. A conversão é então inicializada e ADSC permanece em nível alto durante todo o tempo de conversão. Ao final, o bit ADSC é resetado por hardware e a flag ADIF é setada, podendo gerar uma interrupção se esta estiver configurada. O resultado de uma conversão é dada pela equação 2.1.

$$ADC = \frac{V_{in} * 1024}{V_{ref}} \quad (2.1)$$

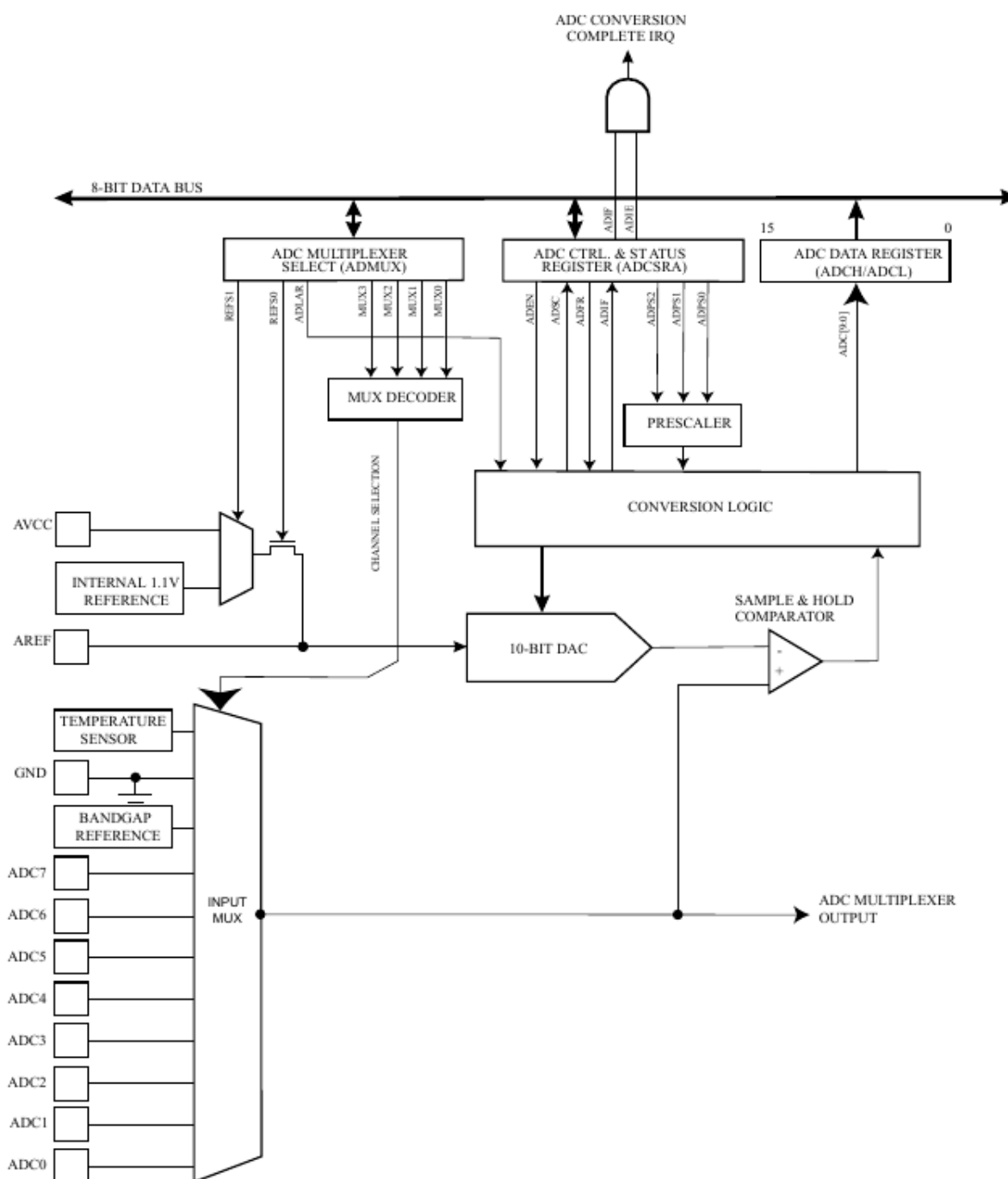


Figura 2.9: Organização do conversor A/D

Fonte: Folha de dados ATmega328P

Valores de entrada superiores à V_{ref} terão valores convertidos próximos à 0x3FF (máximo valor para 10-bits).

É possível configurar um evento para o disparo do conversor A/D ou utilizá-lo no modo *Free Run*, em que o disparo do conversor é feita pela própria *flag* do conversor (ADIF), fazendo com que uma nova conversão comece imediatamente após a outra. Para utilizar este modo, a *flag* ADIF precisa ser limpa a cada conversão, o que é feito automaticamente se for utilizada interrupção. A tabela 2.2 apresenta todas as possibilidades de disparo do conversor A/D.

Tabela 2.2: Modos de disparo do conversor A/D

ADTS[2:0]	Disparo
000	Modo <i>Free Run</i>
001	Saída do comparador analógico
010	Interrupção externa 0
011	<i>Math A Timer 0</i>
100	<i>Overflow Timer 0</i>
101	<i>Math B Timer 1</i>
110	<i>Overflow Timer 1</i>
111	Captura de evento <i>Timer 1</i>

Um recurso extra oferecido pelo microcontrolador é o sensor de temperatura integrado. Este sensor é capaz de realizar medições entre -45°C e 85°C, com precisão de $\pm 10^\circ\text{C}$.

Para utilizar este sensor, é preciso configurar o V_{ref} para a entrada interna de 1,1V. A temperatura (em °C) é dada pela equação 2.2.

$$T = \frac{[ADCH \ll 8 | ADCL] - T_{OS}}{k} \quad (2.2)$$

Onde T_{OS} é um valor inserido na EEPROM de cada componente como parte dos testes em produção e k é um valor a ser determinado na calibração. (Na prática, utiliza-se $T_{OS} = 324,31$ e $k = 1,22^1$)

¹<https://playground.arduino.cc/Main/InternalTemperatureSensor>

Capítulo 3

Desenvolvimento do Projeto

Neste capítulo serão detalhadas as etapas de desenvolvimento do projeto, bem como as ferramentas utilizadas.

3.1 Material

Para a execução do projeto foram necessárias diversas ferramentas para projetar, desenvolver e testar o sistema. A seguir são listados todos os materiais utilizados ao longo do projeto.

- Para o desenho de diagramas de classe e mapas mentais na fase de projeto, foram utilizadas as ferramentas *Dia* e *Draw.io*.
- Foi utilizado o método ágil *Scrum* para a construção do sistema. A plataforma *Taiga* foi utilizada para organização e planejamento dos *Sprints*.
- Para controle de versão foi utilizado o *Git* sincronizado ao repositório online *Github*.
- Para o realizar modificações no código da IDE do Arduino, foi utilizada a IDE *IntelliJ IDEA* para escrita do código e o *Apache Ant* para a compilação do código fonte da IDE do Arduino. Também foi utilizado o *Inkscape* para a alteração no *design* da IDE do Arduino (inserção do botão "Android").
- Para o desenvolvimento *mobile*, foi utilizada a IDE *Android Studio*.
- Para criar testes de unidade, foi utilizado o *JUnit4* em conjunto com o *PowerMock* (utilizado como *plugin* do *Gradle*).
- O *SonarQube* foi utilizado para fazer a análise estática do código do simulador.
- Para montar códigos *Assembly* escritos para o ATmega328P, foi utilizado *AVRA*.

- Foi utilizado um Arduino UNO R3 para comparar os resultados obtidos pelo aplicativo com o sistema real.

3.2 Método

3.2.1 Desenvolvimento na IDE do Arduino

A primeira parte do desenvolvimento ocorreu na IDE do Arduino. Nela, foi criado um botão "Android" cuja função é compilar o código e transferi-lo para o aparelho Android conectado ao computador, da mesma forma que o botão "Upload" faz com a placa de Arduino. A figura 3.1 apresenta o diagrama de classes do código desenvolvido nesta etapa.

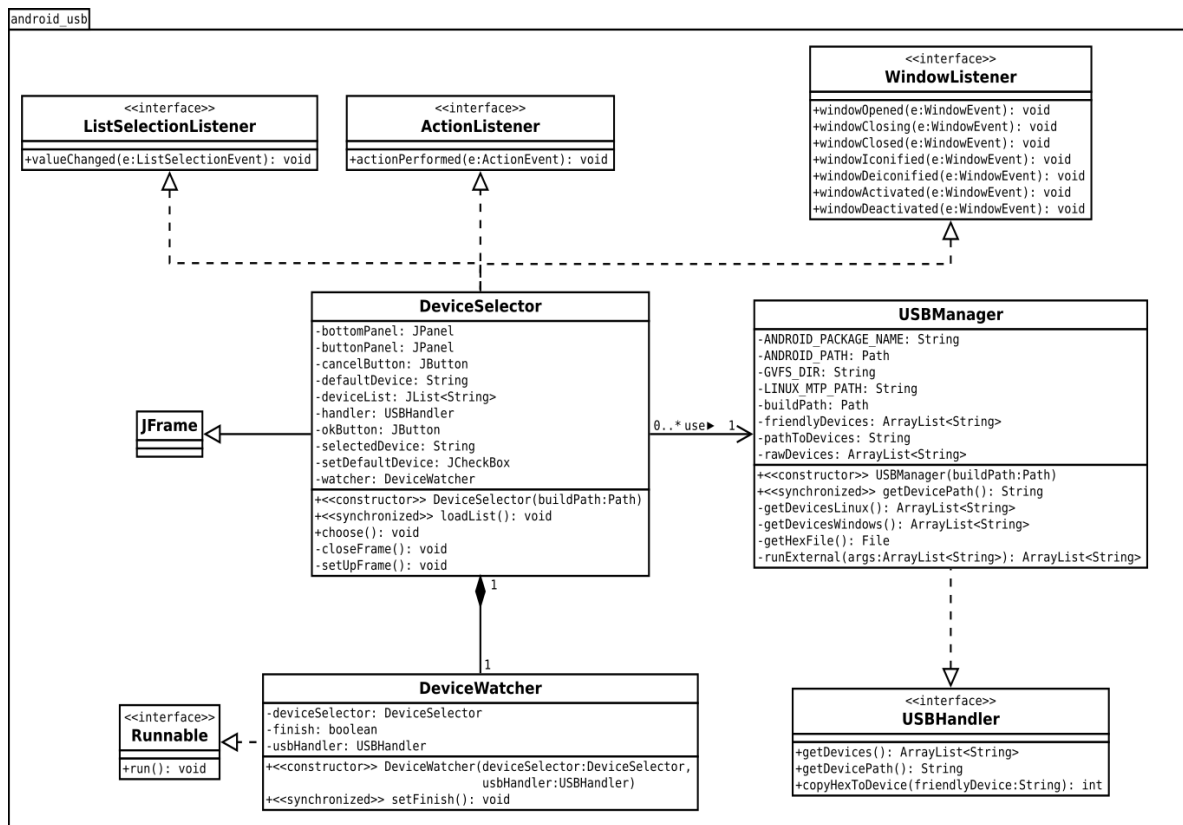


Figura 3.1: Diagrama de classes das modificações realizadas na IDE do Arduino

Fonte: Autor

A classe *DeviceSelector* é a entrada do sistema. Ela recebe como argumento no construtor o local onde o hexadecimal é gerado (que pode ser obtido por meio do método *getBuildPath* da classe *Sketch* já existente no projeto) e cria a janela para selecionar o dispositivo. Todos os aparelhos Android montados no sistema serão exibidos em uma lista, como mostra a figura 3.2 em caso de sucesso na compilação.



Figura 3.2: Seletor de dispositivos.

Fonte: Autor

A classe *DeviceWatcher* é uma *thread* que fica a procura de novos dispositivos. Desta forma, caso algum aparelho seja conectado após a exibição da janela de seleção, a lista de dispositivos é atualizada automaticamente.

A classe *USBManager* cuida de toda a comunicação com o sistema e o dispositivo Android, além de fazer a identificação dos dispositivos conectados e retornar ao seletor um *friendly name* para que o usuário possa reconhecer seu dispositivo facilmente. Ao pressionar o botão "Ok" do seletor, o método *copyHexToDevice* é chamado para copiar o arquivo compilado para o dispositivo Android.

No Linux, todos os dispositivos MTP são montados por meio do *GNOME Virtual file system* (GVfs). Por meio da variável de ambiente `$XDG_RUNTIME_DIR` é possível acessar o dispositivo como uma pasta no sistema de arquivos. Desta forma, o arquivo `.hex` é copiado para o local `XDG_RUNTIME_DIR/gvfs/<Dispositivo>/DCIM/ArduinoSimulator` e tem o nome genérico de *code.hex*, tornando o código disponível para o simulador.

No Windows, dispositivos MTP são tratados de forma diferente, não sendo montados diretamente no sistema de arquivos, tornando o acesso bastante trabalhoso. Por este motivo, nesta primeira versão do sistema, não foi implementado um método automático para copiar o arquivo `.hex` para o dispositivo Android no Windows.

O botão "Android" foi posicionado junto aos demais botões já existentes na IDE, na parte superior esquerda, conforme mostra a figura 3.3.



Figura 3.3: Localização do botão "Android"(primeiro da esquerda para a direita) na IDE.

Fonte: Autor

3.2.2 Desenvolvimento Android

3.2.2.1 Arquitetura

A segunda parte d desenvolvimento foi a criação do aplicativo para fazer a simulação do código. A figura 3.4 apresenta um diagrama simplificado da arquitetura do simulador.

Tudo tem início na classe *UCModule*. Esta classe é responsável por inicializar todos os demais módulos e fazer a sincronização entre eles, além de fornecer serviços para estes módulos no que diz respeito às características do sistema simulado. Os módulos de CPU, *Timers*, conversor A/D são iniciados em uma nova *thread*, enquanto o módulo de interrupção é inicializado estaticamente.

A classe *UCModule* possui uma extensão que é a classe *UCModule_View*. Esta também é inicializada em uma *thread* e ela é responsável por toda a manipulação das telas e recursos visuais do aplicativo, além de fornecer *feedback* à *UCModule* quanto às ações dos botões (como botão *Reset*). É na *UCModule_View* que os módulos de entrada e saída são inicializados.

O módulo de entrada e saída é dividido em duas partes, cada uma tratando exclusivamente entrada ou saída. A parte de tratamento de entrada é responsável pelo gerenciamento de cada elemento gráfico de entrada, bem como o tratamento de suas ações, enquanto que o pacote de saída faz o mesmo para os elementos gráficos de saída. A classe *IOModule* fica acima destas duas, fazendo a integração para que a classe *UCModule_View* possa exibir corretamente os elementos de interface com o usuário. É nesta classe também que são verificados e tratados curto-circuito.

A CPU (*CPUModule*) é responsável pela execução das instruções contidas na memória de programa. Ao final de cada instrução, é feita a verificação por interrupções, que são executadas em ordem de prioridade conforme apresentado na tabela 2.1. Todas as instruções do microcontrolador ATmega328P foram implementadas, com exceção das instruções *BREAK*, *SLEEP* e *WDR*.

A memória de programa (*ProgramMemory*) é responsável por armazenar o código a ser executado pela CPU. O código é lido de um arquivo hexadecimal no formato *Intel HEX* e formatado em um *array* de *bytes*. É também função da memória de programa verificar continuamente o arquivo hexadecimal e enviar uma mensagem de *Reset* para o módulo principal em caso de alterações.

A memória de dados (*DataMemory*) é o módulo responsável por armazenar todas as informações dos registradores e da memória RAM externa. Trata-se de uma classe cujos métodos de leitura e

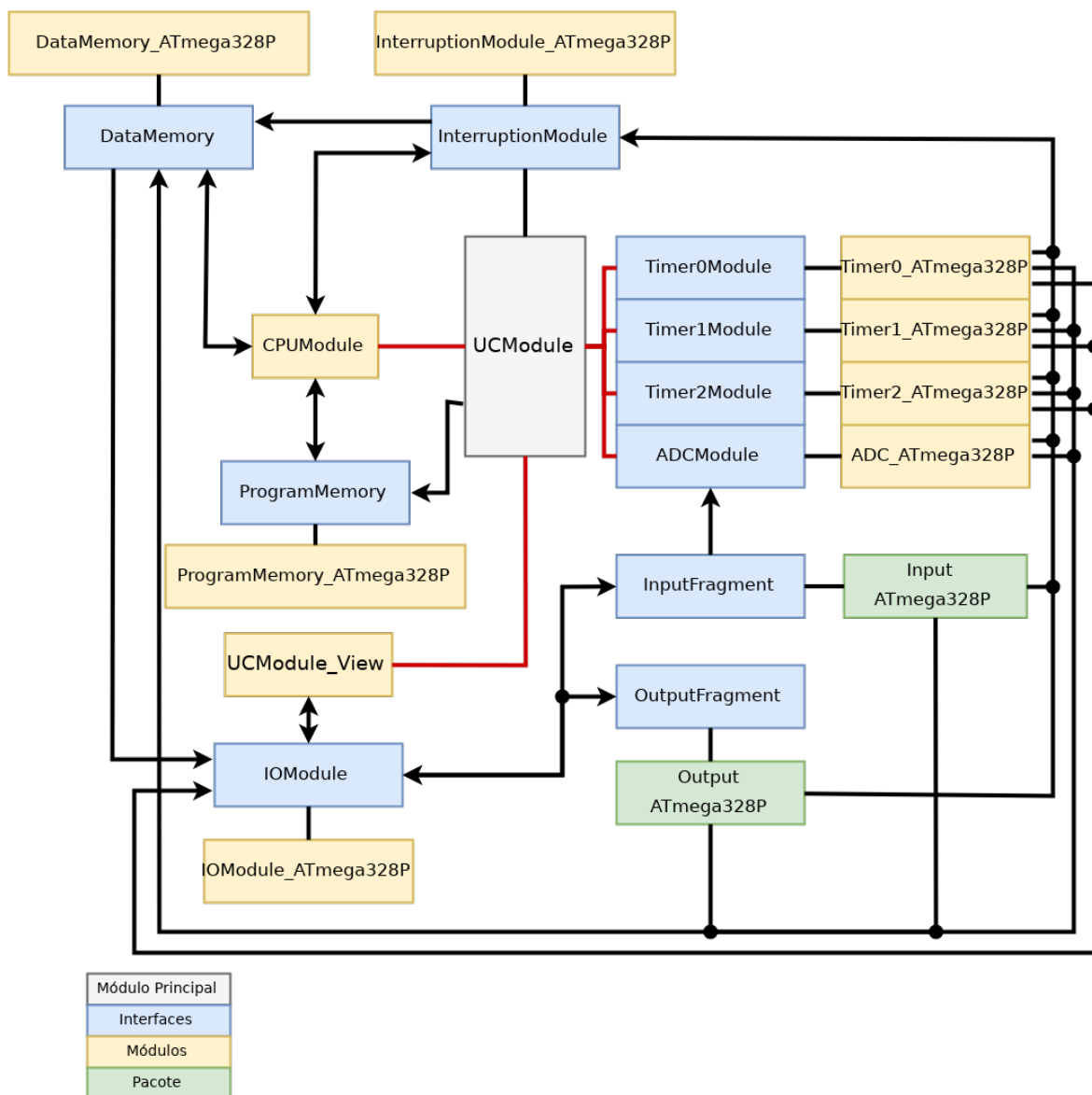


Figura 3.4: Arquitetura do simulador

Fonte: Autor

escrita estão sincronizados para evitar conflitos, já que ela é acessada de diferentes módulos rodando de maneira concorrente. Além disso, a memória de dados notifica a classe *IOModule* em caso de alteração nos registradores de E/S (PIN_x, PORT_x e DDR_x).

O módulo de interrupção (*InterruptModule*) é responsável por receber requisições de interrupção dos módulos de *Timer*, E/S e conversor A/D, organizando-as em ordem de prioridade. Ela também é responsável por armazenar os endereços de desvio das interrupções e fornecer à CPU para a execução da rotina de interrupção. Este módulo pode ser acessado estaticamente por todas as classes do projeto, por meio do módulo principal.

Os módulos de *Timer* (*TimerxModule*) são executados continuamente em *threads* próprias. Elas fornecem todos os modos de funcionamento dos apresentados na seção 2.6, com exceção do funcionamento assíncrono para o *Timer 2*.

O conversor A/D (*ADCModule*), assim como os *Timers*, executa continuamente em uma *thead* e apresenta todos os módulos de funcionamento descritos na seção 2.7, com exceção do sensor de temperatura e do disparo pela saída do comparador analógico (já que este módulo não foi implementado).

A figura 3.4 mostra que as comunicações ocorrem sempre por meio de interfaces (exceto para envio de dados, que precisam partir dos módulos). Esta configuração isola todo o controle do sistema do funcionamento dos módulos específicos do ATmega328P. Isso facilita a expansão do sistema já que, para suportar uma nova plataforma, basta escrever novos módulos de *Timer*, conversor A/D, etc., que implementem as mesmas interfaces. As únicas classes que são acessados diretamente são a *UCModule_View* (que é própria do aplicativo) e a *CPUModule* (que é própria da arquitetura).

3.2.2.2 Estratégias de implementação

Uma vez apresentada a arquitetura do sistema, serão detalhadas a seguir as principais estratégias de implementação utilizadas no simulador.

3.2.2.2.1 Clock

Não foi implementada uma fonte de *clock* para o funcionamento do simulador. Toda a sincronia dos módulos é feita por meio de variáveis de condição.

Cada *thread* (correspondente à um módulo) executa sua função dentro de uma estrutura de repetição. A cada iteração, a *thread* é bloqueada em uma variável de condição e fica a espera dos demais módulos. Quando todos os módulos terminarem suas tarefas referentes aquele ciclo de *clock*, o último módulo envia uma mensagem ao módulo principal, que envia um sinal a cada *thread*, desbloqueando-as.

Esta estratégia mantém a sincronização ao mesmo tempo que não limita a velocidade de execução do sistema. Um ponto negativo desta abordagem é que a velocidade de execução do programa não é fixa, podendo acelerar ou desacelerar em função da carga no sistema (externo ao aplicativo).

3.2.2.2.2 Memória de Programa

Como dito na seção 2.3, a memória de programa do ATmega328P é organizada em 16kB x 16-bits. No entanto, no simulador preferiu-se a organização 32kB x 8-bits. Desta forma, a estrutura de dados para armazenar o programa é mais simples (um vetor de *bytes*), além de facilitar a implementação da instrução LPM, que lê um *byte* da memória de programa.

Cada vez que uma instrução é lida da memória pela CPU, dois *bytes* são lidos e concatenados. O valor do PC continua se referindo ao valor da próxima instrução enquanto que o endereço dos *bytes* desta instrução são calculados na função *loadInstruction*.

Capítulo 4

Resultados e Discussões

Resultados e discussões sobre o trabalho.

Capítulo 5

Conclusão ou Conclusões

Conclusões do trabalho de conclusão de curso.

Trabalhos futuros

Isso é para a Monografia Final de defesa.....

Referências

- [1] Microsoft relembra produtos que eram sucesso na época do xp. <https://olhardigital.com.br/noticia/microsoft-relembra-produtos-que-eram-sucesso-na-epoca-do-xp/40602>, Acesso em: 11 de março de 2018.
- [2] Samsung galaxy s9. <https://comparador.tecmundo.com.br/samsung-galaxy-s9/>, Acesso em: 18 de março de 2018.
- [3] R.R. Lecheta. *Google Android 4ª edição: Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK*. Novatec Editora, 2015.
- [4] Content license. <https://source.android.com/setup/licenses>, Acesso em: 18 de março de 2018.
- [5] Paul Deitel, Harvey Deitel, and Abbey Deitel. *Android for Programmers: An App-Driven Approach*. Prentice Hall Press, Upper Saddle River, NJ, USA, 1st edition, 2012.
- [6] José Ernesto Almas de Jesus JUNIOR. Implementação de um osciloscópio de baixo custo com exibição gráfica em aplicativo para android, 2016.
- [7] A. C. Eberendu, B. O. Omaiye, and E. C. Nwokorie. Using android application to turn smart device into digital microscope on arduino and window platform. In *2017 IEEE 3rd International Conference on Electro-Technology for National Development (NIGERCON)*, pages 508–513, Nov 2017.
- [8] H. F. Teng, M. J. Wang, and C. M. Lin. An implementation of android-based mobile virtual instrument for telematics applications. In *2011 Second International Conference on Innovations in Bio-inspired Computing and Applications*, pages 306–308, Dec 2011.
- [9] J. Overman, L. Pool, L. Kreuk, and T. Ketel. Arduino - the open-source ide. <https://delftswa.gitbooks.io/desosa-2017/content/arduino/chapter.html>, Acesso em: 08 de abril de 2018.

- [10] Create your package. <https://www.labcenter.com/buy-vsm/>, Acesso em: 15 de abril de 2018.
- [11] Vbb software licenses. <http://www.virtualbreadboard.com/DocView.html?doc=WebShop/WebShop>, Acesso em: 15 de abril de 2018.
- [12] Arduino uno/mega simulator. <http://web.simuino.com/home-1>, Acesso em: 15 de abril de 2018.
- [13] Codeblocks arduino ide. <http://arduinodev.com/codeblocks/>, Acesso em: 15 de abril de 2018.
- [14] O tinkercad é um aplicativo simples e on-line de projeto e impressão 3d para todos os usuários. <https://www.tinkercad.com/>, Acesso em: 15 de abril de 2018.