

PSI2662 – Projeto em Sistemas Eletrônicos Embarcados: Sensores e Atuadores

Apresentação do Kit Freescale Freedom FDRM-KL25Z e Portas de Entrada e Saída

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Prof. Gustavo Rehder – grehder@lme.usp.br



Segundo Semestre de 2015



Placa do kit

Placa FRDM-KL25Z



USB – mini B
USB SDA

Botão de reset

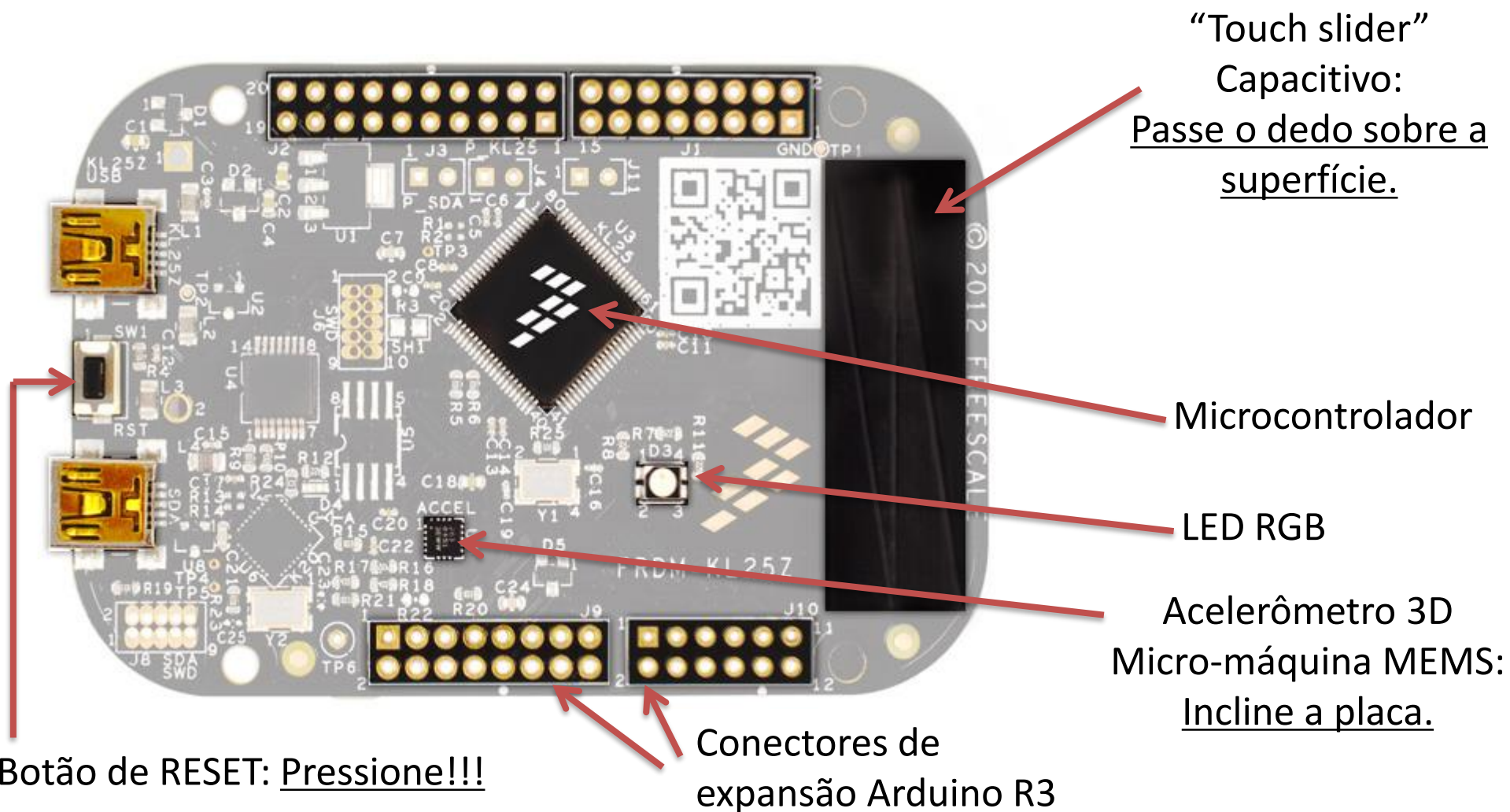
USB – mini B
USB KL25Z

Observação: Há duas portas USB: uma denominada USB SDA e outra USB KL25Z.



Recursos e programa de demonstração

- O microcontrolador já vem programado com um software de exemplo dos periféricos embutidos na placa do kit



“Touch slider”

Capacitivo:

Passe o dedo sobre a superfície.

Microcontrolador

LED RGB

Acelerômetro 3D

Micro-máquina MEMS:
Incline a placa.

Conectores de
expansão Arduino R3

Botão de RESET: Pressione!!!



Arquitetura ARM Cortex-M0+

- Baixo consumo e alta integração
- Alto desempenho e clock (acima de 16,0 [MHz])
- 32 bits
- Alta quantidade de memória
- Amplo espectro de periféricos
- Freescale Kinetis KL25Z
 - ARM Cortex-M0+
 - Single core, 48,0 [MHz] de clock
 - 128,0 [KB] FLASH ROM e 16 KB SRAM



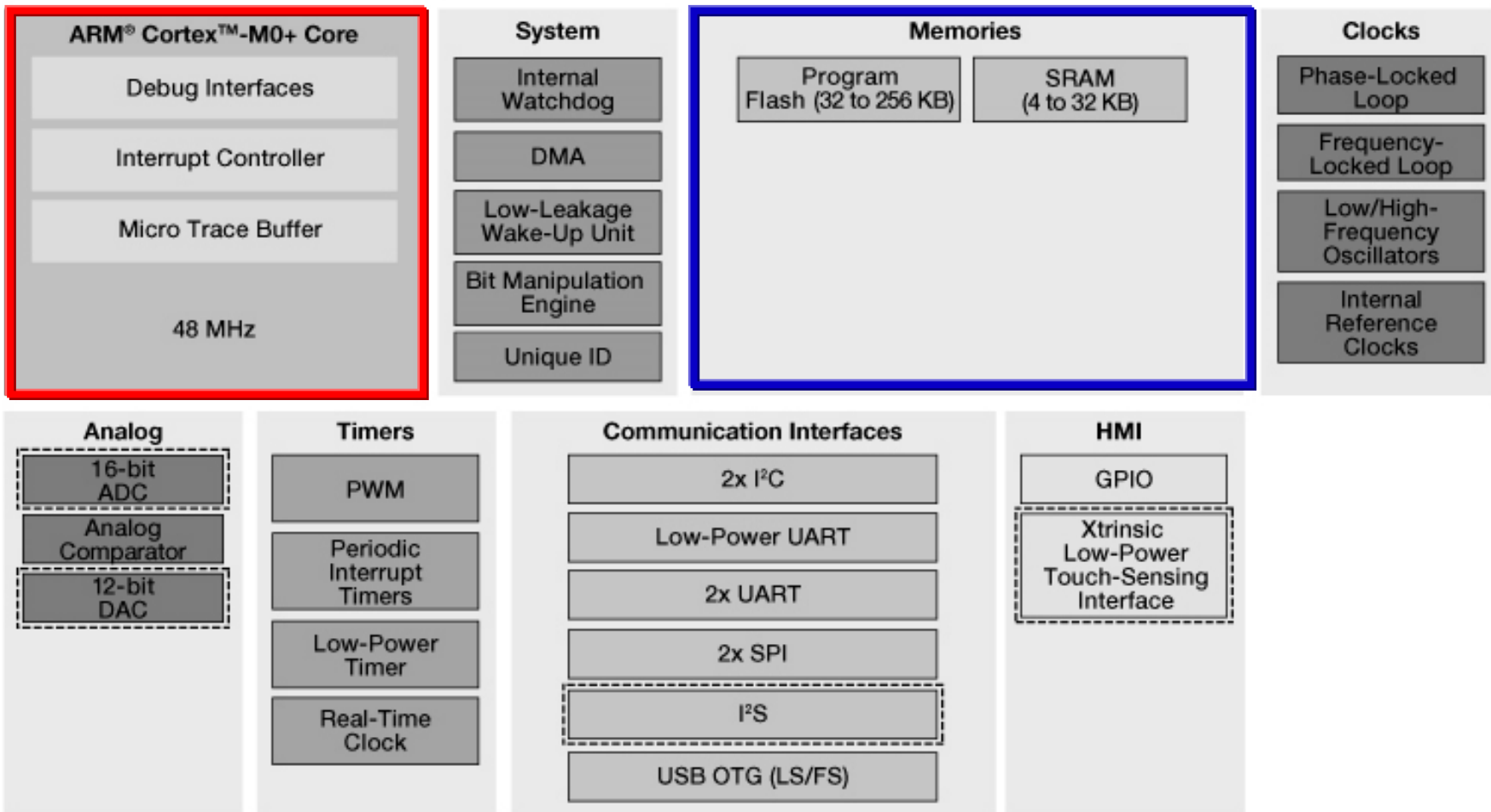
Kit Freescale Freedom FDRM-KL25Z

- Chip ARM CORTEX-M0+ Freescale Kinetis MKL25Z128VLK4
- Sensores
 - Acelerômetro MEMS triaxial
 - Sensor *touch slider* capacitivo
- Atuadores
 - Um LED RGB (três LEDs – vermelho, verde e azul integrados)
- Interface USB OTG ligada direto ao microcontrolador KL25Z
- Terminais GPIO (General Purpose Input and Output)
- Pinagem compatível com padrão Arduino Revisão 3 (R3)
- Cabo de programação OpenSDA embutido (outro ARM!) – interface USB SDA



Arquitetura simplificada do Kinetis KL25Z

Kinetis KL2x MCU Family Block Diagram



Standard Optional

Retirado de <http://www.freescale.com/>



Arm Cortex M

VABS	YADD	YCMP	YCMPE	YCYT	YCYTR	VDIV	VLDH
VLDR	YMLA	YMLS	YHOV	VMRS	VMSR	VMUL	VNEG
VNMLA	VMMLS	VNMUL	VPOP	VPUSH	VSQRT	VSTM	VSTR
VSUB	VFMA	VFMS	VFNMA	VFNMS			

Cortex-M4 FPU

PKH	QADD	QADD16	QADD8	QASX	QDADD	QDSUB	QSAX
QSUB	QSUB16	QSUB8	SADD16	SADD8	SASX	SEL	SHADD16
SHADDE	SHASX	SHSAX	SHSUB16	SHSUB8	SMLABB	SMLABT	SMLATB
SMLATT	SMLAD	SMLALBB	SMLALBT	SMLALTB	SMLALTT	SMLALD	SMLAWB
SMLAWT	SMLS0	SMLS16	SMMLA	SMMLS	SMMUL	SMUAD	

ADC	ADD	ADR	AND	ASR	B
CLZ	BFC	BFI	BIC	CDP	CLREX
CBNZ	CBZ	CHN	CHP	DBG	EOR
LDMIA	LDMOB	LDI	LDRB	LDRBT	LDRD
LDREX	LDREXB	LDREXH	LDRH	LDRHT	LDRSB
LDRSBT	LDRSHT	LDRSH	LDRT	MCR	LSL
LSR	MCRR	HLS	MLA	MOV	MOVT
MRC	MRRC	MUL	MVN	NOP	ORN
ORR	PLD	PLDW	PLI	POP	PUSH
RBIT	REV	REV16	REVSH	ROR	RRX
			RSB	SBC	SBCX
			SDIV	SEV	SMLAL
			SMULL	SSAT	STC
			STMIA	STMDB	STR
			STRB	STRBT	STRD
			STREX	STREXB	STREXH
			STRH	STRHT	STRT
			SUB	SXTB	SXTH
			TBB	TBH	TEQ
			TST	UBFX	UDIV
			UMLAL	UMULL	USAT
			UXTB	UXTH	WFE
			WFI	YIELD	IT

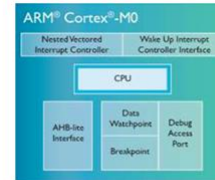
Cortex-M3

BKPT	BLX	ADC	ADD	ADR
BX	CPS	AND	ASR	B
DMB		BL	BIC	
DSB	CHN	CHP	EOR	
ISB	LDR	LDRB	LDM	
MRS	LDRH	LDRSB	LDRSH	
MSR	LSL	LSR	MOV	
NOP	REV	MUL	MVN	ORR
REV16	REVSH	POP	PUSH	ROR
SEV	SXTB	RSB	SBC	STM
SXTH	UXTB	STR	STRB	STRH
UXTH	WFE	SUB	SVC	TST
WFI	YIELD			

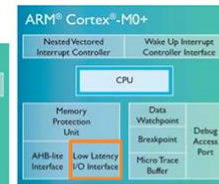
Cortex-M0/M1

ARM Cortex-M Product Line

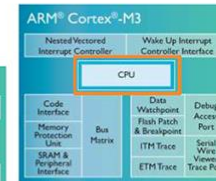
Consistent 32 bit processor architecture across all applications



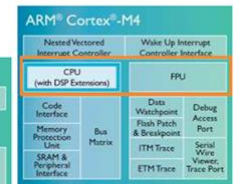
Lowest cost
Low power



Lowest power
Outstanding energy efficiency



Performance efficiency
Feature rich connectivity



Digital Signal Control
Processor with DSP
Accelerated SIMD
Floating point



Curiosidades

1. Você sabia que sua placa possui mais de um microcontrolador?

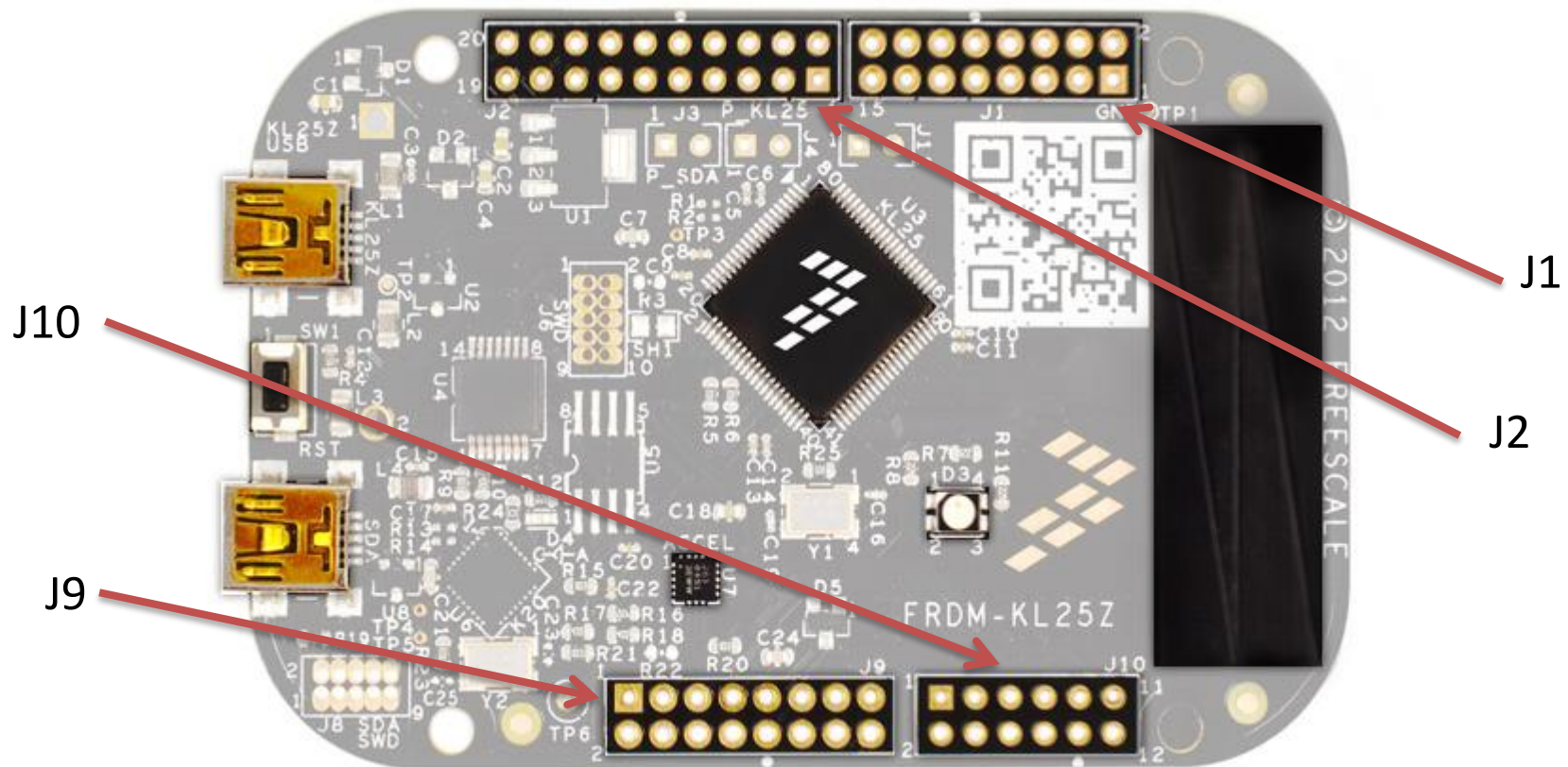
Localize na placa do kit o componente denominado **U6**. Esse é um outro microcontrolador da *freescale*, da linha Kinetis K20, que também possui arquitetura ARM CORTEX, mas do tipo M4 ao invés do M0+. Entre outras funções, esse dispositivo é responsável por:

- criar um disco virtual no PC através da interface USB
- realizar a programação do microcontrolador principal KL25Z quando novos arquivos são colocados no disco virtual
- criar uma porta serial virtual entre o KL25Z e o computador através da mesma interface USB



Acesso a alguns ports e terminais

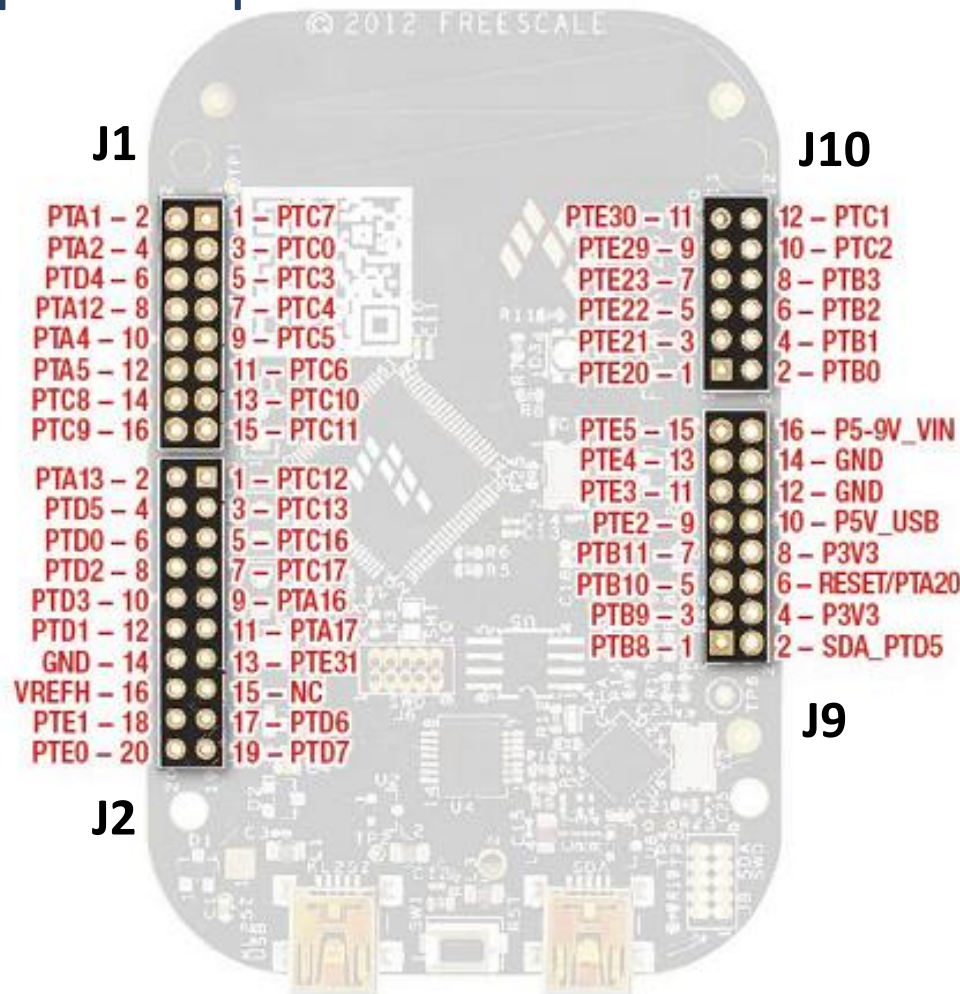
- Pode ser feito, principalmente, nos conectores de expansão J1, J2, J10 e J9 da placa Freedom.





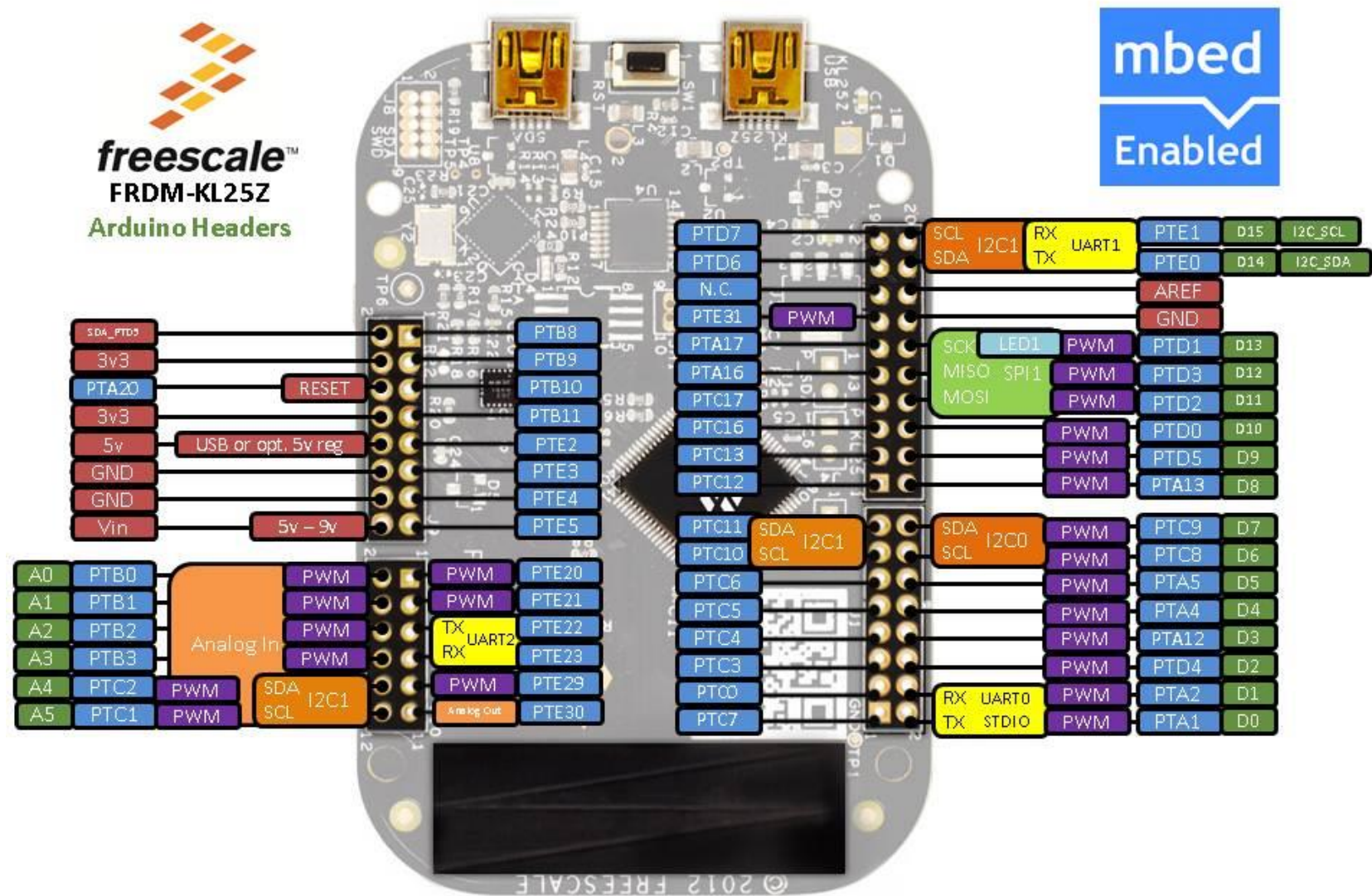
Lista de ports e funções no encarte

- No encarte da caixa do kit existe um guia de referência rápida dos pinos e ports.





Detalhes dos pinos com suas funções especiais





Lista de ports e terminais do KL25Z

Microcontrolador KL25Z Encapsulamento de 80 pinos		Kit FREEDOM BOARD		
Terminal do chip	Nome e número do port	Disponível no conector e pino do kit	Nome padrão Arduino™ R3	Periférico do kit já conectado ao port
1	PTE0	J2 20	D14	—
2	PTE1	J2 18	D15	—
3	PTE2	J9 09	—	—
4	PTE3	J9 11	—	—
5	PTE4	J9 13	—	—
6	PTE5	J9 15	—	—
13	PTE20	J10 01	—	—
14	PTE21	J10 03	—	—
15	PTE22	J10 05	—	—
16	PTE23	J10 07	—	—
21	PTE29	J10 09	—	—
22	PTE30	J10 11	—	—
23	PTE31	J2 13	—	—
24	PTE24	—	—	Acelerometro
25	PTE25	—	—	Acelerometro
27	PTA1	J1 02	D0	—
28	PTA2	J1 04	D1	—
30	PTA4	J1 10	D4	—
31	PTA5	J1 12	D5	—
32	PTA12	J1 08	D3	—
33	PTA13	J2 02	D8	—
34	PTA14	—	—	Acelerometro
35	PTA15	—	—	Acelerometro
36	PTA16	J2 09	—	—
37	PTA17	J2 11	—	—
42	PTA20	J9 06	—	Botão Reset
43	PTB0	J10 02	A0	—
44	PTB1	J10 04	A1	—
45	PTB2	J10 06	A2	—
46	PTB3	J10 08	A3	—
47	PTB8	J9 01	—	—

Microcontrolador KL25Z Encapsulamento de 80 pinos		Kit FREEDOM BOARD		
Terminal do chip2	Nome e número do port3	Disponível no conector e pino do kit4	Nome padrão Arduino™ R3	Periférico do kit já conectado ao port5
48	PTB9	J9 03	—	—
49	PTB10	J9 05	—	—
50	PTB11	J9 07	—	—
51	PTB16	—	—	Touch Slider
52	PTB17	—	—	Touch Slider
53	PTB18	—	—	Led Vermelho
54	PTB19	—	—	LED Verde
55	PTC0	J1 03	—	—
56	PTC1	J10 12	A5	—
57	PTC2	J10 10	A4	—
58	PTC3	J1 05	—	—
61	PTC4	J1 07	—	—
62	PTC5	J1 09	—	—
63	PTC6	J1 11	—	—
64	PTC7	J1 01	—	—
65	PTC8	J1 14	D6	—
66	PTC9	J1 16	D7	—
67	PTC10	J1 13	—	—
68	PTC11	J1 15	—	—
69	PTC12	J2 01	—	—
70	PTC13	J2 03	—	—
71	PTC16	J2 05	—	—
72	PTC17	J2 07	—	—
73	PTD0	J2 06	D10	—
74	PTD1	J2 12	D13	Led Azul
75	PTD2	J2 08	D11	—
76	PTD3	J2 10	D12	—
77	PTD4	J1 06	D2	—
78	PTD5	J2 04	D9	—
79	PTD6	J2 17	—	—
80	PTD7	J2 19	—	—



GPIO - General Purpose Input and Output

- Nome dado aos terminais que podem assumir a função de entradas **ou** saídas, com uso livre pelo usuário, conforme sua necessidade
- Um mesmo pino pode ser:
 - Entrada, que recebe um sinal digital proveniente de um sensor externo (por exemplo um botão), **ou**;
 - Saída, que envia um sinal digital para acionamento ou comando de um outro dispositivo (por exemplo, um LED ou relé eletromecânico).
- Quase todos os *ports* do microcontrolador podem ser usados como GPIO.



GPIOs – Configuração

- Os terminais de GPIO podem assumir um ou outro papel (entrada ou saída), mas:

Quem faz essa configuração?

- O “usuário-programador” !

Quando se faz essa configuração?

- Durante a execução do programa embutido!

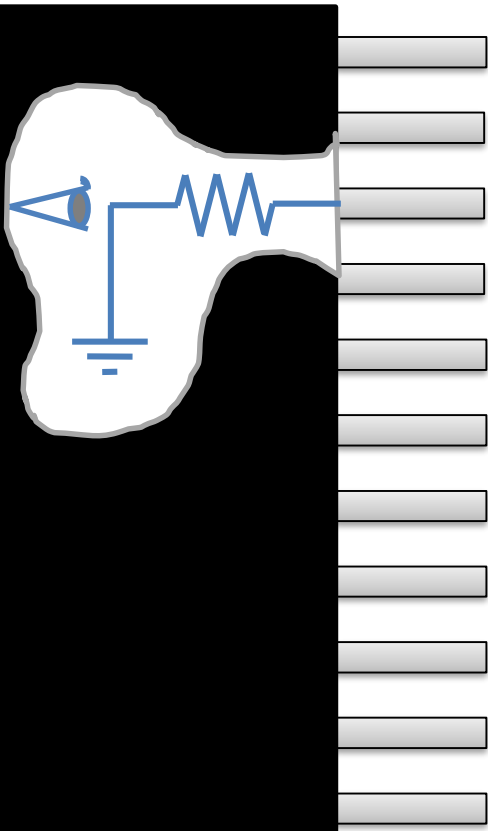
Onde se faz essa configuração?

- Em qualquer lugar do programa!



Terminais GPIO utilizados como entradas

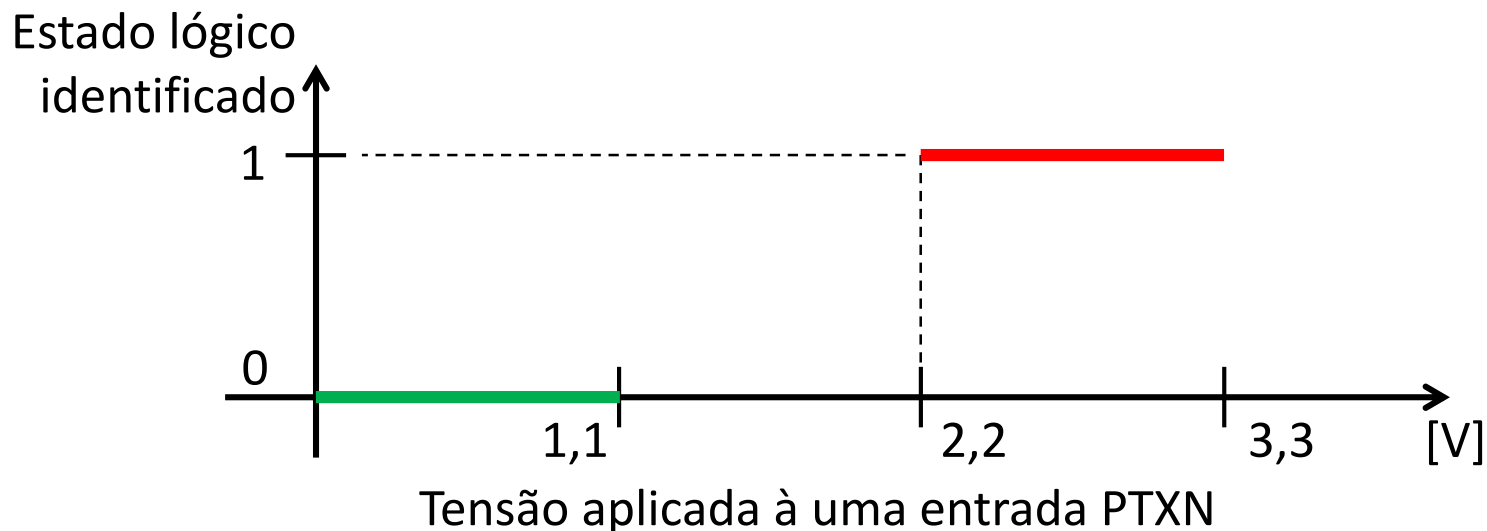
- Os pinos de GPIO configurados como entradas se comportam internamente como resistores com alto valor de resistência ($>100k\Omega$).
- Um equipamento externo pode ser ligado a esse terminal de entrada, para que o microcontrolador possa ler ou receber a informação desse dispositivo, codificada em uma determinada tensão ou nível lógico (sinal digital).





Padrão CMOS

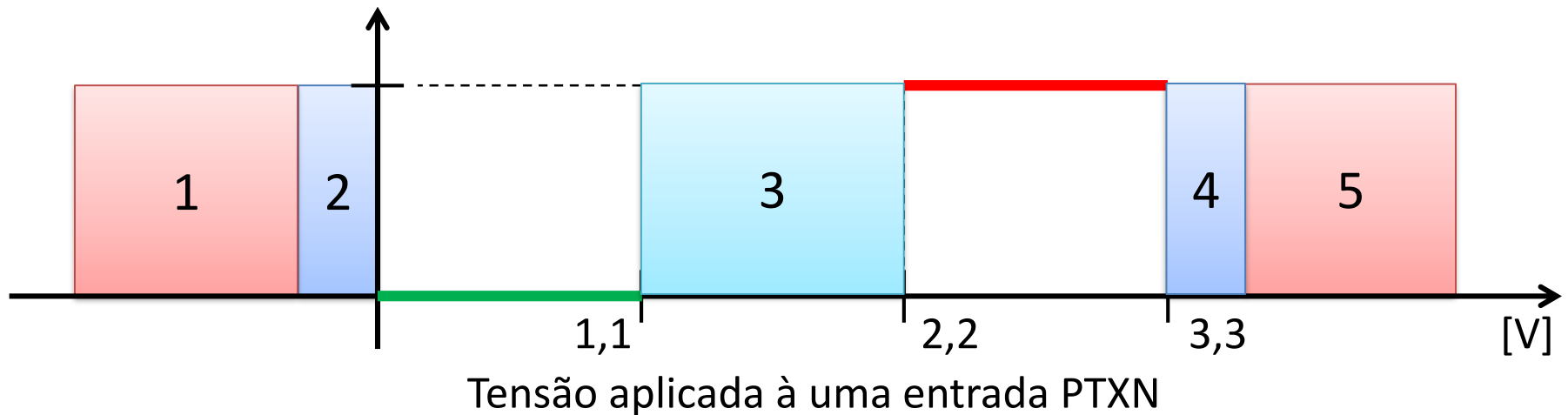
- O KL25Z aceita em suas entradas o padrão CMOS de tensões nominais. Ex:
 - Caso a tensão de alimentação VDD seja 3,3 V...
 - Estado lógico zero → tensões inferiores a 1/3 de VDD
 - Estado lógico um → tensões superiores a 2/3 de VDD





E para as demais tensões aplicadas?

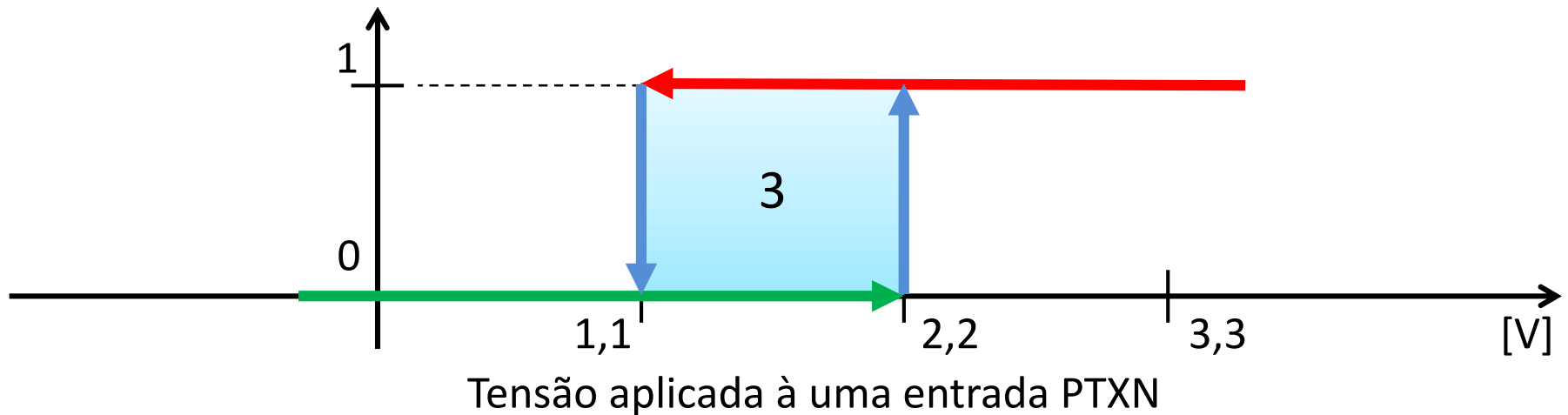
- Existem cinco situações
 1. Tensões muito menores que 0,0 [V] ou GND
 2. Tensões pouco menores que 0,0 [V] ou GND
 3. Tensões entre $1/3$ e $2/3$ de VDD
 4. Tensões pouco maiores que VDD
 5. Tensões muito maiores que VDD





Situação indeterminada

- Situação 3: estado lógico, a princípio, indeterminado.
- O microcontrolador admite como estado lógico, o último estado válido identificado.
- A variação da tensão aplicada e os estados lógicos resultantes delimitam a região 3.
- Essa região delimita uma banda morta ou zona de histerese.





Tensões nas entradas digitais do KL25Z

- Deve-se **garantir** que todas as tensões aplicadas estejam dentro dos valores nominais do dispositivo:

- $V_{min} > -0,3$ [V]
- $V_{max} < 3,6$ [V].

Curiosidade: Durante a energização de um circuito, as tensões podem assumir, instantaneamente, valores além dos máximos e mínimos permitidos!! Mas são **transitórios**, como as descargas de ESD, e possuem pouca energia.

1.4 Voltage and current operating ratings

Table 4. Voltage and current operating ratings

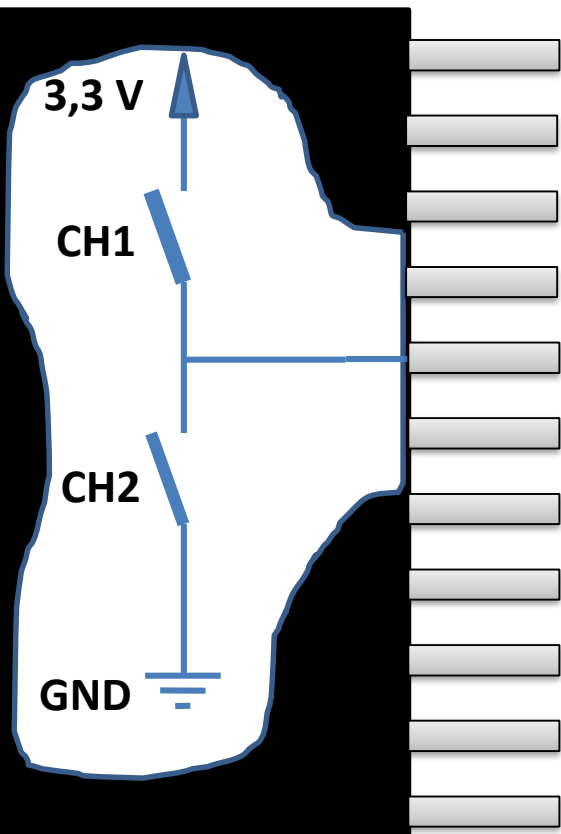
Symbol	Description	Min.	Max.	Unit
V_{DD}	Digital supply voltage	-0.3	3.8	V
I_{DD}	Digital supply current	—	120	mA
V_{IO}	IO pin input voltage	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
I_D	Instantaneous maximum current single pin limit (applies to all port pins)	-25	25	mA
V_{DDA}	Analog supply voltage	$V_{DD} - 0.3$	$V_{DD} + 0.3$	V
V_{USB_DP}	USB_DP input voltage	-0.3	3.63	V
V_{USB_DM}	USB_DM input voltage	-0.3	3.63	V
V_{REGIN}	USB regulator input	-0.3	6.0	V

Datasheet



Terminais GPIO utilizados como saídas

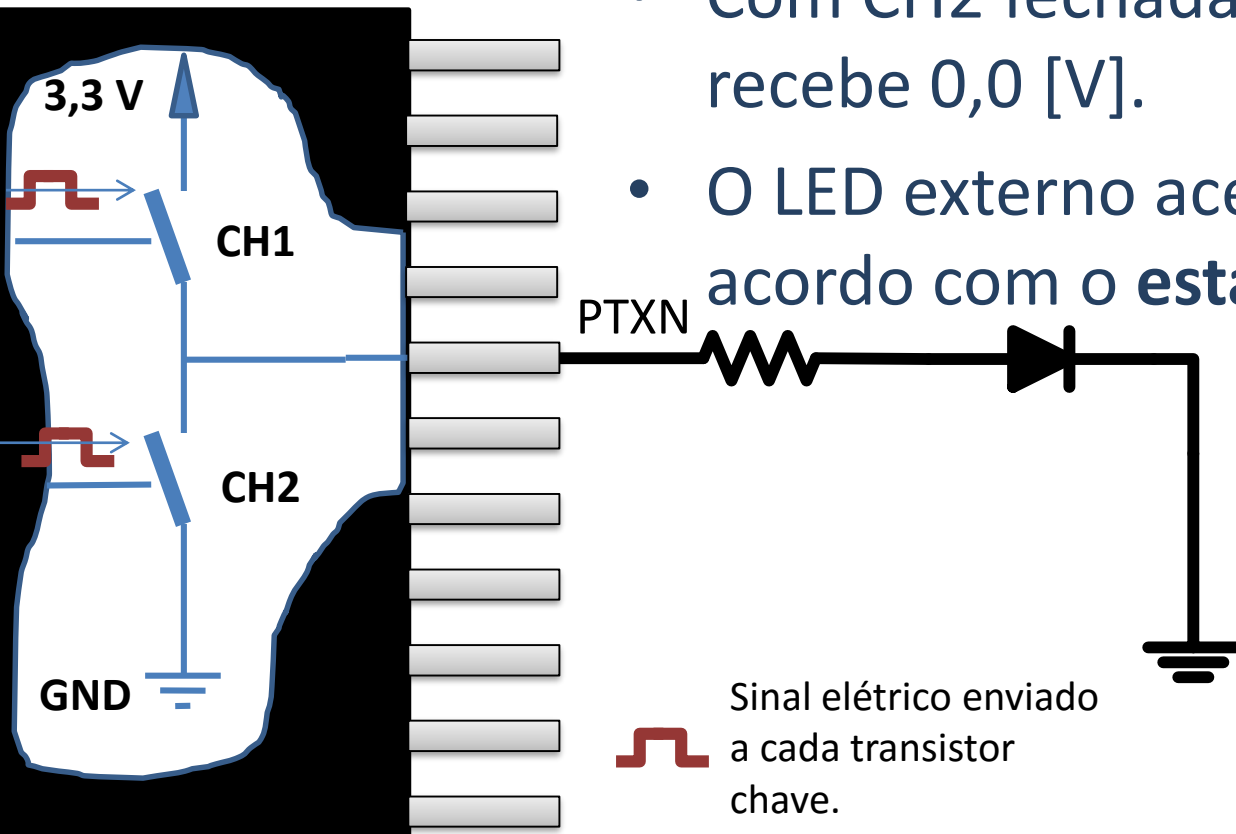
- Os pinos de GPIO configurados como saídas se comportam internamente como chaves controladas.
- Existem várias configurações de saídas, dependendo do microcontrolador.
- No nosso caso, cada saída possui duas chaves controladas (CH1 e CH2), numa configuração chamada *push-pull*.
- Quem aciona as chaves é o programa feito pelo usuário.
- A potência necessária vem pela porta USB do micro para dentro do microcontrolador.





Funcionamento

- Cada chave controlada é um transistor.
- Um sinal elétrico digital é enviado para cada chave para que ela feche ou abra.
- Com CH1 fechada e CH2 aberta, o port PTXN recebe a tensão de 3,3 [V].
- Com CH2 fechada e CH1 aberta, o port recebe 0,0 [V].
- O LED externo acenderá ou apagará, de acordo com o **estado** de CH1 ou CH2.



Pergunta: E se alguém pedir para acionar CH1 e CH2 simultaneamente?

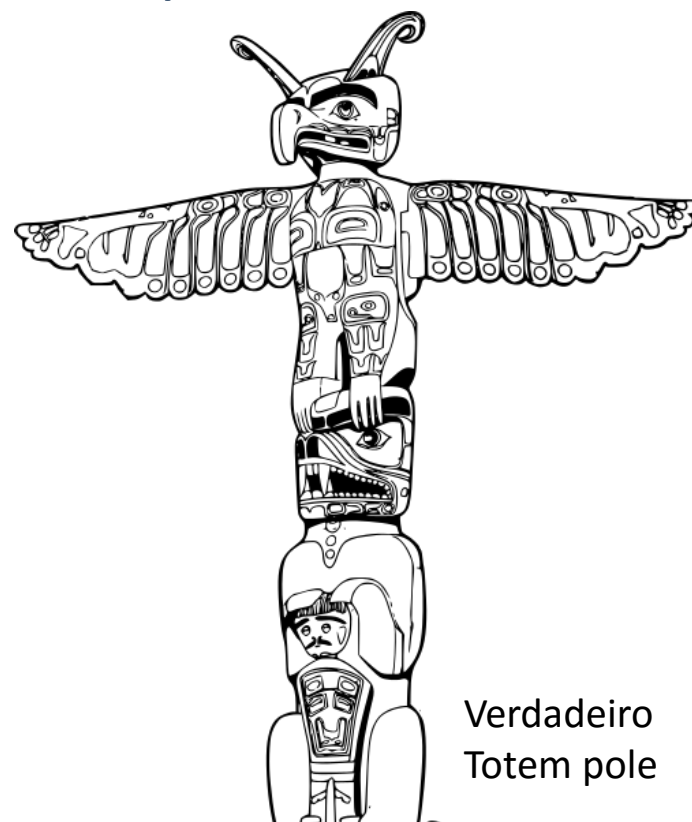
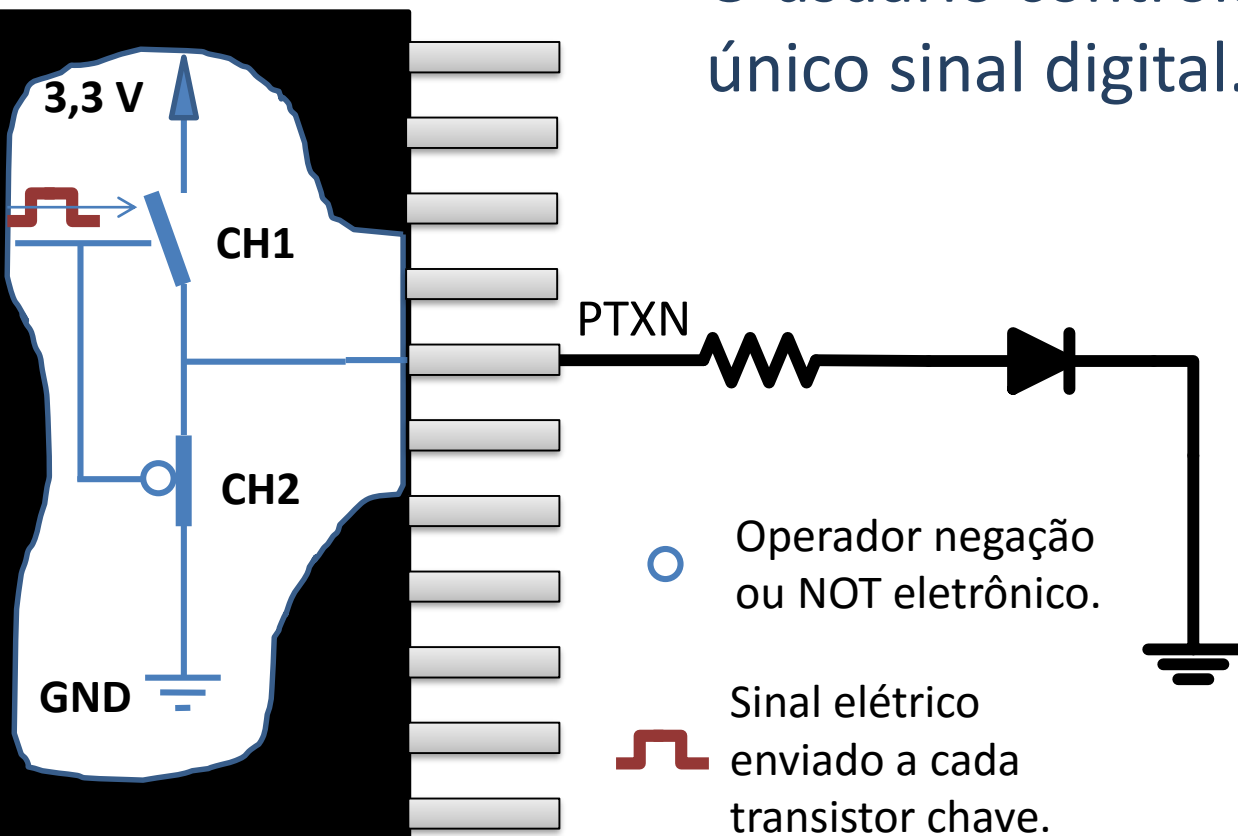
Poderia haver um curto-circuito!!!



Saídas tipo Push-Pull (ou “totem-pole”)



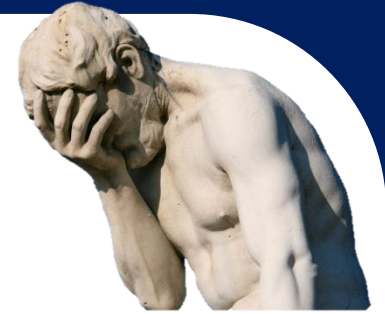
- Na configuração *push-pull*, uma eletrônica dedicada impede o acionamento de ambas as chaves simultaneamente.
- Enquanto uma está ligada a outra está desligada, e vice-versa.
- O usuário controla ambas por meio de um único sinal digital.





Pergunta ingênua importante

- Posso ligar err... digamos, uma geladeira com um pino de um microcontrolador?

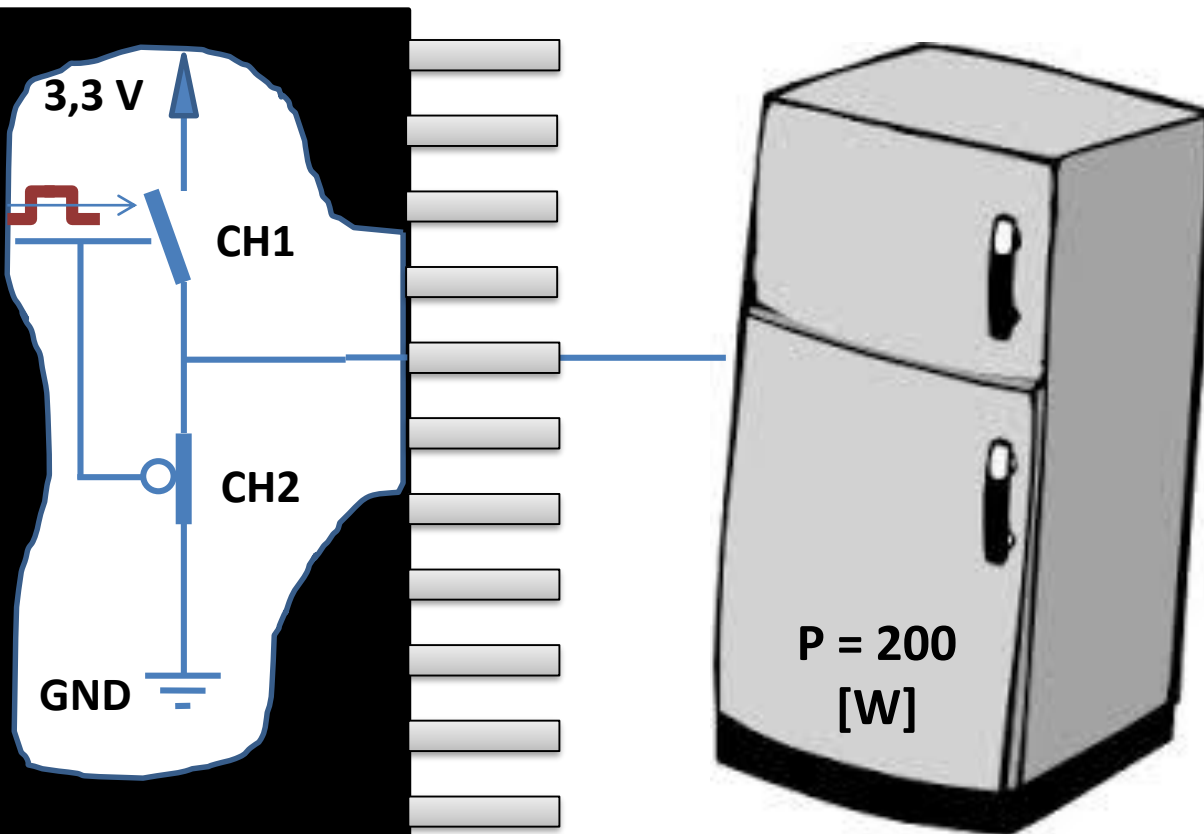


- Resposta 1:

Não, pois a tensão da geladeira deve ser maior (115 V), e alternada (AC).

- Resposta 2:

Não, pois mesmo se a tensão fosse correta, toda a potência requerida pela geladeira passaria pelo microcontrolador, mas seus transistores de push-pull, ou a USB, **NÃO SUPORTAM** tanta potência ou corrente elétrica!



Os limites operacionais devem ser respeitados !!!



Limites operacionais do microcontrolador

- No datasheet do KL25Z (microcontrolador), além das informações sobre as tensões máximas e mínimas, há uma informação a respeito das correntes máximas.
- Cada terminal individual pode fornecer ou receber corrente com valor até 25,0 [mA], mas não é só...

1.4 Voltage and current operating ratings

Table 4. Voltage and current operating ratings

Symbol	Description	Min.	Max.	Unit
V_{DD}	Digital supply voltage	-0.3	3.8	V
I_{DD}	Digital supply current	—	120	mA
V_{IO}	IO pin input voltage	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
I_D	Instantaneous maximum current single pin limit (applies to all port pins)	-25	25	mA
V_{DDA}	Analog supply voltage	$V_{DD} - 0.3$	$V_{DD} + 0.3$	V
V_{USB_DP}	USB_DP input voltage	-0.3	3.63	V
V_{USB_DM}	USB_DM input voltage	-0.3	3.63	V
V_{REGIN}	USB regulator input	-0.3	6.0	V

Datasheet



Limites operacionais (cont).

- Todos os pinos de GPIO juntos só podem consumir ou fornecer no máximo 100,0 [mA]!!

5.1.3 Voltage and current operating behaviors

Table 4. Voltage and current operating behaviors

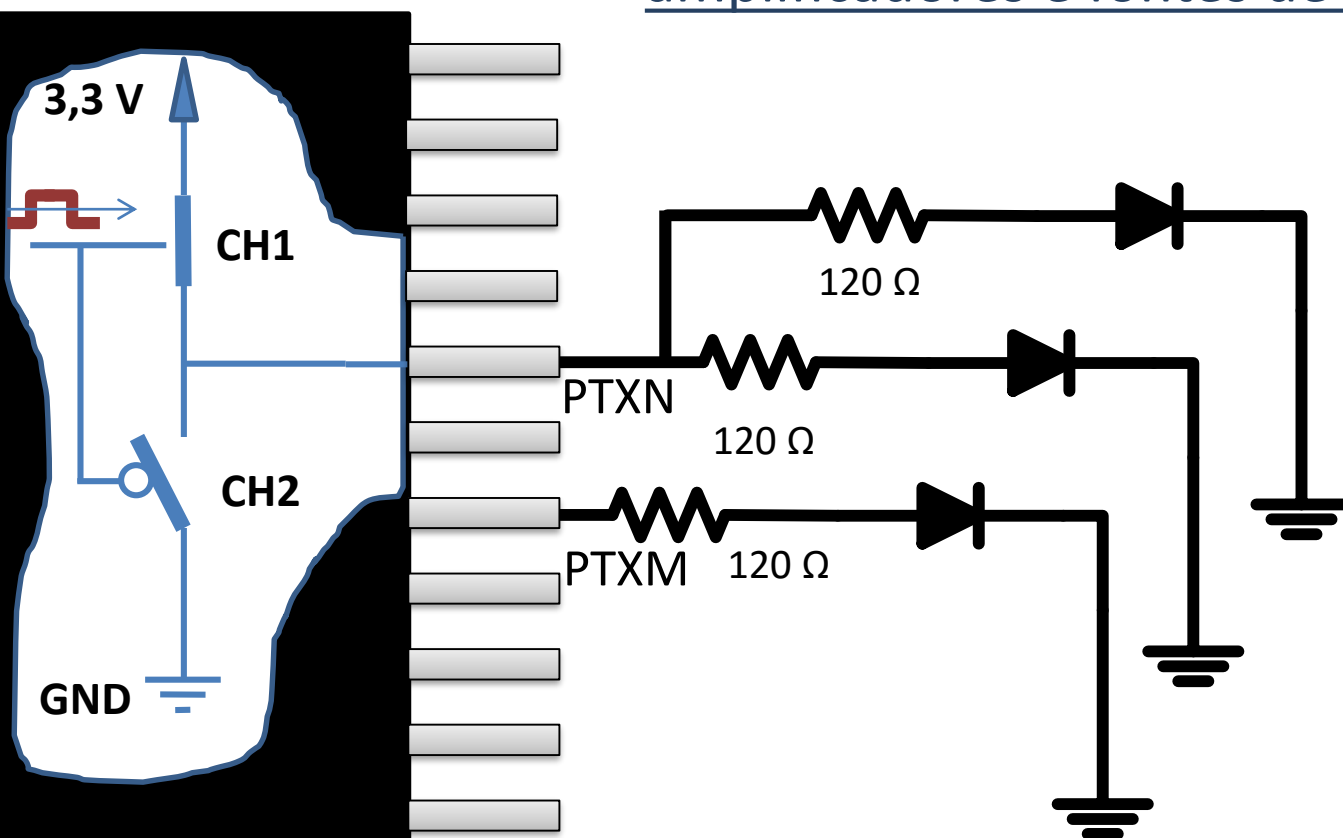
Symbol	Description	Min.	Max.	Unit	Notes
V_{OH}	Output high voltage — high drive strength <ul style="list-style-type: none">• $2.7\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, $I_{OH} = -10\text{mA}$• $1.71\text{ V} \leq V_{DD} \leq 2.7\text{ V}$, $I_{OH} = -3\text{mA}$	$V_{DD} - 0.5$	—	V	
	Output high voltage — low drive strength <ul style="list-style-type: none">• $2.7\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, $I_{OH} = -2\text{mA}$• $1.71\text{ V} \leq V_{DD} \leq 2.7\text{ V}$, $I_{OH} = -0.6\text{mA}$	$V_{DD} - 0.5$	—	V	
I_{OHT}	Output high current total for all ports	—	100	mA	
V_{OL}	Output low voltage — high drive strength <ul style="list-style-type: none">• $2.7\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, $I_{OL} = 10\text{mA}$• $1.71\text{ V} \leq V_{DD} \leq 2.7\text{ V}$, $I_{OL} = 3\text{mA}$	—	0.5	V	
	Output low voltage — low drive strength <ul style="list-style-type: none">• $2.7\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, $I_{OL} = 2\text{mA}$• $1.71\text{ V} \leq V_{DD} \leq 2.7\text{ V}$, $I_{OL} = 0.6\text{mA}$	—	0.5	V	
I_{OLT}	Output low current total for all ports	—	100	mA	
I_{IL}	Input leakage current (per pin)	—	1	μA	1

Datasheet



Exemplos de ligação para vários LEDs

- Pode-se ligar até dois LEDs externos por port, cada um com corrente de 10,0 [mA].
- Podem ser ligados até 10 LEDs simultaneamente, em vários pinos de saída do microcontrolador.
- Para mais LEDs, ou acionamento de cargas de maior corrente ou potência, são necessários amplificadores e fontes de energia auxiliar.



Também é possível trabalhar com LEDs com menos corrente e menor brilho, com resistores maiores.