

Projeto Zenith - Documentação

Links Importantes:

- **Link do repositório:** [biaslima/ZenithProject](https://github.com/biaslima/ZenithProject) → <https://github.com/biaslima/ZenithProject>
- **Link do vídeo:** <https://drive.google.com/file/d/1WpwrhgOEhBDOSSCaZw86cJgLY1BFNE5y/view?usp=sharing>

Escopo do projeto

Apresentação do projeto

O Projeto Zenith é um projeto embarcado desenvolvido para ajudar pessoa com problemas com ansiedade através de técnicas guiadas de respiração. Com feedback visual nos LEDs e indicações em uma tela OLED, o dispositivo ajuda o usuário a controlar a respiração conforme padrões específicos que são comprovadamente eficazes na redução de sintomas de ansiedade.

Título do projeto

Zenith - Sistema Embarcado para Controle de Ansiedade

Objetivos do projeto

- Criar um aparelho portátil para ajudar no controle da ansiedade.
- Performar três técnicas de respiração diferentes adequadas ao ansioso.
- Fornecer feedback visual sincronizado para guiar o usuário durante os exercícios.
- Criar uma interface simples e intuitiva para tornar o uso acessível mesmo nos episódios de ansiedade.
- Incorporar detecção de ambiente para garantir condições ideais para a realização dos exercícios.

Descrição do funcionamento

O dispositivo permite ao usuário selecionar uma das três rotinas de ansiedade (diafragmática, quadrada ou calma) através da utilização de botões. A cada uma das rotinas, é acionada uma técnica respiratória específica:

1. **Rotina 1:** Respiração Diafragmática - Inspiração por 4 segundos e expiração por 6 segundos, enfatizando o uso do diafragma.
2. **Rotina 2:** Respiração Quadrada - Inspiração por 4 segundos, retenção por 4 segundos, expiração por 4 segundos e retenção com pulmões vazios por 4 segundos.
3. **Rotina 3:** Respiração 4-7-8 (Calm Breathing) - Inspiração por 4 segundos, retenção por 7 segundos e expiração lenta por 8 segundos.

Durante os exercícios, o display OLED fornece instruções e contagem regressiva, enquanto os LEDs mudam de intensidade e padrão para sincronizar com as fases da respiração. Um sensor de microfone monitora o ambiente e alerta o usuário caso o local esteja muito barulhento para a prática. O usuário pode interromper qualquer exercício pressionando o botão do joystick.

Justificativa

Transtornos de ansiedade são uma das condições de saúde mental mais prevalentes no mundo, afetando cerca de 275 milhões de pessoas globalmente. Técnicas de respiração controlada são amplamente recomendadas por profissionais de saúde mental como uma ferramenta eficaz para gerenciar sintomas de ansiedade.

Este projeto se justifica por:

- Oferecer uma alternativa acessível e portátil para aplicar técnicas de respiração sem depender de smartphones ou conexão à internet.
- Proporcionar feedback visual que facilita o aprendizado e a sincronização com os padrões respiratórios.
- Adaptar diferentes técnicas a diferentes níveis de ansiedade, reconhecendo que uma abordagem única não é ideal para todos os casos.
- Implementar detecção de ambiente, garantindo condições adequadas para a prática efetiva.

Originalidade

Embora existam várias soluções para o gerenciamento da ansiedade, o Projeto Zenith se destaca por sua abordagem única e integrada. Enquanto aplicativos de smartphone como "Calm" e "Headspace" oferecem respiração guiada, e dispositivos de biofeedback como "EmWave2" são populares, o Zenith combina e aprimora elementos-chave dessas soluções em um único dispositivo dedicado.

Diferente dos aplicativos de smartphone, o projeto elimina distrações como notificações e multitarefas, proporcionando uma experiência mais focada e imersiva. Seu hardware dedicado, com feedback visual através de LEDs e um display OLED, cria uma interação mais envolvente do que as interfaces puramente digitais dos aplicativos.

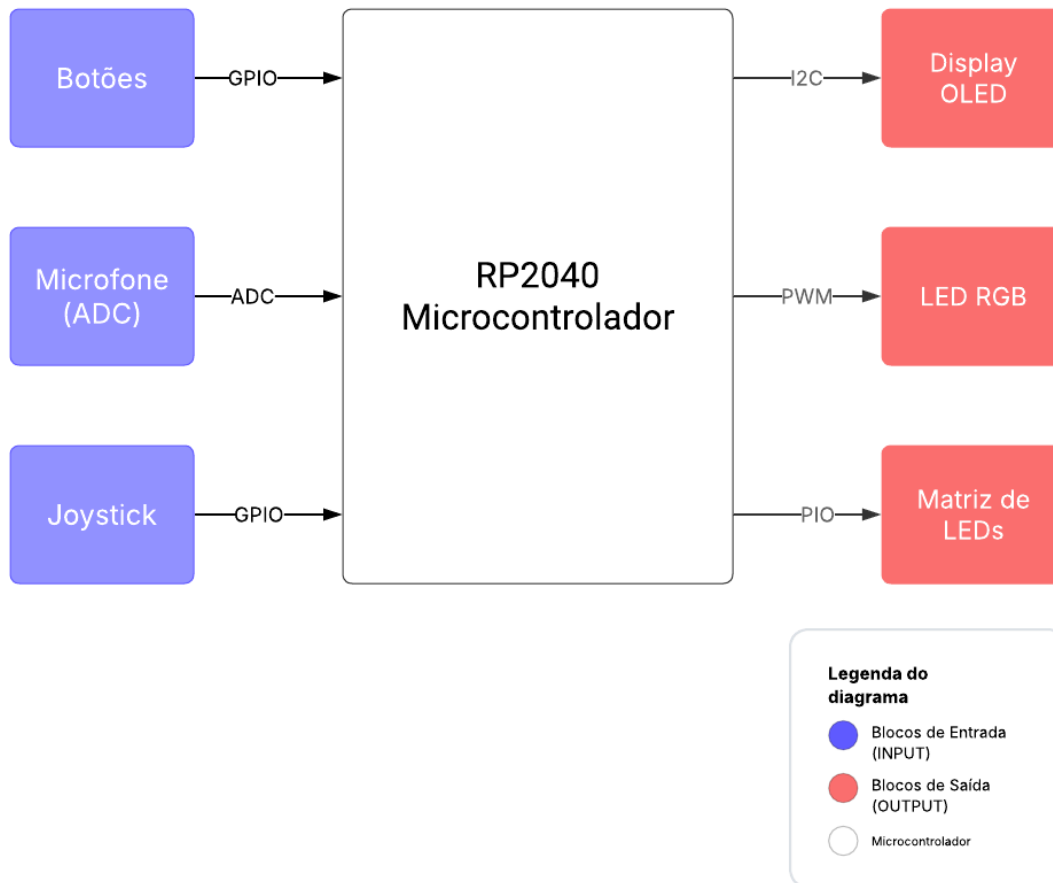
Em comparação com wearables como o "Fitbit Sense", que apenas monitora sinais de estresse, o Zenith vai além do simples monitoramento. Ele integra ativamente técnicas de respiração específicas, adaptando-se automaticamente à rotina de controle de crises que o usuário prefere. Essa abordagem personalizada oferece um suporte mais direcionado do que soluções genéricas de monitoramento de estresse.

Além disso, a inclusão de detecção de ambiente para níveis de ruído é uma característica inovadora, garantindo que o usuário busque condições ideais para a prática. A interação física com botões e o feedback visual imediato também proporcionam uma experiência mais tangível e presente, especialmente valiosa durante momentos de ansiedade.

Em suma, o Zenith oferece uma solução abrangente, portátil e dedicada que combina técnicas comprovadas de gerenciamento da ansiedade com tecnologia interativa, tornando-se uma ferramenta única e eficaz para o uso diário.

Especificação do hardware

Diagrama em bloco



Função de cada bloco

- **Microcontrolador RP2040:** É o cérebro do sistema, encarregado de processar as entradas dos botões e do microfone, executar a lógica do programa e controlar as saídas, como o display e os LEDs.
- **Botões de Entrada:** Servem para selecionar o nível de ansiedade e interromper rotinas.
- **Microfone:** Capta o nível de ruído do ambiente, assegurando condições adequadas para as práticas.
- **Display OLED:** Oferece instruções visuais e feedback textual ao usuário, incluindo contagens regressivas.

Configuração de cada bloco

- **Microcontrolador RP2040:**
 - Frequência de operação padrão (125 MHz);

- Pinos configurados para GPIO, PWM, I2C, ADC e PIO;
- Timers utilizados para controle de tempo preciso.
- **Botões de Entrada:**
 - BTN_PIN_A (pino 5): Configurado como entrada com pull-up interno;
 - BTN_PIN_B (pino 6): Configurado como entrada com pull-up interno;
 - JOYSTICK_BTN_PIN (pino 22): Configurado como entrada com pull-up interno;
 - Todos configurados com interrupções em borda de descida e debounce de 200ms.
- **Microfone:**
 - Conectado ao canal 2 do ADC (pino 28);
 - Amostragem de 200 leituras para detecção de ruído;
 - Threshold configurado para 2700 para detecção de ambientes barulhentos.
- **Display OLED:**
 - Modelo SSD1306 128×64 pixels;
 - Comunicação via I2C (SDA pino 14, SCL pino 15);
 - Endereço I2C: 0x3C;
 - Configurado para exibição de caracteres e gráficos simples.
- **LED RGB:**
 - Vermelho (pino 13), Verde (pino 11), Azul (pino 12);
 - Controlados via PWM com resolução de 8 bits (0-255);
 - Cores específicas para cada técnica de respiração.
- **Matriz de LEDs:**
 - 25 LEDs WS2812 em arranjo 5×5;
 - Controlada via PIO (pino 7);
 - Taxa de transferência de 800 kHz;
 - Padrões diferentes para cada tipo de respiração.

Comandos e registros utilizados

- **Configuração GPIO:**

- `gpio_init()` : Inicializa pinos para uso
- `gpio_set_dir()` : Define direção dos pinos (entrada ou saída)
- `gpio_pull_up()` : Ativa resistor pull-up interno
- `gpio_set_irq_enabled_with_callback()` : Configura interrupções

- **Configuração PWM:**

- `pwm_gpio_to_slice_num()` : Associa pino a um canal PWM
- `pwm_set_wrap()` : Define período do PWM
- `pwm_set_gpio_level()` : Ajusta duty cycle do PWM
- `pwm_set_enabled()` : Ativa/desativa PWM

- **Configuração ADC:**

- `adc_init()` : Inicializa o ADC
- `adc_gpio_init()` : Configura pino como entrada ADC
- `adc_select_input()` : Seleciona canal de entrada
- `adc_read()` : Realiza leitura do ADC

- **Configuração I2C:**

- `i2c_init()` : Inicializa interface I2C
- `gpio_set_function()` : Configura pinos para função I2C
- `i2c_write_blocking()` : Envia dados via I2C

- **Configuração PIO:**

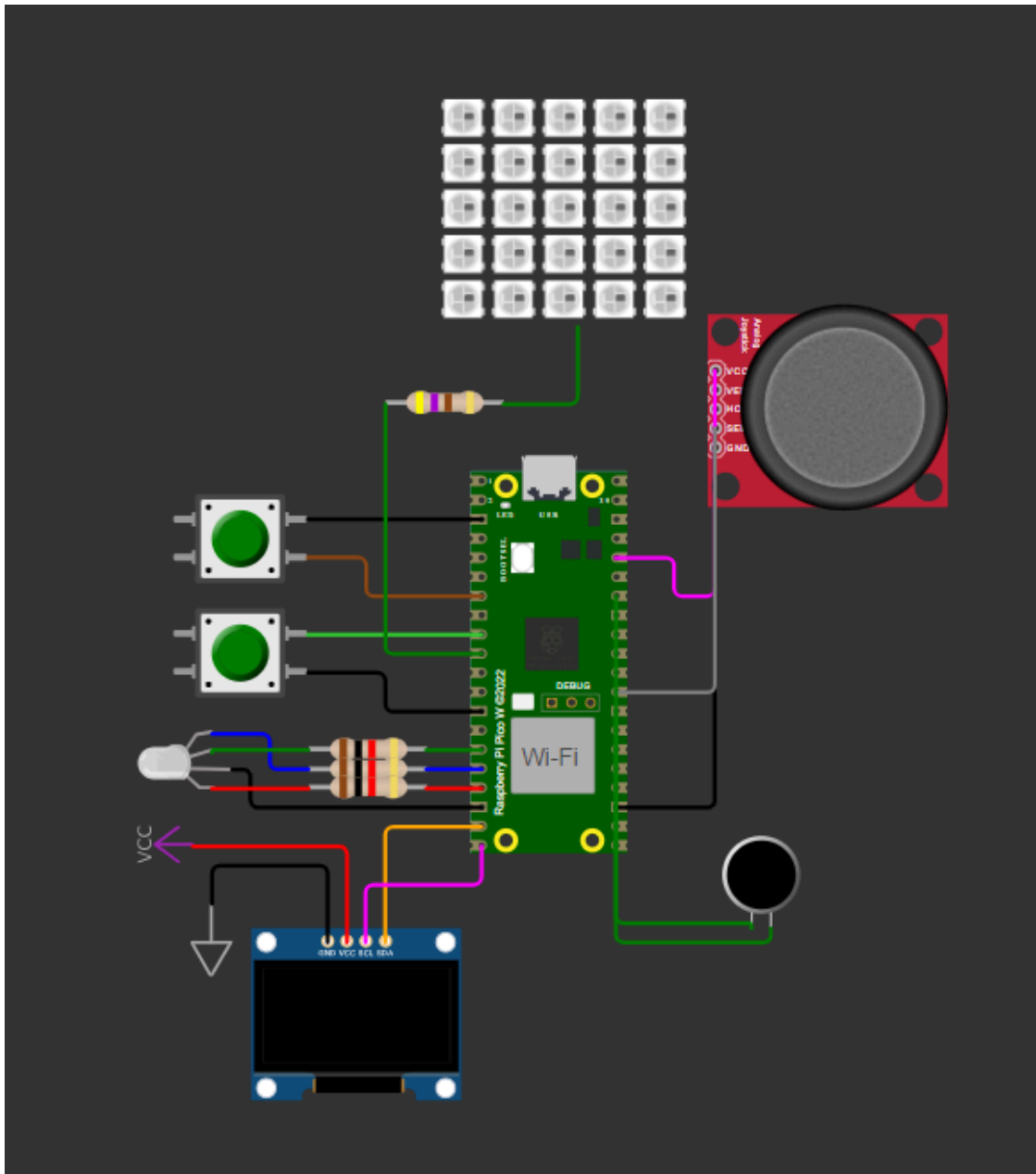
- `pio_add_program()` : Carrega programa PIO
- `pio_sm_put_blocking()` : Envia dados para state machine do PIO
- Programa WS2812 para controle da matriz de LEDs

Descrição da pinagem usada

- **LED_PIN_RED (13):** Saída PWM para componente vermelho do LED RGB

- **LED_PIN_BLUE (12):** Saída PWM para componente azul do LED RGB
- **LED_PIN_GREEN (11):** Saída PWM para componente verde do LED RGB
- **BTN_PIN_A (5):** Entrada com pull-up para seleção de nível de ansiedade leve
- **BTN_PIN_B (6):** Entrada com pull-up para seleção de nível de ansiedade médio
- **MIC_PIN (28):** Entrada analógica para o microfone (ADC)
- **JOYSTICK_BTN_PIN (22):** Entrada com pull-up para interrupção de rotinas
- **I2C_SDA (14):** Linha de dados I2C para comunicação com display OLED
- **I2C_SCL (15):** Linha de clock I2C para comunicação com display OLED
- **LED_MATRIX_PIN (7):** Saída para controle da matriz de LEDs WS2812

Circuito completo do hardware



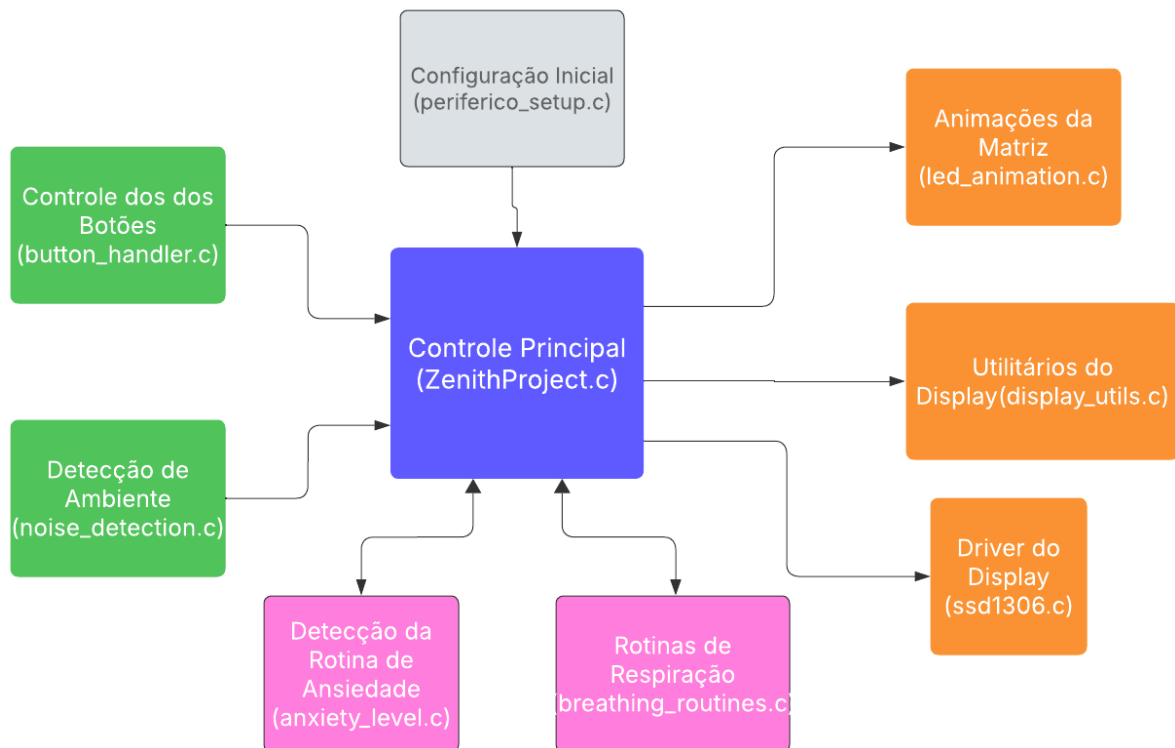
O circuito completo consiste no microcontrolador RP2040 (BitDogLab) com as seguintes conexões:

- LEDs RGB conectados aos pinos 11, 12 e 13 através de resistores limitadores
- Botões conectados aos pinos 5 e 6 com pull-up interno
- Botão de joystick conectado ao pino 22 com pull-up interno
- Microfone com amplificador conectado ao pino 28 (ADC)

- Display OLED SSD1306 conectado aos pinos 14 (SDA) e 15 (SCL)
- Matriz de LEDs WS2812 conectada ao pino 7

Especificação do firmware

Blocos funcionais



Descrição das funcionalidades

- **Configuração Inicial (periferico_setup.c):** Configura todos os periféricos utilizados (GPIO, PWM, ADC, I2C, PIO).
- **Controle Principal (ZenithProject.c):** Loop principal do programa que coordena a execução de todas as funcionalidades.
- **Detecção de Ansiedade (anxiety_level.c):** Determina o nível de ansiedade baseado nos botões pressionados.

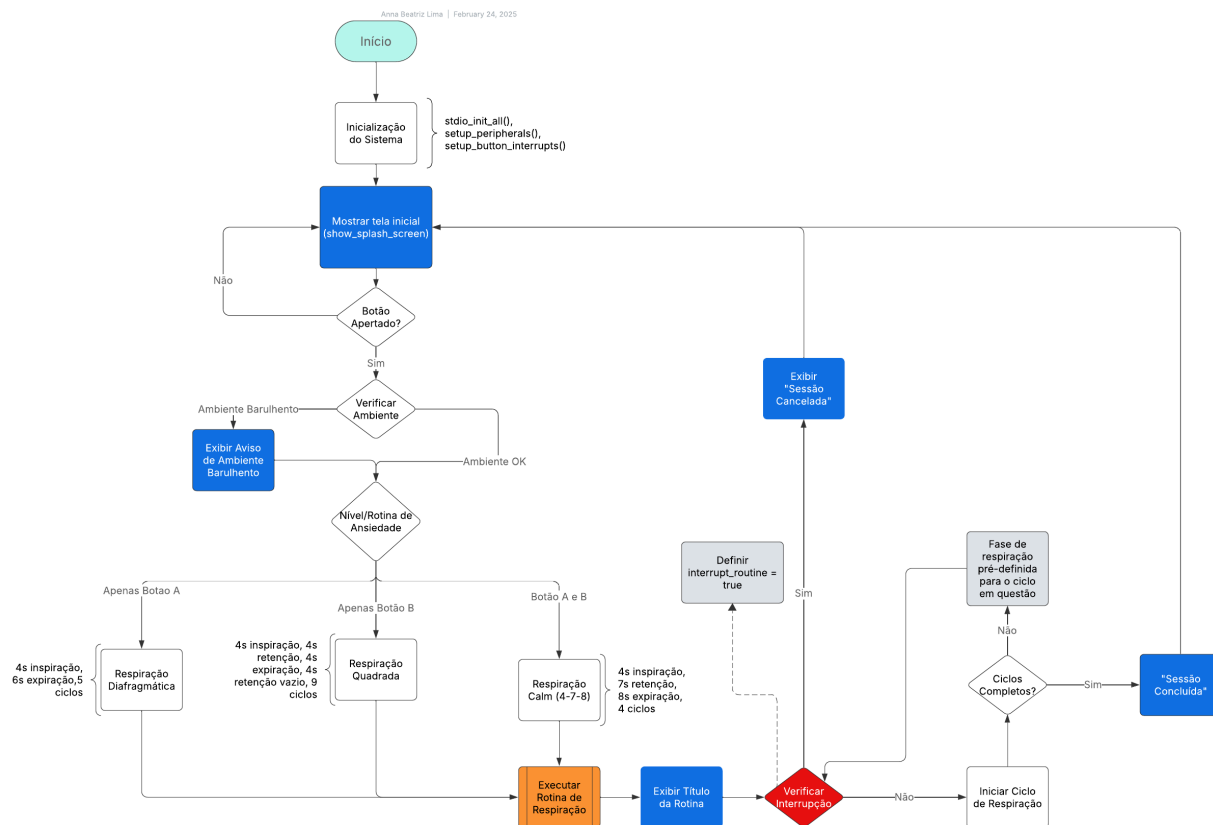
- **Rotinas de Respiração (breathing_routines.c):** Implementa as diferentes técnicas de respiração com contagens e instruções.
- **Controle de Botões (button_handler.c):** Gerencia as interrupções e eventos dos botões.
- **Animações de LED (led_animation.c):** Controla os padrões visuais dos LEDs de acordo com cada técnica de respiração.
- **Deteção de Ambiente (noise_detection.c):** Monitora o nível de ruído ambiente usando o microfone.
- **Utilitários de Display (display_utils.c):** Funções para facilitar a exibição de texto e elementos gráficos no display.
- **Driver de Display OLED (ssd1306.c):** Implementa a comunicação de baixo nível com o display OLED.

Definição das variáveis

- **Variáveis de Estado:**
 - `current_level` : Define o nível atual de ansiedade (0-3) e o associa a uma rotina.
 - `current_breathing_type` : Tipo de respiração atual (DIAPHRAGMATIC, SQUARE, CALM)
 - `interrupt_routine` : Flag para sinalizar interrupção da rotina atual
- **Variáveis de Controle de Botões:**
 - `btn_a_ativo` : Estado do botão A
 - `btn_b_ativo` : Estado do botão B
 - `last_interrupt_time_A` : Timestamp da última interrupção do botão A (debounce)
 - `last_interrupt_time_B` : Timestamp da última interrupção do botão B (debounce)
- **Variáveis de Sensores:**
 - `ambient_noise_level` : Nível de ruído ambiente detectado
- **Variáveis de Display:**
 - Estrutura `ssd1306_t` : Configuração e estado do display OLED
- **Variáveis de LEDs:**

- `leds[NUM_LEDS]` : Array para controle dos LEDs da matriz
- Padrões predefinidos para diferentes animações (`circle_patterns`, `square_patterns`, `calm_patterns`)

Fluxograma



Inicialização

O processo de inicialização do software segue estas etapas:

1. Inicialização do subsistema stdio para debug via serial (`stdio_init_all()`)
2. Configuração de periféricos (`setup_peripherals()`):
 - Configuração de GPIO para LEDs e botões
 - Configuração de PWM para controle dos LEDs RGB
 - Configuração de ADC para o microfone
 - Configuração de I2C para o display OLED

- Configuração de PIO para a matriz de LEDs
3. Configuração das interrupções dos botões (`setup_button_interrupts()`)
 4. Inicialização e configuração do display OLED
 5. Exibição da tela de splash do projeto

Configurações dos registros

- **Configuração GPIO:**

```
gpio_init(pino);  
gpio_set_dir(pino, GPIO_OUT/GPIO_IN);  
gpio_pull_up(pino);
```

- **Configuração PWM:**

```
gpio_set_function(pino, GPIO_FUNC_PWM);  
uint slice = pwm_gpio_to_slice_num(pino);  
pwm_set_wrap(slice, 255);  
pwm_set_enabled(slice, true);
```

- **Configuração ADC:**

```
adc_init();  
adc_gpio_init(MIC_PIN);  
adc_select_input(2);
```

- **Configuração I2C:**

```
i2c_init(I2C_PORT, 400 * 1000); // 400 kHz  
gpio_set_function(I2C_SDA, GPIO_FUNC_I2C);  
gpio_set_function(I2C_SCL, GPIO_FUNC_I2C);  
gpio_pull_up(I2C_SDA);  
gpio_pull_up(I2C_SCL);
```

- **Configuração Interrupções:**

```
gpio_set_irq_enabled_with_callback(BTN_PIN_A, GPIO_IRQ_EDGE_FALL, true,
&button_callback);
gpio_set_irq_enabled(BTN_PIN_B, GPIO_IRQ_EDGE_FALL, true);
```

Estrutura e formato dos dados

- **Estrutura para Parâmetros de Respiração:**

```
typedef struct {
    breathing_type_t type;    // Tipo de respiração
    uint32_t inspire_time;    // Tempo de inspiração em ms
    uint32_t expire_time;     // Tempo de expiração em ms
    uint32_t hold_time;       // Tempo de retenção em ms
    uint8_t cycles;           // Número de ciclos
} breathing_params_t;
```

- **Enumeração para Tipos de Respiração:**

```
typedef enum {
    BREATHING_DIAPHRAGMATIC,
    BREATHING_SQUARE,
    BREATHING_CALM
} breathing_type_t;
```

- **Padrões de Matriz de LEDs:**

Arrays bidimensionais (5×5) representando padrões de iluminação para diferentes fases da respiração.

Protocolo de comunicação

- **I2C para Display OLED:**

- Taxa de comunicação: 400 kHz
- Endereço do dispositivo: 0x3C
- Formato de comando: byte de controle (0x00 para comando, 0x40 para dados) seguido de dados

- Comandos implementados conforme datasheet do SSD1306
- **PIO para Matriz de LEDs WS2812:**
 - Protocolo de tempo específico do WS2812
 - Bits enviados sequencialmente com timing preciso (800 kHz)
 - Cores representadas em formato GRB de 24 bits

Formato do pacote de dados

- **Pacote de Dados para Display OLED:**
 - 1 byte de controle (0x00 para comando, 0x40 para dados)
 - Dados de comando ou dados de exibição
- **Pacote de Dados para WS2812:**
 - 32 bits por LED (8 bits RED, 8 bits GREEN, 8 bits BLUE, 8 bits RESERVADO)
 - Enviados sequencialmente para cada LED da matriz

Execução do projeto

Metodologia

1. Pesquisa:

- Pesquisa sobre técnicas de respiração para controle de ansiedade;
- Análise de projetos similares e suas limitações;
- Definição dos requisitos básicos do projeto.

2. Escolha de Hardware:

- Identificação dos componentes necessários: display OLED, LEDs, matriz de LEDs, microfone, botões;
- Definição das interfaces de hardware (GPIO, PWM, I2C, ADC, PIO).

3. Definição das Funcionalidades do Software:

- Estruturação do software em módulos funcionais;
- Definição das diferentes técnicas de respiração e seus parâmetros;

- Planejamento das animações visuais para feedback.

4. Implementação:

- Criação da estrutura de arquivos e módulos;
- Implementação incremental dos módulos:
 1. Configuração básica dos periféricos;
 2. Driver do display OLED;
 3. Controle dos LEDs RGB e matriz de LEDs;
 4. Rotinas de respiração;
 5. Detecção de ambiente;
 6. Gerenciamento de entrada do usuário;

5. Depuração:

- Teste individual de cada módulo;
- Depuração de problemas de timing nas animações;
- Ajuste fino dos parâmetros para cada técnica de respiração;
- Calibração do sensor de microfone para detecção adequada de ruído;

Testes de validação

1. Teste de Periféricos:

- Verificação do funcionamento do display OLED;
- Teste dos LEDs RGB com diferentes cores e intensidades;
- Verificação da matriz de LEDs com diferentes padrões;
- Teste do microfone para detecção de ruído.

2. Teste de Interação:

- Verificação da detecção correta dos botões;
- Teste do sistema de debounce;
- Validação da interrupção de rotinas.

3. Teste de Rotinas de Respiração:

- Validação da técnica de respiração diafragmática;
- Validação da técnica de respiração quadrada;
- Validação da técnica de respiração 4-7-8;
- Verificação da sincronização entre instruções no display e animações dos LEDs.

4. **Teste de Ambiente:**

- Validação da detecção de ambientes barulhentos;
- Verificação do alerta de ambiente inadequado;

5. **Teste de Integração:**

- Verificação do fluxo completo de seleção de nível e execução de rotinas;
- Teste de longa duração para validar estabilidade.

Discussão dos Resultados

O Projeto Zenith demonstrou ser uma solução eficaz para guiar técnicas de respiração para controle de ansiedade. Os testes mostraram que:

1. O feedback visual através da combinação de display OLED e LEDs proporciona uma experiência imersiva que facilita a concentração na respiração.
2. A implementação de diferentes técnicas para diferentes níveis de ansiedade mostrou-se adequada, com a técnica 4-7-8 sendo particularmente eficaz para níveis mais elevados de ansiedade.
3. A detecção de ambiente barulhento é um diferencial importante, pois garante condições adequadas para a prática das técnicas.
4. A interface de usuário simples, com apenas dois botões para seleção de nível e um para interrupção, mostrou-se intuitiva mesmo para momentos de maior ansiedade.
5. A utilização dos periféricos do RP2040 (PWM, I2C, ADC, PIO) demonstrou a versatilidade da plataforma para aplicações de feedback visual e interatividade.

Como pontos de melhoria, identifiquei:

- A possibilidade de ajuste fino dos tempos das técnicas pelo usuário;
- Implementação de um sistema de armazenamento para registrar progressos;

- Adição de um sensor de batimentos cardíacos para feedback biométrico.

Em termos de confiabilidade, o projeto mostrou-se estável durante os testes de longa duração, sem falhas significativas ou comportamentos inesperados.

Instruções de Uso

Configuração Inicial

1. **Ligando o dispositivo:** Conecte o dispositivo à fonte de alimentação usando o conector USB ou a bateria.
2. **Tela inicial:** Ao ligar, o Zenith exibirá uma tela de boas-vindas com o nome do projeto por 3 segundos.

Seleção de Rotina

1. **Escolha da técnica de respiração:**
 - Pressione o Botão A (pino 5) para selecionar a Respiração Diafragmática (recomendada para ansiedade leve).
 - Pressione o Botão B (pino 6) para selecionar a Respiração Quadrada (recomendada para ansiedade moderada).
 - Pressione ambos os botões simultaneamente para selecionar a Respiração 4-7-8 (recomendada para ansiedade intensa).

Durante o Exercício

1. **Seguindo as instruções visuais:**
 - O display OLED mostrará instruções textuais para cada fase (inspirar, reter, expirar).
 - O LED RGB mudará de cor de acordo com a rotina escolhida.
 - A matriz de LEDs exibirá padrões que expandem durante a inspiração e contraem durante a expiração.
2. **Contagem regressiva:** O display mostrará a contagem de tempo para cada fase do exercício.
3. **Deteção de ambiente:** Se o sensor de microfone detectar um ambiente muito barulhento, uma mensagem de alerta será exibida sugerindo um local mais

silencioso.

Interrupção e Finalização

1. **Interrompendo um exercício:** Pressione o botão do joystick a qualquer momento para interromper o exercício atual e retornar ao menu de seleção.
2. **Completando uma sessão:** Após concluir o número programado de ciclos respiratórios, o dispositivo exibirá uma mensagem de conclusão e retornará ao menu de seleção.

Melhores Práticas

1. **Postura recomendada:** Sente-se em uma posição confortável com as costas retas ou deite-se em uma superfície plana.
2. **Ambiente ideal:** Procure um local tranquilo com pouca iluminação e sem distrações para realizar os exercícios.

Referências

1. DAVIS, M., ESHELMAN, E. R., & MCKAY, M. (2008). The Relaxation and Stress Reduction Workbook. New Harbinger Publications.
2. CUGNASCA, P. S. (2018). Sistemas Embarcados. Disponível em <https://www.pcs.usp.br/~pac/simbiose/>
3. RASPBERRY PI LTD. (2022). RP2040 Datasheet. Disponível em <https://datasheets.raspberrypi.org/rp2040/rp2040-datasheet.pdf>
4. SOLOMON SYSTECH. (2008). SSD1306 Datasheet. Disponível em <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>
5. WORLDSEMI. (2018). WS2812B Datasheet. Disponível em <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf>
6. BROWN, L. (2012). Breathing Techniques for Anxiety. Journal of Mental Health Practice, 16(1), 28-38.
7. PICO-SDK Documentation. (2023). Disponível em <https://raspberrypi.github.io/pico-sdk-doxygen/>
8. YEH, S. et al. (2017). Embedded Systems Design for Health-Care Applications. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 21(2), 515-526.

9. CHEN, Y. F., et al. (2017). Diaphragmatic breathing reduces exercise-induced oxidative stress. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017, 45209161.
10. NORELLI, S. K., et al. (2022). Relaxation Techniques. In *StatPearls*. StatPearls Publishing2.
11. ZACCARO, A., et al. (2018). How breath-control can change your life: A systematic review on psycho-physiological correlates of slow breathing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 353