

Placa de Desenvolvimento com ARM para Ensino de Microcontroladores

Leonardo da Silva Tavares, Paulo Roberto Oliveira Valim

Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) – Itajaí, SC – Brasil

leonardo_st@outlook.com, pvalim@univali.br

Abstract. *The microcontrollers have become common in the most diverse embedded systems, thanks to the rising processing power, low cost and versatility offered. Among the microcontroller architectures, the one that has grown most in the last years was the ARM. Consequently, it becomes each time more necessary to form professionals with knowledge about this architecture. Therefore, this article presents the design and implementation of a development board with an ARM Cortex-M microcontroller that aims to assist students in learning and prototyping projects.*

Resumo. *Os microcontroladores se tornaram comuns nos mais diversos sistemas embarcados, graças ao crescente poder de processamento, baixo custo e versatilidade oferecidos. Dentre as arquiteturas de microcontroladores, a que mais cresceu nos últimos anos foi a ARM. Por consequência, se faz cada vez mais necessária a formação de profissionais com conhecimento sobre essa arquitetura. Com isso, este artigo apresenta o projeto e a implementação de uma placa de desenvolvimento com um microcontrolador ARM Cortex-M que visa auxiliar estudantes no aprendizado e na prototipação de projetos.*

1. Introdução

Os microcontroladores são chips versáteis por possuírem diversos recursos integrados, tais como núcleo de processamento, memória, barramento, conversores, interfaces de comunicação, entre outros [Yiu 2014]. Dessa forma, conseguem substituir diversos componentes em um circuito e, por consequência, circuitos com microcontroladores se tornam menores e mais baratos [Pereira 2002].

Dentre as arquiteturas presentes nos microcontroladores, a que mais vem crescendo – de acordo com o Financial Times (2015) – é a ARM (Advanced RISC Machines), que se tornou líder absoluta no mercado. Tal crescimento tem gerado uma demanda por profissionais com conhecimento sobre a arquitetura e, conseqüentemente, se faz cada vez mais necessária a criação de ferramentas que auxiliem no aprendizado e no desenvolvimento de projetos com microcontroladores ARM.

Como base nisso, este trabalho propôs fornecer uma placa de desenvolvimento com um microcontrolador equipado com um núcleo ARM Cortex-M (família de núcleos voltada para sistemas embarcados) que auxilie no aprendizado e dê suporte ao desenvolvimento de projetos que utilizem microcontroladores.

Este artigo apresentará o projeto da placa batizada de μ ARM (lê-se Micro ARM). Na Seção 2 são apresentadas placas relacionados. Na Seção 3 é detalhado o projeto da

placa e de seus recursos. Na Seção 4 são mostrados os resultados dos testes, além de uma aplicação. Por fim, na Seção 5, são feitas as conclusões.

2. Trabalhos Relacionados

A seguir serão apresentadas três placas de desenvolvimento relacionadas, voltadas para aprendizado e experimentos em laboratório.

2.1. Placa com Microcontrolador PIC18F4520 da Universidade do Vale do Itajaí

A placa com o microcontrolador PIC18F4520 (Figura 1.a) é utilizada na disciplina de Microcontroladores do curso de Engenharia de Computação e no laboratório de Redes da Universidade do Vale do Itajaí. Dentre os recursos presentes, há 8 LEDs, 3 botões e um display de 7 segmentos de 4 dígitos.

2.2. Placa com Microcontrolador 89C52 da Capital Normal University

Esta placa (Figura 1.b) é voltada para o uso em laboratório na faculdade de Engenharia de Informação da Capital Normal University, em Pequim, China. O microcontrolador presente é o 89C52. Dentre os recursos, há uma matriz de botões, uma matriz de LEDs, um display LCD 16x2 e 3 displays de 7 segmentos [Liu e Wang 2012].

2.3. Placa para Microcontroladores PIC da Universidad de Valencia

A chamada EduPic (Figura 1.c) é voltada para experimentos desenvolvidos no laboratório de microcontroladores da Universidad de Valencia, em Valência, Espanha. Ela possui soquetes para encaixe de microcontroladores PIC com diferentes encapsulamentos. Dentre os recursos presentes há um display LCD 16x2, uma matriz de botões, 2 displays de 7 segmentos, sensores analógicos e diversos conectores [Boluda, Pardo e Ves 2017].

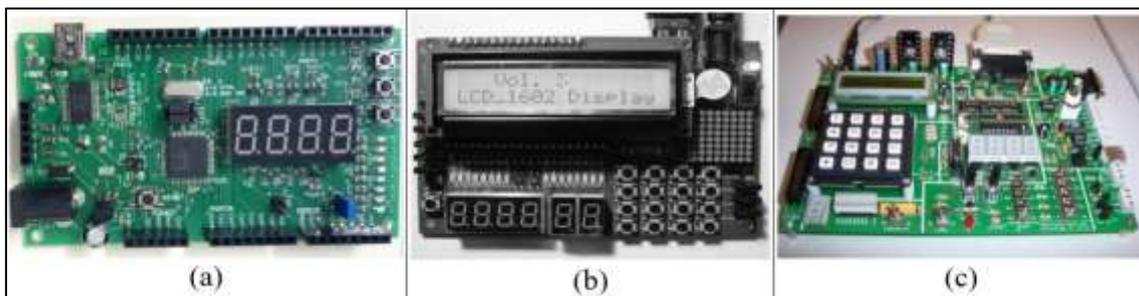


Figura 1. Placas de desenvolvimento relacionadas

2.4. Comparativo

As três placas apresentadas, assim como a μ ARM (Figura 5, na Subseção 4.2), possuem como finalidade o aprendizado e o desenvolvimento de experimentos.

Embora não seja possível uma comparação qualitativa, visto que são placas feitas sob medida para uma disciplina ou um laboratório, vale ressaltar que a placa deste trabalho – que será melhor detalhada abaixo – é a única que suporta microcontroladores ARM. As outras possuem microcontroladores mais antigos e com menos recursos. A exceção é a placa da Universidad de Valencia, que permite o encaixe de diferentes PICs.

3. Desenvolvimento

3.1. Seleção do Microcontrolador

Os microcontroladores com ARM Cortex-M possuem, em sua grande maioria, encapsulamentos com pinos extremamente próximos (menos de 1 mm de distância entre eles), o que dificulta a soldagem manual do componente. Para contornar isso, foi feita uma busca por placas menores com um microcontrolador no meio. A placa mais adequada ao projeto foi a MINI-M4 for STM32, da MikroElektronika, cujo microcontrolador – STM32F415RG, da STMicroelectronics – possui um ARM Cortex-M4F [MikroElektronika 2012]. Algumas das vantagens de tal escolha são:

- O Cortex-M4F possui instruções de processamento digital de sinais e uma unidade de processamento de operações em ponto flutuante;
- O microcontrolador possui especificações superiores aos de outras placas da linha MINI-M4 – Frequência máxima de 168 MHz, 192 kB de SRAM, 1 MB de memória Flash e interfaces I²C, SPI, UART, USB, CAN e SDIO;
- A placa fornece 40 pinos de E/S (Figura 2), sendo alguns deles saídas de módulos pertinentes ao projeto, como conversores A/D, PWM, I²C, entre outros;
- A placa possui pinos JTAG, que permitem testes de sinais e depuração de código;
- A placa já fornece alguns componentes que precisariam ser adicionados ao projeto individualmente, como um conector mini-USB para alimentação e transferência de código, LED de energia, botão *reset*, regulador de tensão e osciladores;
- O formato da placa, igual ao de um encapsulamento DIP40, permite com que outros microcontroladores e outras placas da mesma linha se conectem à μ ARM.

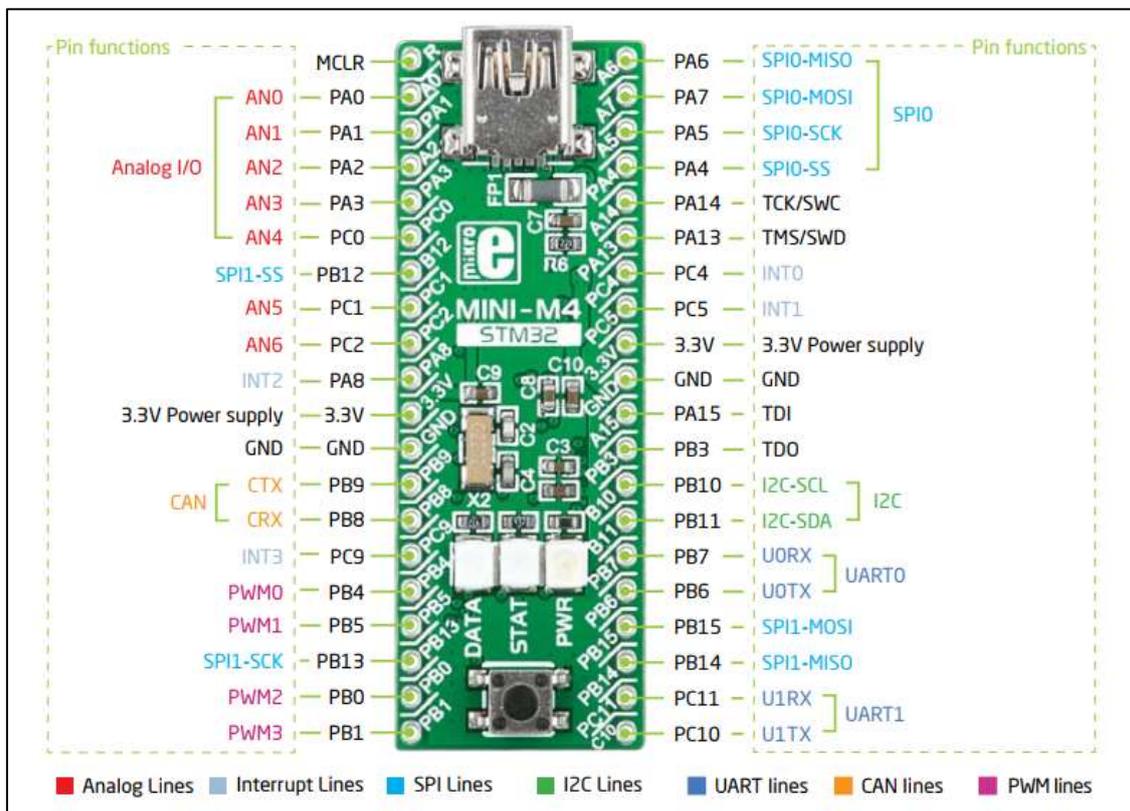


Figura 2. MINI-M4 for STM32 e seus pinos de E/S

3.2. Recursos

A seguir serão descritos os recursos presentes na μ ARM que visam o aprendizado e a realização de experimentos e projetos. O circuito dos recursos pode também ser visto na Figura 3, na Subseção 3.3.

- **Pinos de E/S:** Os pinos de E/S são o meio pelo qual o microcontrolador envia e recebe informações. A MINI-M4 possui 40 pinos, sendo 35 deles de E/S. Para fornecer acesso direto aos mesmos, há duas barras de 20 pinos, uma em cada lado da μ ARM;
- **Switches de controle:** Os circuitos dos recursos estão ligados aos pinos de E/S da μ ARM, mas podem ser ativados ou desativados por meio de oito *switches* de controle. Os *switches* dispensam os tradicionais *jumpers*, cujos conectores são fáceis de perder. Quando um circuito é desativado, os pinos de E/S associados ficam liberados para que o usuário os utilize para outros fins;
- **LEDs:** Há 8 LEDs SMD (*Surface-Mount Device*) para experimentos com manipulação de saída digital. Quando desativados no *switch* de controle, o aterramento dos LEDs é desconectado do circuito;
- **Botões:** Há também 4 botões para experimentos com leitura de entrada digital, interrupções e tratamento de repiques (*debounce*). O circuito não foi conectado a um *switch* de controle, pois, para que os botões não interfiram nos pinos de E/S, basta que não sejam pressionados;
- **Switches:** Além dos botões, há 4 *switches* para os mesmos fins. Diferentemente dos botões, estes podem ser desativados no *switch* de controle – afinal, o usuário pode esquecê-los na posição *on*, o que os faria interferir nos pinos de E/S;
- **Display de 7 segmentos:** O display de 4 dígitos da μ ARM visa o aprendizado do conceito de multiplexação entre dígitos, além de ser útil para a exibição de informações numéricas. Há 4 transistores conectados aos catodos dos segmentos do display, sendo que cada transistor controla um dígito. Quando o circuito é desativado no *switch* de controle, o aterramento dos transistores é desconectado;
- **HB LED:** O HB (*High Brightness*) LED está conectado à uma saída PWM (*Pulse Width Modulation*). Quando ativo, o recurso controla a intensidade do brilho do LED por meio da largura do pulso definida no microcontrolador. Quanto maior a largura do pulso do sinal PWM, maior é o brilho do LED. Com isso, é possível realizar experimentos de ajuste em tempo real do sinal;
- **LDR:** O LDR (*Light Dependent Resistor*), por estar em série com um resistor fixo, gera uma tensão que varia conforme o brilho do ambiente, e que é lida por uma entrada analógica. Quanto mais brilho, maior a tensão;
- **Potenciômetro:** O potenciômetro de 5 k Ω gera uma tensão ajustável na saída – entre 0 e 3,3 V – que é lida por uma entrada analógica. Esse, assim como o LDR, é um recurso voltado ao aprendizado sobre conversão A/D;
- **EEPROM:** Para experimentos com comunicação serial, há dois CIs conectados a um barramento I²C. Um deles é uma memória EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) com 256 kb, da Microchip – 24LC256 [Microchip 2013];
- **Sensor de temperatura:** Além da memória, há um sensor de temperatura digital da Texas Instruments – LM75B. O sensor é capaz de medir temperaturas que estejam entre -55° C e 125° C e possui precisão de 0,5 °C no valor lido [Texas Instruments 2015].

3.3. Esquemático

O esquemático é a primeira parte da elaboração do projeto de uma PCB (*Printed Circuit Board*). Nele, todos os circuitos devem ser cuidadosamente analisados pelo projetista, pois caso haja algum defeito, este irá se propagar para o leiaute e para a placa após fabricada.

A Figura 2 mostra o esquemático completo da μ ARM. Para evitar poluição visual, os fios que interligam diferentes circuitos estão representados por rótulos.

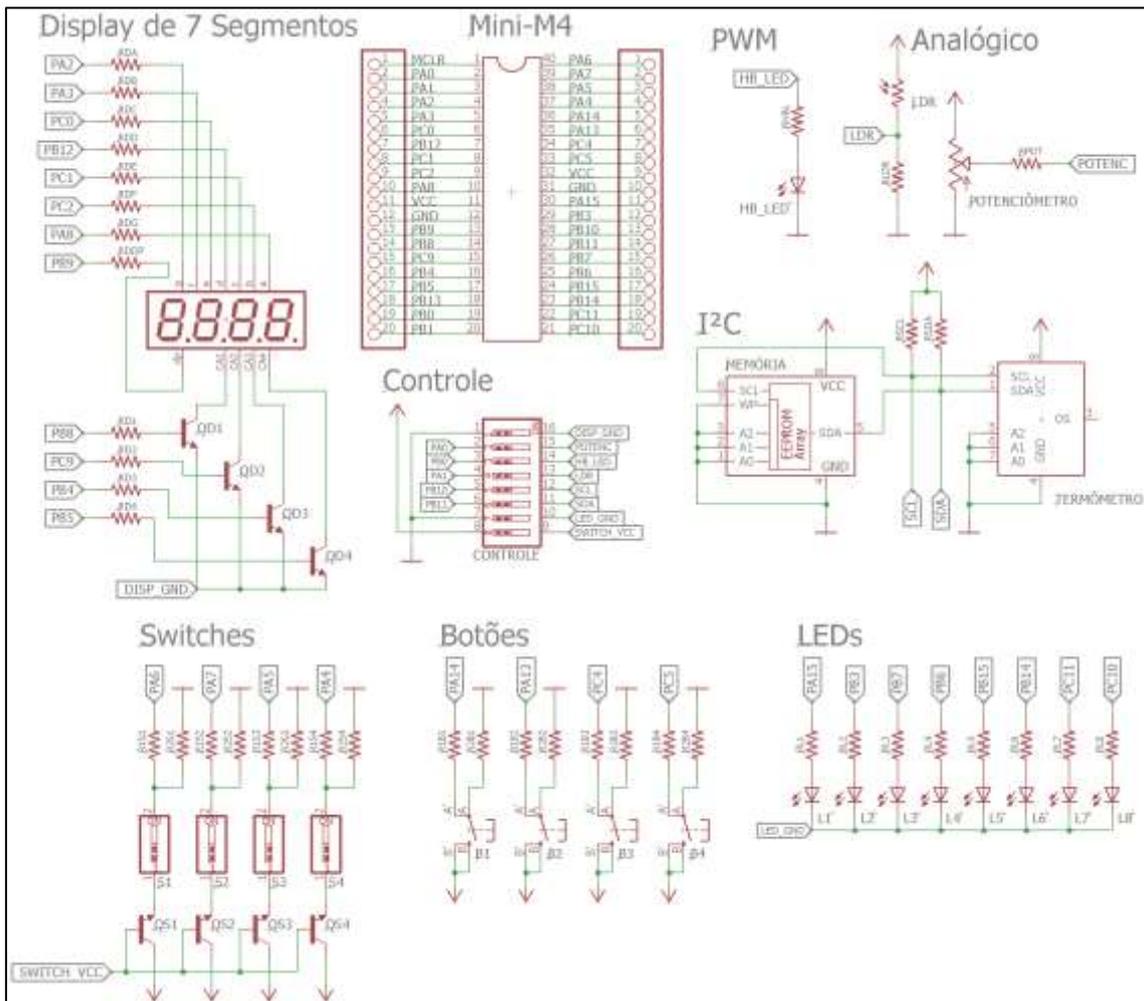


Figura 3. Esquemático da μ ARM

3.4. Leiaute

A placa, projetada no software EAGLE (Figura 4), possui 10 x 10 cm. As trilhas foram feitas manualmente para evitar desperdício de área e fornecer um visual mais organizado.

Na face superior (trilhas em vermelho) estão os componentes, as legendas e as trilhas que ligam (i) a MINI-M4 aos pinos de E/S nas laterais; (ii) o *switch* de controle aos recursos; e (iii) componentes do mesmo recurso. Na face inferior (trilhas em azul) estão as trilhas que ligam (i) a MINI-M4 aos recursos e ao *switch* de controle, (ii) componentes do mesmo circuito; e (iii) circuitos distintos entre si.

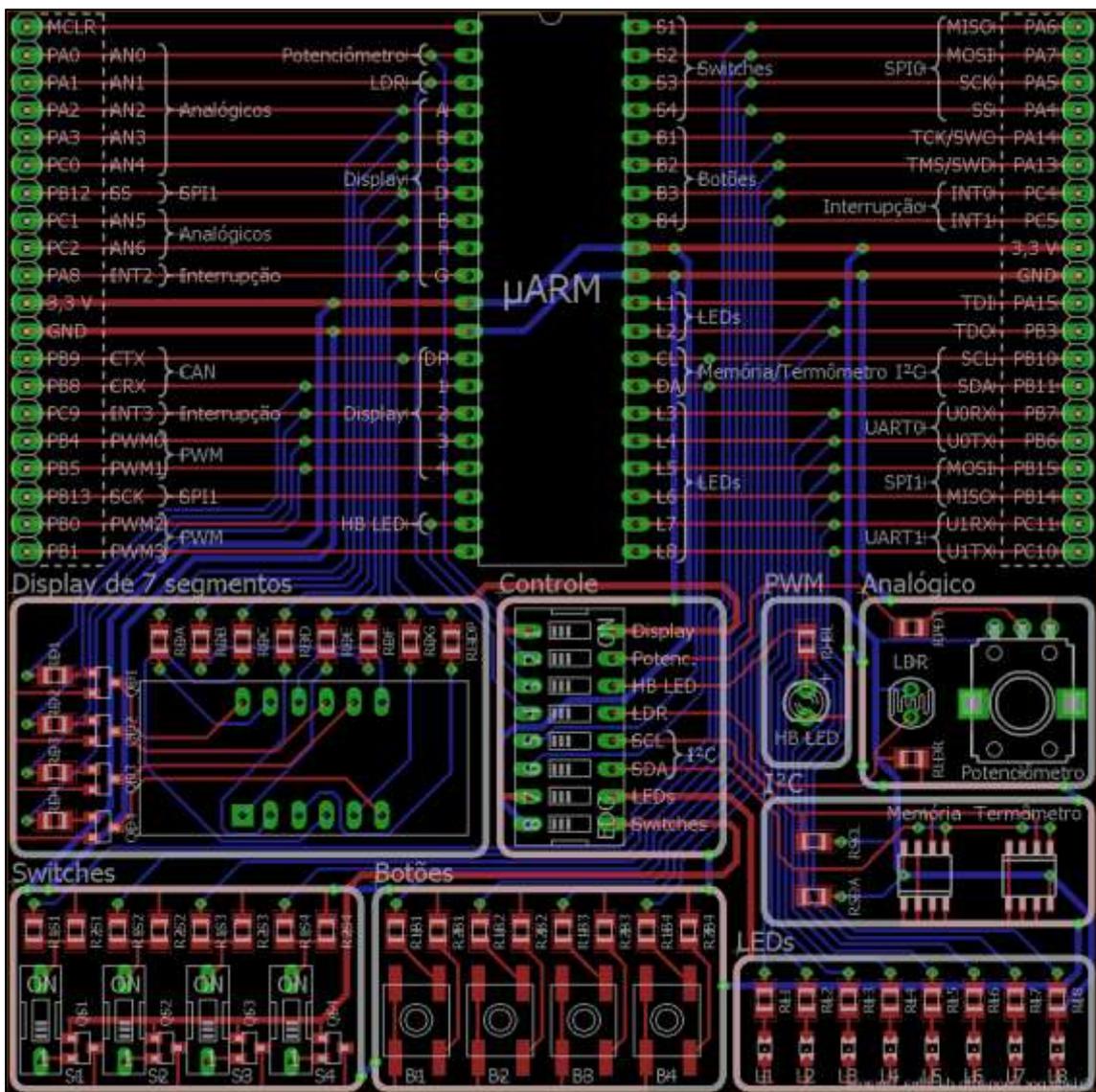


Figura 4. Leiaute da μ ARM

Algumas considerações sobre o projeto, que visam tornar a μ ARM mais ergonômica e intuitiva para o aluno, são:

- Todos os pinos de E/S estão identificados por legendas que indicam o rótulo, a função do pino e o recurso da placa que o mesmo controla;
- Os circuitos dos recursos estão dentro de retângulos, cada retângulo com um nome, e cada componente com um rótulo;
- Algumas trilhas de aterramento e alimentação passam por baixo da borda dos retângulos que contornam os circuitos – sob a tinta. Tal medida visou tornar o visual da placa mais limpo;
- Recursos que o usuário deverá manipular com frequência – botões, *switches*, potenciômetro, etc – estão nas bordas, para que assim o usuário não esbarre com a mão em outros componentes ao manuseá-los;
- O HB LED está ao lado LDR para que, em um eventual experimento, o brilho do LED possa ser medido pelo sensor.

4. Resultados

4.1. Testes dos Recursos

Após feita a fabricação, montagem, soldagem manual e testes de continuidade na placa, foi necessário testar a interação entre o microcontrolador e os recursos. Os algoritmos foram criados com o único objetivo testar o funcionamento da placa, não sendo válidos como teste de desempenho, eficiência energética ou qualquer outra métrica.

Os algoritmos foram desenvolvidos no ambiente MikroC PRO for ARM, fornecido pela fabricante da MINI-M4. O software é pago mas possui versão gratuita de demonstração, cuja limitação está no tamanho máximo que o programa pode ter para ser transferido ao microcontrolador – 8 kB. O ambiente possui uma seção de ajuda com instruções sobre como utilizar as bibliotecas presentes e exemplos de códigos-fonte.

No Quadro 1 é apresentado o plano de testes seguido. Os testes foram efetuados na ordem apresentada na tabela pois alguns testes utilizam recursos testados previamente.

Quadro 1. Plano de testes

Item	Descrição do Teste	Resultado
1. Continuidade	Com um multímetro, foram verificados pontos de solda nas extremidades das trilhas	Todos os pontos estavam conduzindo
2. MINI-M4	Foi transferido via USB um programa para teste fornecido pela MikroElektronica, que faz os LEDs da MINI-M4 piscarem	LEDs da MINI-M4 piscaram
3. LEDs	Os pinos de E/S dos LEDs alternaram entre nível lógico alto e baixo	Todos os LEDs piscaram
4. Botões e switches	Cada botão/switch foi associado a um LED, e foi feita a leitura dos mesmos. Os LEDs deveriam acender se os botões/switches estivessem em nível lógico alto	Todos os botões e switches fizeram os respectivos LEDs acenderem
5. Display de 7 segmentos	Foram colocados alternadamente em nível lógico alto cada pino associado a um segmento, em cada dígito do display	Os segmentos de todos os dígitos acenderam na ordem correta
6. Potenciômetro	Foi lido continuamente o valor analógico no potenciômetro. O número de LEDs que acenderiam seria proporcional ao valor lido	O número de LEDs acesos aumentou ao girar o potenciômetro no sentido horário
7. Sensor LDR	Foi lido continuamente o valor analógico no sensor LDR. O número de LEDs que acenderiam seria proporcional ao valor lido	O número de LEDs acesos aumentou conforme incidia mais brilho no LDR
8. LED de alto brilho	Foi gerado um sinal pulsante na saída PWM do LED, com largura do pulso proporcional ao valor analógico lido no potenciômetro	O brilho do LED aumentou ao girar o potenciômetro no sentido horário
9. EEPROM e sensor de temperatura	Foi enviado um dado qualquer para a memória, para o sensor e para um componente que não existe. Cada envio bem sucedido acenderia um LED	Os LEDs correspondentes à memória e ao sensor acenderam, enquanto que o do componente inexistente não acendeu

4.2. Projeto – Termômetro Digital

O termômetro digital é um exemplo de uma possível aplicação que pode ser implementada pelos acadêmicos que utilizem a μ ARM. O projeto utiliza o sensor de temperatura, um LED e o display de 7 segmentos.

A aplicação lê periodicamente o sensor de temperatura através do barramento I²C. Após cada leitura, o LED pisca e a temperatura é exibida no display. A Figura 5 mostra a μ ARM rodando a aplicação, com o display exibindo a temperatura ambiente de 25° C.

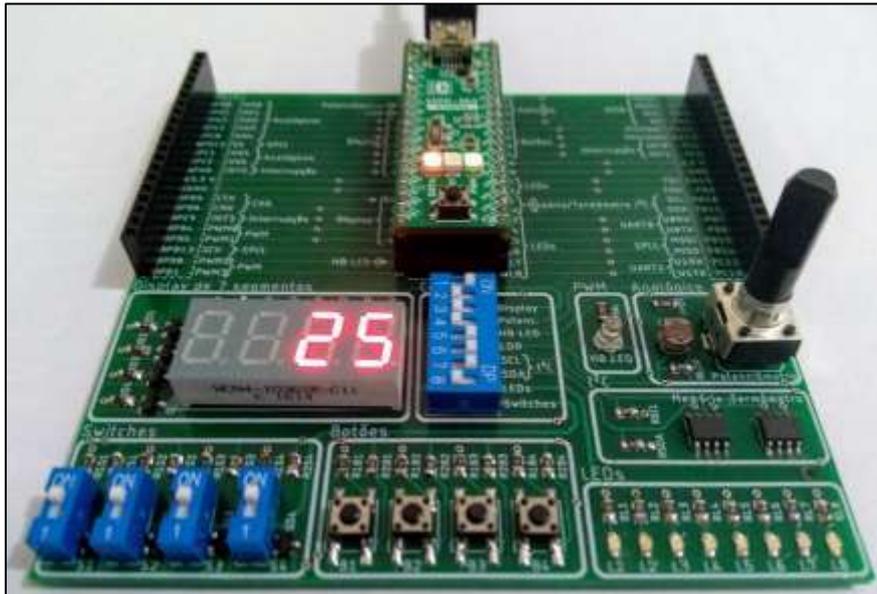


Figura 5. Termômetro digital rodando na μ ARM

5. Conclusões

Este artigo apresentou o projeto de uma placa de desenvolvimento, equipada com um microcontrolador ARM removível, voltada para uso em disciplinas e laboratórios de microcontroladores de cursos de computação.

Um dos aspectos norteadores do projeto foi fornecer uma placa funcional ao usuário, para que assim o aluno não precise se preocupar com montar circuitos cheios de fios em *protoboards* e possa se ater à programação para microcontroladores. Além disso, outro aspecto norteador foi prover facilidade de uso. Para isso, foram feitas legendas e rótulos indicando funcionalidades, protocolos e componentes que podem ser controlados. A opção de deixar a metade superior da placa reservada para pinos de E/S e legendas visou fornecer o máximo de informações possíveis, para que o aluno não precise procurar essas informações em *datasheets* ou manuais de instrução.

Como contribuição, foi disponibilizada uma ferramenta que fornece ao aluno uma série de recursos a serem explorados em experimentos e projetos. Como trabalhos futuros, pode-se acrescentar novos componentes, como por exemplo um resistor de potência, um conector USB, entrada para cartões SD, um conector de alimentação DC e um conector JTAG para testes e depuração. Também é proposta a substituição da MINI-M4 por uma placa feita sob medida. Assim, conseguir-se-ia aumentar enormemente a quantidade de microcontroladores possíveis de serem utilizados, de outras fabricantes, com outros núcleos Cortex-M ou até com outras arquiteturas.

Referências

- Boluda, J. A., Pardo, F. e Ves E. “Development board for the microcontroller lab”, <https://pdfs.semanticscholar.org/4b6f/d94aceb838aa1bbbb3eb35099c93ab0be7b6.pdf>, Julho.
- Financial Times (2015) “Arm Holdings maintains rapid revenue growth”, http://www.ft.com/fastft/2015/10/21/arm-holdings/?ft_site=falcon&desktop=true, Junho.
- Liu, J. e Wang, Y. (2012) “Development and Use of an MCU Experimental Development Board”, <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6202251/>, Julho.
- Microchip (2013) “256K I²C CMOS Serial EEPROM. 2013”, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001203U.pdf>, Setembro.
- MikroElektronika (2012) “MINI-M4: development board for STM32”, <https://download.mikroe.com/documents/starter-boards/mini/stm32/f4/mini-m4-stm32-manual-v100.pdf>, Setembro.
- Pereira, F. (2002) “Microcontroladores PIC: Técnicas Avançadas”, São Paulo: Érica.
- Texas Instruments (2015) “LM75x Digital Temperature Sensor and Thermal Watchdog With Two-Wire Interface”, <http://www.ti.com/lit/ds/snis153d/snis153d.pdf>, Setembro.
- Yiu, J. (2014) “The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors”, 3. ed. Waltham: Elsevier.