

# Projeto de Automação do Misturador de Substâncias Farmacêuticas

Igor de Oliveira Silvestre

Este documento apresenta uma proposta de solução para a automação do processo de mistura de duas substâncias farmacêuticas em uma caldeira, visando eliminar a necessidade de operação manual. A proposta inicial para o projeto contempla os requisitos definidos para temperatura e velocidade de rotação. Ao final dessa proposta eu apresento no Anexo 2 um escopo expandido com outros possíveis parâmetros de interesse para o cliente, como sensores de pressão, nível de líquido, vibração e de presença de gás, assim como as alterações consequentes no corpo do projeto.

## a. Levantamento de Arquitetura de Software Embarcado

Para fazermos um levantamento da arquitetura de software embarcado devemos primeiramente estabelecer o que o sistema de automação do misturador deve fazer, que segue:

1. Controlar a velocidade de rotação do motor de mistura, variando entre 20, 30 e 40 RPM conforme as etapas de tempo.
2. Controlar a temperatura da mistura, ajustando a resistência de aquecimento para atingir 50, 65 e 80 °C.
3. Monitorar continuamente os valores de velocidade e temperatura para assegurar que estão dentro dos limites definidos, realizando o controle dessas variáveis.
4. Registrar e exibir o status do processo (opcional), informando o tempo decorrido e a etapa atual.

Com o funcionamento do sistema delineado, podemos agora especificar seus requisitos funcionais e não funcionais:

### Requisitos Funcionais:

1. Controle de Velocidade.
2. Controle de Temperatura.
3. Leitura de Sensores: Medir temperatura e rotação continuamente para assegurar o controle.
4. Interface de Controle de Processo: Monitorar e mudar de fase automaticamente conforme o tempo (0-30 min, 30-60 min, 60-120 min).
5. Interface Opcional de Usuário: Exibir informações em tempo real sobre a etapa e as condições atuais do processo.

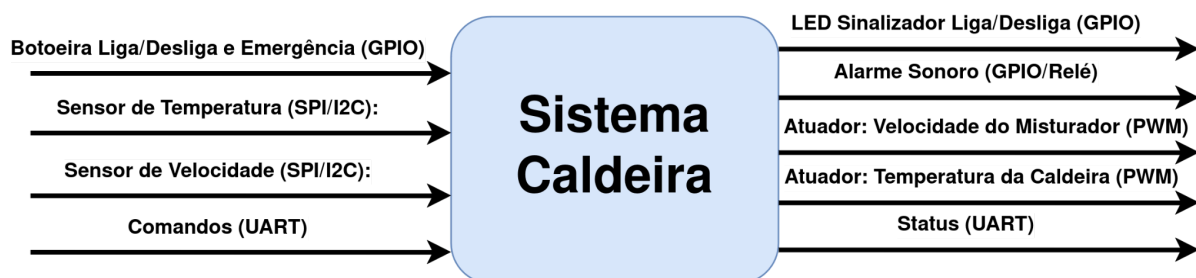
## Requisitos Não-Funcionais ou Qualidades:

1. Robustez: O sistema deve ser capaz de funcionar por longos períodos sem falhas.
2. Tempo de resposta: Reação rápida a variações de temperatura e rotação para manter a precisão do processo.
3. Eficiência Energética: Uso eficiente do motor e do aquecimento para reduzir consumo de energia.
4. Segurança: Operar de forma segura, com monitoração constante para evitar superaquecimento.

Para implementar essas funcionalidades e atender aos requisitos identificados, podemos adotar uma organização em três camadas principais. Essa abordagem estruturada facilita o gerenciamento de cada função e garante que o software mantenha flexibilidade e robustez durante o controle do processo de mistura:

1. Camada de Hardware/Dispositivos (inferior):
  - Conecta o software aos dispositivos físicos (sensores e atuadores).
  - Lida com a leitura dos dados dos sensores (temperatura e velocidade).
  - Controla os atuadores: motor de rotação e resistência de aquecimento.
2. Camada de Controle de Processamento (intermediária):
  - Responsável pelo processamento e controle do sistema.
  - Define as lógicas de controle para cada etapa do processo.
  - Realiza ajustes de velocidade e temperatura com base no tempo e nos requisitos de cada fase.
  - Monitora e processa os dados dos sensores para tomar ações corretivas.
3. Camada de Interface de Usuário (opcional e superior):
  - Exibe informações do processo para o operador, como tempo restante, temperatura e velocidade atuais.
  - Permite o acompanhamento do status do processo sem interferir nas operações.

Após definir a arquitetura do software em três camadas principais podemos detalhar as entradas e saídas do sistema. As entradas compreendem dispositivos como sensores e botões, que enviam dados ao sistema, enquanto as saídas são os sinais e comandos enviados pelo sistema para controlar os atuadores, como o motor e a resistência de aquecimento. A figura abaixo ilustra um exemplo de diagrama de entradas e saídas do sistema de automação do misturador de substâncias farmacêuticas.



**Figura 1: Diagrama Entradas/Saídas do Sistema**

## **b. Especificação de microcontrolador/processador:**

Inicialmente, com base nos requisitos funcionais de controle de temperatura, velocidade de agitação e sensoriamento, poderíamos optar pelo uso dos microcontroladores STM32F103 ou ESP32. Ambos possuem recursos adequados para o controle e monitoramento do processo de mistura, incluindo PWM para controle dos atuadores, ADCs para leitura de sensores, e temporizadores que permitem gerenciar os tempos de cada fase do processo.

No entanto, considerando que o sistema será implementado em um ambiente fabril, onde podem ocorrer condições adversas, como temperaturas elevadas, interferências eletromagnéticas (EMI) e vibrações, uma alternativa mais robusta se faz necessária. Nesse contexto, recomendo utilizar microcontroladores com características industriais, como o STM32F4 (por exemplo, o STM32F407) e o PIC32MZ, com as seguintes características:

1. **STM32F407:** Microcontrolador que oferece maior potência de processamento e periféricos avançados, sendo amplamente utilizado em aplicações industriais. A série STM32F4 possui versões projetadas para ambientes de operação com maior resistência a ruídos e temperaturas estendidas.
2. **PIC32MZ:** Conhecido pela robustez, o PIC32MZ é indicado para sistemas industriais críticos, oferecendo excelente resistência a EMI, maior tolerância a condições de operação adversas e um conjunto completo de periféricos.

Ambos possuem alta resolução dos ADCs e precisão no controle de PWM, assim como permitem comunicação pelas interfaces requisitadas (SPI, I2C, UART). Algo que difere os dois microcontroladores é a resistência a temperaturas elevadas, enquanto o STM32F407 permite temperaturas de operação no entre -40°C a +85°C, o PIC32MZ opera com estabilidade em uma faixa maior de temperatura, entre -40°C a +125°C.

Considerando à sua robustez e estabilidade em condições ambientais rigorosas, recomendo a princípio o PIC32MZ, sendo uma excelente escolha para sistemas críticos que demandam confiabilidade e precisão, especialmente em uma planta farmacêutica.

### **c. Especificação de periféricos necessários:**

Para a implementação do sistema de automação do misturador de substâncias farmacêuticas, é fundamental definir os periféricos necessários para garantir o monitoramento eficaz e o controle preciso do processo. Os periféricos são divididos em duas categorias principais: entradas para leitura e saídas para atuação. As entradas fornecem informações ao sistema sobre o estado atual do processo, enquanto as saídas permitem que o sistema interaja com os dispositivos físicos, ajustando as condições de mistura conforme necessário.

#### **i. Entradas para Leitura:**

1. Sensor de Temperatura: Termopar ou PT100.
  - Função: Medir a temperatura da mistura com alta precisão, garantindo que os níveis desejados sejam mantidos durante todo o processo.
2. Sensor de Velocidade: Sensor óptico ou encoder acoplado ao eixo do motor.
  - Função: Monitorar a velocidade de rotação do motor, permitindo ajustes para garantir a agitação adequada da mistura.
3. Botoeiras (GPIO): Entradas digitais configuradas para permitir a ativação e desativação do sistema.
  - Função: Proporcionar uma interface física simples para que operadores possam ligar ou desligar o sistema manualmente.
4. Entrada UART: Interface de comunicação serial.
  - Função: Permitir o envio e recebimento de comandos e dados do sistema, possibilitando controle e monitoramento remoto.

#### **ii. Saídas para Atuação:**

1. Motor de Agitação
  - Controle: PWM.
  - Função: Ajustar a velocidade de rotação do motor de agitação, garantindo a homogeneidade da mistura.
2. Resistência de Aquecimento
  - Controle: PWM com dispositivo de potência (como TRIAC) ou MOSFET.
  - Função: Controlar a temperatura da mistura aquecendo o líquido conforme necessário.
3. Sinalizador (LED ou Buzzer)
  - Função: Indicar o estado do processo (por exemplo, se a temperatura ou a velocidade estiver fora dos limites desejados).
4. Dispositivo de Comunicação
  - Tipo: Módulo de comunicação (UART, RS-232, Ethernet).
  - Função: Facilitar a comunicação do sistema com um sistema de supervisão ou interface de usuário, permitindo monitoramento remoto e ajustes.

#### d. Geração de um pseudocódigo e fluxograma:

Para melhor inteligibilidade do documento, o pseudocódigo baseado em C se encontra no **Anexo 1**, onde realizei a programação utilizando uma máquina de quatro estados e as seguintes funções:

**iniciarSistema():** Configura os pinos de entrada e saída do microcontrolador, inicializa o ADC (Conversor Analógico-Digital) para a leitura dos sensores e estabelece a comunicação serial para logs e monitoramento.

**desligarSistema():** Desativa todos os atuadores e limpa os recursos, como interrupções e timers, garantindo que o sistema possa ser reiniciado de forma segura.

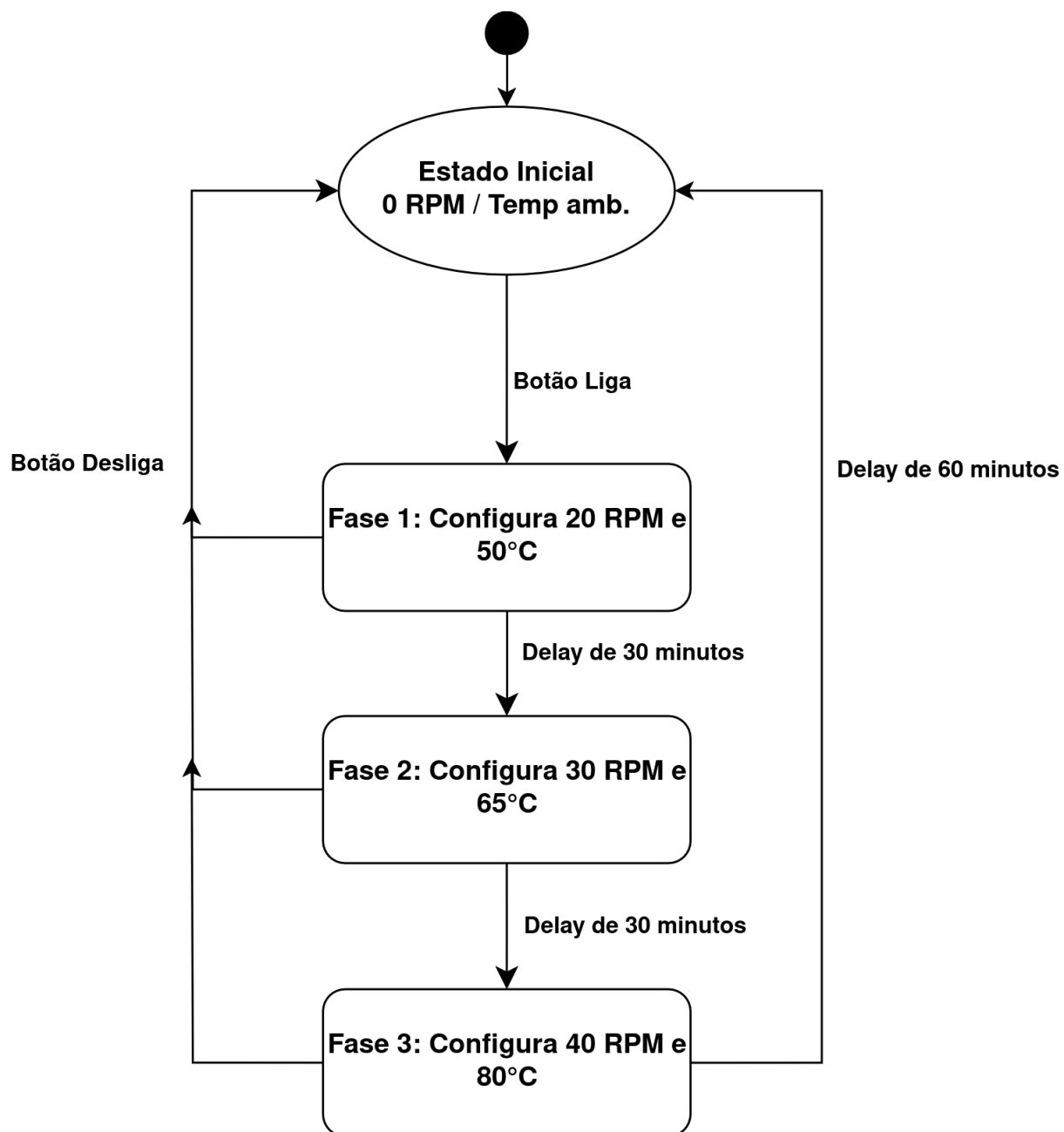
**setTemperatura(int temperatura):** Ajusta a saída da resistência para aquecer o líquido até a temperatura desejada.

**setVelocidade(int velocidade):** Usa PWM para controlar a velocidade do motor, ajustando a potência enviada ao motor para atingir a rotação desejada.

Realizei também o fluxograma de funcionamento do sistema de automação do misturador de substâncias farmacêuticas, representando as diferentes fases do processo de mistura. O sistema começa em um estado inicial onde aguarda o despejo das substâncias e o acionamento do botão “Liga”. Após acionamento, a configuração de temperatura e de velocidade é alterada de acordo com os parâmetros da fase 1 de mistura (velocidade de 20 RPM e temperatura 50°C). A partir desse ponto, o sistema segue um fluxo sequencial, passando por outras duas fases de mistura, cada uma com suas próprias configurações de temperatura e velocidade. A sequência natural do fluxograma é dada pelas seguintes etapas:

1. **Estado Inicial:** O sistema começa com a temperatura e a velocidade “zerados”. Neste estado, o sistema se prepara para iniciar o processo de mistura, aguardando o despejo das substâncias e o acionamento do botão “Liga”.
2. **FASE 1:** Durante os primeiros 30 minutos, a temperatura é mantida a 50 °C e a velocidade de agitação é de 20 rpm. O sistema opera nessa configuração para garantir a homogeneidade da mistura inicial.
3. **FASE 2:** Após a conclusão da FASE 1, o sistema transita para a FASE 2, onde a temperatura aumenta para 65 °C e a velocidade de agitação é ajustada para 30 rpm, também por um período de 30 minutos. Este aumento de temperatura e velocidade é crucial para atingir a consistência desejada na mistura.
4. **FASE 3:** Em seguida, o sistema avança para a FASE 3, mantendo uma temperatura de 80 °C e uma velocidade de agitação de 40 rpm durante 60 minutos. Esta fase final é vital para garantir que a mistura esteja completamente homogênea e dentro dos padrões requeridos.
5. **Finalização da mistura:** Após a conclusão da FASE 3, a resistência e o motor do misturador são desligados retornando para o estado inicial. Isso permite que a mistura esfrie naturalmente até a temperatura ambiente, garantindo que o produto final esteja seguro e pronto para o próximo passo no processo de produção.

O fluxograma é ilustrado abaixo e apresenta uma visão clara da lógica de controle do sistema:



**Figura 2: Fluxograma de comportamento do sistema**

## Anexo 1: Pseudocódigo

```
#define TEMPERATURA_FASE1 50
#define TEMPERATURA_FASE2 65
#define TEMPERATURA_FASE3 80

#define VELOCIDADE_FASE1 20
#define VELOCIDADE_FASE2 30
#define VELOCIDADE_FASE3 40

// declara estados
typedef enum {
    OFF, // Desligado
    FASE1,
    FASE2,
    FASE3
} Estado;

// Func auxiliares
void iniciarSistema();
void desligarSistema();
void setTemperatura(int temperatura);
void setVelocidade(int velocidade);
void delay(int milissegundos);

// Func principal
int main() {
    Estado estadoAtual = OFF;
    int tempoDecorrido = 0;

    iniciarSistema();

    while (1) {
        switch (estadoAtual) {
            case OFF:
                // Espera o sistema ser ativado
                if (/* condicao para ativar o sistema */) {
                    estadoAtual = FASE1;
                    tempoDecorrido = 0;
                }
                break;

            case FASE1:
                setTemperatura(TEMPERATURA_FASE1);
                setVelocidade(VELOCIDADE_FASE1);
                delay(1800000); // 30 minutos em ms
                tempoDecorrido += 30;
```

```

        estadoAtual = FASE2;
        break;

    case FASE2:
        setTemperatura(TEMPERATURA_FASE2);
        setVelocidade(VELOCIDADE_FASE2);
        delay(1800000); // 30 minutos em ms
        tempoDecorrido += 30;
        estadoAtual = FASE3;
        break;

    case FASE3:
        setTemperatura(TEMPERATURA_FASE3);
        setVelocidade(VELOCIDADE_FASE3);
        delay(3600000); // 60 minutos em ms
        tempoDecorrido += 60;
        estadoAtual = OFF; // Retorna para o estado desligado apos o termino
        break;
    }
    //Adiciona condicao para desligar o sistema manualmente como botao off
    if (/* condicao para desligar o sistema */) {
        desligarSistema();
        estadoAtual = OFF;
    }
    }
    return 0;
}

// Implementacao das func auxiliares
void iniciarSistema() {
    // Inicializa pinos do microcontrolador
    // Configura ADC para ler temperatura e velocidade
    // Inicializa comunic serial
}

void desligarSistema() {
    // Desliga os atuadores (motor e resistencia)
    // Limpa recursos utilizados
}

void setTemperatura(int temperatura) {
    // Ajusta a saida da resistencia
    // Implementa controle PID (se necessário)
}

void setVelocidade(int velocidade) {
    // Ajusta a velocidade do motor usando PWM
}

```



## **Anexo 2: Escopo expandido com sensoriamento adicional**

Em uma aplicação farmacêutica, o controle do processo de mistura em uma caldeira pode ser beneficiado pela adição de outros sensores, que permitem monitorar variáveis críticas para a segurança e a eficácia do processo. Além da temperatura e da rotação, outras variáveis, como pressão, nível de líquido e presença de gases, podem oferecer uma visão mais abrangente do ambiente e aumentar a confiabilidade do sistema de automação. Esse sensoriamento adicional pode ser especialmente relevante para:

- **Segurança:** O monitoramento de pressão e gases ajuda a prevenir condições de risco, como sobrepressão ou vazamentos de gases inflamáveis.
- **Controle de Qualidade:** Medir o nível de líquido e vibração garante a consistência da mistura e identifica possíveis falhas mecânicas que poderiam afetar o produto final.

Essas variáveis adicionais acarretam em algumas mudanças na estrutura do software embarcado, como a adição de algumas entradas e saídas adicionais, que seguem:

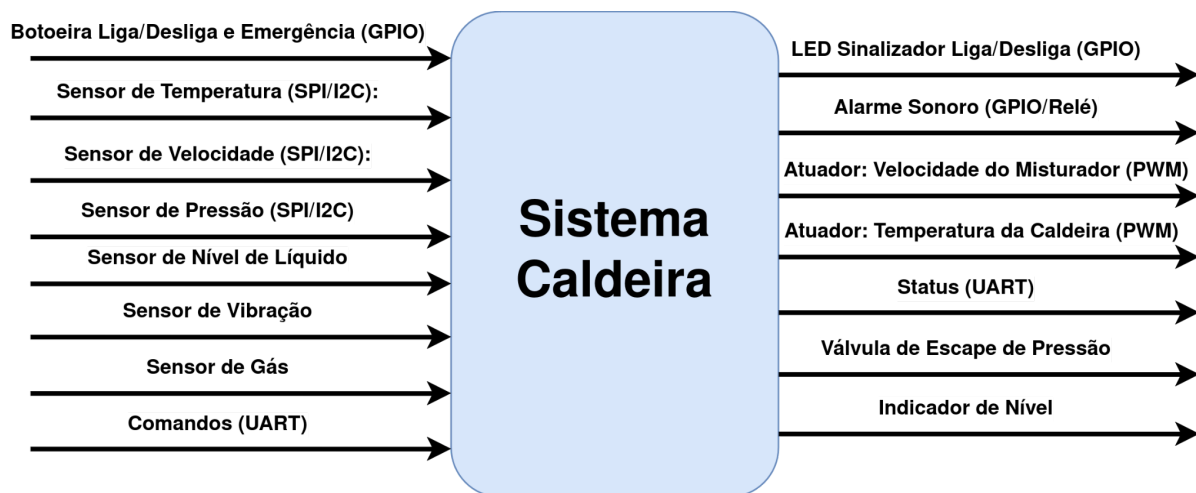
### **Entradas novas do sistema:**

1. **Sensor de Pressão:** Monitoramento para evitar condições de sobrepressão, ajustando o aquecimento ou acionando válvulas de escape quando necessário.
2. **Sensor de Nível de Líquido:** Garante que o nível das substâncias esteja adequado para a mistura, sinalizando a necessidade de reabastecimento ou interrompendo o processo em caso de níveis críticos.
3. **Sensor de vibração:** Detecta possíveis falhas mecânicas que podem afetar a operação do motor, identificando vibrações anormais e alertando sobre desgaste ou defeitos.
4. **Sensor de gás:** Detecta vazamentos de gases inflamáveis, aumentando a segurança e interrompendo o processo em concentrações perigosas de gás.

### **Saídas novas do sistema:**

1. **Válvula de Escape de Pressão:** Permite o alívio seguro da pressão excessiva na caldeira.
2. **Alarme Sonoro:** Alerta trabalhadores próximos em caso de condições de erro ou perigo.
3. **Indicador de Nível:** Permite a visualização direta do nível de líquido.

Essas entradas e saídas adicionais acabam alterando o diagrama de entradas e saídas do sistema apresentado na Figura 1, que é ilustrado abaixo em sua nova versão:



**Figura 3: Novo Diagrama de Entradas/Saídas do Sistema**

### **Impacto na escolha do microcontrolador:**

Com a adição de sensores de pressão, nível de líquido, válvulas de pressão e atuadores adicionais, o STM32F4 e o PIC32MZ previamente mencionados continuam como os microcontroladores preferidos devido à quantidade de GPIOs disponíveis, precisão dos ADCs e capacidade de comunicação com múltiplos sensores via interfaces SPI e I2C. Além disso, ambos suportam saídas PWM de alta frequência e precisão para controle de motores e resistências de aquecimento, garantindo um controle preciso da temperatura e da velocidade de agitação.

### **Impacto nos periféricos:**

Com a adição de sensores mencionados, a lista de periféricos deve ser atualizada incluindo, por exemplo, os seguintes periféricos:

#### **i. Entradas adicionais para Leitura:**

1. Sensor de Pressão: Transdutor de pressão.
  - Função: Monitorar a pressão interna da caldeira, garantindo que permaneça dentro de limites seguros e desejados.
2. Sensor de Nível de Líquido: Sensor de nível ultrassônico ou capacitivo.
  - Função: Determinar o nível de líquido na caldeira, evitando transbordamentos ou operação em condições de baixo nível que poderiam prejudicar o processo.

Estes são apenas dois exemplos de periféricos adicionais que seriam necessários para implementar o escopo expandido do projeto. Além destes impactos na lista de periféricos, outras diversas alterações seriam necessárias no pseudocódigo e fluxograma, que não apresento neste documento para mantê-lo conciso.