

Modelos de Concorrência



LabLua – PUC-Rio

www.lua.inf.puc-rio.br

Exercício 1

- Piscar o LED a cada 1 segundo
- Parar ao pressionar o botão, mantendo o LED aceso para sempre

```
void loop () {  
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);  
    delay(1000);  
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);  
    delay(1000);  
  
    int but = digitalRead(BUT_PIN);  
    if (but) {  
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);  
        while(1);  
    }  
}
```

- Programa interativo!

Exercício 1 - Reativo

- Guardar *timestamp* da última mudança
- Guardar estado atual do LED

```
int state = 1;
unsigned long old;
void setup () {
    old = millis();
    digitalWrite(LED_PIN, state);
}
```

```
void loop () {
    unsigned long now = millis();
    if (now >= old+1000) {
        old = now;
        state = !state;
        digitalWrite(LED_PIN, state);
    }
}
```

```
int but = digitalRead(BUT_PIN);
if (but) {
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
    while(1);
}
```

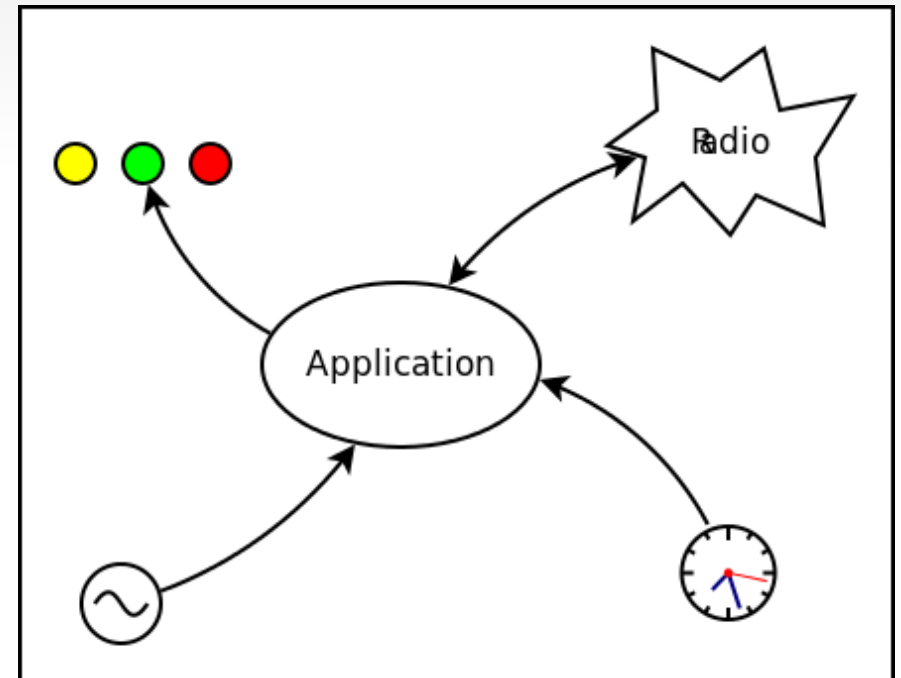
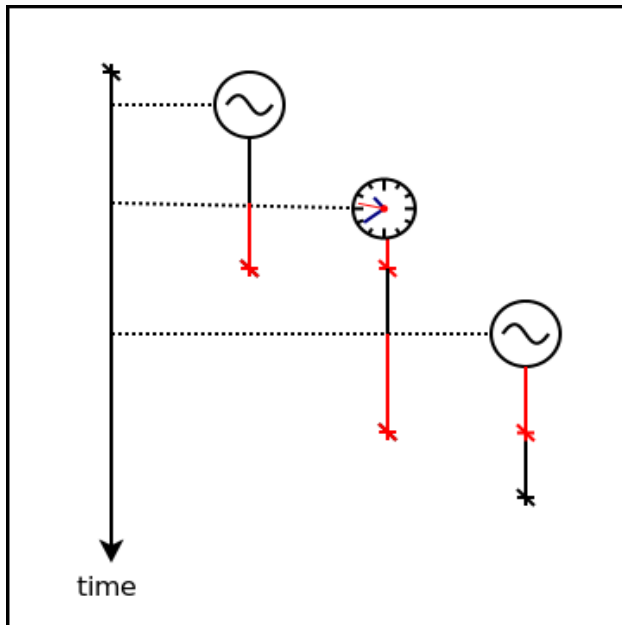
```
}
```

```
void loop () {
    unsigned long now = millis();
    if (now >= old+1000) {
        old = now;
        state = !state;
        digitalWrite(LED_PIN, state);
    }
}
```

```
void loop () {
    int but = digitalRead(BUT_PIN);
    if (but) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        exit();
    }
}
```

Concorrência

- O que é concorrente com o que?
- Cada estímulo gera uma reação
 - Estímulo é infinitesimal
 - Reação tem duração



- *Reação “A” é concorrente com reação “B”*

E daí?

- Problemas quando reações concorrentes acessam o mesmo recurso.

```
int state = 1;
unsigned long old;
void setup () {
    old = millis();
    digitalWrite(LED_PIN, state);
}
```

```
void loop () {
    unsigned long now = millis();
    if (now >= old+1000) {
        old = now;
        state = !state;
        digitalWrite(LED_PIN, state);
    }
}
```

```
int but = digitalRead(BUT_PIN);
if (but) {
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
    while(1);
}
```

```
}
```

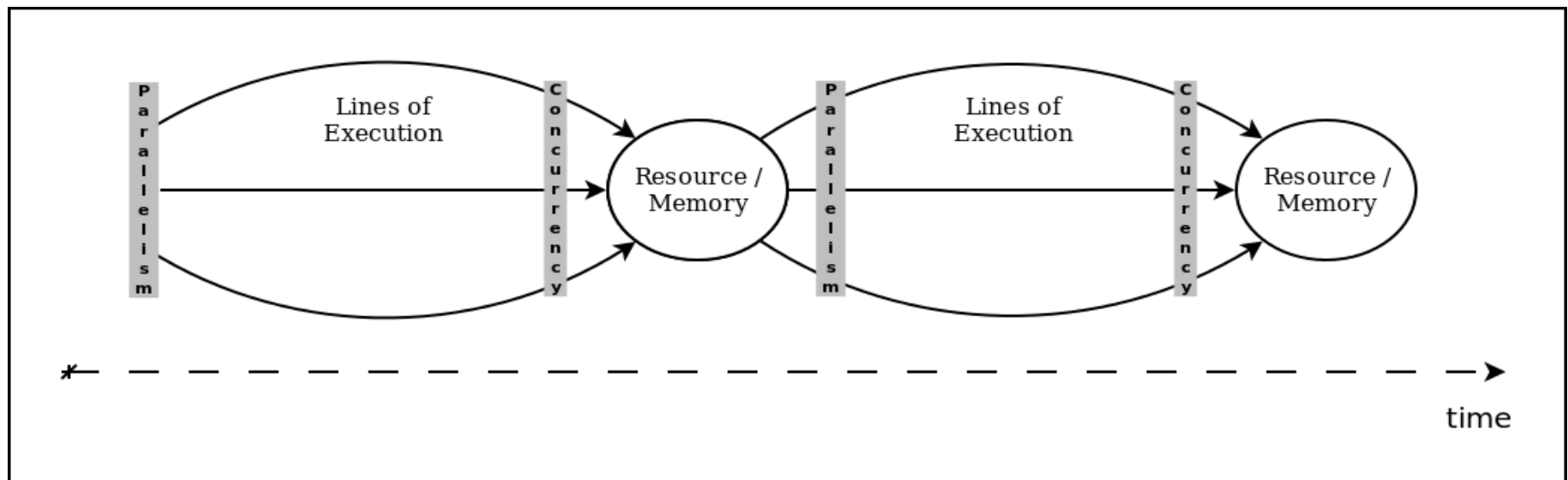
```
void loop () {
    unsigned long now = millis();
    if (now >= old+1000) {
        old = now;
        state = !state;
        digitalWrite(LED_PIN, state);
    }
}
```

```
void loop () {
    int but = digitalRead(BUT_PIN);
    if (but) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        exit();
    }
}
```



Concorrência vs Paralelismo

- Concorrência
 - Acessos simultâneos (ao **mesmo** recurso)
- Paralelismo
 - Execuções simultâneas (em **múltiplas** linhas)



Artigos & Videos - 02

- Concorrência e Paralelismo
 - Rob Pike - “*Concurrency Is Not Parallelism*”
 - Wikipedia - “*Embarrassingly Parallel*”



Modelos de Execução Concorrente

- Por quê?
 - Como descrever e entender as partes de um sistema concorrente (e.g., atividades, processos, atores, etc.).
 - Vocabulário e semântica
 - execução (escalonamento)
 - composição
 - compartilhamento
 - comunicação
 - sincronização

Modelos de Execução Concorrente

- Modelo Assíncrono

- Execução independente / Sincronização explícita
 - *Threads + locks/mutexes (p-threads, Java-Threads)*
 - Atores + troca de mensagens (*Erlang, Go*)

- Modelo Síncrono

- Execução dependente / Sincronização implícita
 - *Arduino-Loop, Game-Loop, Padrão Observer, Circuitos*

Modelo Assíncrono

- Execução independente
 - Arduino: *ChibiOS*

```
void Thread1 (void) {  
    <...>  
}  
  
void Thread2 (void) {  
    <...>  
}  
  
void setup() {  
    chThdCreateStatic(..., Thread1);  
    chThdCreateStatic(..., Thread2);  
}
```

Exercício 1 (async)

```
int state = 1;
unsigned long old;

void setup () {
    old = millis();
    digitalWrite(LED_PIN, state);
}

void loop () {
    unsigned long now = millis();
    if (now >= old+1000) {
        old = now;
        state = !state;
        digitalWrite(LED_PIN, state);
    }

    int but = digitalRead(BUT_PIN);
    if (but) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        while(1);
    }
}
```

```
void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
    }
}

void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            break;
        }
    }
}

void setup () {
    chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

Thread1
nunca termina

Exercício 1 (async)

```
void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
    }
}

void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            break;
        }
    }
}

void setup () {
    chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

```
Thread* t1;
```

```
void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
    }
}

void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            chThdTerminate(t1);
            break;
        }
    }
}
```

Thread1
pode ainda
apagar o LED

Quando?

```
void setup () {
    t1 = chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

Artigos & Videos - 03

- Terminação de Threads
 - Java - *“Why Are Thread.stop, Thread.suspend, Thread.resume and Runtime.runFinalizersOnExit Deprecated?”*
 - pthreads – man pthreads_cancel
 - ChibiOS - *“How to cleanly stop the OS”*

Exercício 1 (async)

```
Thread* t1;

void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
    }
}

void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            chThdTerminate(t1);
            break;
        }
    }
}

void setup () {
    t1 = chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

```
Thread* t1;

void Thread1 (void) {
    while (!chThdShouldTerminate()) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
    }
}

void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            chThdTerminate(t1);
            break;
        }
    }
}

void setup () {
    t1 = chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

Thread1
pode ainda
apagar o LED

Exercício 1 (async)

```
Thread* t1;

void Thread1 (void) {
    while (!chThdShouldTerminate()) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
    }
}

void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            chThdTerminate(t1);
            break;
        }
    }
}

void setup () {
    t1 = chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

```
Thread* t1;
void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
    }
}

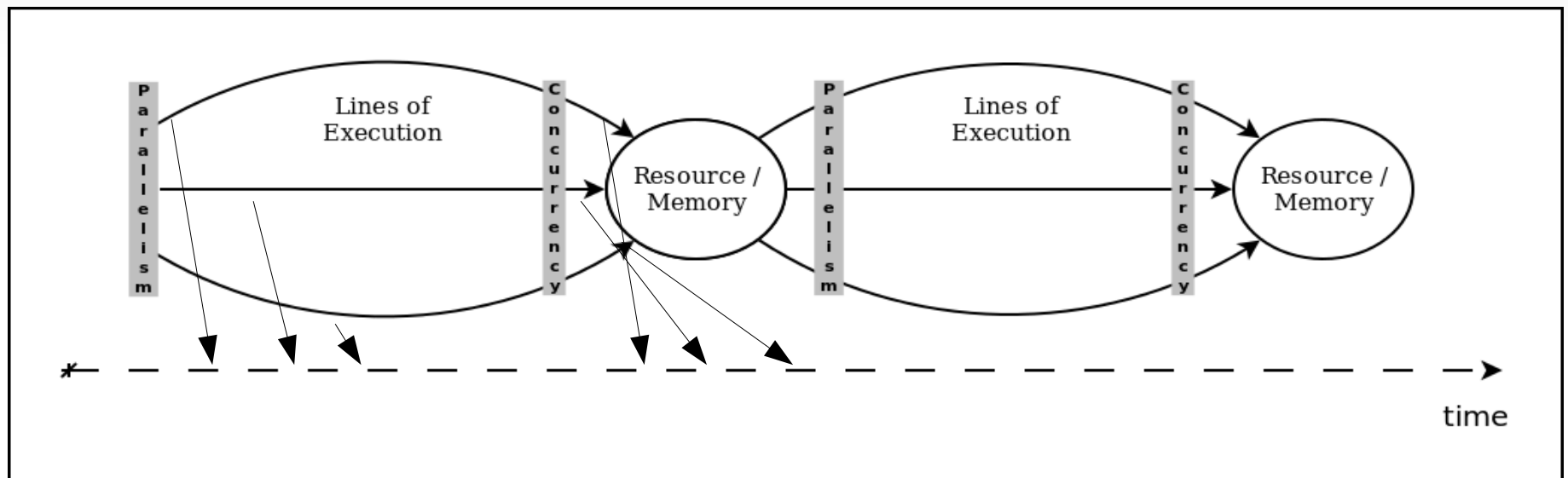
void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            chThdTerminate(t1);
            break;
        }
    }
}

void setup () {
    t1 = chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

Thread1
pode ainda
apagar o LED

Escalonamento

- Como as atividades dividem o tempo de CPU
 - ex., Preempção, Cooperação, Prioridade, “Batch”



Exercício 1 (async)

```
int state = 1;
unsigned long old;

void setup () {
    old = millis();
    digitalWrite(LED_PIN, state);
}

void loop () {
    unsigned long now = millis();
    if (now >= old+1000) {
        old = now;
        state = !state;
        digitalWrite(LED_PIN, state);
    }

    int but = digitalRead(BUT_PIN);
    if (but) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        while(1);
    }
}
```

```
Thread* t1;
void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
    }
}

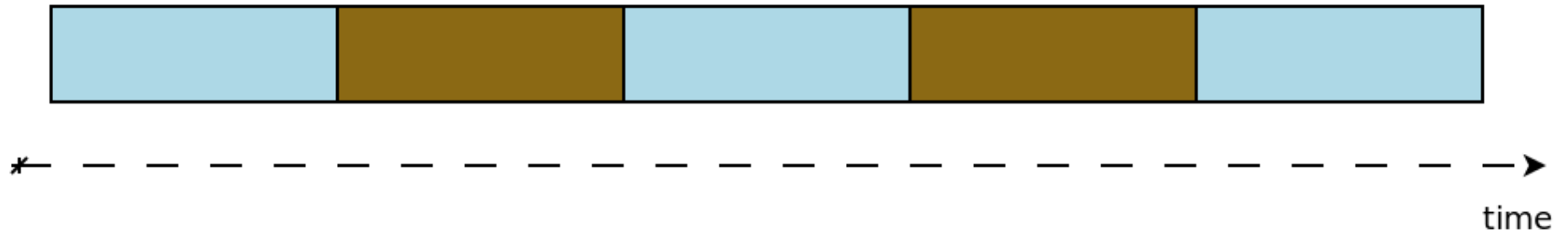
void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            chThdTerminate(t1);
            break;
        }
    }
}

void setup () {
    t1 = chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

Síncrono / Cooperativo

Activity 1

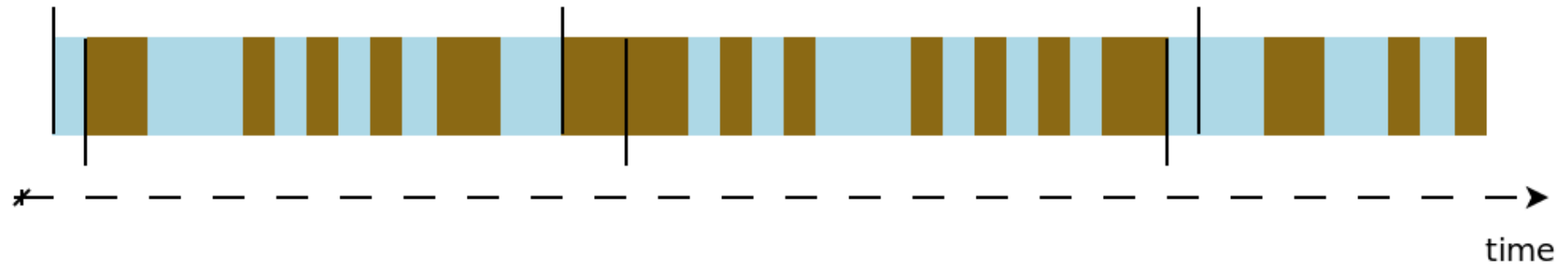
Activity 2



Assíncrono / Preemptivo

Activity 1

Activity 2



Exercício 1 (async)

```
Thread* t1;
void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
    }
}
void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            chThdTerminate(t1);
            break;
        }
    }
}
void setup () {
    t1 = chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

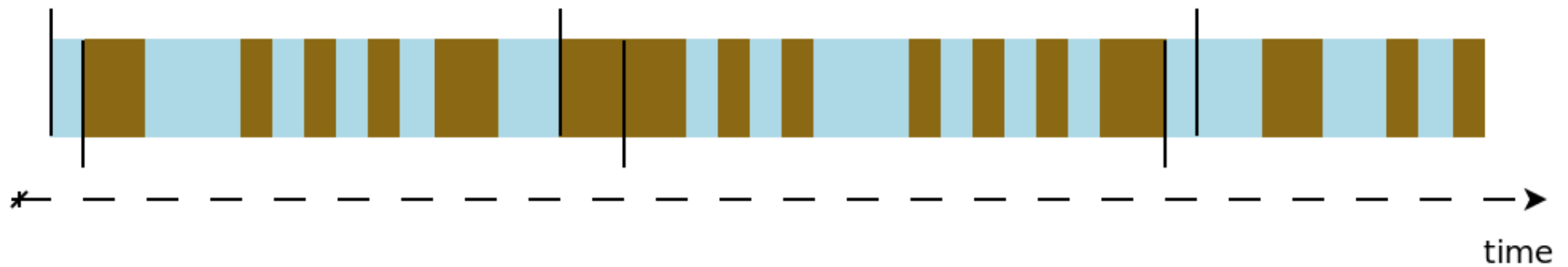
**Condição
de Corrida**

```
MUTEX_DECL(mut);
Thread* t1;
void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        chMtxLock(&mut);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chMtxUnlock(&mut);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
    }
}
void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            chMtxLock(&mut);
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            chThdTerminate(t1);
            chMtxUnlock(&mut);
            break;
        }
    }
}
void setup () {
```

Assíncrono / Preemptivo

Activity 1

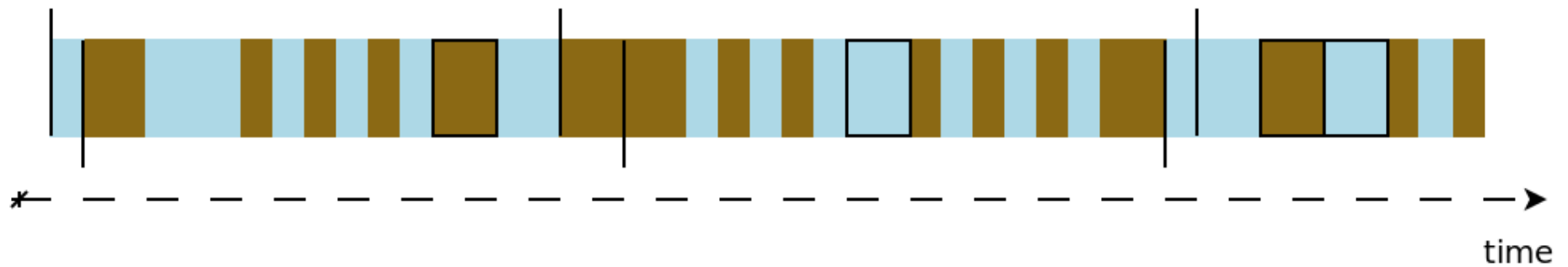
Activity 2



Assíncrono / Preemptivo / c/ Locks

Activity 1

Activity 2



Exercício 1 (async)

```
void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
    }
}

void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            break;
        }
    }
}

void setup () {
    chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```

**12 das 32 linhas para
sincronização (37%)**

```
MUTEX_DECL(mut);
Thread* t1;

void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        chMtxLock(&mut);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        chMtxUnlock(&mut);
        chThdSleepMilliseconds(1000);
        if (chThdShouldTerminate())
            break;
    }
}

void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            chMtxLock(&mut);
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            chThdTerminate(t1);
            chMtxUnlock(&mut);
            break;
        }
    }
}

void setup () {
    t1 = chThdCreateStatic(..., Thread1);
    chThdCreateStatic(..., Thread2);
}
```


Exemplo - “Cálculo Pesado”

- *ordenação, criptografia, compressão, codificação/conversão*
- Piscar o LED a cada ~~1 segundo~~ término de uma operação longa
- Parar ao pressionar o botão, mantendo o LED aceso para sempre

```
void loop () {  
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);  
    f();  
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);  
    f();  
  
    int but = digitalRead(BUT_PIN);  
    if (but) {  
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);  
        while(1);  
    }  
}
```

```
void Thread1 (void) {  
    while (TRUE) {  
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);  
        f(); // operação longa  
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);  
        f(); // operação longa  
    }  
}  
  
void Thread2 (void) {  
    while (TRUE) {  
        int but = digitalRead(BUT_PIN);  
        if (but) {  
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);  
            stop();  
        }  
    }  
}
```

Exercício – “Cálculo Pesado”

- Criptografia XTEA
 - <https://en.wikipedia.org/wiki/XTEA>
- Criptografar / Descriptografar uma string
- Calcular o tempo de execução das operações:
 - Medir o tempo de resposta para 10 execuções (usar a função `millis`)
- Variar o tamanho da string e avaliar a “responsividade”

```
void loop () {  
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);  
    encipher(...);  
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);  
    decipher(...);  
  
    int but = digitalRead(BUT_PIN);  
    if (but) {  
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);  
        while(1);  
    }  
}
```

```
// XTEA  
  
void encipher (...) {  
    <...>  
}  
  
void decipher (...) {  
    <...>  
}
```

Exercício - “Cálculo Pesado”

- Usar Serial para debug/output
 - Remover output dentro da medição!
- Exemplo: code/arduino/ex-03/ex-03.ino (e xtea.c.h)
- **Dar *commit* no código ao final da aula!**

```
void setup () {  
    Serial.begin(9600);  
}  
void loop () {  
    unsigned long t1 = millis();  
    Serial.print(<v>);    // antes  
    encipher(<v>);  
    Serial.print(<v>);    // durante  
    decipher(<v>);  
    Serial.print(<v>);    // depois  
    unsigned long t2 = millis();  
    Serial.print(t2-t1);  // total  
}
```

```

#include "xtea.c.h"

#define LED 13

void setup () {
    pinMode(LED, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

int led = 0;

uint32_t key[] = { 1, 2, 3, 4 };
uint32_t v[] = { 10, 20 };           // variar o tamanho da string

void loop () {
    led = !led;
    digitalWrite(LED, led);

    unsigned long t1 = millis();

    Serial.print("antes: ");
    Serial.print(v[0]);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(v[1]);

    encipher(32, v, key);             // v é um ponteiro para um par de 32-bits

    Serial.print("durante: ");
    Serial.print(v[0]);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(v[1]);

    decipher(32, v, key);

    Serial.print("depois: ");
    Serial.print(v[0]);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(v[1]);

    unsigned long t2 = millis();
    Serial.println(t2-t1);
}

```

Exercício – “Cálculo Pesado”

- O que fazer se a execução demora demais?
 - sistema não mais reativo
- Inversão de controle
 - re-implementar o algoritmo!
- Usar *threads*
 - Praticamente não há concorrência

Analogia com Video Games

- *colisão, path finding, animações, renderização, etc.*
- FPS: frames por segundo

```
void loop () {  
    INPUT();  
    ia();  
    colisao();  
    renderizacao();  
    OUTPUT();  
}  
// FPS: quantas vezes o "loop"  
//      executa a cada segundo
```


Modelo Síncrono

- Execução dependente
 - Loop do Arduino

Iteração do Loop:
- instante
- tick
- tempo lógico

```
int state = 1;
unsigned long old;
void setup () {
    old = millis();
    digitalWrite(LED_PIN, state);
}
```

```
void loop () {
    unsigned long now = millis();
    if (now >= old+1000) {
        old = now;
        state = !state;
        digitalWrite(LED_PIN, state);
    }
}
```

```
int but = digitalRead(BUT_PIN);
if (but) {
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
    while(1);
}
```

```
}
```

```
void loop () {
    unsigned long now = millis();
    if (now >= old+1000) {
        old = now;
        state = !state;
        digitalWrite(LED_PIN, state);
    }
}
```

```
void loop () {
    int but = digitalRead(BUT_PIN);
    if (but) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        exit();
    }
}
```

Modelo Síncrono

- Durante uma unidade de tempo lógico, o ambiente está invariante e não interrompe o programa
- Implementação:
 - *Sampling*: Arduino Loop*
 - *Event-driven*: Padrão *Observer*

```
foreach TICK do  
    read_inputs();  
    react();  
end
```

```
wait ANY_EVENT_CHANGE do  
    react();  
end
```

- **Hipótese de sincronismo:** “*Reações executam infinitamente mais rápido do que a taxa de eventos.*”

Padrão Observer

- “Hollywood principle: don't call us, we'll call you.”
- Ocorrência de um evento executa uma “callback” no código
 - Botão => button_changed()
 - Timer => timer_expired()
 - Rede => packet_received()

Hello World: input

- Fazer o LED acompanhar o estado do botão

```
#define LED_PIN 13
#define BUT_PIN 2

void setup () {
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(BUT_PIN, INPUT);
}

void loop () {
    int but = digitalRead(BUT_PIN);
    digitalWrite(LED_PIN, but);
}
```

```
#include "event_driven.c.h"

#define LED_PIN 13
#define BUT_PIN 2

void button_changed (int pin, int v) {
    digitalWrite(LED_PIN, v);
}

void init () {
    button_listen(BUT_PIN);
}
```

Tarefa 3

(até domingo 07/05)

- Implementar “event_driven.c.h”
 - Tratador para botões
 - 2 timers
- Reimplementar os exemplos com orientação a eventos:
 - Hello World: Input
 - Tarefa 2

Tarefa 3 - API

```
/* Funções de registro: */

void button_listen (int pin) {
    <...>                // "pin" passado deve gerar notificações
}

void timer_set (int ms) {
    <...>                // timer deve expirar após "ms" milisegundos
}

/* Callbacks */

void button_changed (int pin, int v); // notifica que "pin" mudou para "v"
void timer_expired (void);           // notifica que o timer expirou

/* Programa principal: */

void setup () {
    <...>                // inicialização da API
    init();              // inicialização do usuário
}

void loop () {
    <...>                // detecta novos eventos
    button_changed(...); // notifica o usuário
    <...>                // detecta novos eventos
    timer_expired(...); // notifica o usuário
}
```


Modelos de Execução Concorrente

- Modelo Assíncrono
 - Execução independente
 - Sincronização explícita
 - Concorrência *fine-grained*
 - Chamadas bloqueantes / demoradas
- Modelo Síncrono
 - Execução dependente
 - Sincronização implícita
 - Concorrência *coarse-grained*
 - Hipótese de sincronismo

Tarefa 3 - Qual o modelo?

```
/* event_driven.c */

void loop () {
    <...>                // detecta novos eventos
    button_changed(...); // notifica o usuário
    <...>                // detecta novos eventos
    timer_expired(...);  // notifica o usuário
}
```

```
/* app.c */

void button_changed (int pin, int v) {
    <...>
}

void timer_expired (void) {
    <...>
}

void init () {
    button_listen(2);
    timer_set(500);
}
```

Estímulo: Polling vs Notificação

Execução: Síncrona vs Assíncrona

/* 1. ARDUINO LOOP */

```
void loop () {
    unsigned long now = millis();
    if (now >= old+1000) {
        <...>
    }
    int but = digitalRead(BUT_PIN);
    if (but) {
        <...>
    }
}
```

/* 2. CHIBIOS THREADS */

```
void Thread1 (void) {
    while (TRUE) {
        <...>
    }
}

void Thread2 (void) {
    while (TRUE) {
        int but = digitalRead(BUT_PIN);
        if (but) {
            <...>
        }
    }
}
```

/* 3. EVENT DRIVEN */

```
void button_changed (int pin, int v) {
    <...>
}

void timer_expired (void) {
    <...>
}

void init () {
    button_listen(2);
    timer_set(500);
}
```

/* 4. INTERRUPT DRIVEN */

```
void setup() {
    // habilita interrupcao RX
    UCSRB = (1 << RXEN0);
}

void loop () {
    <...>
}

ISR (USART_RX_vect) {
    // le o caractere
    char a = UDR0;
    <...>
}
```

Estímulo: Polling vs Notificação

Execução: Síncrona vs Assíncrona

