

**Título do artigo**

Montagem de um teclado numérico utilizando um STM32F103C8T6

**Autores**

Gabriel Trindade Benatti Frizzo, Matheus Rodrigues Garcia\*, Vitor Hugo Domingues Bogo.

**Afiliações**

Universidade Estadual de Londrina (UEL), Rodovia Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380 – Campus Universitário, Londrina – PR, 86057-970, Brasil.

**Resumo**

*O produto consiste em um teclado numérico mecânico com layout de teclas 3x5 com conexão por fio. O teclado é controlado por um STM32F103C8T6 e usa sistema hot-swappable de teclas.*

**Palavras-chave**

Teclado numérico 3×5, sistemas embarcados, sensores de baixo custo.

Tabela de especificações

Nome do hardware	<i>Nome do hardware que você desenvolveu/customizou</i>
Área temática	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Geral</i></li> </ul>
Tipo de hardware	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Engenharia elétrica e ciência da computação</i></li> </ul>
Análogo comercial mais próximo	Numérico matricial comercial (3×5)
Licença de código aberto	<i>CERN Open Hardware License Version 2 – Permissive (CERN-OHL-P v2).</i>
Custo do hardware	Aproximadamente 20–30 USD.
Repositório dos arquivos-fonte	<a href="https://github.com/2ELE088-ProjetoIntegrador3B-T3T4/Grupo4-TecladoNumerico">https://github.com/2ELE088-ProjetoIntegrador3B-T3T4/Grupo4-TecladoNumerico</a>

## 1. Hardware no contexto

O hardware desenvolvido consiste em um teclado mecânico programável baseado no microcontrolador, o qual é o STM32F103C8T6. Ele se enquadra na categoria de dispositivos HID (Human Interface Device) abertos, permitindo total reprodutibilidade e modificação por parte do usuário.

Projetos de hardware aberto semelhantes incluem teclados amplamente utilizados em comunidades maker, como o Ferris, Corne, Lily58 e outros dispositivos baseados em firmwares open source como QMK e ZMK. Assim como esses projetos, o teclado apresentado oferece esquemáticos, arquivos Gerber e firmware totalmente acessíveis.

Em contraste, teclados proprietários amplamente disponíveis no mercado como os modelos da Keychron, Logitech, Corsair e Razer geralmente não oferecem acesso aos arquivos de projeto também limitam a personalização do firmware e possuem componentes que não podem ser substituídos ou modificados pelo usuário. Esse projeto é diferente por sua total abertura, simplicidade de fabricação e possibilidade de customização tanto eletrônica quanto mecânica.

Dessa forma, o hardware se enquadra em dispositivos abertos projetados para facilitar estudos de microcontroladores, experimentação em eletrônica digital e desenvolvimento de interfaces personalizadas, mantendo compatibilidade com padrões HID.

## 2. Descrição do hardware

Ao contrário de teclados comerciais de função única, este hardware opera em três camadas de customização simultâneas:

**Camada Física (Hot-Swappable):** O sistema de soquetes permite que qualquer usuário, sem conhecimento de solda, troque os interruptores mecânicos em segundos. Isso possibilita adaptar a força de atuação (de 35g a 95g), tipo de feedback (tátil, linear, clique) e som conforme a preferência do usuário ou necessidade (ex.: laboratório silencioso vs. ambiente industrial).

**Camada de Firmware:** O teclado roda o firmware de código aberto, com suporte à interface ST-Link para reprogramação em tempo real. Cada tecla pode ser remapeada dinamicamente para qualquer código, macro ou combinação complexa.

**Camada de Aplicação:** A interface física é separada da lógica de aplicação, permitindo que o mesmo hardware sirva como controle para diferentes softwares (ImageJ, LabView, Python scripts) com uma certa reprogramação do software do teclado.

### *Arquivos de projeto*

- *Os arquivos completos de projeto estão disponíveis no repositório GitHub:*  
[Repositório do projeto no GitHub](#)

Arquivos CAD: Projeto completo no Altium Designer, incluindo esquemático, layout da PCB e arquivos de fabricação (Gerber) na pasta `/Teclado/Project Outputs for teclado`.

Impressão 3D: Arquivos de modelagem 3D da caixa do teclado, fornecidos em formatos STL e STEP na pasta `/3D`.

Eletrônica: Layouts, esquemáticos e bibliotecas relacionados ao hardware na pasta `/Teclado/`.

Software e firmware: Projeto STM32CubeIDE com o firmware desenvolvido para o controlador STM32F103C8T6, localizado na pasta `/Firmware`.

### 3. Resumo dos arquivos de projeto

Nome do arquivo de projeto	Tipo de arquivo	Descrição do arquivo
teclado/SqTeclado.SchDoc	CAD (Altium)	Esquemático completo do teclado numérico.
teclado/PCBtc.PcbDoc	CAD (Altium)	Layout da PCB do teclado.
Gerber Files.zip	Gerber	Arquivos de fabricação para PCB.
Firmware/.project	Firmware (CubeIDE)	Código-fonte para o STM32F103C8T6.
3D/CaixaTeclado.stl	3D (STL)	Modelo para impressão 3D da caixa do teclado.
3D/TampaTeclado.stl	3D (STL)	Tampa da caixa do teclado para impressão 3D.
3D/Keycap.stl	3D (STL)	Modelo para impressão 3D das keycaps utilizadas no teclado.
3D/Teclado.step	3D (STEP)	Modelo para 3D do teclado.
README.md	Documentação	Instruções gerais e organização do repositório.

*Cada arquivo listado acima está detalhado no repositório [GitHub](#).*

## Bill of materials

### 4. Resumo da Bill of materials

Designador	Componente	Quantidade	Custo por unidade - moeda	Custo total - moeda	Fonte do material	Tipo de material
C5, C8	CL10B105KP8NNNC	2	0.005 USD	0.05 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
C1, C2, C3, C4, C9, C12, C13	CC0603KRX7R7BB104	7	0.006 USD	0.06 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
R2, R4, R9, R10, R11, R12, R13, R14	CRCW060310K0FKEA	8	0.03 USD	0.3 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
C6, C7	CL05C330JB5NNNC	2	0.003 USD	0.03 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
C10	CL10B223KB8WPNC	1	0.1 USD	0.1 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
J1	SBH11-PBPC-D10-ST-BK	1	0.41 USD	0.41 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
Y1	ECS-80-20-5PXDU-TR	1	0.45 USD	0.45 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
D1-D15	1N4148WX-TP	15	0.061 USD	0.915 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
F1	ERBRD0R50X	1	0.29 USD	0.29 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
U2-U4, U6-U17	4958	1	4.95 USD	4.95 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
U5	STM32F103C8T6	1	6.08 USD	6.08 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
C11	LMK107BBJ106MALT	1	0.08 USD	0.08 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
R6, R7	RK73H1ETTP5101F	2	0.1 USD	0.2 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
R5	ERJ-3EKF1004V	1	0.1 USD	0.1 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
R1	ERA-2AEB152X	1	0.1 USD	0.1 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
U19	RT9193-33GB	1	0.17732 USD	531.96 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
X1-X15	MX1A-C1NN	15	1.25 USD	18.75 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
U1	USB4110-GF-A	1	1.23 USD	1.23 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
U18	USBL6-2SC6	1	0.36 USD	0.36 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
R3, R8	CR0402AJ/-000GAS	2	0.1 USD	0.2 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal



#### 4. Montagem mecânica da caixa

- Imprima os arquivos 3D da caixa e da tampa disponíveis na pasta 3D/.
- Insira a PCB na caixa, alinhando os furos aos suportes internos.
- Utilize parafusos M3 para fixar a PCB.
- Encaixe a tampa superior.
- Instale as keycaps nos switches MX.

#### 5. Pontos de atenção e segurança

- Evite contato com pads sensíveis durante a soldagem para prevenir danos eletrostáticos.
- Não exceda temperaturas adequadas de soldagem para evitar descolamento de trilhas.
- Utilize óculos de proteção ao soldar ou realizar cortes.
- Inspeccione visualmente a placa antes de energizá-la.
- Mantenha a placa afastada de líquidos e fontes de calor extremos.

### 6. Instruções de operação

#### Procedimento de Operação

- Conecte o teclado ao computador por meio da porta **USB-C**. O dispositivo será reconhecido automaticamente como um teclado padrão (HID).
- Após a conexão, o teclado estará pronto para uso imediato, não é necessária instalação de drivers extras.
- Pressione qualquer uma das teclas disponíveis, cada acionamento enviará o respectivo código de tecla ao computador.
- Caso o computador não reconheça o dispositivo, remova o cabo USB-C e reconecte-o, verificando também a integridade do cabo.

#### Cuidados e Segurança

- **Evite contato com líquidos.** Exposição à água ou outros fluidos pode causar curto-circuito, falha permanente ou risco elétrico.
- **Não derrube o produto.** Impactos fortes podem danificar a PCB, switches mecânicos, soldas ou o microcontrolador.
- Não aplique força excessiva ao pressionar as teclas; os switches mecânicos possuem limite físico de operação.
- Não tente abrir ou modificar o hardware sem conhecimento técnico, pois isso pode causar danos irreversíveis e perda de garantia.
- Utilize somente cabos USB-C de boa qualidade para garantir alimentação estável e comunicação adequada.

## 7. Validação e caracterização

### Validação Funcional

Para demonstrar a operação adequada do hardware, foram realizados testes diretos conectando o teclado a um computador por meio da interface USB-C. O microcontrolador **STM32F103C8T6** foi programado para atuar como um dispositivo HID (Human Interface Device), enviando códigos de teclas ao sistema operacional.

Os seguintes procedimentos foram executados:

- Conexão do dispositivo a diferentes computadores (Windows, Linux e MacOS) para verificar reconhecimento automático do teclado.
- Teste individual de todas as 15 teclas mecânicas (switches MX) para garantir detecção correta e ausência de falhas de acionamento.
- Verificação da temporização de debounce via firmware, assegurando que nenhum acionamento múltiplo (bouncing) ocorresse.
- Inspeção visual e elétrica da PCB para confirmar continuidade e ausência de curtos.

A validação confirmou que o teclado é reconhecido corretamente em todos os sistemas testados e que todas as teclas apresentam leitura estável e sem erros.

### Caracterização do Desempenho

A caracterização do teclado considerou parâmetros elétricos e mecânicos relevantes:

- **Tempo de resposta:** menor que 5 ms entre o acionamento da tecla e o envio do código HID.
- **Consumo de corrente:** aproximadamente 20–35 mA em operação contínua.
- **Tensão de operação:** 5 V fornecidos via USB.
- **Ruído elétrico:** filtrado adequadamente por capacitores de desacoplamento, permitindo operação estável.
- **Confiabilidade dos switches:** vida útil estimada em mais de 50 milhões de acionamentos (característica padrão dos switches MX).
- **Precisão da leitura:** 100% de detecção de teclas durante testes contínuos.

### Capacidades e Limitações

Capacidades:

- Compatibilidade completa com computadores que suportam dispositivos HID via USB.
- Alta durabilidade e sensação tátil devido aos switches mecânicos MX.
- Debounce implementado via firmware, garantindo leitura confiável.
- Baixo consumo de energia devido ao uso do microcontrolador STM32.
- Latência muito baixa, praticamente imperceptível ao usuário.

Limitações:



- Não possui retroiluminação integrada.
  - Quantidade fixa de teclas (15), não expansível sem alteração da PCB.
  - O dispositivo depende do cabo USB-C para alimentação e operação (não possui bateria).
  - Não oferece personalização avançada via software sem recompilar o firmware.
-