

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DELT - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

WENDEURICK EMERICK SILVERIO

**DESENVOLVIMENTO DE MESA DE LUZ INTERATIVA PARA
EXPERIMENTO DE CIÊNCIAS PARA CRIANÇAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2018

WENDEURICK EMERICK SILVERIO

**DESENVOLVIMENTO DE MESA DE LUZ INTERATIVA PARA
EXPERIMENTO DE CIÊNCIAS PARA CRIANÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. James Alexandre Baraniuk
DELT - Departamento de Engenharia Elétrica

CURITIBA
2018

RESUMO

SILVERIO, Wendeurick. Desenvolvimento de Mesa de Luz Interativa para Experimento de Ciências para Crianças. 2018. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O presente trabalho refere-se ao desenvolvimento do protótipo de uma matriz de LED que será parte da exposição interativa “Luz, Ciência e Emoção”, idealizada pela arquiteta Dra. Maristela Mitsuko Ono e pelo engenheiro Dr. James Alexandre Baraniuk. A matriz, chamada de “Mesa de Bolinhas”, se enquadra no setor artístico da exposição, que traz experimentos envolvendo os conceitos de luz trabalhados nos ensinos pré-escolar e fundamental, e proporcionará uma experiência tangível-visual impactante aos observadores, causando deslumbramento e entusiasmos através da interação com arte e tecnologia. Entre os desafios do projeto, **TODO: falar sobre técnicas de contorno (debounce), endereçamento dos quase 400 canais de PWM, FSM**

Palavras-chave: Matriz de LED. Matriz de sensores. Arte generativa.

ABSTRACT

SILVERIO, Wendeurick. Title in English. 2018. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

TODO: resumo em língua estrangeira.

Keywords: Word. Second Word. Another word.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Parte da exposição “Luz, Ciência e Emoção”, no MuMa	1
Figura 2 – Vista superior da mesa	2
Figura 3 – Disposição dos objetos	4
Figura 4 – Sensor TCRT5000	6
Figura 5 – Aplicação do sensor TCRT5000	7
Figura 6 – Diagrama funcional do 74HC165	7
Figura 7 – Diagrama temporal do 74HC165	8
Figura 8 – Diagrama funcional do ESP8266	9
Figura 9 – Módulo ESP-12	10

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características do sensor	6
Tabela 2 – Especificação do ESP8266	9

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	do inglês <i>Analog to Digital Converter</i>
API	do inglês <i>Application Programming Interface</i>
CPU	do inglês <i>Central Processing Unit</i>
GPIO	do inglês <i>General Purpose Input/Output</i>
FSM	do inglês <i>Finite-state Machine</i>
LDR	do inglês <i>Light Dependent Resistor</i>
LED	do inglês <i>Light Emitting Diode</i>
MuMa	Museu de Arte Municipal
OTA	do inglês <i>Over-the-air</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
PIBIC	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
PWM	do inglês <i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	do inglês <i>Random Access Memory</i>
RGB	Sistema de cores aditivas, do inglês <i>Red, Green e Blue</i>
SPIFFS	do inglês <i>SPI Flash File System</i>
TCP	do inglês <i>Transmission Control Protocol</i>
UDP	do inglês <i>User Datagram Protocol</i>
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω	Unidade de medida da resistência elétrica
λ	Comprimento de onda

LISTA DE ALGORITMOS

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 OBJETIVO GERAL	3
1.2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3 RESULTADOS ESPERADOS	3
2 – REVISÃO TEÓRICA	4
2.1 PROJETO ARQUITETÔNICO	4
2.2 SENSOR	5
2.3 REGISTRADORES DE DESLOCAMENTO	7
2.4 LED	8
2.5 MICROCONTROLADOR	8
2.6 <i>FRAMEWORK</i>	10
3 – DESENVOLVIMENTO	11
4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	12
5 – CONCLUSÃO	13
5.1 TRABALHOS FUTUROS	13
5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	13
Referências	14

1 INTRODUÇÃO

A luz exerce um papel essencial no nosso cotidiano e está presente das mais diversas formas: iluminação, medicina, pesquisas científicas, geração de energia, telecomunicações, educação, arte, cultura e etc. A Assembleia Geral das Nações Unidas proclamou o ano de 2015 como o Ano Internacional da Luz e das Tecnologias Baseadas na Luz ([UNITED NATIONS, 2014](#)), a fim de reconhecer tal importância para a vida dos cidadãos e para o desenvolvimento futuro da sociedade mundial. No ano da celebração, a UNESCO promoveu uma série de eventos por vários países [UNESCO \(2015\)](#), com o intuito de destacar que o aumento da consciência mundial e o fortalecimento do ensino da ciência e das tecnologias da luz são essenciais para abordar os desafios futuros e atuais, tais como o desenvolvimento sustentável, a energia e as comunicações, assim como para melhorar a qualidade de vida dos países menos desenvolvidos e os em desenvolvimento.

Baseada em tal iniciativa, a exposição Luz, Ciência e Emoção, idealizada pela arquiteta Dra. Maristela Mitsuko Ono e pelo engenheiro Dr. James Alexandre Baraniuk, traz experimentos envolvendo os conceitos de luz trabalhados nos ensinamentos pré-escolar e fundamental, cada um com seu grau de impressão aos sentidos. A ([Figura 1](#)) apresenta uma parte da mostra que ocorreu entre março e junho de 2017, no Museu de Arte Municipal, em Curitiba.

Figura 1 – Parte da exposição “Luz, Ciência e Emoção”, no MuMa

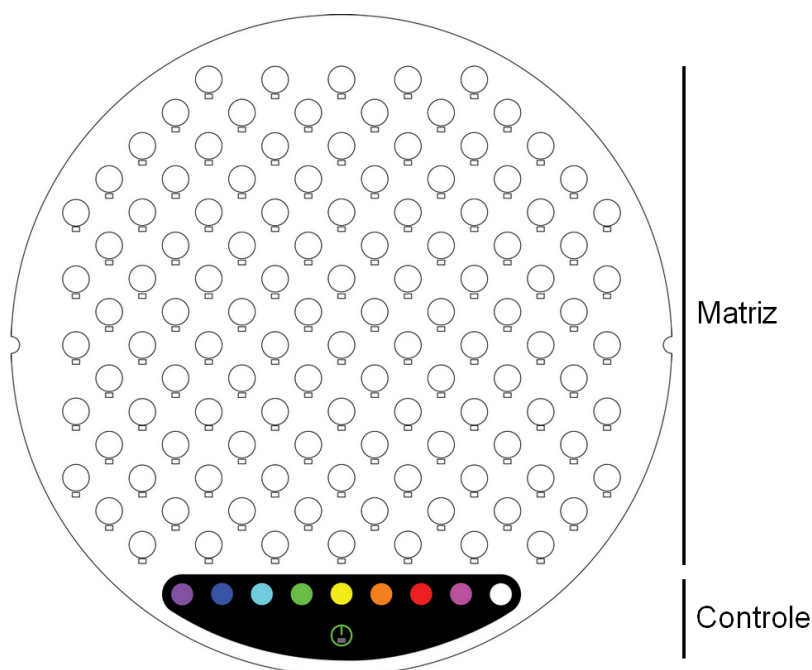


Fonte: (UFPR, 2017)

Dentre outros projetos que participou durante o Programa de Iniciação Científica ¹, o autor trabalhou na seção Matriz da Mesa de Bolinhas (Figura 2), projeto este que ocupará uma posição de destaque dentro da área artística da mostra. Trata-se de uma matriz de LEDs interativa, composta por mais de 100 bolinhas de *ping-pong*, cada uma sobre um correspondente par LED-sensor reflexivo. Ela permite que o espectador “pinte com luz” ao passar a mão sobre a mesa, proporcionando uma experiência tangível-visual impactante, causando deslumbramento e entusiasmo através da arte e interação.

O trabalho aqui proposto trata do desenvolvimento do *hardware* e *firmware* embarcado da seção Controle da mesa. Tal setor é responsável pela identificação e tratamento dos sinais de entrada e pelo acionamento da matriz de saída.

Figura 2 – Vista superior da mesa



Fonte: (MITSUKO, 2016)

1.1 JUSTIFICATIVA

Sendo parte da exposição Luz, Ciência e Emoção, espera-se que o projeto fomente o envolvimento com a arte generativa e com as tecnologias envolvendo luz. Além de poder ser prestigiado durante a mostra, trata-se também de um projeto de código e *hardware* abertos, que serão disponibilizados à comunidade para que possam ser estudados e adaptados às suas necessidades.

Ademais, temas pouco explorados durante a graduação serão implementados, tais como técnica de contorno (*debounce*, identificação de comandos reais sob contextos com

¹Projeto de Pesquisa: Luz, Ciência e Emoção: Exposição Interativa para Crianças (PIBIC Voluntária: 2016019080)

ruído), padrão de *design* em *software* (FSM, máquina de estados finita) e geração de múltiplos canais de PWM.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Finalizar o *hardware* (seção Controle) e desenvolver o *firmware* embarcado da Mesa de Bolinhas, apresentando um protótipo funcional do projeto.

1.2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapeamento da matriz de saída, onde cada *LED* possa ser controlado individualmente;
- Mapeamento da matriz de entrada, onde cada sensor possa ser lido individualmente;
- *Software* microcontrolado que gerencie a interface humano-máquina;
- Leitura e montagem das Placas de Circuito Impresso (PCI);
- Integração da eletrônica com a mecânica do projeto.

1.3 RESULTADOS ESPERADOS

TODO: protótipo da mesa, etc

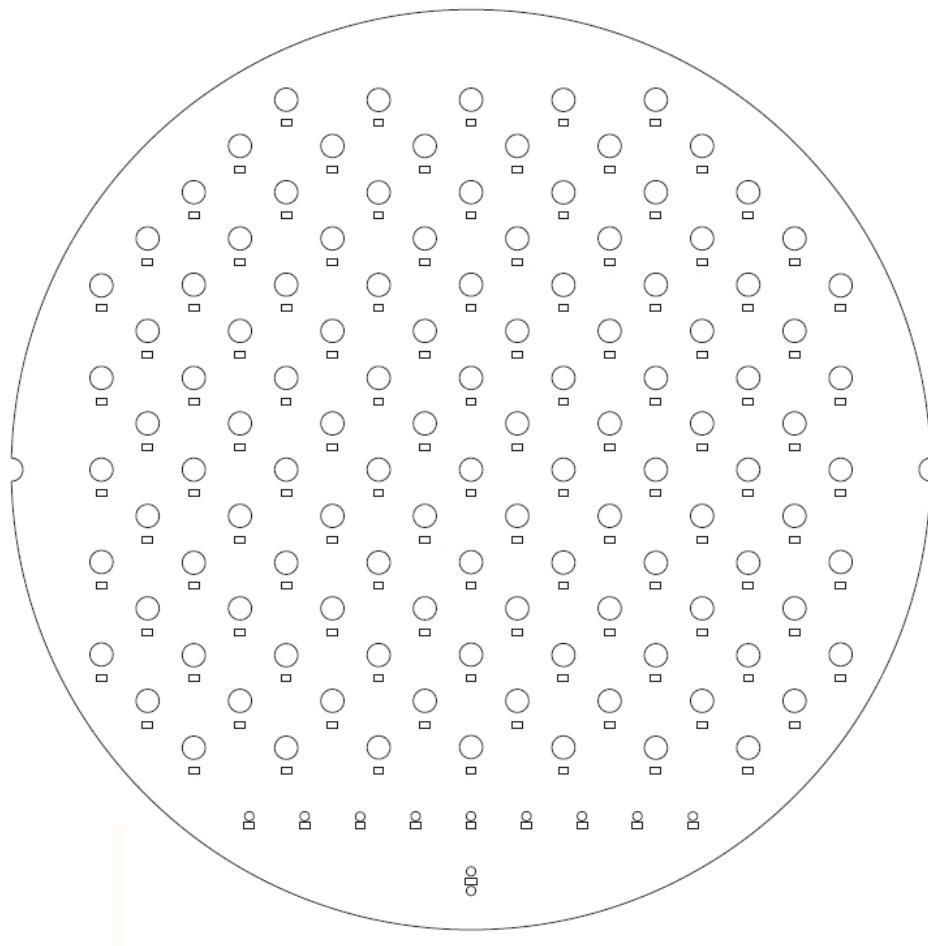
2 REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda alguns conceitos dos principais componentes e ferramentas utilizadas, bem como a especificação do projeto.

2.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

O projeto arquitetônico definiu a quantidade e a disposição de cada objeto. Ao todo, são 128 sensores e 129 pontos de luz, dispostos sob um tampo acrílico de 1m de diâmetro, conforme apresentado na [Figura 3](#).

Figura 3 – Disposição dos objetos



Fonte: MITSUKO, 2016

A arquiteta também especifica que o funcionamento da mesa deve ser orientado a eventos, provenientes das seções Controle e Matriz ([Figura 2](#)):

- A mesa sai do modo ocioso ao manter-se a mão sobre a bolinha *Power* por mais de 1s: acende-se o seletor de cores e a mesa passa a interpretar os demais comandos;

- Escolhe-se uma cor ao manter-se a mão sobre uma determinada bolinha do seletor de cores por mais de 1s;
- Ao passar a mão sobre uma determinada bolinha da seção Matriz, a mesma deve responder com a última cor escolhida;
- Uma bolinha da seção Matriz pode ser apagada se a “cor” escolhida tiver sido a da bolinha *Power*;
- Ao manter-se a mão por mais de 3s sobre a bolinha *Power*, todas as bolinhas da seção Matriz devem ser apagadas; e
- Ao manter-se a mão por mais de 5s sobre a bolinha *Power*, a mesa entra em modo ocioso: as bolinhas do seletor de cores são apagadas e a mesa passa a ignorar os comandos sobre a Matriz.

A partir da especificação acerca do funcionamento, notam-se alguns desafios do ponto de vista do eletrônico/lógico, tais como:

- A disposição dos objetos e o tamanho da mesa;
- A capacidade de comandar individualmente 129 *LEDs* coloridos (*RGB*), ou seja $129 \times 3 = 387$ canais de cor;
- A capacidade de interpretar os níveis lógicos dos 128 sensores;
- A capacidade de responder, simultaneamente, aos comandos temporais provenientes de cada sensor.

A seleção dos componentes e das ferramentas foi baseada na especificação e nos desafios acima citados, e será discutida a seguir nas demais seções deste capítulo.

2.2 SENSOR

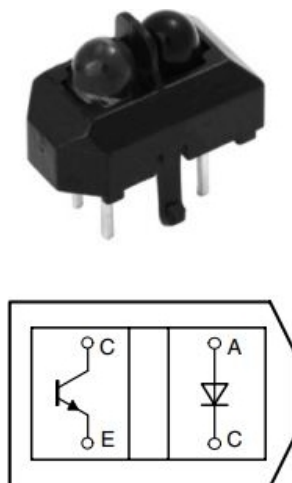
A função do sensor é identificar a posição de um objeto, no caso, a mão do espectador, sobre o tampo acrílico, e para manter-se centrado nos objetivos do projeto arquitetônico, a definição do tipo de sensor foi baseada em dois pontos essenciais:

- I. O elemento principal do projeto é a luz que flui da bolinha de *ping-pong*;
- II. A exposição pode ser levada a diversos lugares e ser instalada nos mais variados ambientes, como museus, escolas, saguões e etc.

A questão (I) implica que o sensor não deve irradiar ondas eletromagnéticas dentro do espectro visível, que vai de $400nm$ a $700nm$ (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2007). Já a questão (II) implica que a instalação será submetida a locais com diferentes graus de iluminação, portanto os sensores devem ser imunes à variação luminosa do ambiente.

Assim sendo, optou-se pelo sensor óptico reflexivo *TCRT5000L*, apresentado na Figura 4, cujas características relevantes para o projeto são apresentadas na Tabela 1.

Figura 4 – Sensor TCRT5000



Fonte: [Vishay Semiconductors \(2008\)](#)

Tabela 1 – Principais características do sensor.

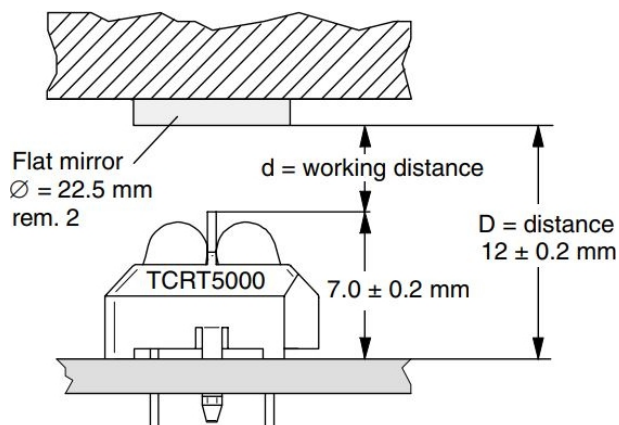
Parâmetro	Condição	Símb.	Mín.	Típ.	Máx.	Unidade
LED - Corrente direta		I_F		60		mA
LED - Queda direta de tensão	$I_F = 60mA$	V_F		1,25	1,5	V
LED - Comprimento de onda	$I_F = 100mA$	λ_P	940			nm
Sensor - Corrente de coletor	@5V, $I_F = 10mA$, $D = 12mm$	I_C	0,5	1	2,1	mA
Sensor - Queda de tensão entre coletor-emissor na saturação	$I_F = 10mA$, $I_C = 0,1mA$, $D = 12mm$	V_{CEsat}			0,4	V

Fonte: [Vishay Semiconductors \(2008\)](#)

Trata-se de um sensor reflexivo infravermelho (λ_P), ou seja, opera fora do espectro visível, o que contorna a implicação da questão (I) apresentada anteriormente. Além disso, diferentemente de um sensor passivo, por exemplo um LDR, o TCRT5000 opera irradiando luz e, ademais, também contém filtro óptico embutido, absorvendo somente comprimentos de onda próximas a (λ_P). Essa duas características contornam a implicação da questão (II).

A saída transistorizada permite que o sensor seja interpretado de forma lógica. Sua aplicação ([Figura 5](#)) vai desde sensoriamento de *encoders* e posições de “fim de curso” até detecção de papéis, cartões, fitas e etc. Foi escolhida a variante “L” (*TCRT5000L*) por ser a versão com terminais estendidos.

Figura 5 – Aplicação do sensor TCRT5000



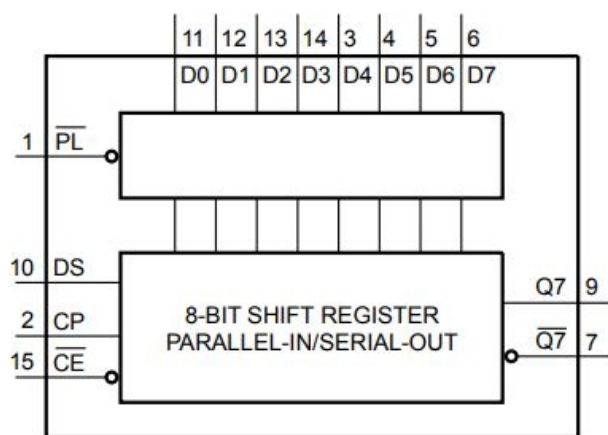
Fonte: [Vishay Semiconductors \(2008\)](#)

2.3 REGISTRADORES DE DESLOCAMENTO

A necessidade de interpretar individualmente os 128 sensores implica na mesma quantidade de entradas do circuito de processamento. Então, optou-se por lidar com entradas virtuais, através de um barramento serial, por meio de registradores de deslocamento. Dessa forma, com poucas GPIOs, o microcontrolador pode interpretar os níveis lógicos de todos os sensores conectados ao barramento.

Devido sua grande difusão no mercado, o registrador de deslocamento escolhido foi o 74HC165. A [Figura 6](#) apresenta o diagrama funcional do circuito integrado.

Figura 6 – Diagrama funcional do 74HC165

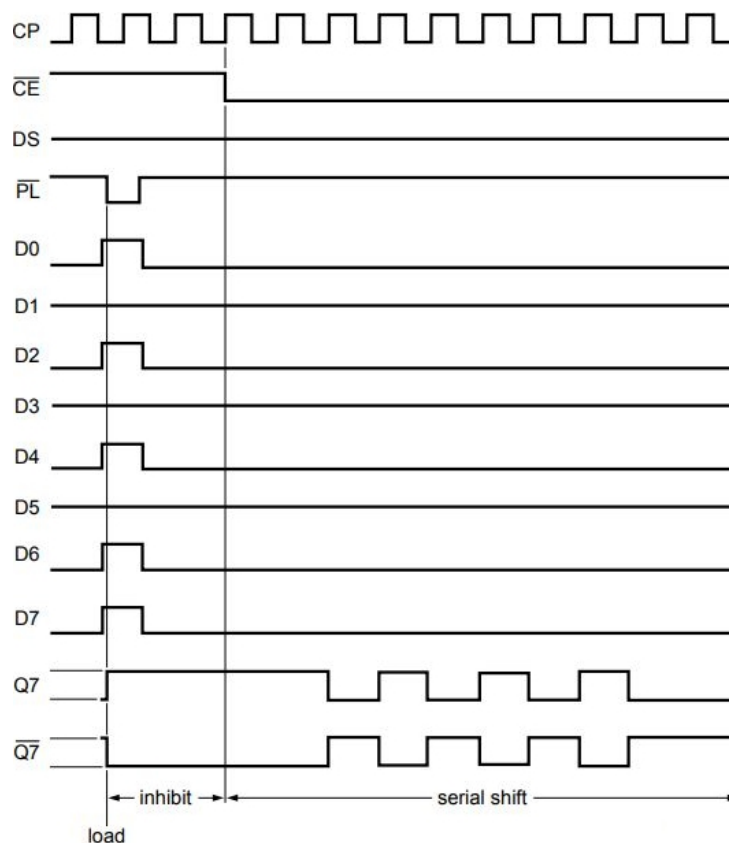


Fonte: [NXP Semiconductors \(2017\)](#)

Trata-se de um registrador de deslocamento com 8 entradas em paralelo (D_N) e saídas complementares (Q_7 e $\overline{Q_7}$) em serial. Basicamente, seu funcionamento ([Figura 7](#)) constitui-se na captura instantânea do nível lógico de suas entradas (borda de descida da Entrada Assíncrona

de Carga Paralela, $\overline{P_L}$) e na transmissão desses valores através de deslocamento ordenado ($D_7 \rightarrow D_0$) na saída serial (Q_7), nos eventos de borda de subida na entrada de *clock* (C_P).

Figura 7 – Diagrama temporal do 74HC165



Fonte: [NXP Semiconductors \(2017\)](#)

2.4 LED

Protocolo NRZ

2.5 MICROCONTROLADOR

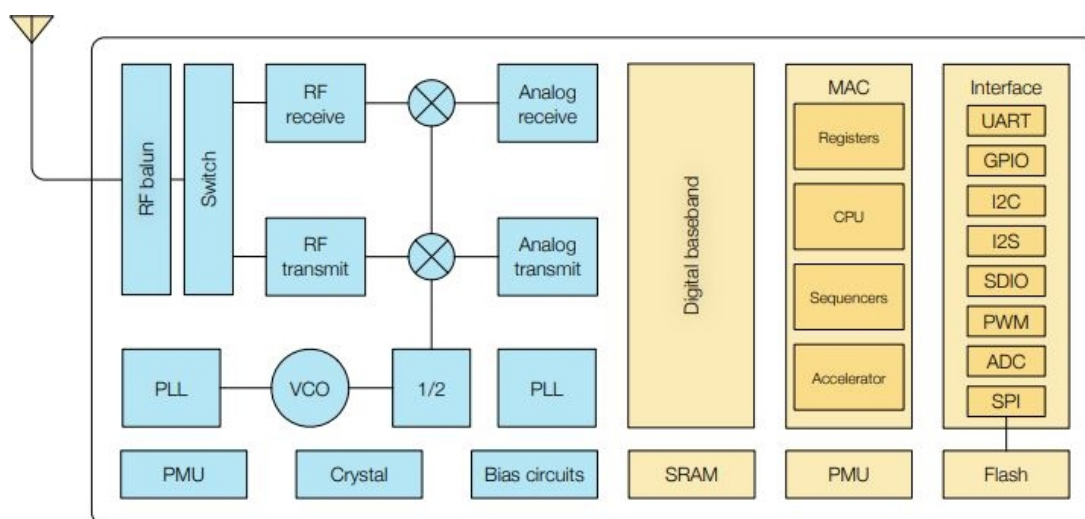
O ESP8266 é o microcontrolador de entrada para a família de 32 bits da fabricante chinesa Espressif Systems. Produzido em escala a partir de 2014, essa família ganhou espaço na área de Internet das Coisas por ser um microcontrolador de baixo custo, de baixo consumo e com suporte à rede 802.11 (*Wi-Fi*). A [Tabela 2](#) apresenta as principais especificações do microcontrolador e a [Figura 8](#) apresenta seu diagrama funcional. Cabe aqui ressaltar que toda a parte de radio-frequência é implementada por *hardware*, simplificando o desenvolvimento de aplicações com comunicação sem fio.

Tabela 2 – Especificação do ESP8266.

Alimentação	3,3V
Consumo	$10\mu A - 170mA$
Memória Flash (externa)	16MB máx. (512kB normal)
CPU	Tensilica L106 32 bits
Clock	80 – 160MHz
RAM	32kB – 80kB
GPIOs	17 (compartilhadas com outras funções)
ADC	1 canal (10 bits de resolução)
Wireless	Estação, ponto de acesso ou ambos

Fonte: (KOLBAN, 2016)

Figura 8 – Diagrama funcional do ESP8266

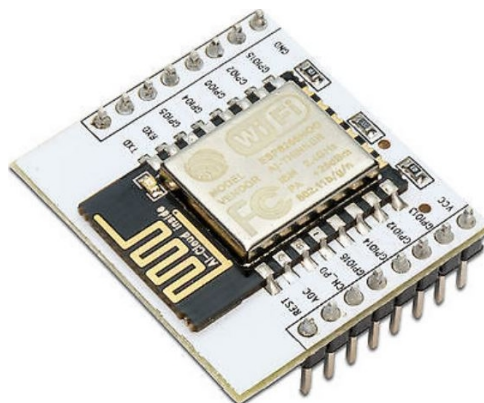


Fonte: Espressif Systems (2018)

Embora a comunicação sem fio não fizesse parte das especificações do projeto arquitetônico original, a equipe concordou com a possibilidade de implementá-la em uma aplicação futura. Esse foi o ponto decisivo para a escolha do ESP8266. Assim, a Mesa de Bolinhas poderá ganhar novas funcionalidades sem haver a necessidade de alteração no *hardware*. Isso será discutido na [Seção 5.1](#).

Entre os diversos módulos que incluem o ESP8266, optou-se pelo ESP-12, por ser o que dispõe a maior quantidade de *GPIOs* (9 ao todo). A [Figura 9](#) apresenta sua placa. Convém salientar que este módulo já conta com memória *Flash* (4MB) e antena *microstrip*.

Figura 9 – Módulo ESP-12



Fonte: ([KOLBAN, 2016](#))

2.6 FRAMEWORK

Sming é um *framework* de código aberto, nativo para a família de microcontroladores ESP8266, desenvolvido na linguagem C++ e com foco em alta eficiência em desempenho e em uso de memória.

Diferente de outros *frameworks* baseados em laço-infinito, a estrutura do Sming é baseada em eventos temporais: as tarefas do usuário são escaladas em uma tabela de tempo. Isso o aproxima de uma das funcionalidades de um Sistema Operacional de Tempo Real, embora não haja, obviamente, um gerenciamento de recursos. Porém, o fato de poder-se escalar as tarefas em uma janela de tempo simplifica a implementação da especificação deste projeto, uma vez que, basicamente, sua funcionalidade também é baseada em eventos temporais, como apresentado no começo do capítulo ([Seção 2.1](#)).

Por tratar-se de uma plataforma de código aberto, este *framework* conta com uma vasta contribuição da comunidade, com uma API de *hardware* robusta e diversas bibliotecas nativas, tais como *bootloader*, sistema de arquivos (SPIFFS), atualização sem fio de *firmware* (OTA) e uma extensa pilha assíncrona de rede (TCP, UDP, *WebSockets* e etc). Esses recursos são úteis para a continuidade do projeto, discutida na [Seção 5.1](#).

3 DESENVOLVIMENTO

TODO: intro

TODO: diagrama do projeto

TODO: disposição das placas

TODO: breve esquema elétrico matriz

TODO: consumo da mesa

TODO: esquema elétrico interface

TODO: PCI interface

TODO: esquema elétrico controlador

TODO: esquema elétrico gravador

TODO: esquema elétrico teclado AD

TODO: esquema elétrico conversor de nível (baker clamp)

TODO: PCI controlador

TODO: algoritmo debounce

TODO: algoritmo FIFO

TODO: algoritmo FSM

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Cada capítulo deve conter uma pequena introdução (tipicamente, um ou dois parágrafos) que deve deixar claro o objetivo e o que será discutido no capítulo, bem como a organização do capítulo.

5 CONCLUSÃO

Parte final do texto, na qual se apresentam as conclusões do trabalho acadêmico. É importante fazer uma análise crítica do trabalho, destacando os principais resultados e as contribuições do trabalho para a área de pesquisa.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Também deve indicar, se possível e/ou conveniente, como o trabalho pode ser estendido ou aprimorado.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Encerramento do trabalho acadêmico.

Referências

Espressif Systems. **ESP8266EX Datasheet**. 2018. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 19 de novembro de 2018. Citado na página 9.

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentals of Physics**. 8. ed. [S.l.]: Wiley, 2007. Citado na página 5.

KOLBAN, N. **Kolban's Book on ESP8266**. 1. ed. Texas: [s.n.], 2016. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 10.

NXP Semiconductors. **74HC165; 74HCT165 - 8-bit parallel-in/serial out shift register**. 2017. Disponível em: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT165.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2018. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.

UNESCO. **International Year of Light**. 2015. Disponível em: <<http://www.light2015.org/Home/Event-Programme.html>>. Acesso em: 15 de novembro de 2018. Citado na página 1.

UNITED NATIONS. International year of light and light-based technologies 2015: Resolution adopted by the general assembly on 20 december 2013. **United Nations General Assembly**, n. 3, p. 1–3, 2014. Citado na página 1.

Vishay Semiconductors. **Reflective Optical Sensor with Transistor Output**. 2008. Disponível em: <<https://www.vishay.com/docs/83760/tcrt5000.pdf>>. Acesso em: 15 de novembro de 2018. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.