

MANUAL TÉCNICO

Vitrine Inteligente de Controle Patrimonial

Sistema Inteligente de Gestão e Custódia de Ativos

Trabalho de Conclusão de Curso
Versão 1.0 | 2025

CONFIDENCIAL – USO EDUCACIONAL

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E VISÃO GERAL.....	04
1.1 Sobre este Manual.....	04
1.2 Descrição Geral do Produto.....	04
1.3 Vista Geral do Produto.....	04
2. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS.....	06
2.1 Componentes de Hardware.....	06
2.1.1 Unidade de Processamento Central.....	06
2.1.2 Sistema de Identificação Biométrica.....	06
2.1.3 Sistema de Identificação RFID.....	06
2.1.4 Interface Homem-Máquina (IHM).....	06
2.1.5 Mecanismo de Travamento Eletromecânico.....	07
2.1.6 Sensor de Peso - HX711 com Células de Carga.....	07
2.1.7 Estrutura Física.....	07
2.2 Análise Estrutural dos Componentes.....	08
2.2.1 Análise de Deslocamento.....	08
2.2.2 Análise de Tensão de Von Mises.....	09
2.2.3 Conector Otimizado por Manufatura Aditiva.....	09
2.3 Arquitetura do Software.....	10
2.4 Capacidades e Limitações.....	10
3. DIAGRAMA E ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO.....	12
3.1 Diagrama de Blocos do Sistema.....	12
3.2 Fluxo de Retirada de Item.....	12
3.3 Fluxo de Devolução de Item.....	12
4. INSTRUÇÕES DE USO DETALHADAS.....	14
4.1 Inicialização do Sistema.....	14
4.2 Retirada de Item (Operação Normal).....	14

4.3 Devolução de Item (Operação Normal).....	14
5. FUNCIONALIDADES PRINCIPAIS.....	14
5.1 Controle de Acesso Biométrico.....	14
5.2 Rastreamento por RFID.....	14
5.3 Monitoramento de Peso — HX711.....	15
5.4 Gestão Visual Passiva.....	15
5.5 Travamento Eletromecânico Seletivo.....	15
5.6 Registro de Custódia com Timestamp.....	15
5.7 Alertas e Notificações.....	15
6. PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO E REPARO.....	16
6.1 Manutenção Preventiva.....	16
6.2 Manutenção Corretiva – Solução de Problemas.....	16
6.2.1 Sensor Biométrico Não Reconhece Digitais.....	16
6.2.2 Leitor RFID Não Detecta Tags.....	16
6.2.3 Slot Não Abre Após Autorização.....	17
6.2.4 Leitura de Peso Incorreta (HX711).....	17
6.2.5 Display Não Exibe Imagem ou Trava.....	17
6.3 Substituição do Firmware.....	17
7. SEGURANÇA E CONFORMIDADE.....	18
7.1 Segurança Elétrica.....	18
7.2 Privacidade e Proteção de Dados.....	18
7.3 Modo de Emergência.....	18
8. ESCALABILIDADE E EXPANSÃO.....	19
8.1 Expansão de Slots.....	19
9. REFERÊNCIAS E GLOSSÁRIO.....	19
9.1 Referências Técnicas.....	19
9.2 Glossário.....	19

1. INTRODUÇÃO E VISÃO GERAL

1.1 Sobre este Manual

Este documento constitui o Manual Técnico oficial da Vitrine Inteligente de Controle Patrimonial, elaborado como parte dos requisitos do Trabalho de Conclusão de Curso. Seu objetivo é fornecer orientações completas para instalação, operação, manutenção e solução de problemas do sistema, destinando-se a operadores, administradores de TI e técnicos de manutenção.

1.2 Descrição Geral do Produto

A Vitrine Inteligente de Controle Patrimonial é uma solução integrada de hardware e software desenvolvida para eliminar o descontrole de ativos em ambientes corporativos e industriais. O sistema combina dois pilares fundamentais:

- **Gestão Visual:** estrutura física transparente (PETG) com 6 compartimentos individuais, permitindo conferência visual instantânea de todo o inventário sem interação física com o sistema.
- **Custódia Nominal Digital:** responsabilização rastreável de cada movimentação de ativo, vinculando biometricamente o usuário ao item retirado ou devolvido.

A Vitrine Inteligente de Controle Patrimonial resolve diretamente dois problemas críticos comuns em organizações:

- **Cegueira de estoque:** incapacidade de saber, em tempo real, quais itens estão disponíveis, em uso ou extraviados.
- **Vácuo de responsabilidade:** ausência de registro sobre quem foi o último utilizador de uma ferramenta danificada ou desaparecida.

1.3 Vista Geral do Produto

A figura a seguir apresenta o desenho técnico explodido do projeto, identificando os principais componentes da estrutura física e eletrônica do sistema:

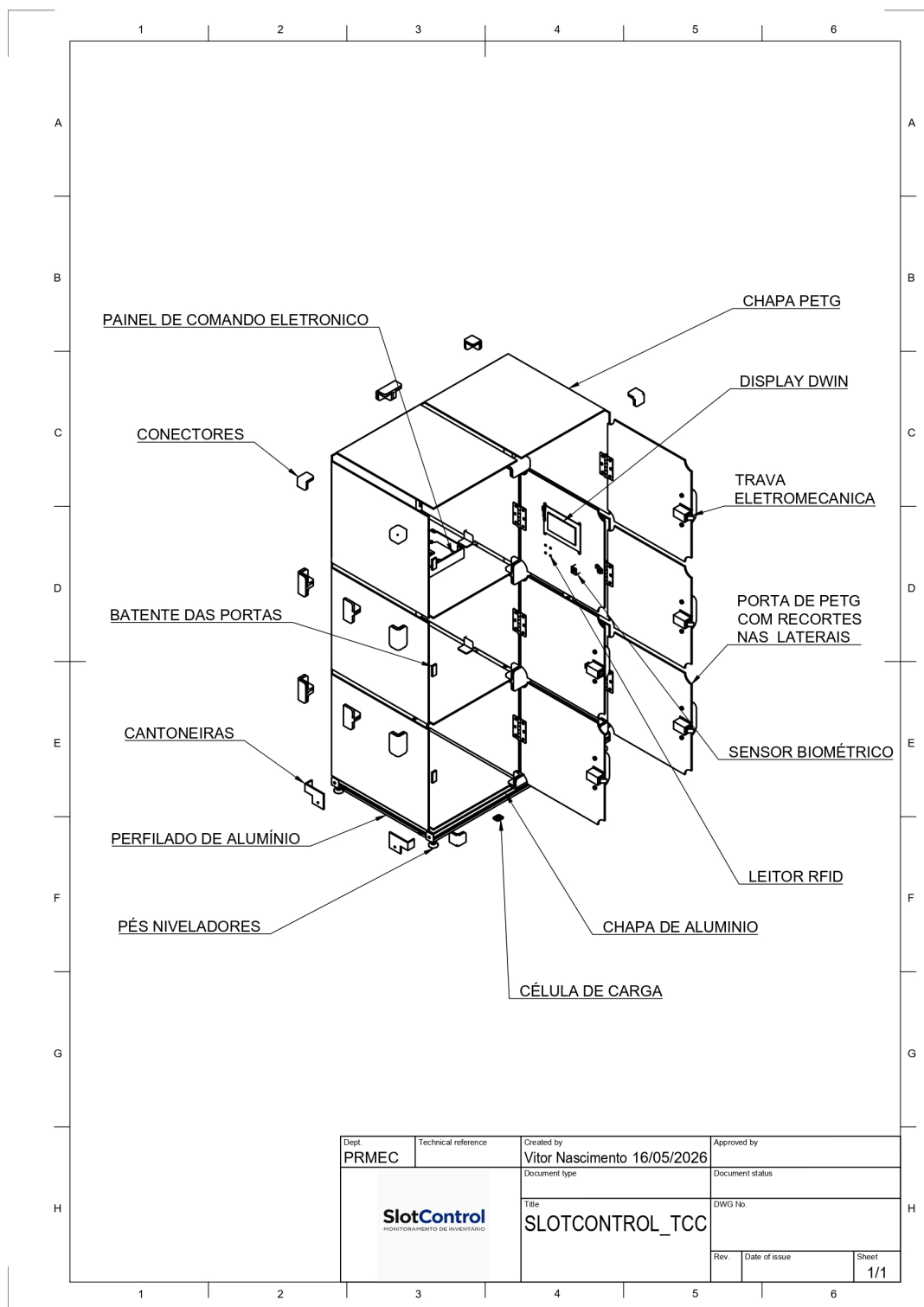


Figura 1 — Desenho técnico explodido da VRP com identificação dos componentes principais.

2. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

2.1 Componentes de Hardware

2.1.1 Unidade de Processamento Central

Parâmetro	Especificação
Microcontrolador	ESP32 (Dual-Core Xtensa LX6, 240 MHz)
Memória RAM	520 KB SRAM interna
Memória Flash	4 MB (expansível via SD Card)
Conectividade	Wi-Fi 802.11 b/g/n Bluetooth 4.2 BLE
Tensão de Operação	3,3 V (núcleo) / 5 V (alimentação externa)
GPIO Disponíveis	34 pinos programáveis

2.1.2 Sistema de Identificação Biométrica

Parâmetro	Especificação
Módulo	Sensor Óptico de Impressão Digital (ex.: AS608 / R307)
Capacidade de Armazenamento	Até 127 digitais cadastradas
Taxa de Falsa Aceitação (FAR)	< 0,001%
Taxa de Falsa Rejeição (FRR)	< 0,1%
Tempo de Resposta	< 1 segundo
Interface de Comunicação	UART (Serial TTL 3,3 V)

2.1.3 Sistema de Identificação RFID

Parâmetro	Especificação
Módulo Leitor	RC522 (Mifare RFID)
Frequência de Operação	13,56 MHz (HF)
Padrão de Tags Suportadas	ISO/IEC 14443 Tipo A e B (Mifare Classic, Ultralight)
Alcance de Leitura	Até 5 cm (sem obstáculos metálicos)
Interface de Comunicação	SPI (clock máx.: 10 MHz)
Tensão de Operação	3,3 V

2.1.4 Interface Homem-Máquina (IHM)

Parâmetro	Especificação
-----------	---------------

Tela	Display Inteligente T5L DWIN (touch capacitivo)
Resolução	480 x 272 pixels (mín.) ou conforme modelo T5L selecionado
Tipo de Painel	TFT-LCD colorido com retroiluminação LED
Processador de Interface	Chip DWIN T5L (CPU dedicada ao display)
Interface com ESP32	UART (Serial TTL 3,3 V / 5 V)

2.1.5 Mecanismo de Travamento Eletromecânico

Parâmetro	Especificação
Tipo de Atuador	Solenóide eletromagnético ou servo-motor por slot
Número de Slots	6 compartimentos independentes
Tensão de Acionamento	12 V DC (acionamento via relé controlado pelo ESP32)
Corrente de Pico	Até 1 A por solenóide (verificar datasheet do modelo)
Tempo de Abertura	< 500 ms após autorização
Modo de Falha Segura	Normalmente Fechado (NC) – sem energia = slot travado

2.1.6 Sensor de Peso — HX711 com Células de Carga

A Vitrine Inteligente de Controle Patrimonial incorpora um sistema de monitoramento de peso constituído pelo módulo amplificador HX711 e quatro células de carga posicionadas nas extremidades da base da estrutura. O conjunto permite comparar continuamente o peso total da vitrine com os valores de referência cadastrados, identificando automaticamente a retirada ou inserção de itens nos compartimentos.

Parâmetro	Especificação
Módulo Amplificador	HX711 (amplificador de célula de carga de 24 bits)
Número de Células de Carga	4 — posicionadas nas extremidades da base
Resolução da Leitura	24 bits (HX711)
Interface com ESP32	Digital (pinos DOUT e SCK)
Função	Comparação de peso geral conforme retirada/inserção de itens
Auxílio	Validação física complementar ao RFID e à biometria

2.1.7 Estrutura Física

Parâmetro	Especificação
Material do Gabinete	Chapa PETG transparente — espessura 4 mm (mín.)
Material das Portas	Porta de PETG com recortes nas laterais

Estrutura de Suporte	Perfilado de alumínio com cantoneiras e batentes de porta
Base	Chapa de alumínio com pés niveladores
Número de Compartimentos	6 slots individuais com tampa travável
Alimentação Elétrica	Fonte chaveada 12 V / 5 A (mínimo recomendado)
Proteção do Gabinete Eletrônico	IP20 (uso interno em ambiente controlado)
Temperatura de Operação	0 °C a 50 °C / Umidade relativa: 20% a 85% (sem condensação)

2.2 Análise Estrutural dos Componentes

Foram realizadas simulações de elementos finitos (FEA) para validar o comportamento mecânico da estrutura sob carga operacional. As análises a seguir contemplam deslocamento e tensão de Von Mises com aplicação de 150 N na chapa de PETG.

2.2.1 Análise de Deslocamento

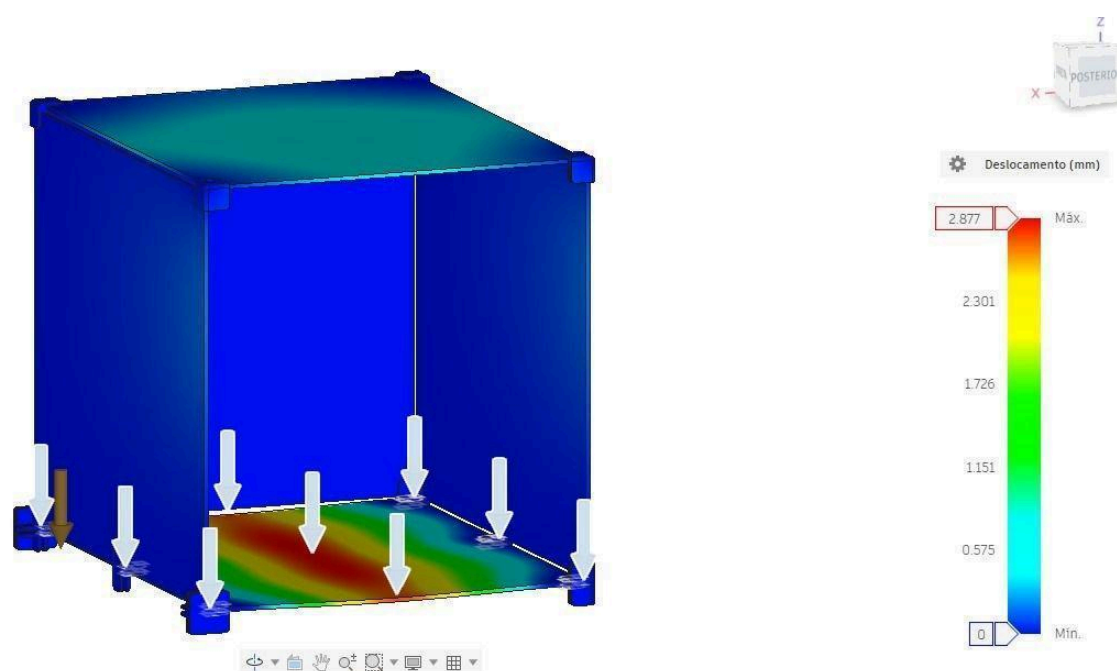


Figura 2 — Resultado da análise de deslocamento (150 N) — deformação máxima de 2,877 mm na região central.

Com a aplicação distribuída de 150 N na chapa de PETG, a análise de deslocamento apresentou deformação máxima de 2,877 mm na região central da peça. O resultado demonstra que, mesmo submetida à carga proposta, a estrutura mantém comportamento compatível com a aplicação do projeto, sem apresentar deformações críticas.

2.2.2 Análise de Tensão de Von Mises

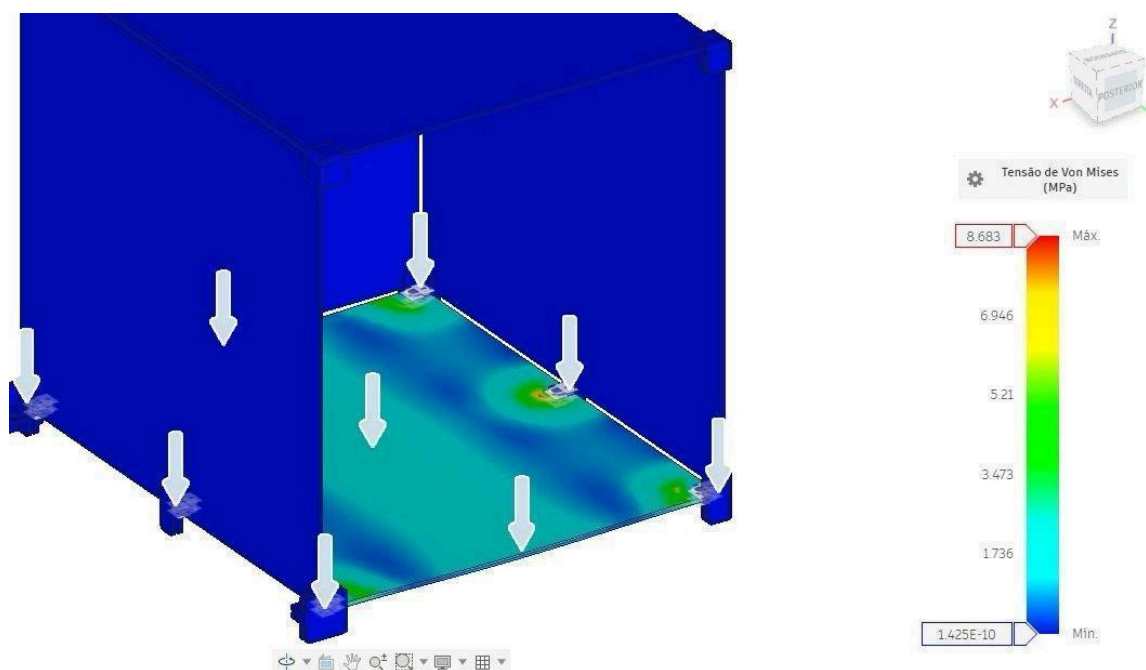


Figura 3 — Resultado da análise de tensão de Von Mises (150 N) — tensão máxima de 8,683 MPa nos conectores.

Na análise de tensão de Von Mises com aplicação de 150 N, os conectores apresentaram tensão máxima de 8,683 MPa. Considerando as propriedades mecânicas do ABS, o valor obtido permanece abaixo do limite de escoamento do material, indicando que os conectores operam dentro de uma condição segura, sem risco de falha estrutural na carga analisada.

2.2.3 Conector Otimizado por Manufatura Aditiva

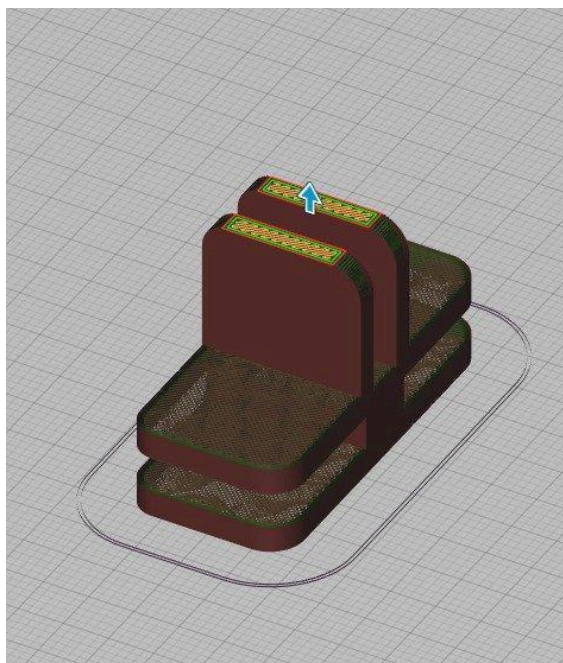


Figura 4 — Modelo 3D do novo conector desenvolvido por impressão 3D para redução de deslocamento.

Com o objetivo de reduzir o deslocamento da chapa de PETG, foi desenvolvido um novo conector utilizando manufatura aditiva (impressão 3D). O componente foi projetado para aumentar a área de apoio e melhorar a rigidez da fixação, contribuindo para uma distribuição mais eficiente dos esforços mecânicos e maior estabilidade estrutural do conjunto.

2.3 Arquitetura do Software

O firmware embarcado no ESP32 é desenvolvido com base no framework Arduino/ESP-IDF e estrutura-se em módulos funcionais independentes:

- Módulo de Autenticação: gerencia leitura biométrica, comparação de templates e liberação de autorização.
- Módulo RFID: controla a leitura de tags e associação tag-slot-usuário no banco de dados interno.
- Módulo de Peso: lê continuamente as células de carga via HX711 e compara com os valores de referência por slot.
- Módulo de Controle de Slots: aciona os relés de acordo com a autorização concedida.
- Módulo IHM: comunica-se com o display T5L via UART para exibir telas, mensagens e receber toques.
- Módulo de Registros (Log): grava eventos em memória flash com timestamp, identificação do usuário e do item.
- Módulo de Comunicação: envia dados para servidor externo via Wi-Fi (MQTT ou HTTP REST).

2.4 Capacidades e Limitações

Capacidades	Limitações Conhecidas
Suporta até 127 usuários cadastrados	Não opera sem alimentação elétrica (sem bateria de backup no protótipo)
Registro de até 10.000 eventos na flash interna	Alcance RFID reduzido em superfícies metálicas próximas
Travamento independente por slot	Sensor biométrico sensível a dedos úmidos ou com lesões
Monitoramento contínuo de peso via HX711	Log local sem exportação automática requer SD Card
Interface touch multilíngue (configurável)	Protótipo classificado IP20 — não resistente à água
Conectividade Wi-Fi para integração corporativa	Células de carga requerem calibração inicial por item

3. DIAGRAMA E ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO

3.1 Diagrama de Blocos do Sistema

O diagrama a seguir representa a arquitetura geral do sistema do projeto, evidenciando os fluxos de dados entre os principais módulos:



3.2 Fluxo de Retirada de Item

PASSO 1	Usuário posiciona o dedo no sensor biométrico.
PASSO 2	ESP32 compara o template lido com o banco de digitais cadastradas.
PASSO 3	Se reconhecido: display exibe nome e solicita seleção do slot.
PASSO 4	Usuário informa (via toque) qual slot deseja acessar.
PASSO 5	ESP32 verifica disponibilidade do slot e aciona o relé → solenoide abre o slot.
PASSO 6	Sistema registra no log: usuário + slot + item + timestamp.
PASSO 7	HX711 registra nova leitura de peso como referência de item ausente.
PASSO 8	Pendência fica vinculada ao usuário até a devolução.

3.3 Fluxo de Devolução de Item

PASSO 1	Usuário aproxima a tag RFID do item ao leitor RC522.
PASSO 2	ESP32 identifica o item e o slot de origem.
PASSO 3	Display solicita confirmação biométrica.
PASSO 4	Usuário valida a digital; ESP32 abre o slot correspondente.

PASSO 5 Usuário recoloca o item; HX711 confirma retorno do peso esperado.

PASSO 6 Sistema encerra a pendência e registra devolução com timestamp.

PASSO 7 Display exibe confirmação; slot retorna ao estado travado.

4. INSTRUÇÕES DE USO DETALHADAS

4.1 Inicialização do Sistema

Antes de iniciar a operação diária, o técnico responsável deve:

1. Verificar se a fonte de alimentação 12 V está conectada e o LED de status do ESP32 está aceso (verde = operacional).
2. Aguardar a conclusão do boot do sistema (à volta de 5 segundos); o display T5L exibirá a tela inicial da VRP.
3. Confirmar que todos os 6 slots estão na posição travada.
4. Verificar a mensagem de status no display — deve exibir 'Sistema Pronto'.

4.2 Retirada de Item (Operação Normal)

5. Posicione o dedo indicador no sensor biométrico e aguarde o bipe de reconhecimento.
6. O display exibirá seu nome e os slots disponíveis. Toque no slot desejado.
7. O compartimento selecionado destrava automaticamente. Retire o item.
8. O HX711 detecta a variação de peso e confirma a saída do item.

4.3 Devolução de Item (Operação Normal)

9. Aproxime a tag RFID do item ao leitor.
10. O display identifica o item e o slot de destino, e solicita confirmação biométrica.
11. Posicione o dedo no sensor para validação.
12. O slot correspondente é destravado. Recoloque o item cuidadosamente.
13. O HX711 valida o retorno do peso e a devolução é registrada no log.

5. FUNCIONALIDADES PRINCIPAIS

5.1 Controle de Acesso Biométrico

A autenticação por impressão digital é o elemento central de segurança da VRP. Por ser biométrica, a credencial é intransferível — elimina o compartilhamento de senhas ou cartões de acesso. Cada acesso gera um registro vinculado ao ID do template biométrico, garantindo irretratabilidade do responsável.

5.2 Rastreamento por RFID

Cada ativo cadastrado recebe uma tag RFID única. O sistema registra qual item específico foi movimentado e de qual slot, possibilitando:

- Identificação de itens devolvidos ao slot errado (alerta automático no display).
- Auditoria de tempo de uso por item e por usuário.

- Localização de itens perdidos via histórico de última movimentação.

5.3 Monitoramento de Peso — HX711

O sistema de peso constitui uma camada adicional de verificação física. As quatro células de carga distribuem-se nas extremidades da base e medem o peso total da vitrine em tempo real. O módulo HX711 amplifica os sinais com resolução de 24 bits, permitindo detectar variações mínimas de massa. Quando um item é retirado ou inserido, o firmware compara a leitura atual com o perfil de peso cadastrado, validando fisicamente a movimentação e alertando sobre discrepâncias.

5.4 Gestão Visual Passiva

O gabinete de PETG transparente permite que qualquer supervisor verifique a presença física de todos os itens sem qualquer interação com o sistema digital, reduzindo o tempo de auditoria física de horas para segundos.

5.5 Travamento Eletromecânico Seletivo

A abertura é sempre unitária e direcionada: apenas o slot autorizado é destravado. O modo de falha segura (Normalmente Fechado) garante que uma queda de energia não abra os compartimentos.

5.6 Registro de Custódia com Timestamp

Cada evento é gravado com: data e hora, identificação do usuário, identificação do item, slot envolvido, leitura de peso e resultado da operação.

5.7 Alertas e Notificações

Evento	Alerta no Display	Ação Recomendada
Digital não reconhecida	Acesso Negado – tente novamente	Verificar cadastro ou recalibrar
Slot sem item (vazio)	Slot indisponível	Verificar presença física do item
Item devolvido ao slot errado	Atenção: Slot incorreto!	Mover para o slot correto
Peso divergente do esperado	Alerta de peso — verificar item	Conferir item e recalibrar
Pendência há mais de X horas	Alerta de pendência ativa	Contatar responsável
Capacidade de log > 90%	Exportar / limpar registros	Exportar CSV e arquivar

6. PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO E REPARO

6.1 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva deve ser executada mensalmente pelo técnico responsável:

#	Tarefa	Frequência	Responsável
1	Limpeza da janela óptica do sensor biométrico com pano de microfibra seco.	Mensal	Técnico
2	Verificação visual dos cabos internos (folga, ressecamento, danos mecânicos).	Mensal	Técnico
3	Teste funcional dos 6 solenoides (abertura/fechamento controlado).	Mensal	Técnico
4	Limpeza externa do gabinete de PETG (pano úmido, sem solventes).	Semanal	Operador
5	Exportação e backup do log de eventos para mídia externa.	Mensal	Admin.
6	Verificação da tensão da fonte de alimentação (12 V \pm 0,5 V).	Trimestral	Técnico
7	Recalibração das células de carga HX711 com itens de referência.	Trimestral	Técnico
8	Atualização de firmware (quando disponível) via cartão SD.	Semestral	Técnico
9	Recadastro de digitais com qualidade de leitura < 80% (verificar log).	Semestral	Admin.

6.2 Manutenção Corretiva – Solução de Problemas

6.2.1 Sensor Biométrico Não Reconhece Digitais

- Causa provável: sujeira na janela óptica, dedo úmido ou lesionado, ou template danificado.
- Solução 1: limpe a janela óptica com pano de microfibra seco.
- Solução 2: solicite ao usuário que tente com o dedo limpo e seco.
- Solução 3 (admin): acesse [Administração] → [Usuários] → [Recadastrar Digital].
- Solução 4: verifique a conexão UART (pinos TX/RX) com o ESP32 e reinicie o sistema.

6.2.2 Leitor RFID Não Detecta Tags

- Causa provável: tag danificada, interferência metálica, falha na interface SPI.
- Solução 1: teste com outra tag RFID conhecida e funcional.
- Solução 2: remova objetos metálicos próximos ao leitor (distância mínima: 3 cm).
- Solução 3: verifique os pinos SPI (MISO, MOSI, SCK, SS) no conector do RC522.

6.2.3 Slot Não Abre Após Autorização

- Causa provável: falha no relé, solenoide travado mecanicamente ou tensão insuficiente.
- Solução 1: verifique se a fonte 12 V está fornecendo tensão adequada (multímetro).
- Solução 2: acione o slot manualmente via [Menu] → [Manutenção] → [Testar Slot X].
- Solução 3: se o relé não comuta, substitua o módulo de relé.

6.2.4 Leitura de Peso Incorreta (HX711)

- Causa provável: célula de carga descalibrada, item reposicionado incorretamente ou conexão solta.
- Solução 1: verifique o cabeamento entre as células de carga e o módulo HX711.
- Solução 2: recalibre via [Administração] → [Calibrar Peso] com os itens de referência nos slots.
- Solução 3: substitua a célula de carga com defeito após inspeção visual e técnica.

6.2.5 Display Não Exibe Imagem ou Trava

- Causa provável: falha na comunicação UART com o T5L ou arquivo de interface corrompido.
- Solução 1: reinicie o sistema (desligar e ligar a fonte de alimentação).
- Solução 2: verifique os cabos UART entre ESP32 e display (TX ↔ RX, RX ↔ TX, GND).
- Solução 3: regrave o firmware do display T5L via cartão SD com o arquivo de projeto DWIN.

6.3 Substituição do Firmware

Método 1 – Via USB (Arduino IDE)

14. Conecte o ESP32 ao computador via cabo micro-USB.
15. Abra o projeto no Arduino IDE (versão 2.x ou superior).
16. Selecione a placa: ESP32 Dev Module e a porta COM correspondente.
17. Clique em [Upload]. Aguarde a conclusão.
18. Desconecte o cabo USB e reconecte a alimentação da VRP.

Método 2 – OTA via Wi-Fi (Over-The-Air)

19. Acesse o painel web do sistema (IP do ESP32 na rede local, exibido no display).
20. Navegue até [Sistema] → [Atualização de Firmware].
21. Selecione o arquivo .bin compilado e confirme o upload.
22. O ESP32 reiniciará automaticamente após a gravação.

7. SEGURANÇA E CONFORMIDADE

7.1 Segurança Elétrica

- Toda manutenção interna deve ser realizada com o sistema DESLIGADO e o cabo de alimentação desconectado da tomada.
- Não utilize fontes de alimentação com tensão diferente de 12 V DC no barramento principal.
- Mantenha o gabinete eletrônico afastado de líquidos, umidade excessiva e poeira condutora.
- Em caso de odor de queimado ou faísca, desligue imediatamente e chame o técnico responsável.

7.2 Privacidade e Proteção de Dados

- Os templates biométricos são representações matemáticas da impressão digital — não podem ser revertidos para reconstruir a digital original.
- O acesso ao banco de dados de usuários e logs é restrito ao perfil Administrador.
- Recomenda-se a conformidade com a LGPD (Lei 13.709/2018): informar e obter consentimento dos usuários antes do cadastro biométrico.

7.3 Modo de Emergência

- Chave mecânica de sobrepor (opcional): instalada em cada slot como redundância física.
- Acesso via modo de manutenção administrativo (desbloqueio de todos os slots simultaneamente).
- Corte de energia: os solenoides NC permanecerão travados sem energia. Para abertura em emergência, instale solenoides NA ou UPS (no-break).

8. ESCALABILIDADE E EXPANSÃO

O projeto VRP foi concebido com arquitetura modular visando sua reprodução industrial e expansão sem redesenho completo do sistema.

8.1 Expansão de Slots

O número de slots pode ser ampliado de 5 para até 15 adicionando módulos de expansão de relé I2C (ex.: PCF8574 ou MCP23017), sem substituição do ESP32. Para expansões superiores a 15 slots, recomenda-se uma rede de múltiplas unidades gerenciadas por um servidor central.

9. REFERÊNCIAS E GLOSSÁRIO

9.1 Referências Técnicas

- Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. Disponível em: docs.espressif.com.
- DWIN Technology. T5L Series Intelligent Display – User Manual. DWIN, 2022.
- NXP Semiconductors. MFRC522 – Standard 3V MIFARE Reader/Writer IC. Datasheet Rev. 3.9, 2016.
- SparkFun Electronics. HX711 Load Cell Amplifier – Hookup Guide. Disponível em: sparkfun.com.

9.2 Glossário

Termo	Definição
ESP32	Microcontrolador de duplo núcleo com Wi-Fi e Bluetooth integrados, fabricado pela Espressif Systems.
RFID	Radio Frequency Identification – tecnologia de identificação por radiofrequência.
HX711	Módulo amplificador de célula de carga com resolução de 24 bits, utilizado para leitura de peso.
Célula de Carga	Sensor que converte força mecânica (peso) em sinal elétrico proporcional.
UID	Unique Identifier – número único gravado em cada tag RFID, não replicável.
IHM / HMI	Interface Homem-Máquina – componente de interação (display touch) entre o operador e o sistema.
FAR	False Acceptance Rate – taxa de aceitação falsa no sistema biométrico.

FRR	False Rejection Rate – taxa de rejeição falsa (usuário autorizado recusado).
OTA	Over-The-Air – atualização de firmware realizada remotamente via rede Wi-Fi.
SPI	Serial Peripheral Interface – protocolo de comunicação serial síncrona.
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter – protocolo de comunicação serial assíncrona.
NC / NA	Normalmente Fechado / Normalmente Aberto – estado padrão de um solenoide ou relé sem energização.
PETG	Politereftalato de etileno glicol – material plástico transparente utilizado nas chapas e portas da VRP.
Log / Registro	Arquivo cronológico de eventos gerado pelo sistema para fins de auditoria e rastreabilidade.
Custódia Nominal	Atribuição formal e rastreável de um ativo a um responsável identificado digitalmente.
Slot	Compartimento individual da estrutura física da VRP, destinado ao armazenamento de um único item.
Template Biométrico	Representação matemática das características únicas de uma impressão digital.
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (Lei nº 13.709/2018).