

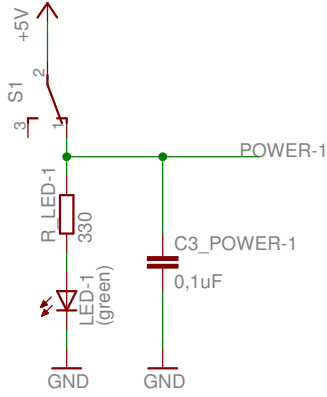
Anexos

ÍNDICE DE ANEXOS

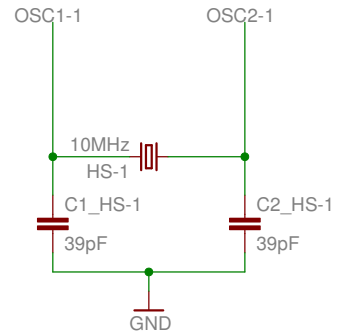
Anexo 1 - Esquemas eléctricos e respectivas placas de circuito impresso	3
Anexo 2 - Fluxogramas da programação do microcontrolador responsável pelo Controlo da fonte.....	37
Anexo 3 - Fluxogramas da programação do microcontrolador responsável pela Geração dos Disparos dos IGBT's	48
Anexo 4 - Fluxogramas da programação do microcontrolador responsável pela Protecção	67
Anexo 5 - Código fonte da programação do microcontrolador responsável pelo Controlo da fonte.....	71
Anexo 6 - Código fonte da programação do microcontrolador responsável pela Geração dos disparos dos IGBT's	82
Anexo 7 - Código fonte da programação do microcontrolador responsável pela Protecção	92
Anexo 8 - Sinais de disparo dos semicondutores controlados para os diferentes modos de funcionamento com: $f=1\text{kHz}; T=10\mu\text{s}$	96
Anexo 9 - Impulsos de alta tensão aplicados à Carga para os diferentes modos de funcionamento com: $f=1\text{kHz}; T=10\mu\text{s}$	100
Anexo 10 - Impulsos de alta tensão aplicados à Carga para os diferentes modos de funcionamento após simulação de anomalias com: $V_{\text{fonte}}=500\text{V}; f=100\text{Hz}; T=10\mu\text{s}; R_{\text{carga}}=2\text{k}\Omega$	104

Anexo 1 - Esquemas eléctricos e respectivas placas de circuito impreso

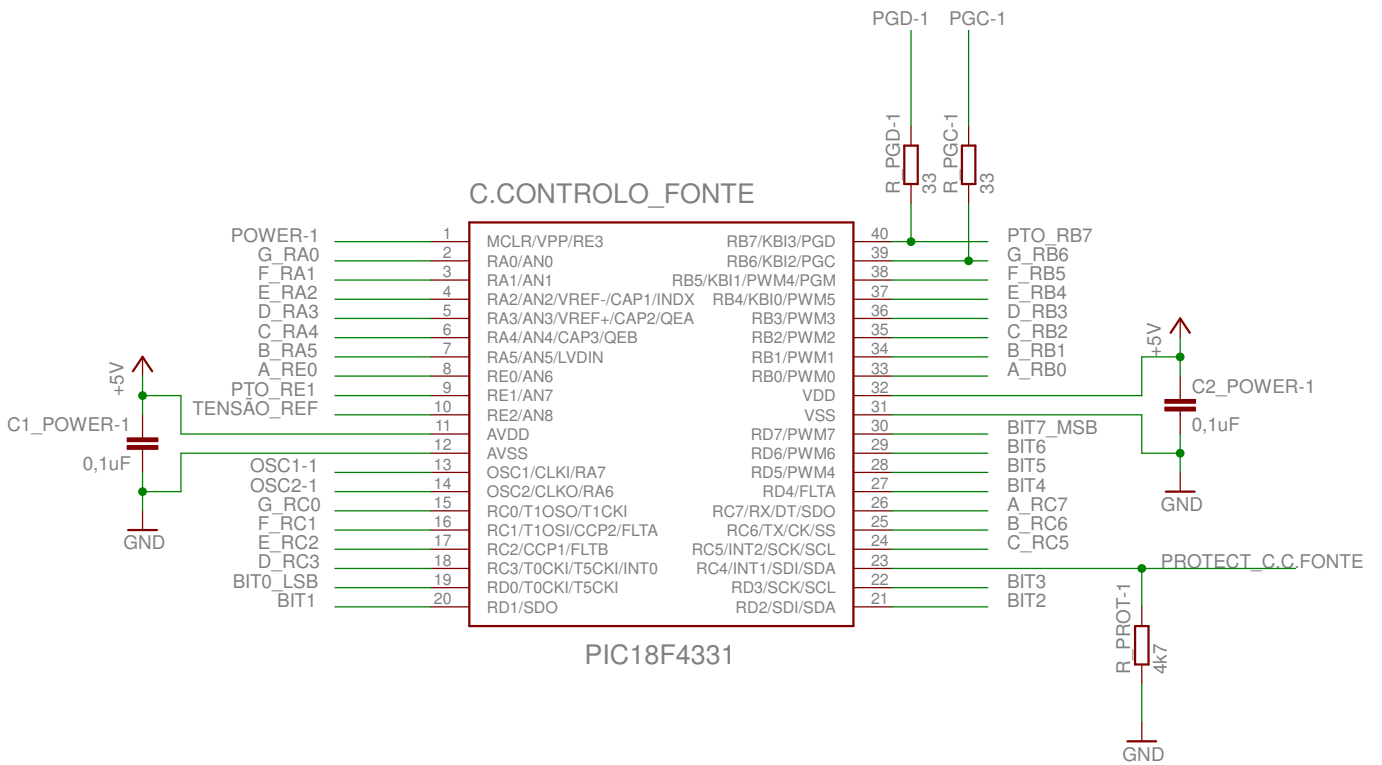
POWER_C.CONTROLE_FONTE



CRISTAL



C.CONTROLE_FONTE

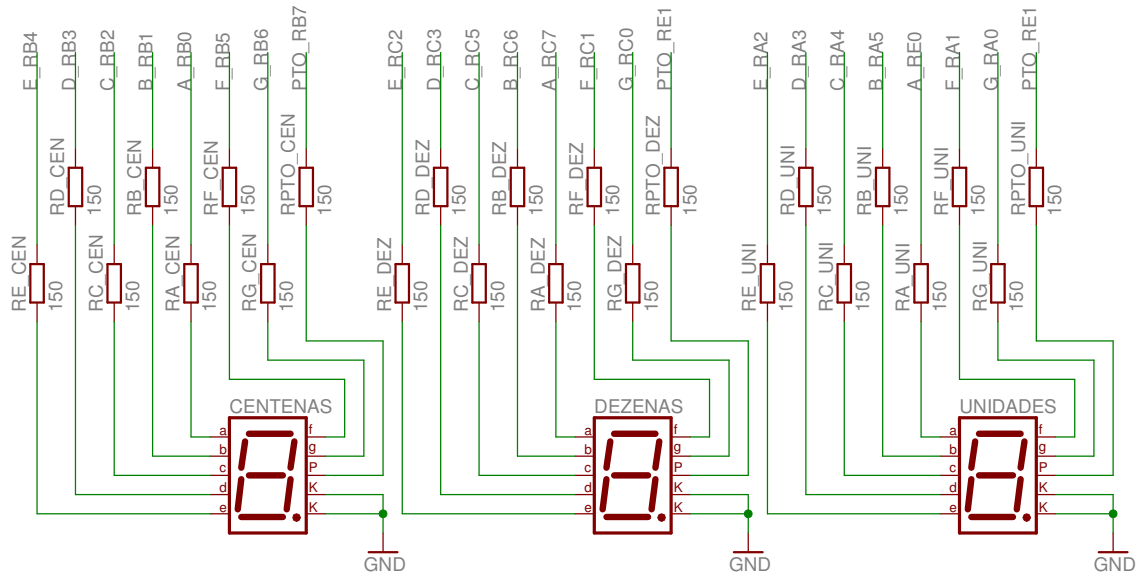


CIRCUITO DE CONTROLE DA FONTE

Alimentação do microcontrolador
do circuito de controlo da fonte

	Versão	Data
Esquema		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha: 1/11	

VISUALIZAÇÃO DA TENSÃO NA FONTE

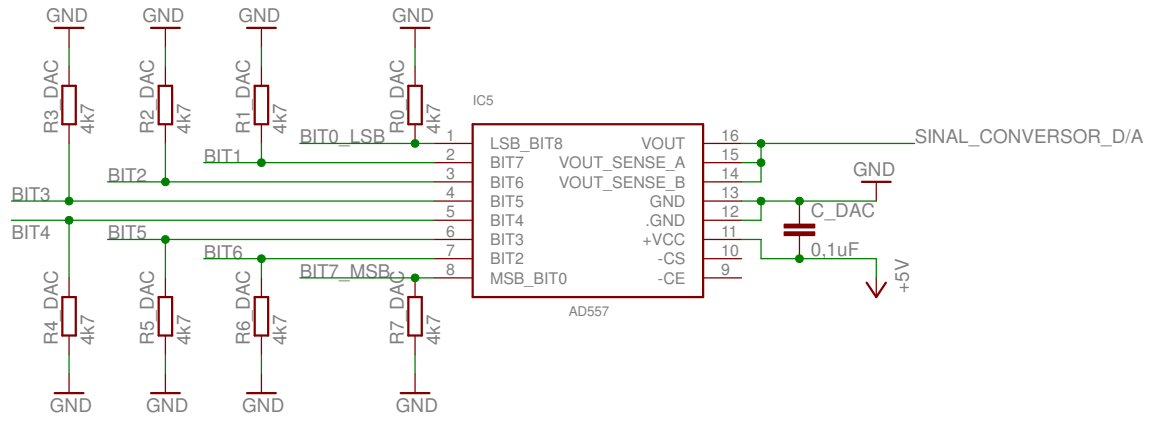


CIRCUITO DE CONTROLO DA FONTE

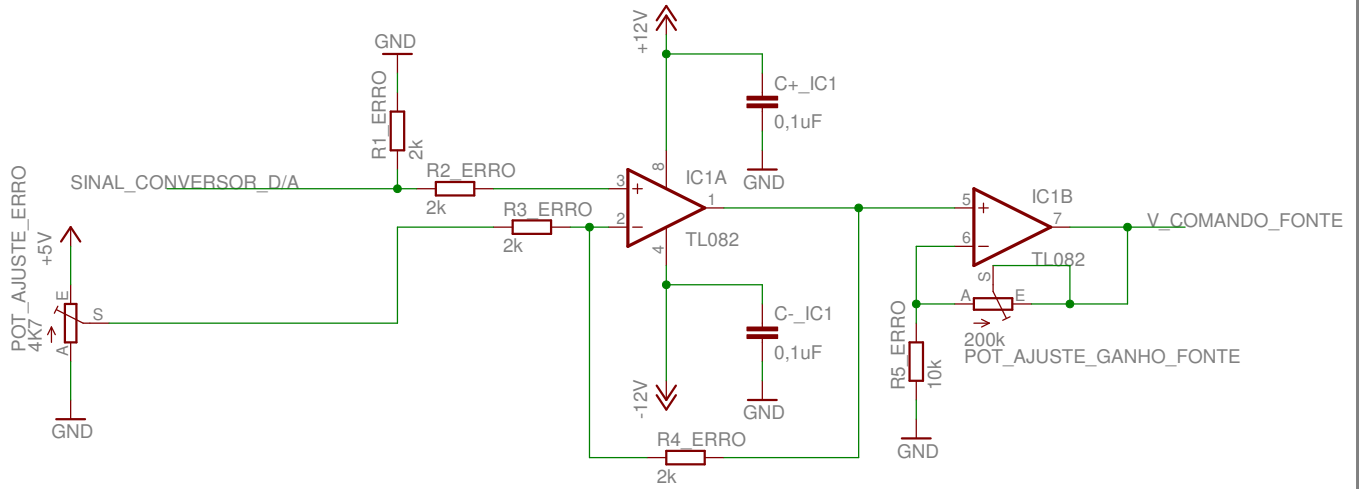
Visualização da tensão na fonte

Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha:2/11	

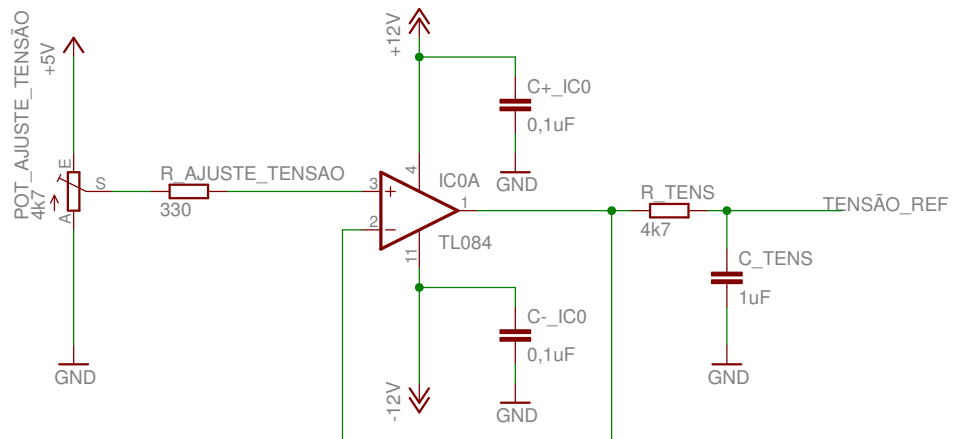
CONVERSÃO DIGITAL/ANALÓGICA



AJUSTE DO ERRO



AJUSTE DE TENSÃO

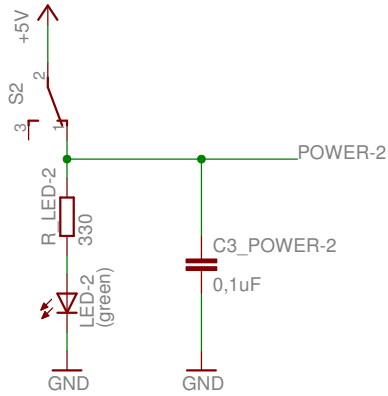


CIRCUITO DE CONTROLO DA FONTE

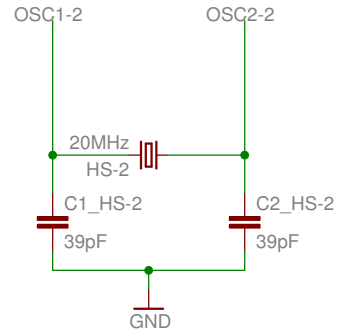
Conversão digital - analógica, ajuste de tensão e eliminação do erro

Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha:3/11	

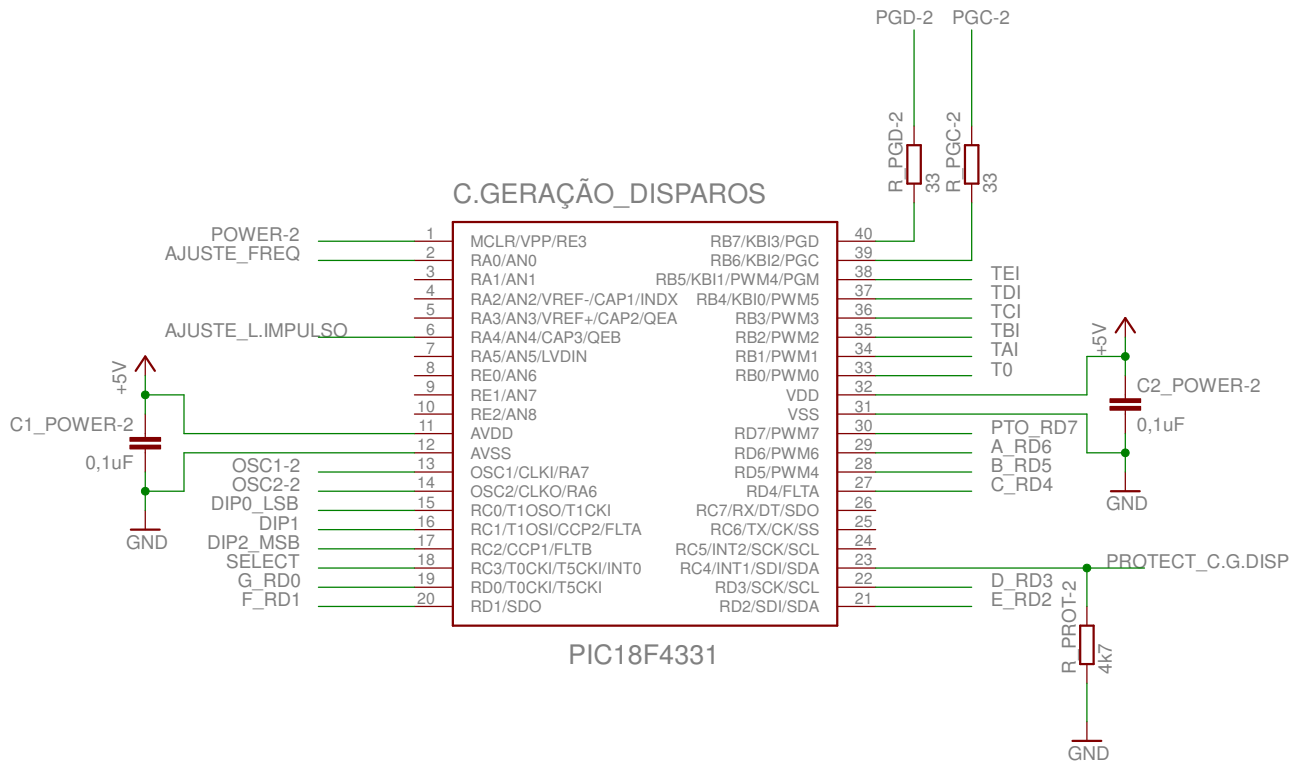
POWER_C.GERAÇÃO_DISPARIOS



CRISTAL



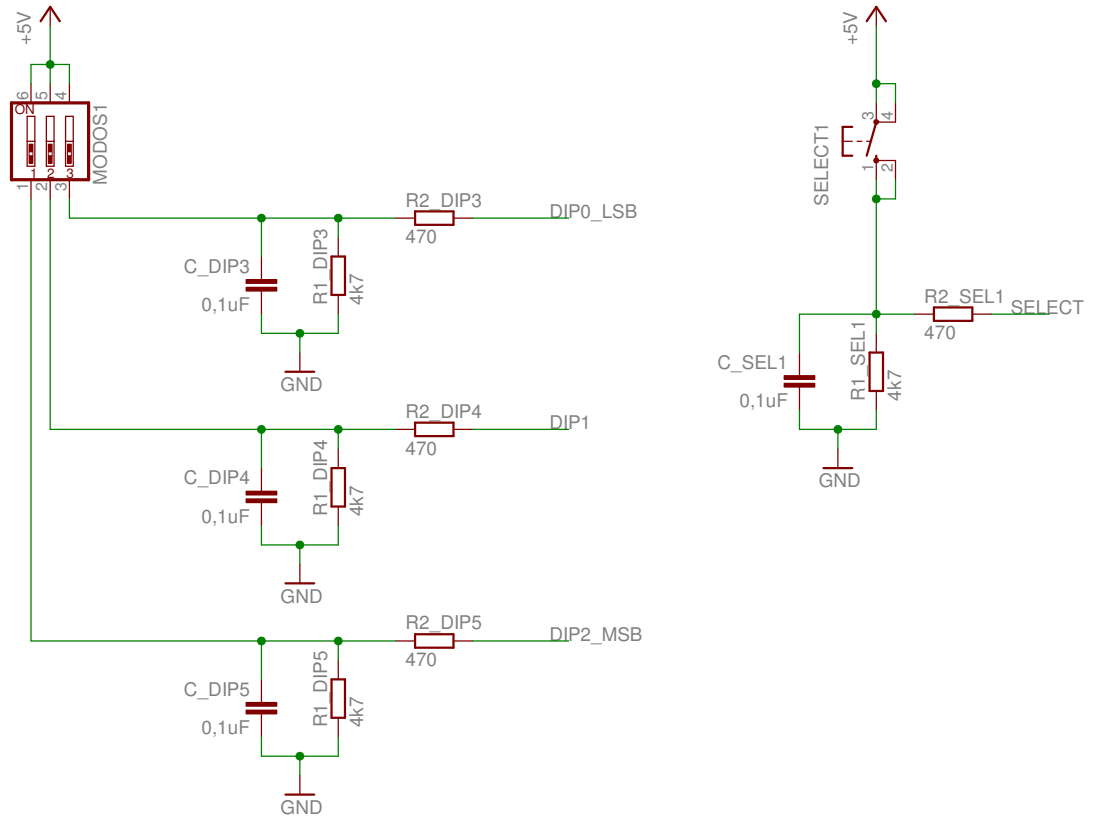
C.GERAÇÃO_DISPARIOS



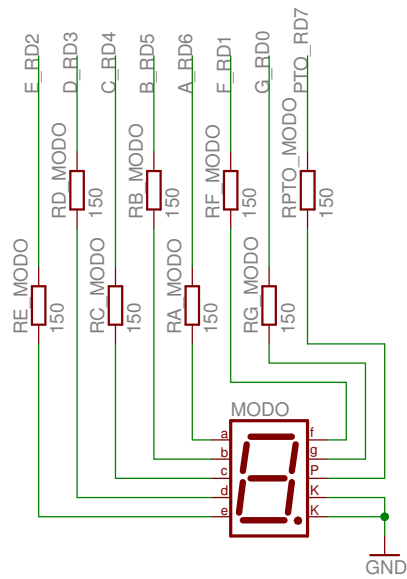
CIRCUITO DE GERAÇÃO DOS DISPAROS

Alimentação do microcontrolador do circuito de geração dos disparos dos IGBTs	Esquema	Versão	Data
	Autor	Nuno Santos	
	Ficheiro	Placas principais	
	Data	30-07-2012 22:02:13	
A4		Folha:4/11	

SELECÇÃO DOS MODOS DE FUNCIONAMENTO



SINALIZAÇÃO DO MODO DE FUNCIONAMENTO

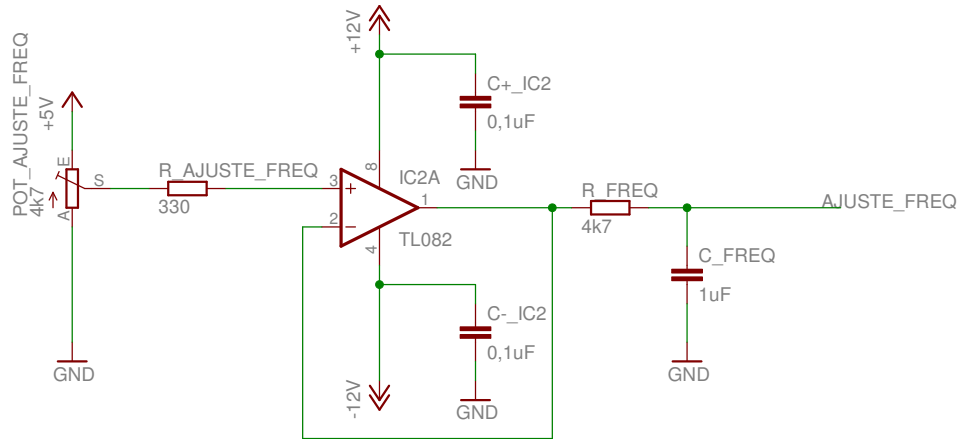


CIRCUITO DE GERAÇÃO DOS DISPAROS

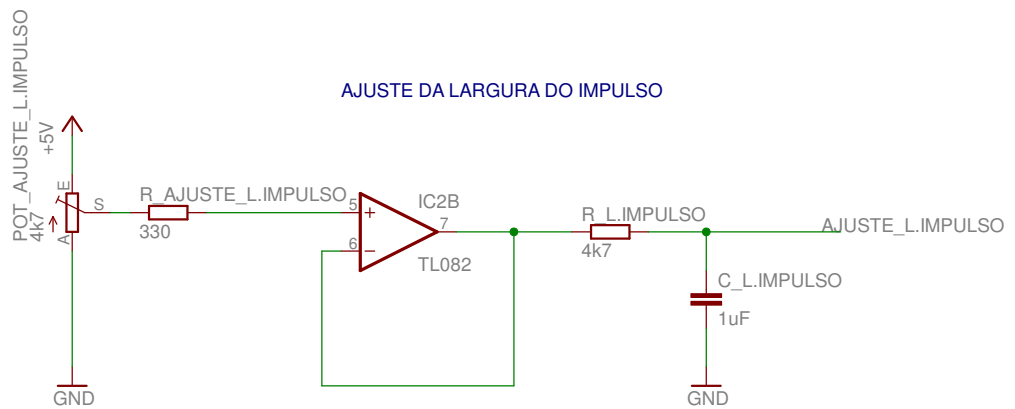
Seleção e visualização
dos modos de funcionamento

Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha:5/11	

AJUSTE DA FREQUÊNCIA



AJUSTE DA LARGURA DO IMPULSO

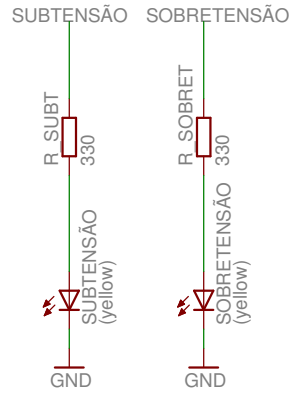


CIRCUITO DE GERAÇÃO DOS DISPAROS

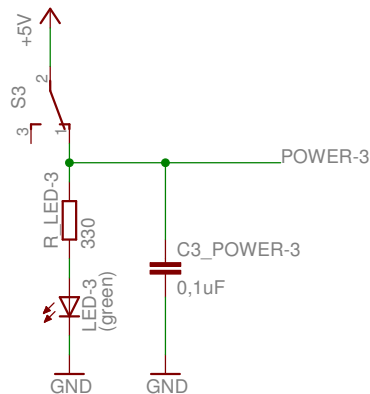
Ajuste da frequência e da largura
do impulso de tensão na Carga

Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha:6/11	

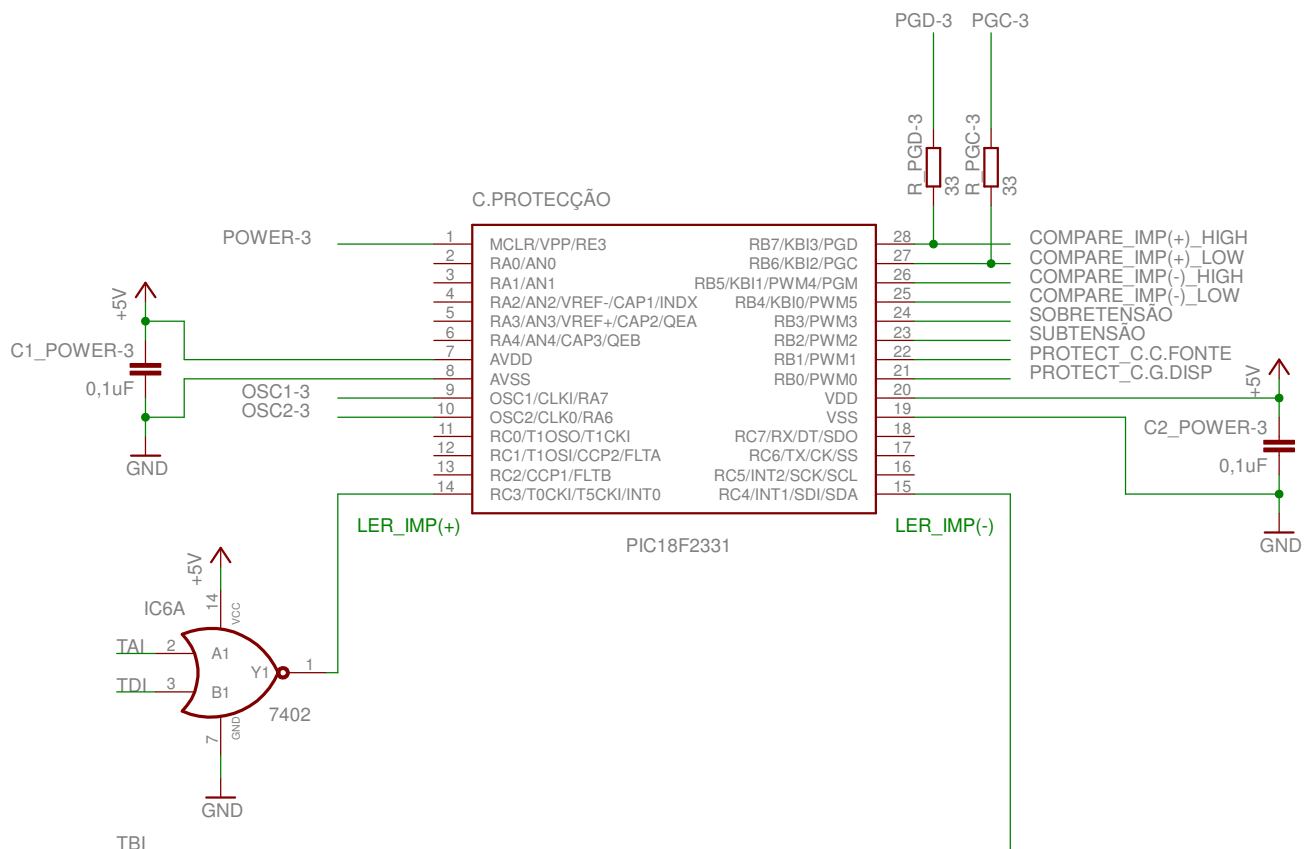
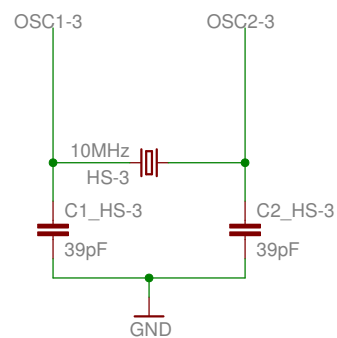
SINALIZAÇÃO



POWER_C.PROTECÇÃO



CRISTAL

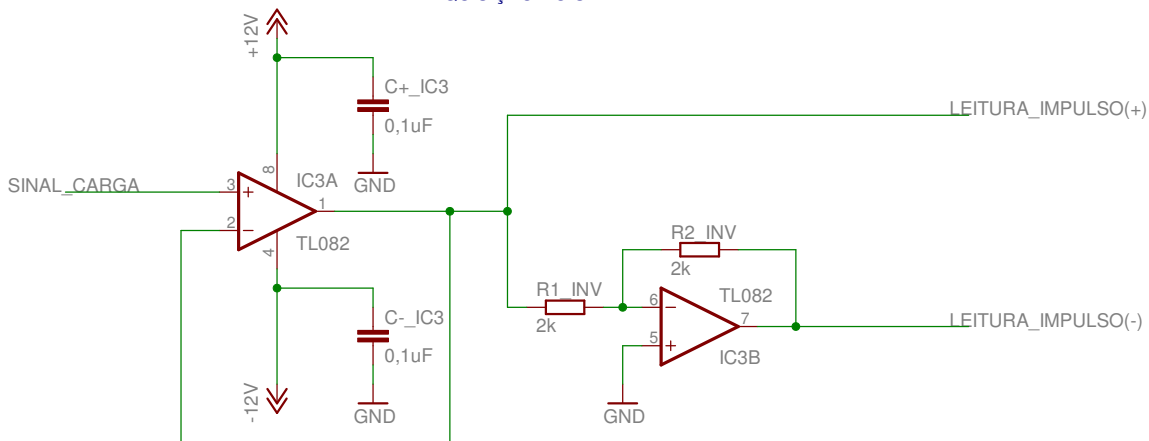


CIRCUITO DE PROTECÇÃO

Alimentação do microcontrolador
do circuito de protecção

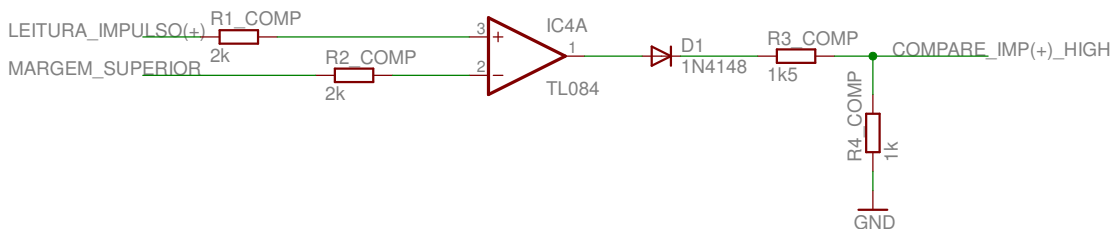
Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha: 7/11	

AQUISIÇÃO DO SINAL

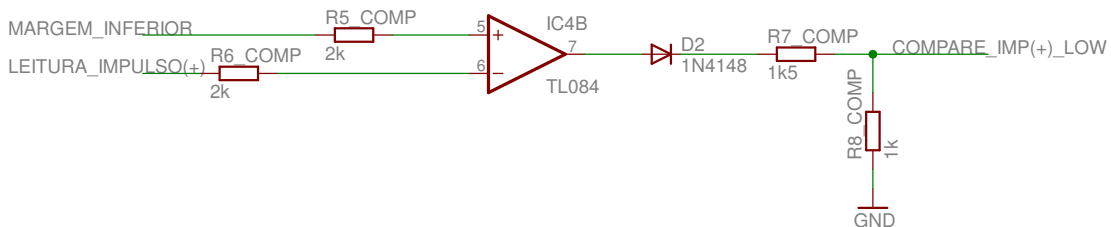


DETECÇÃO DE ERROS

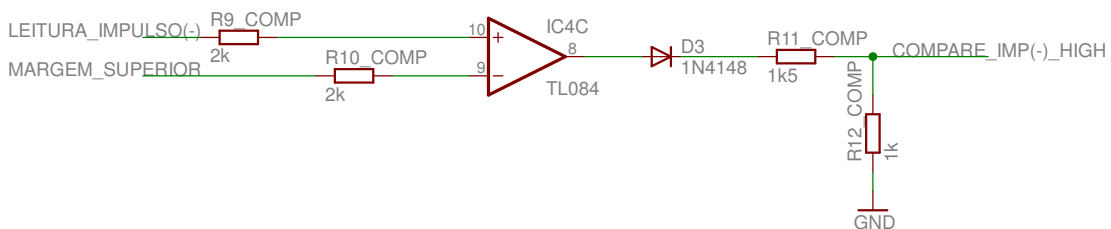
$imp(+) > margem_superior \Rightarrow$ sobretensão



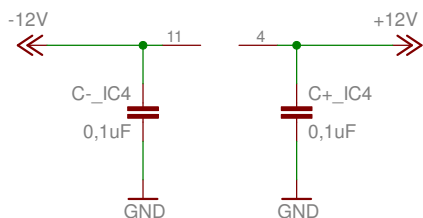
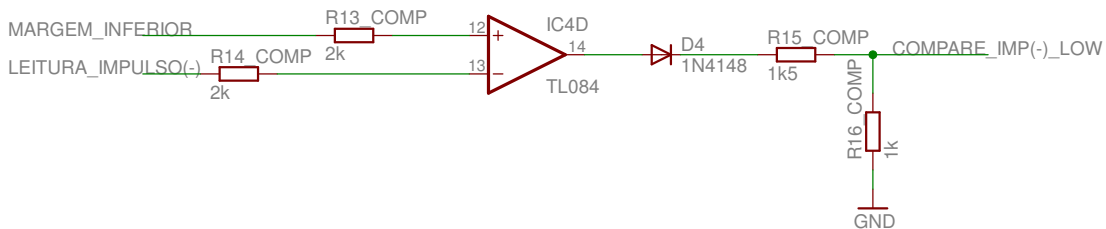
$imp(+) < margem_inferior \Rightarrow$ subtensão



$imp(-) > margem_superior \Rightarrow$ sobretensão



$imp(-) < margem_inferior \Rightarrow$ subtensão

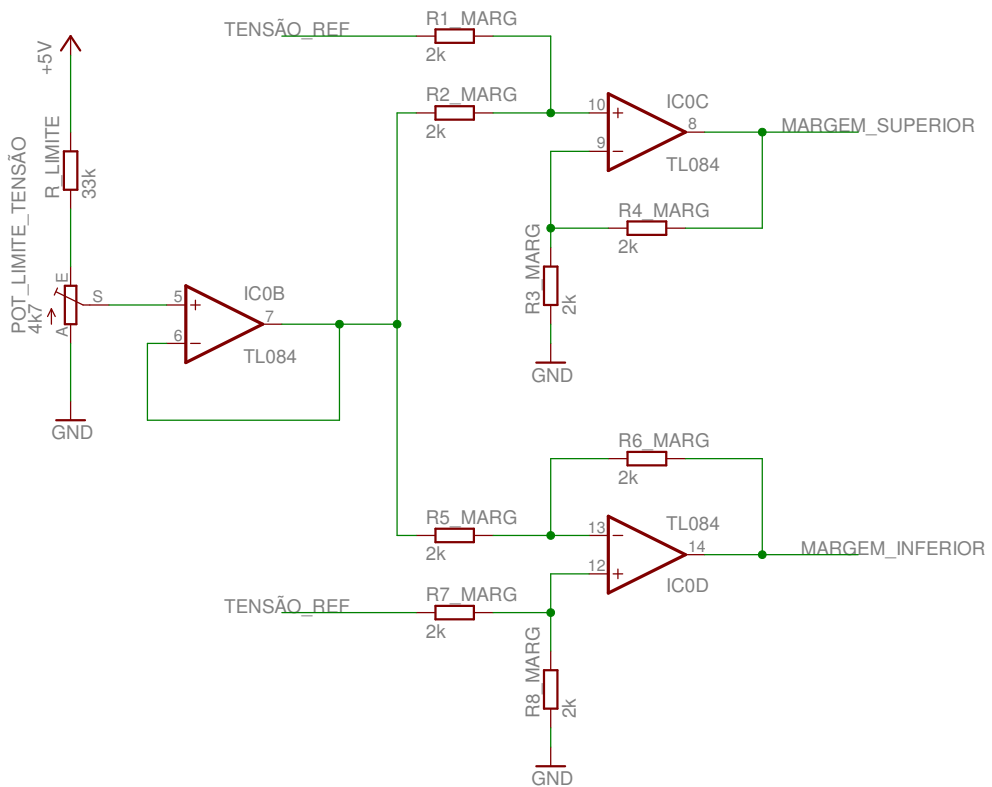


CIRCUITO DE PROTECÇÃO

Aquisição do sinal de leitura do impulso na Carga e detecção de erros

Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha:8/11	

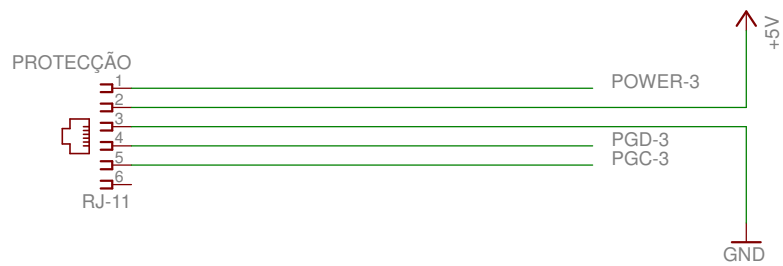
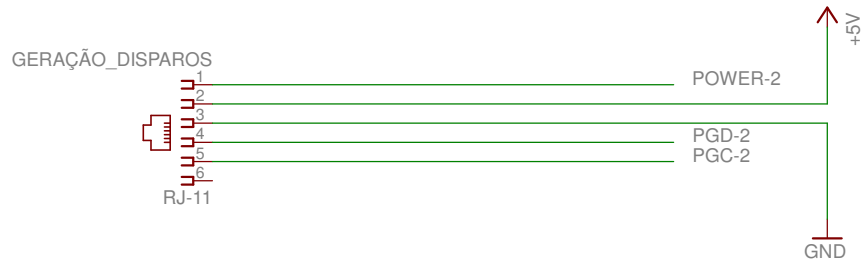
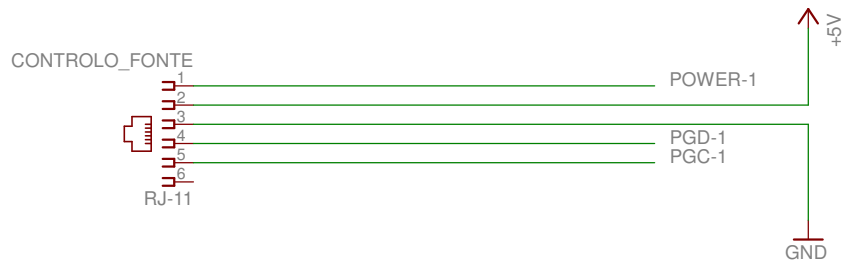
MARGENS DE ERRO



CIRCUITO DE PROTECÇÃO

Ajuste das margens de erro
(Limite de tensão)

Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha:9/11	



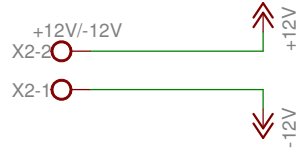
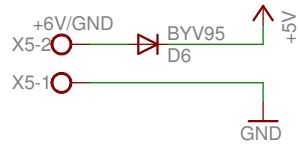
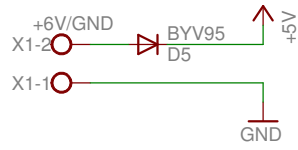
CIRCUITO DE PROGRAMAÇÃO

Tomadas de programação dos PIC's
associados a cada circuito

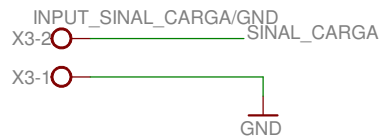
Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha: 10/11	

ENTRADAS

ALIMENTAÇÃO

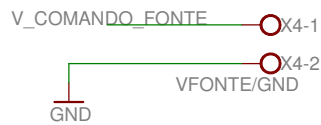


AQUISIÇÃO DE SINAL

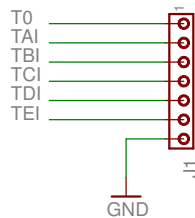


SAÍDAS

SINAL DE CONTROLO DA FONTE



SINAIS DE DISPARO IGBTs

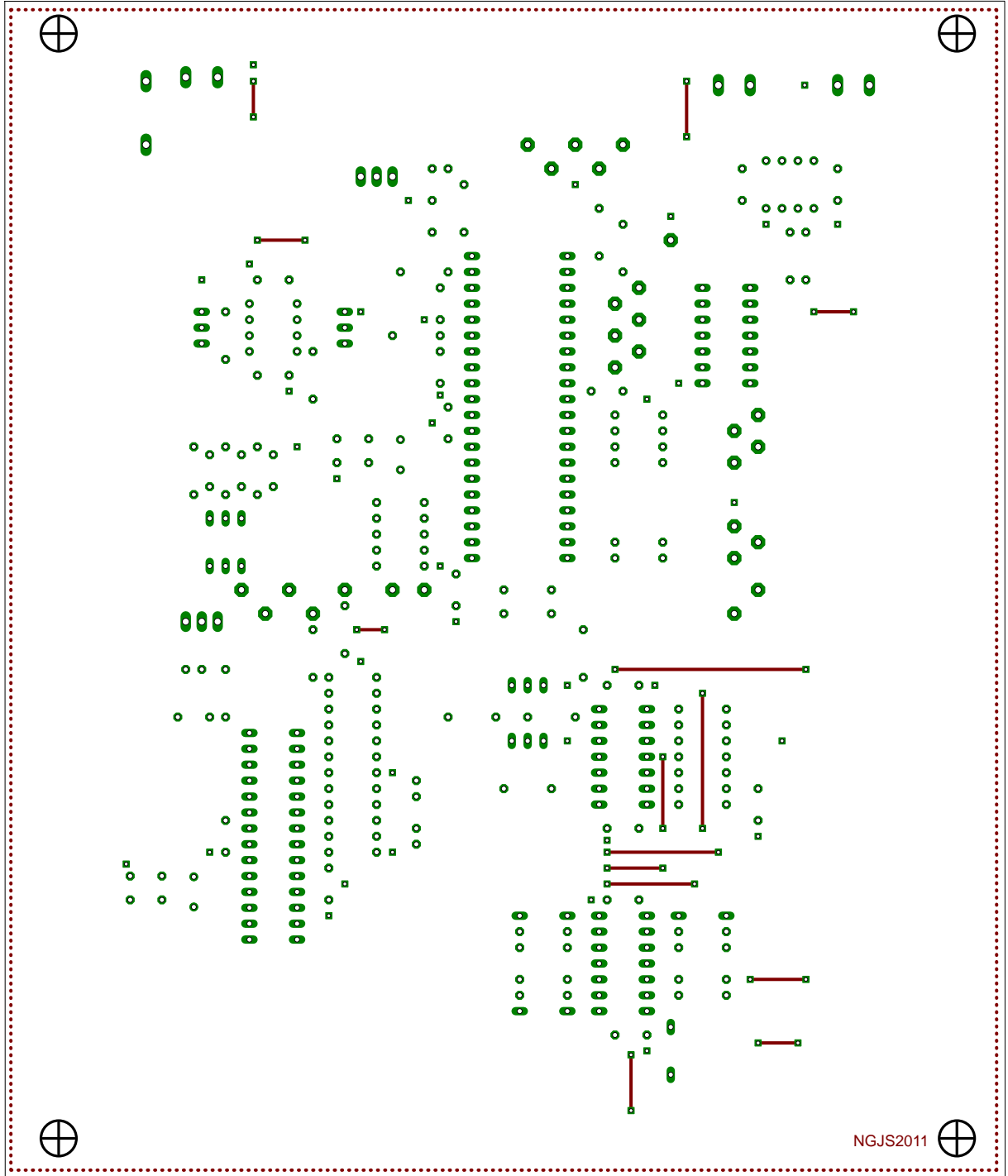


ENTRADAS E SAÍDAS

Entradas e saídas do módulo

Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	30-07-2012 22:02:13	
A4	Folha: 11/11	

ATRÁS



NGJS2011

FRENTE

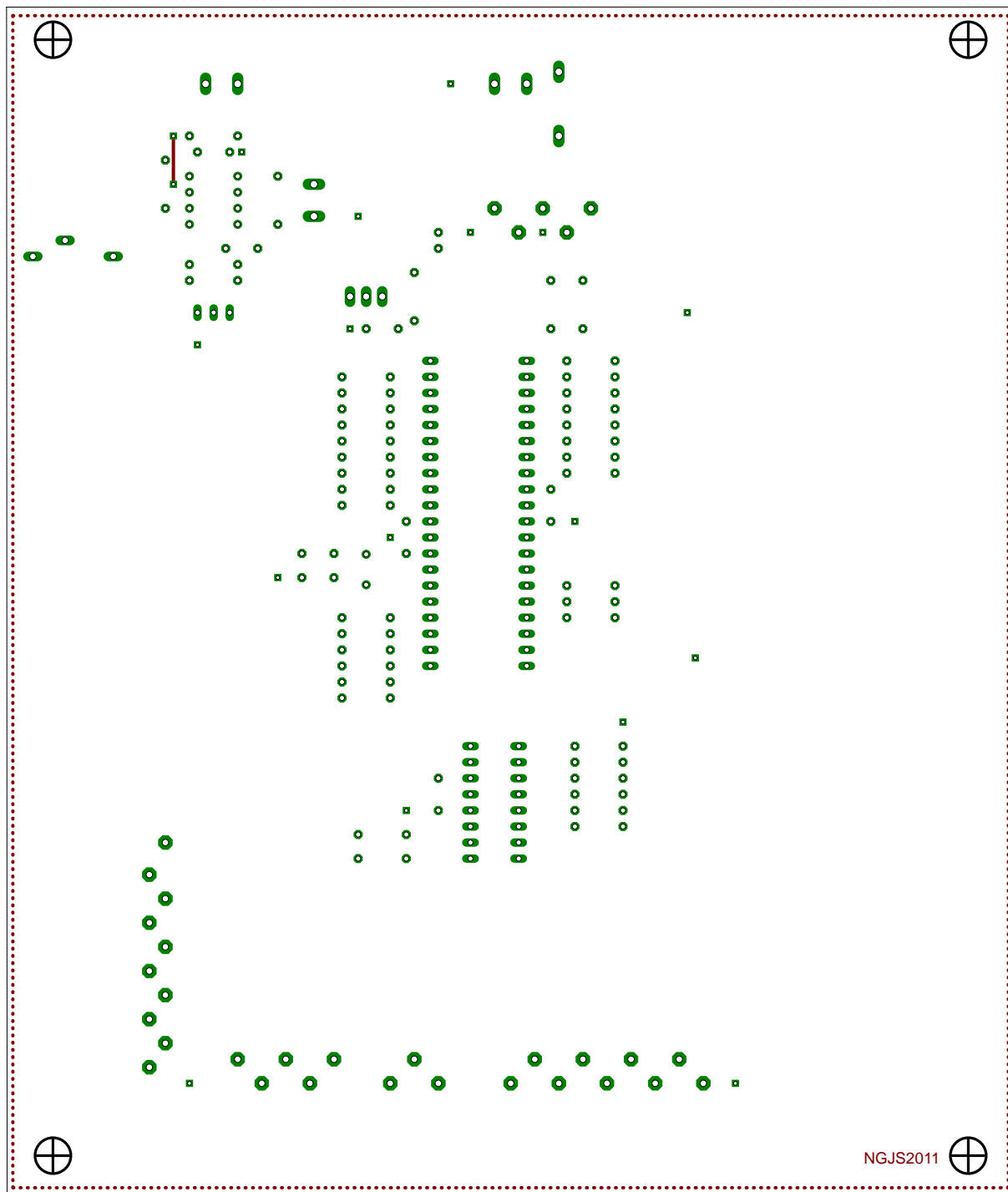
PCB - TOP

Placa de circuito impresso com os circuitos de Protecção e Disparo dos IGBTs

	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	18-07-2012 15:50:05	

Folha A4

ATRÁS



NGJS2011

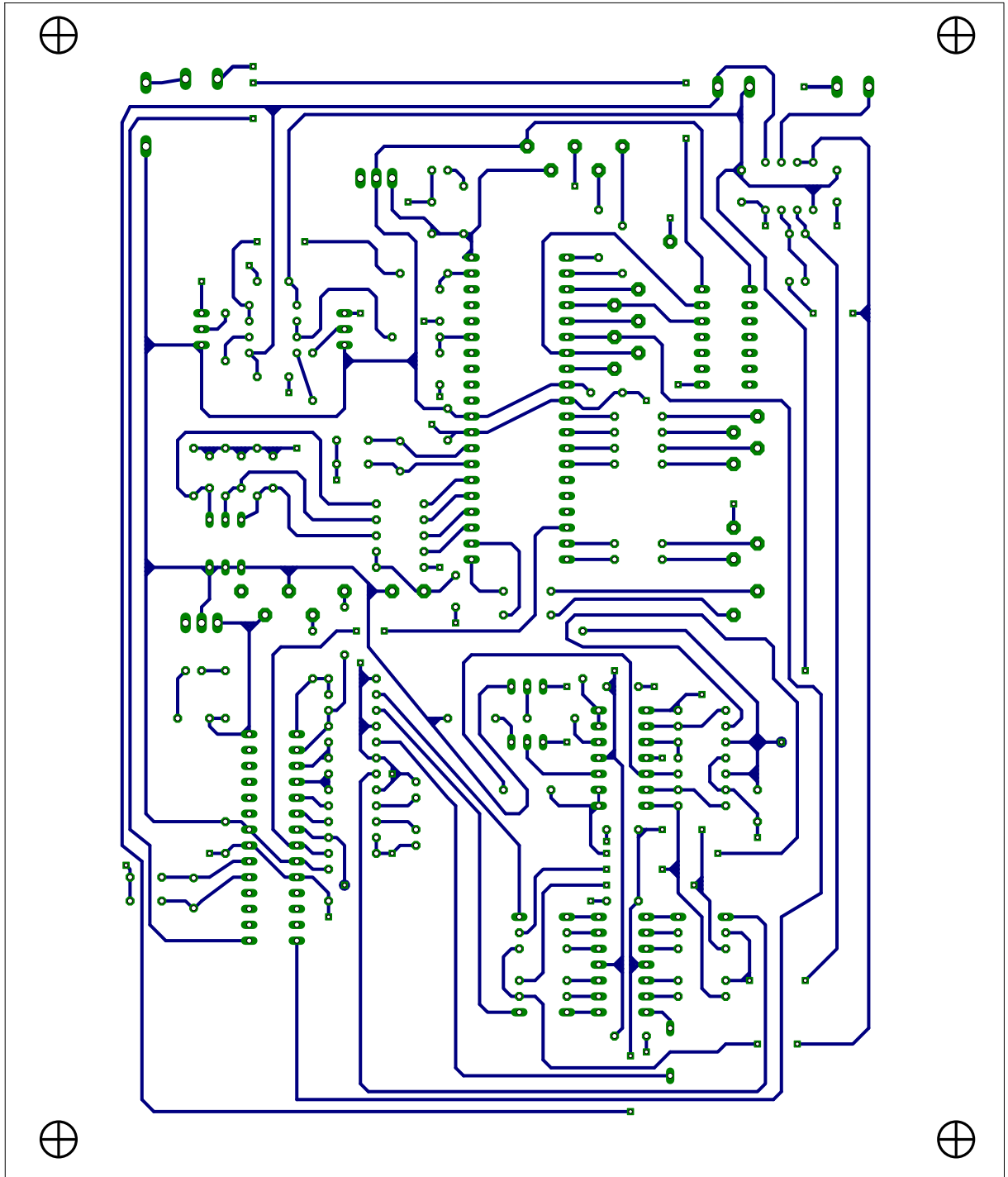
FRENTE

PCB - TOP

Placa de circuito impresso com o
circuito de Controlo da Fonte de Alta Tensão

Placa	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	18-07-2012 15:50:05	

ATRÁS



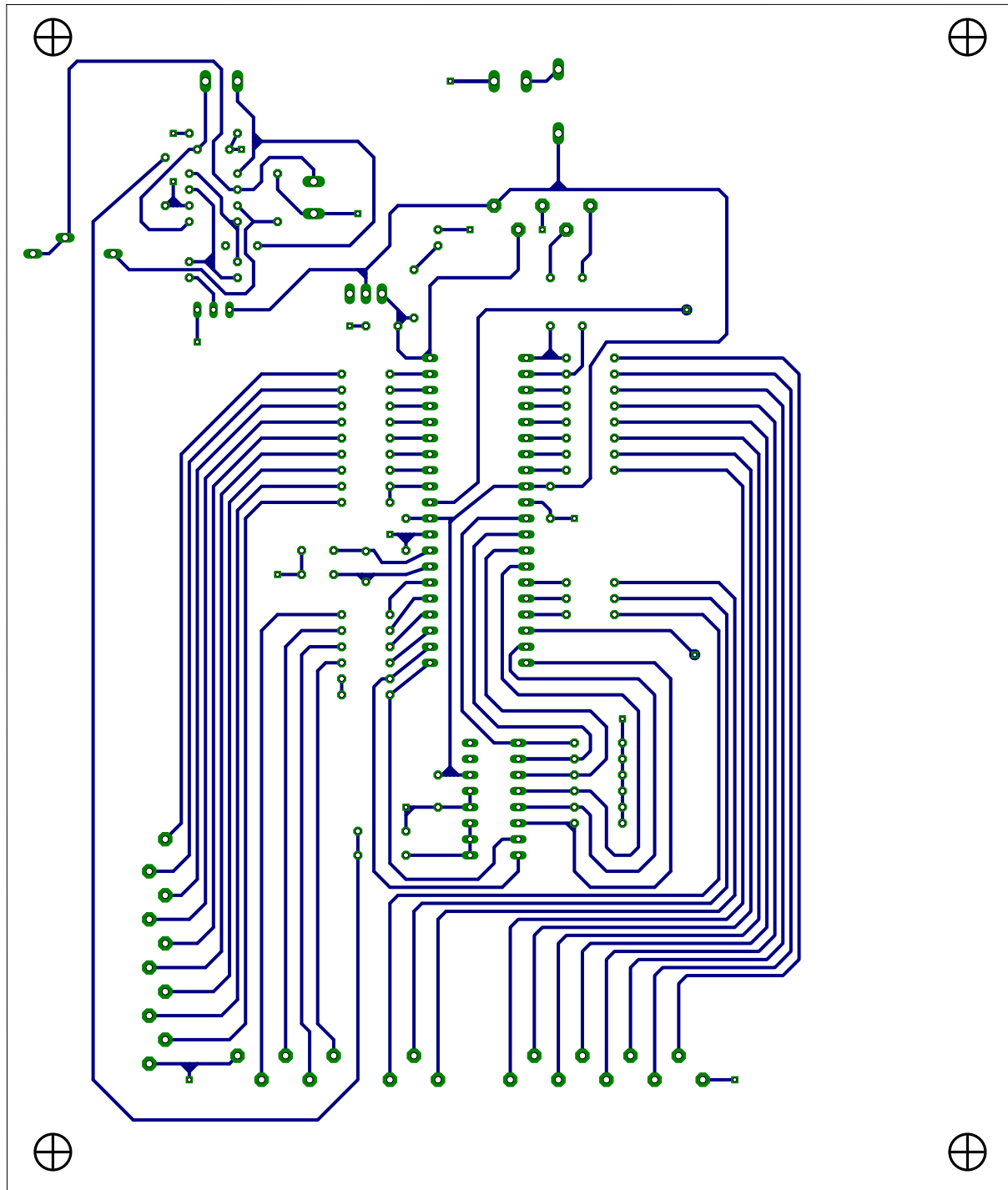
FRENTE

PCB - BOTTOM

Placa de circuito impresso com os
circuitos de Protecção e Disparo dos IGBTs

	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	18-07-2012 15:23:36	

ATRÁS

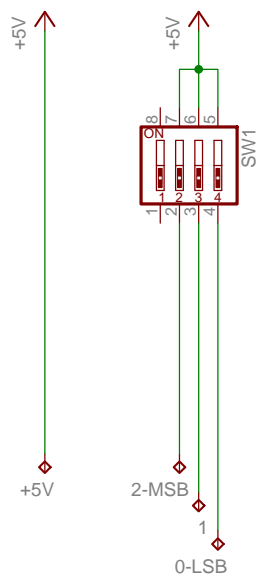


FRENTE

PCB - BOTTOM

Placa de circuito impresso com o
circuito de Controlo da Fonte de Alta Tensão

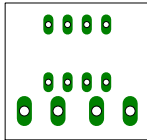
Placa	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Placas principais	
Data	18-07-2012 15:23:36	



PAINEL FRONTAL

Seleção dos modos de funcionamento

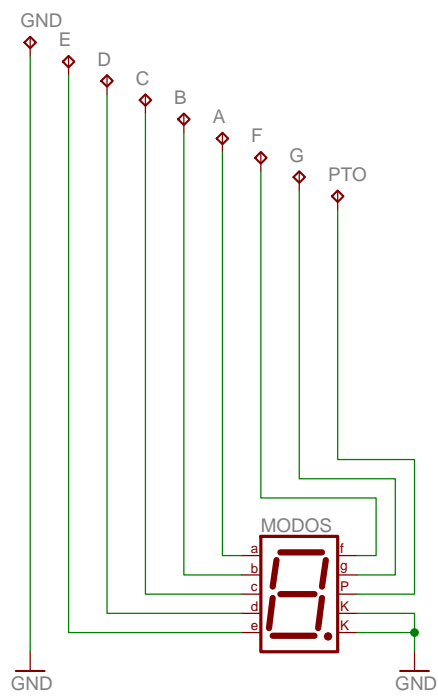
Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Dipswitch	
Data	18-05-2012 14:00:06	
A4	Folha: 1/1	



PCB - TOP

Painel frontal - Dipswitch
Modos de funcionamento

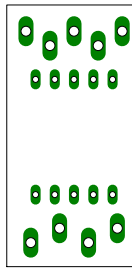
Placa	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Dipswitch	
Data	18-05-2012 13:49:37	



PAINEL FRONTAL

Visualização dos modos de funcionamento

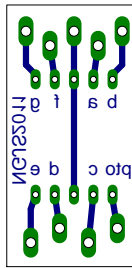
Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Modos	
Data	18-05-2012 14:02:08	
A4	Folha: 1/1	



PCB - TOP

Painel frontal - Display de 7 segmentos
Modos de funcionamento

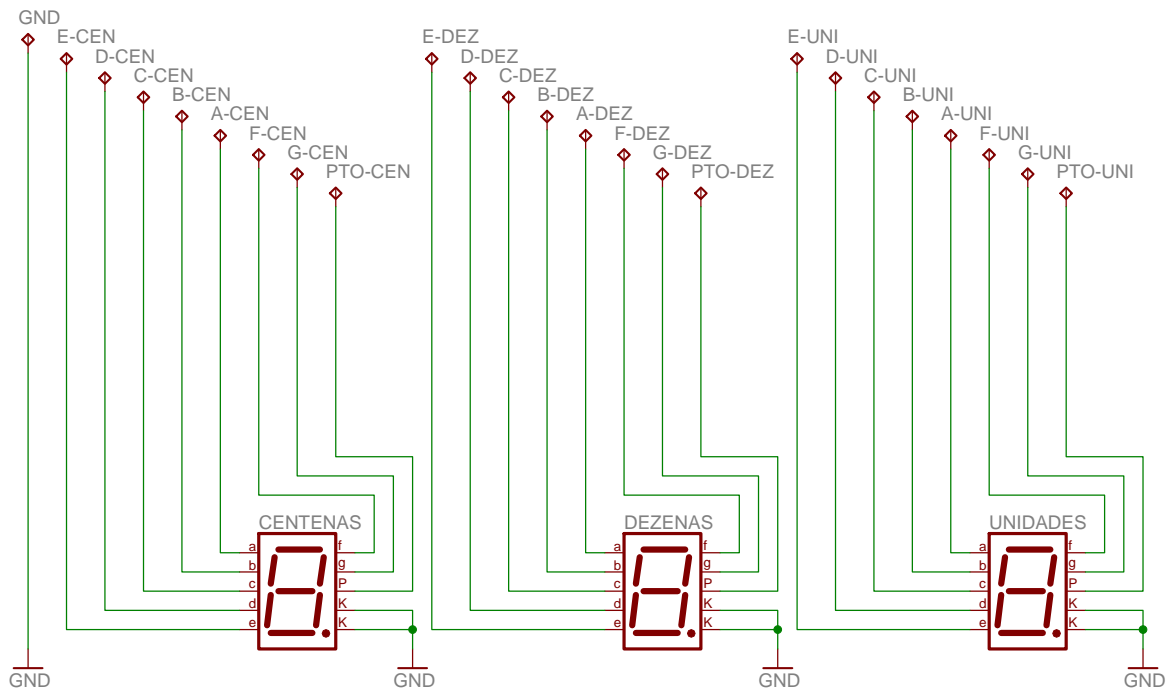
Placa	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Modos	
Data	18-05-2012 14:06:14	



PCB - BOTTOM

Painel frontal - Display de 7 segmentos
Modos de funcionamento

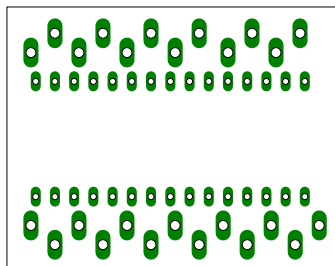
	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Modos	
Data	18-05-2012 14:07:20	



PAINEL FRONTAL

Visualização da tensão da fonte

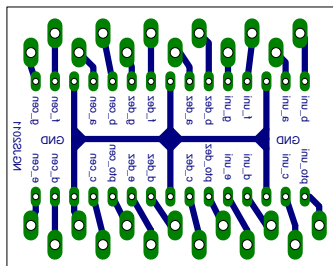
Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Tensao	
Data	18-05-2012 14:13:12	
A4	Folha: 1/1	



PCB - TOP

Painel frontal - Display de 7 segmentos
Valor da tensão da fonte

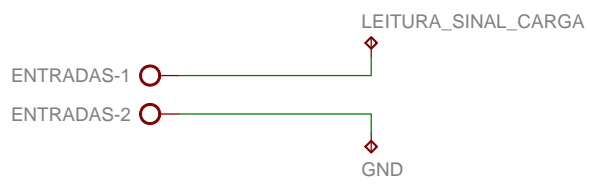
Placa	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Tensao	
Data	18-05-2012 14:32:09	



PCB - BOTTOM

Painel frontal - Display de 7 segmentos
 Valor da tensão da fonte

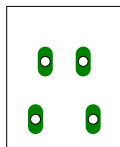
	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Tensao	
Data	18-05-2012 14:48:51	



PAINEL TRASEIRO

Entrada de leitura do Impulso na Carga

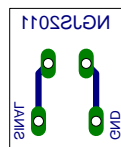
Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Entradas	
Data	16-07-2012 14:24:59	
A4	Folha: 1/1	



PCB - TOP

Painel traseiro - Conectores de ligação
Entrada de leitura do Impulso na Carga

	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Entradas	
Data	16-07-2012 15:27:33	

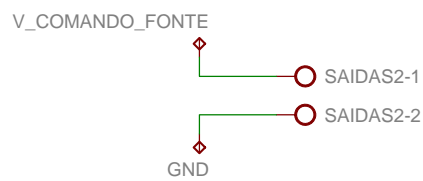
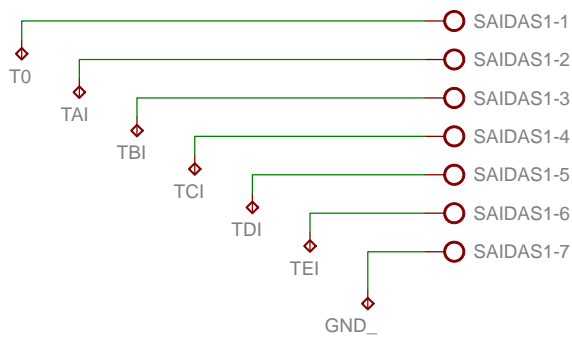


PCB - BOTTOM

Painel traseiro - Conectores de ligação
Entrada de leitura do Impulso na Carga

	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Entradas	
Data	16-07-2012 15:28:15	

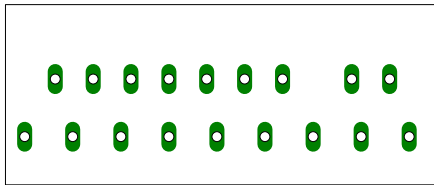
Folha A4



PAINEL TRASEIRO

Saída dos sinais de disparo dos IGBT's
Saída do sinal de controlo da fonte

Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Saidas	
Data	18-07-2012 15:58:06	
A4	Folha: 1/1	

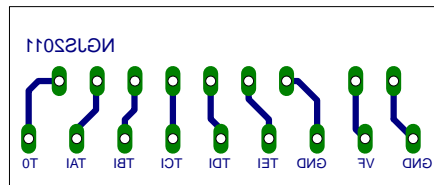


PCB - TOP

Painel traseiro - Conectores de ligação
Saída dos sinais de disparo dos IGBT's
Saída do sinal de comando da fonte

	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Saídas	
Data	18-07-2012 16:00:00	

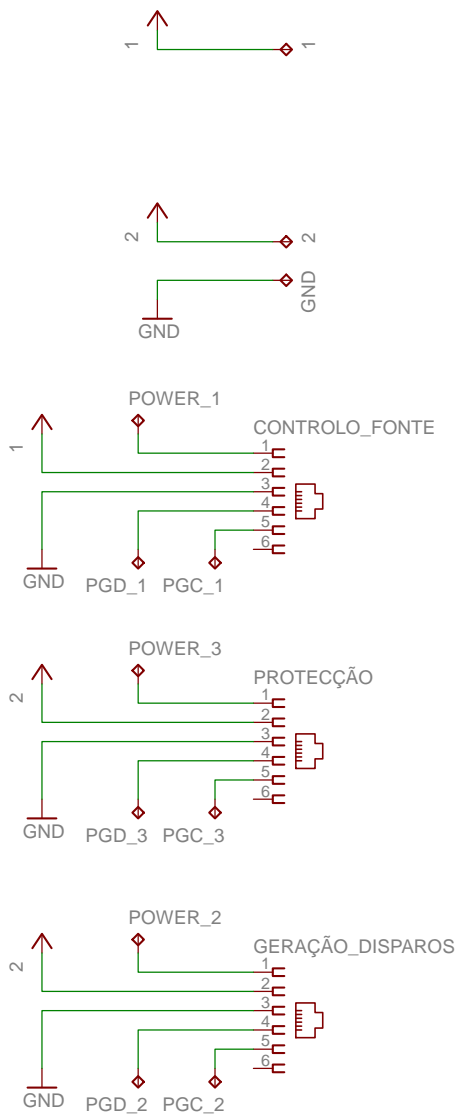
Folha A4



PCB - BOTTOM

Painel traseiro - Conectores de ligação
 Saída dos sinais de disparo dos IGBT's
 Saída do sinal de comando da fonte

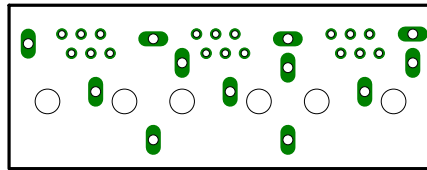
	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Saidas	
Data	18-07-2012 15:58:51	



PAINEL TRASEIRO

Entradas para programação

Esquema	Versão	Data
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Programacao	
Data	18-07-2012 15:56:03	
A4	Folha: 1/1	

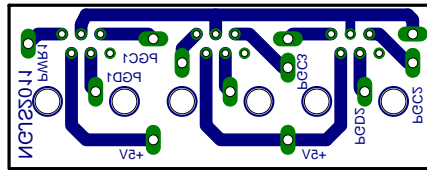


PCB - TOP

Painel traseiro - Conectores RJ-11
Entradas para programação

	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Programacao	
Data	16-07-2012 15:20:48	

Folha A4



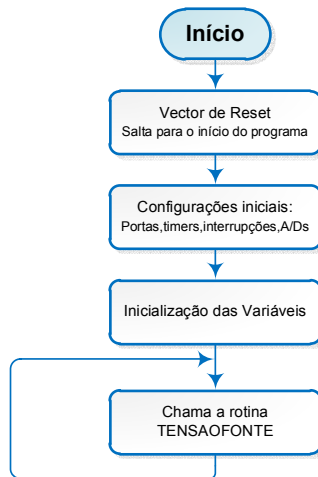
PCB - BOTTOM

Painel traseiro - Conectores RJ-11
Entradas para programação

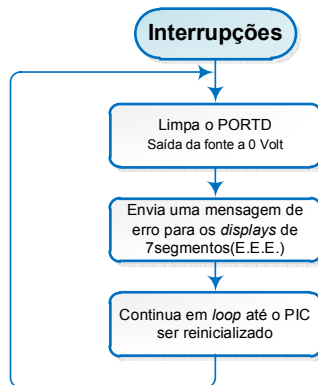
	Versão	Data
Placa		
Autor	Nuno Santos	
Ficheiro	Programacao	
Data	16-07-2012 15:17:56	

Anexo 2 - Fluxogramas da programação do microcontrolador responsável pelo Controlo da fonte

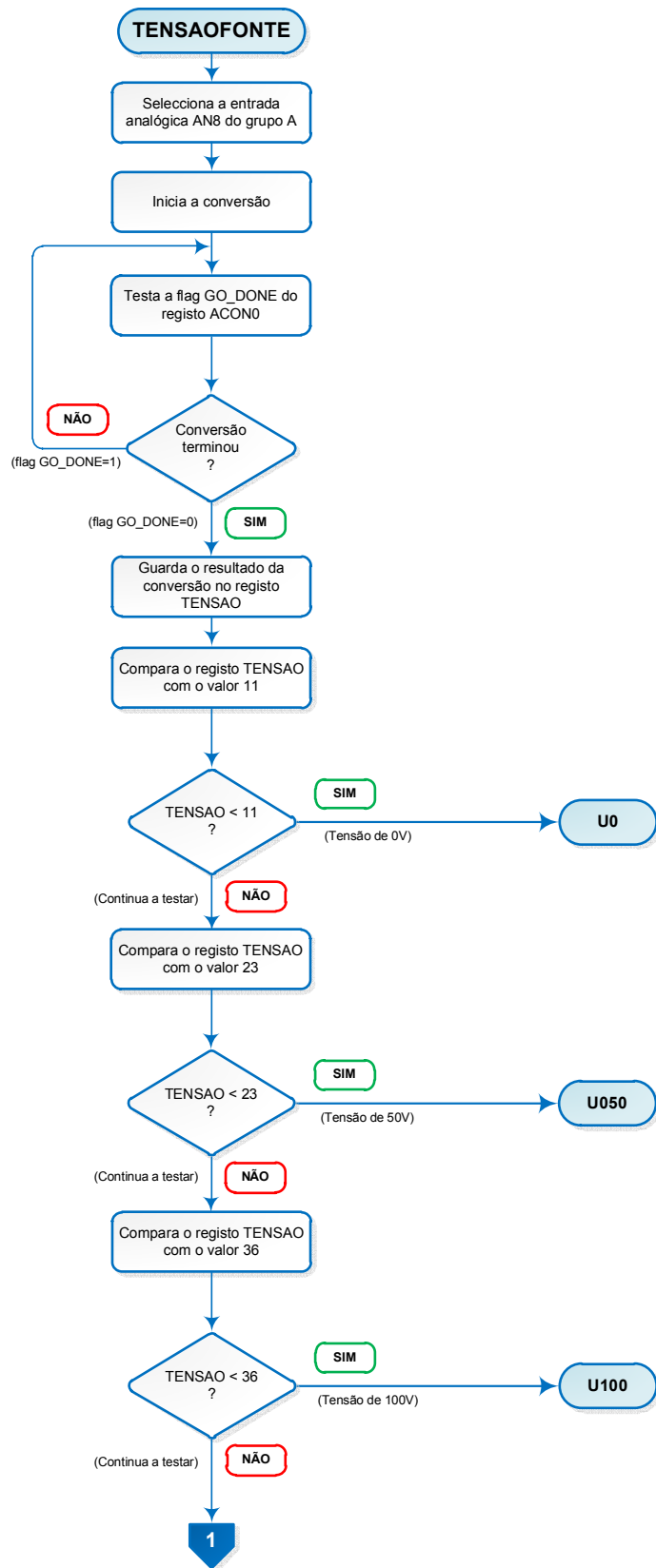
Início do programa



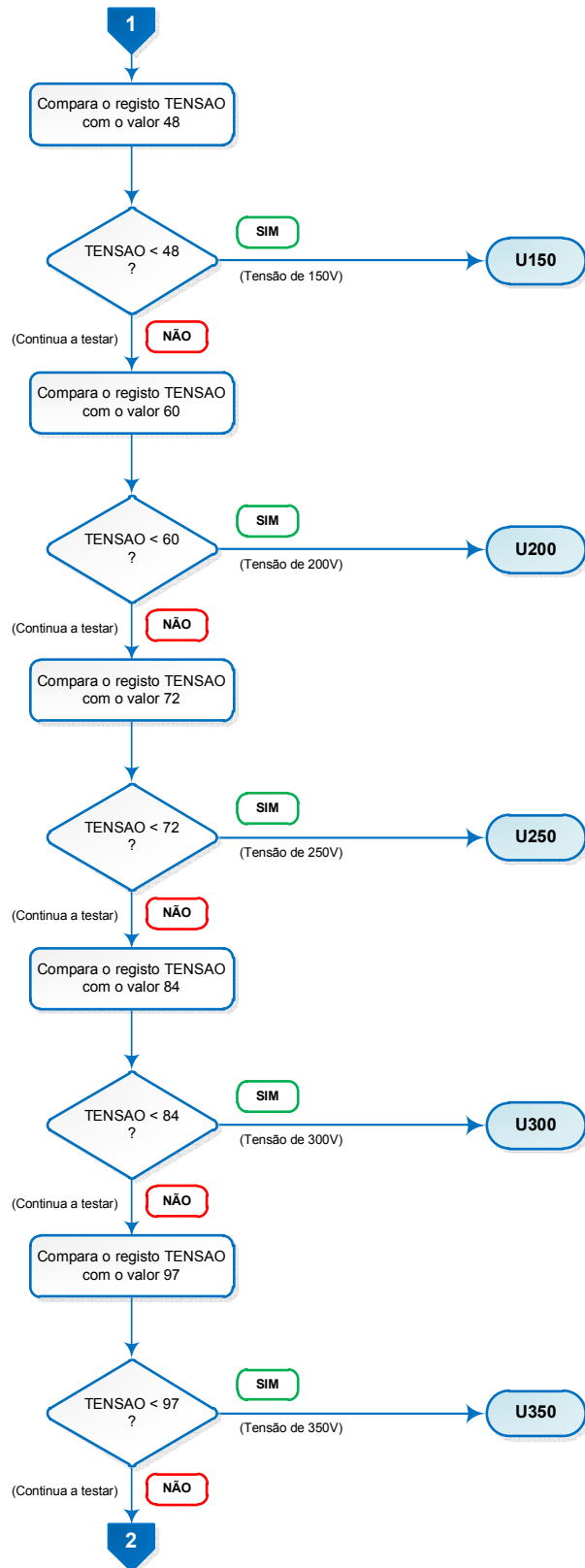
Rotina das Interrupções



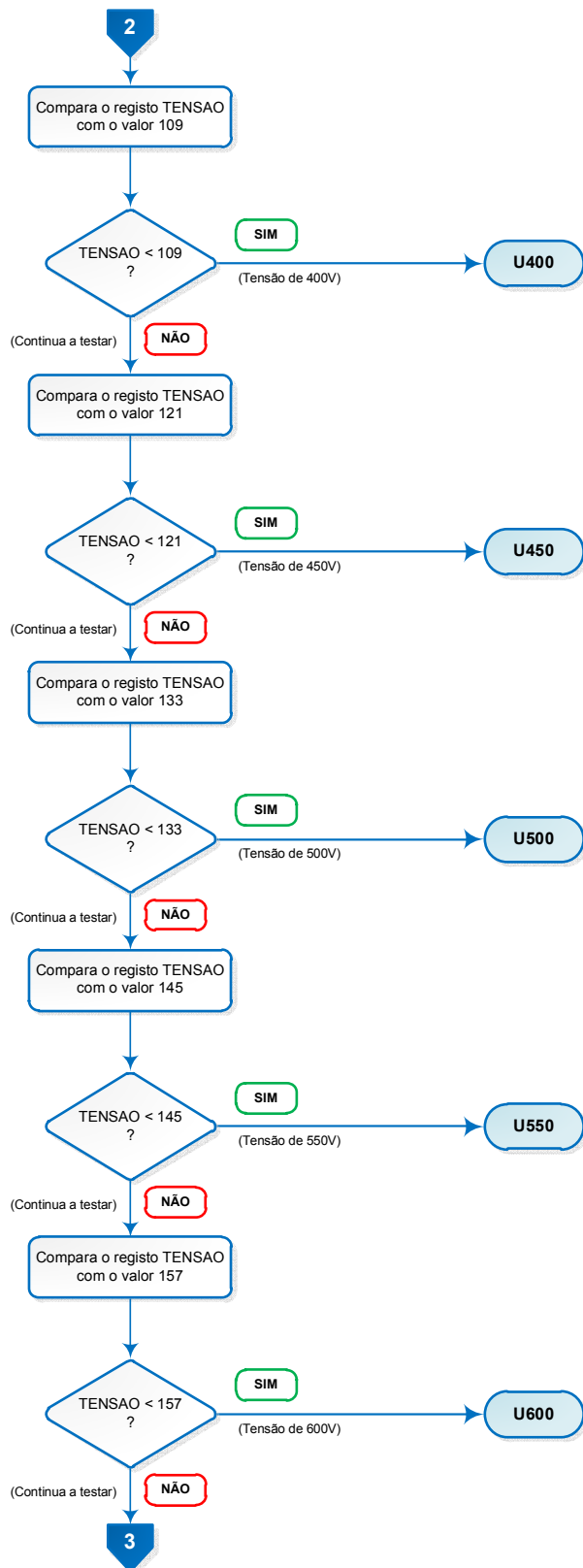
Rotina de selecção da tensão à saída da fonte



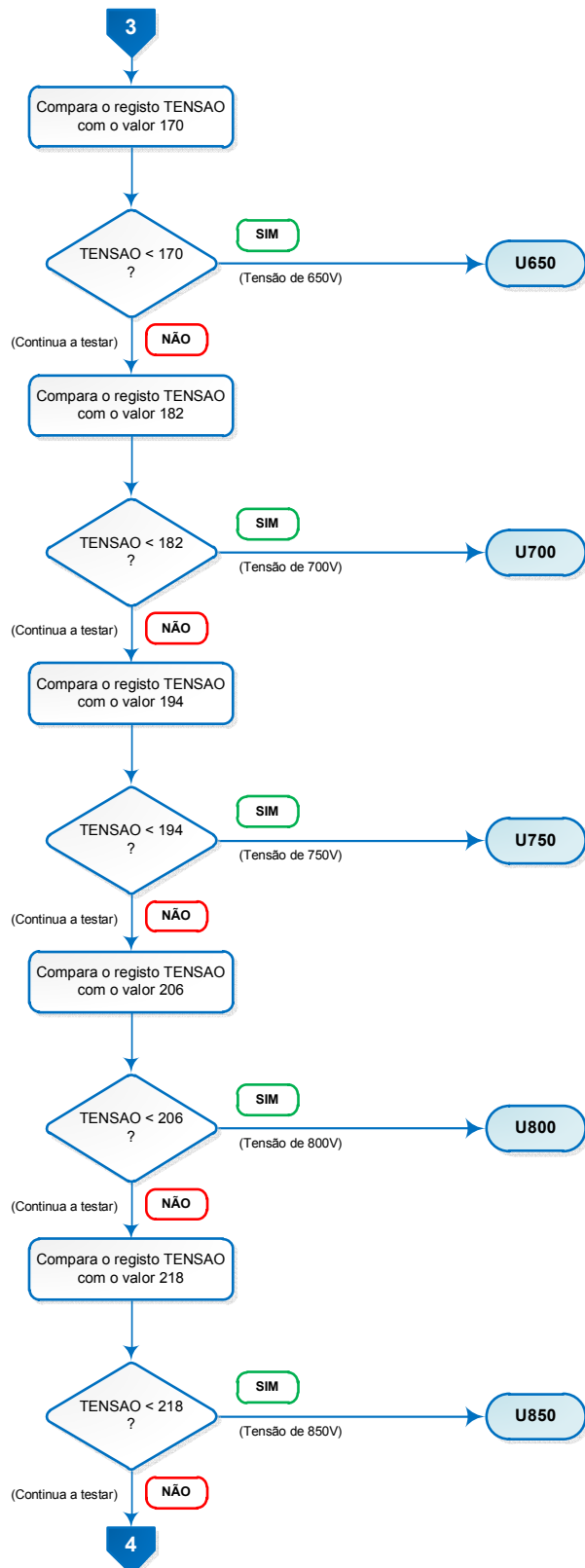
Rotina de selecção da tensão à saída da fonte (continuação)



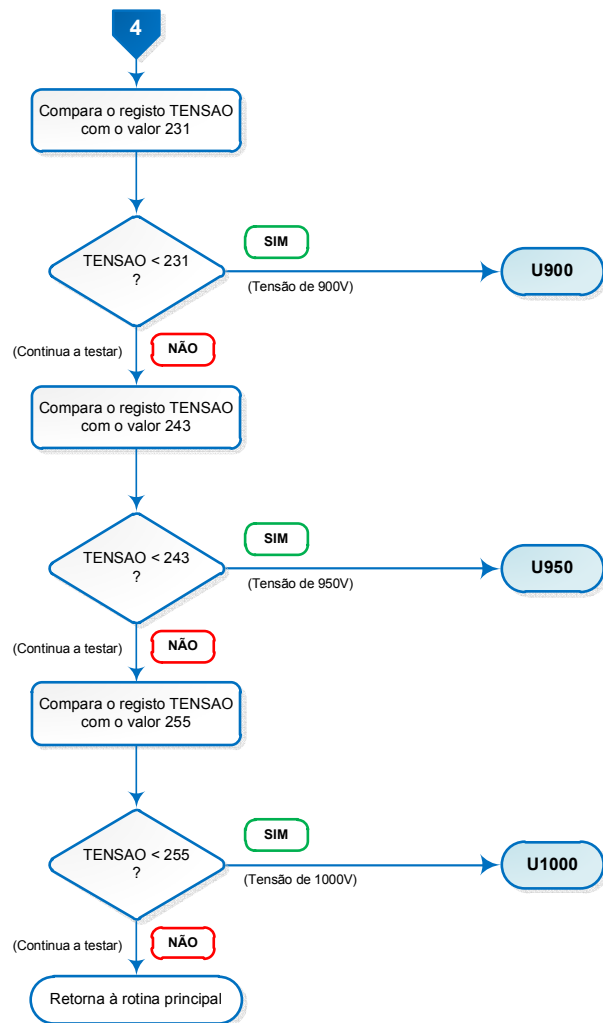
Rotina de selecção da tensão à saída da fonte (continuação)

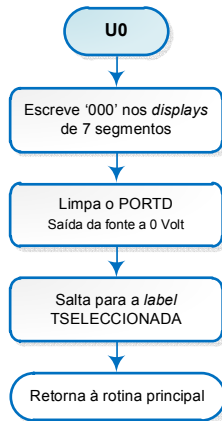
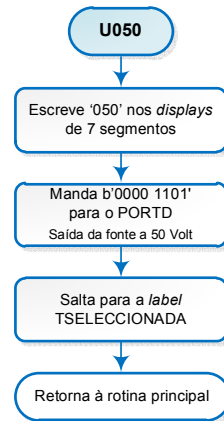
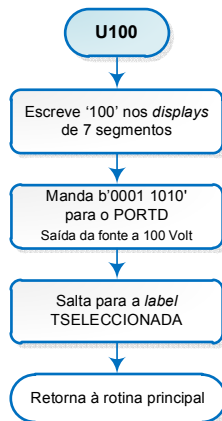
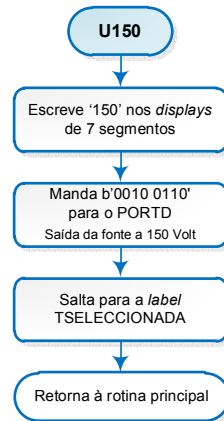
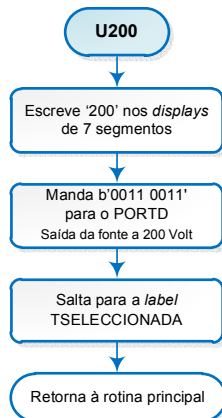
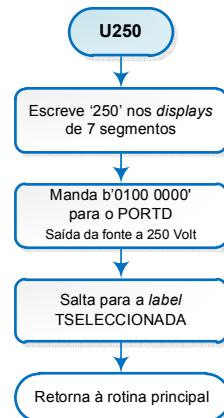


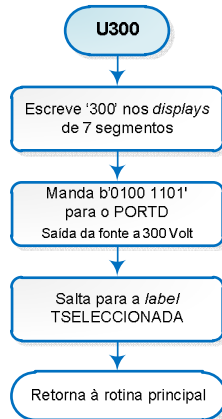
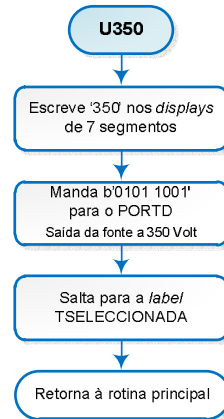
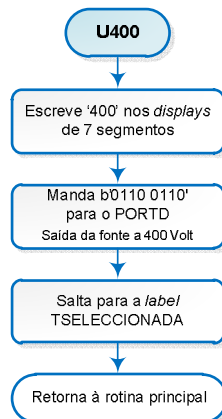
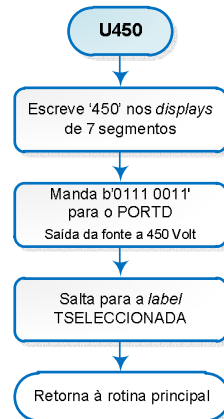
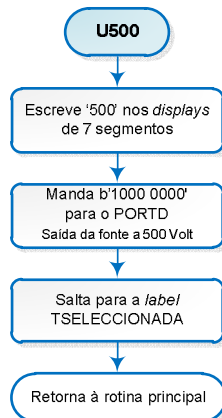
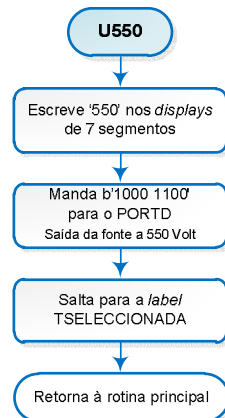
Rotina de selecção da tensão à saída da fonte (continuação)

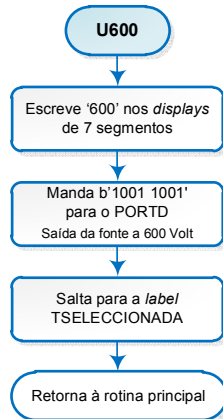
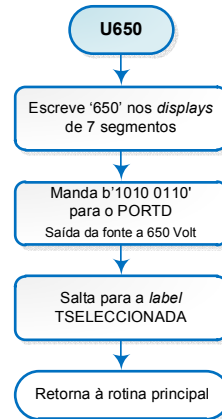
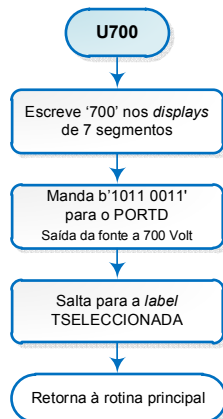
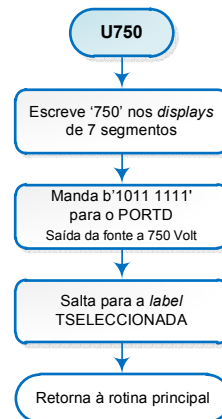
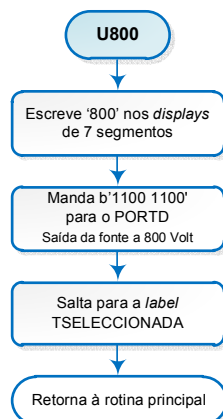
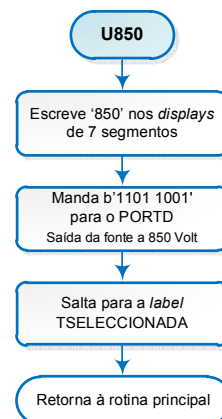


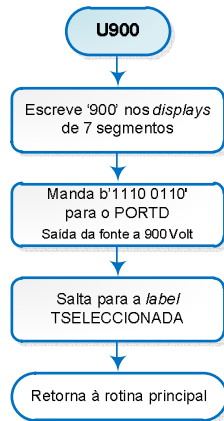
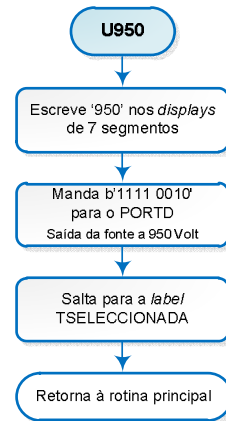
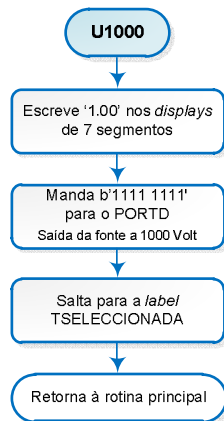
Rotina de selecção da tensão à saída da fonte (continuação)



Label - Tensão 0 V**Label - Tensão 50 V****Label - Tensão 100 V****Label - Tensão 150 V****Label - Tensão 200 V****Label - Tensão 250 V**

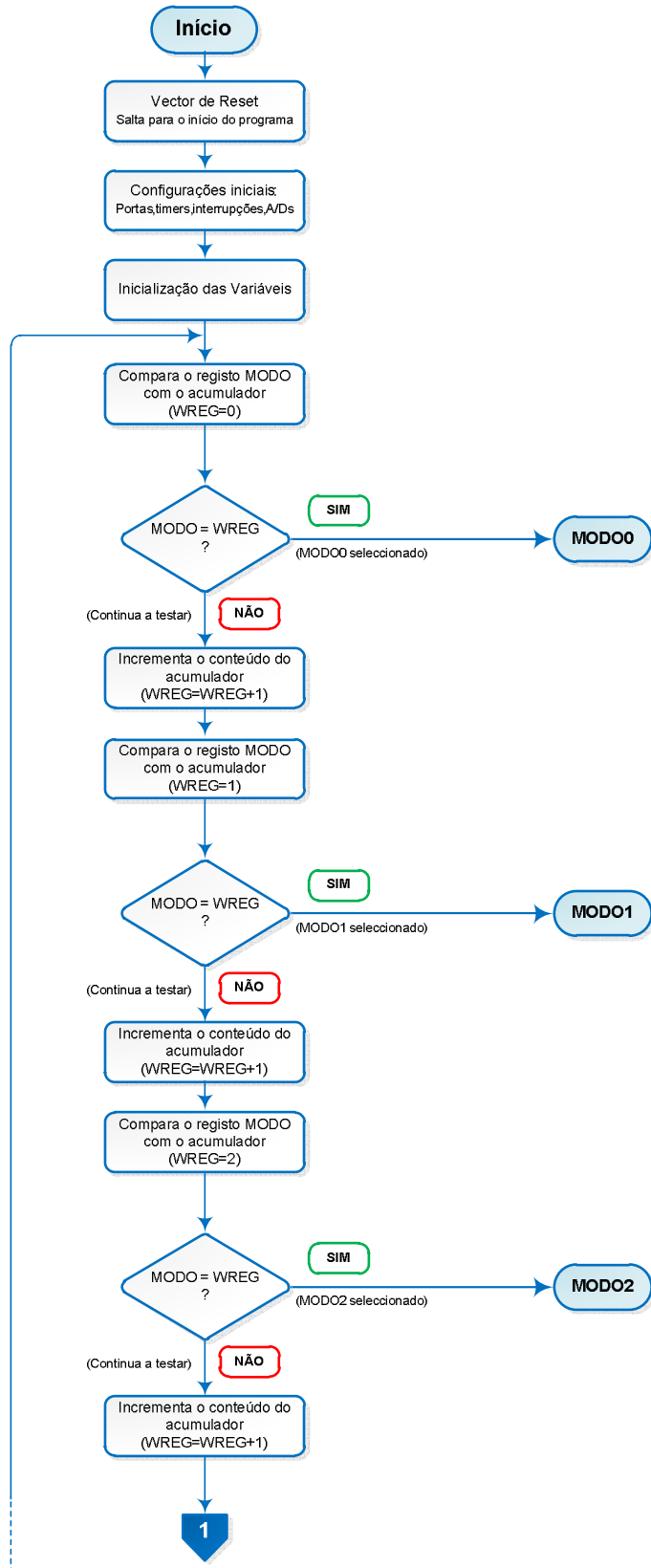
Label - Tensão 300 V**Label - Tensão 350 V****Label - Tensão 400 V****Label - Tensão 450 V****Label - Tensão 500 V****Label - Tensão 550 V**

Label - Tensão 600 V**Label - Tensão 650 V****Label - Tensão 700 V****Label - Tensão 750 V****Label - Tensão 800 V****Label - Tensão 850 V**

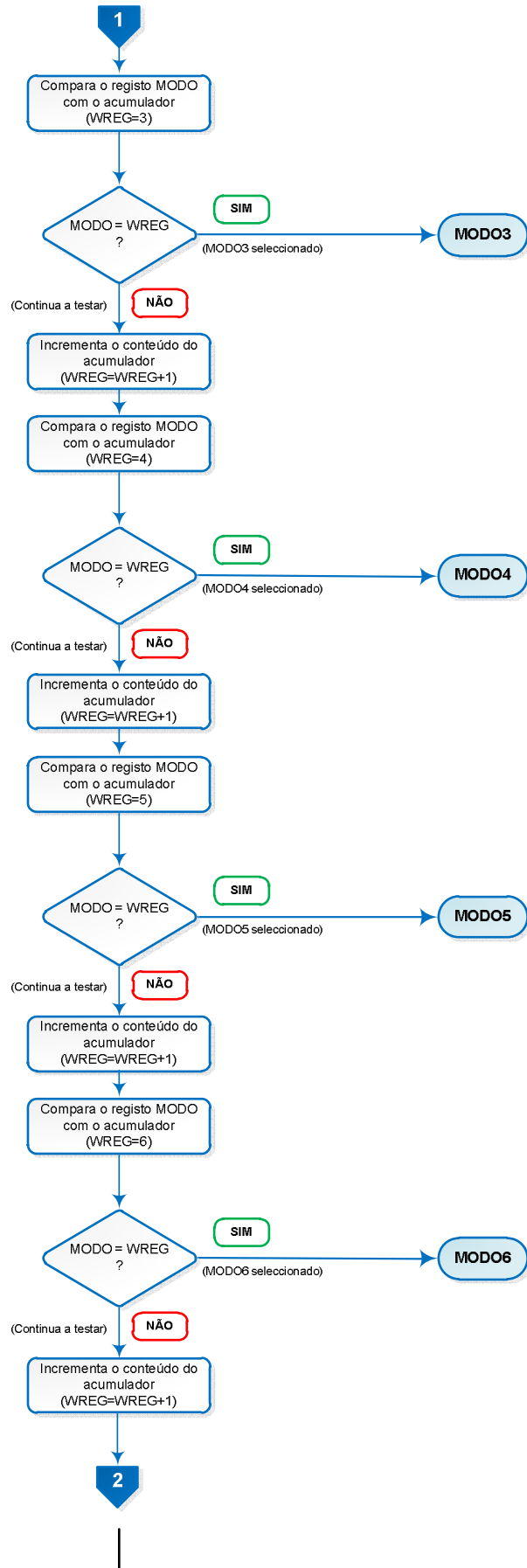
Label - Tensão 900 V**Label - Tensão 950 V****Label - Tensão 1000 V**

Anexo 3 - Fluxogramas da programação do microcontrolador responsável pela Geração dos Disparos dos IGBT's

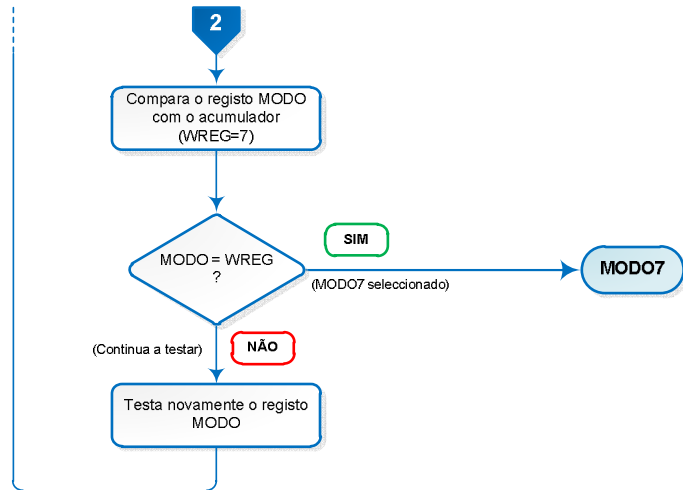
Início do Programa

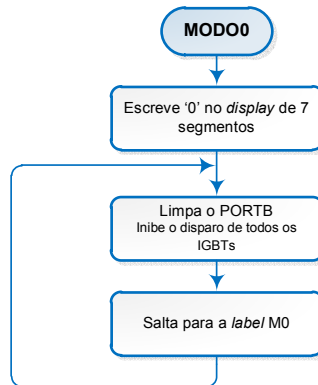
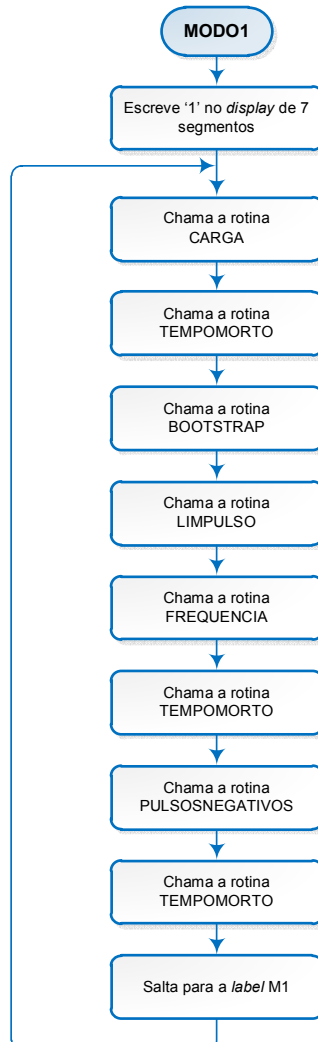


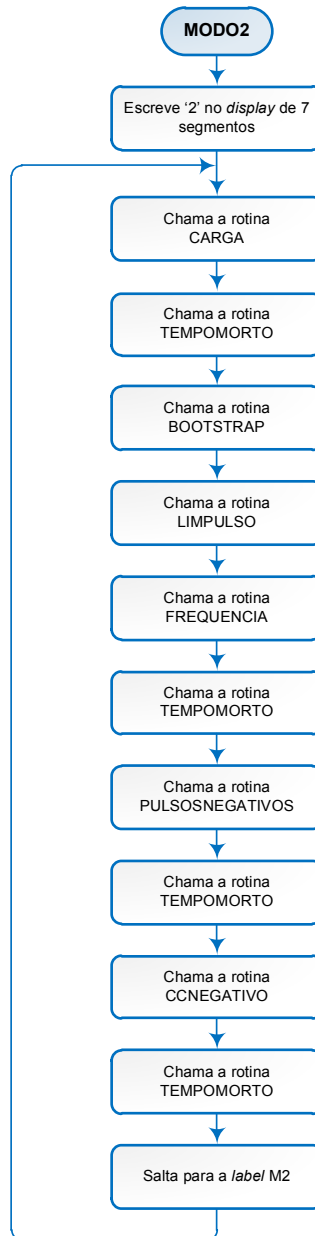
Início do Programa (continuação)

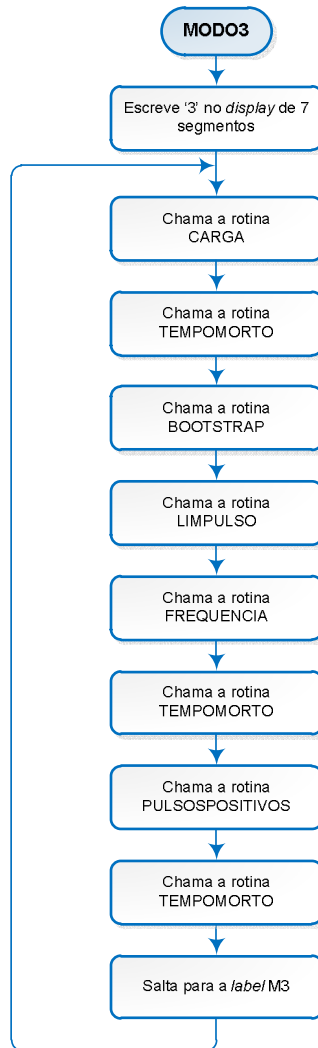


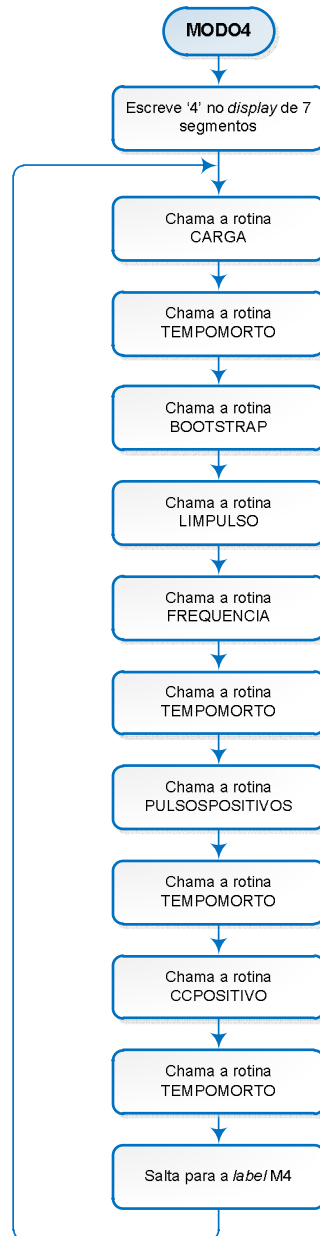
Início do Programa (continuação)

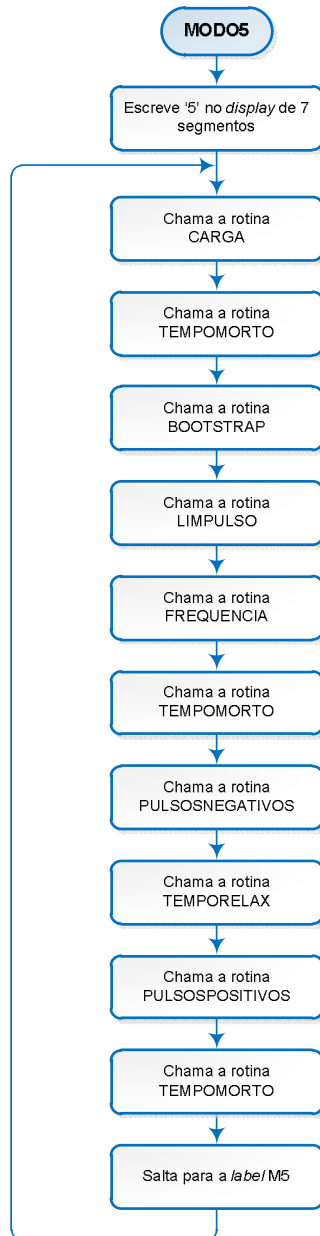


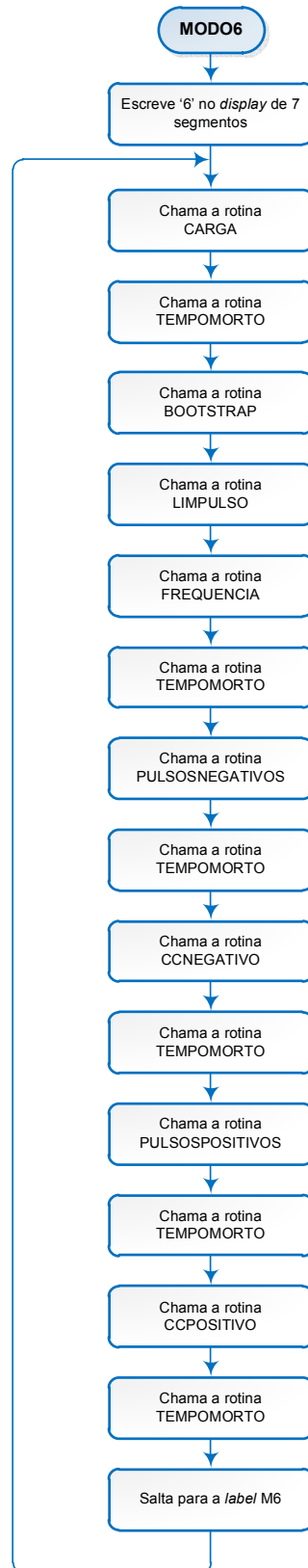
Label MODO0: Modo Standby**Label MODO1: Modo Impulsos Negativos**

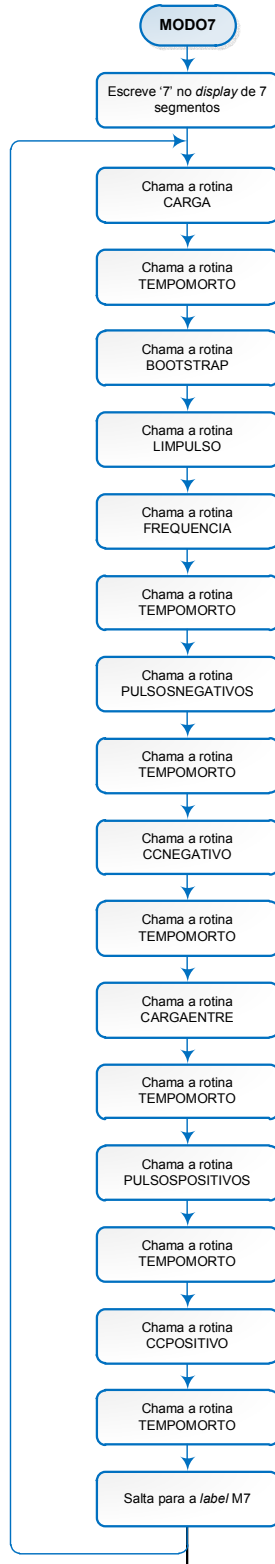
Label MODO2: Modo Impulsos Negativos com curto-circuito da Carga

Label/MODO3: Modo Impulsos Positivos

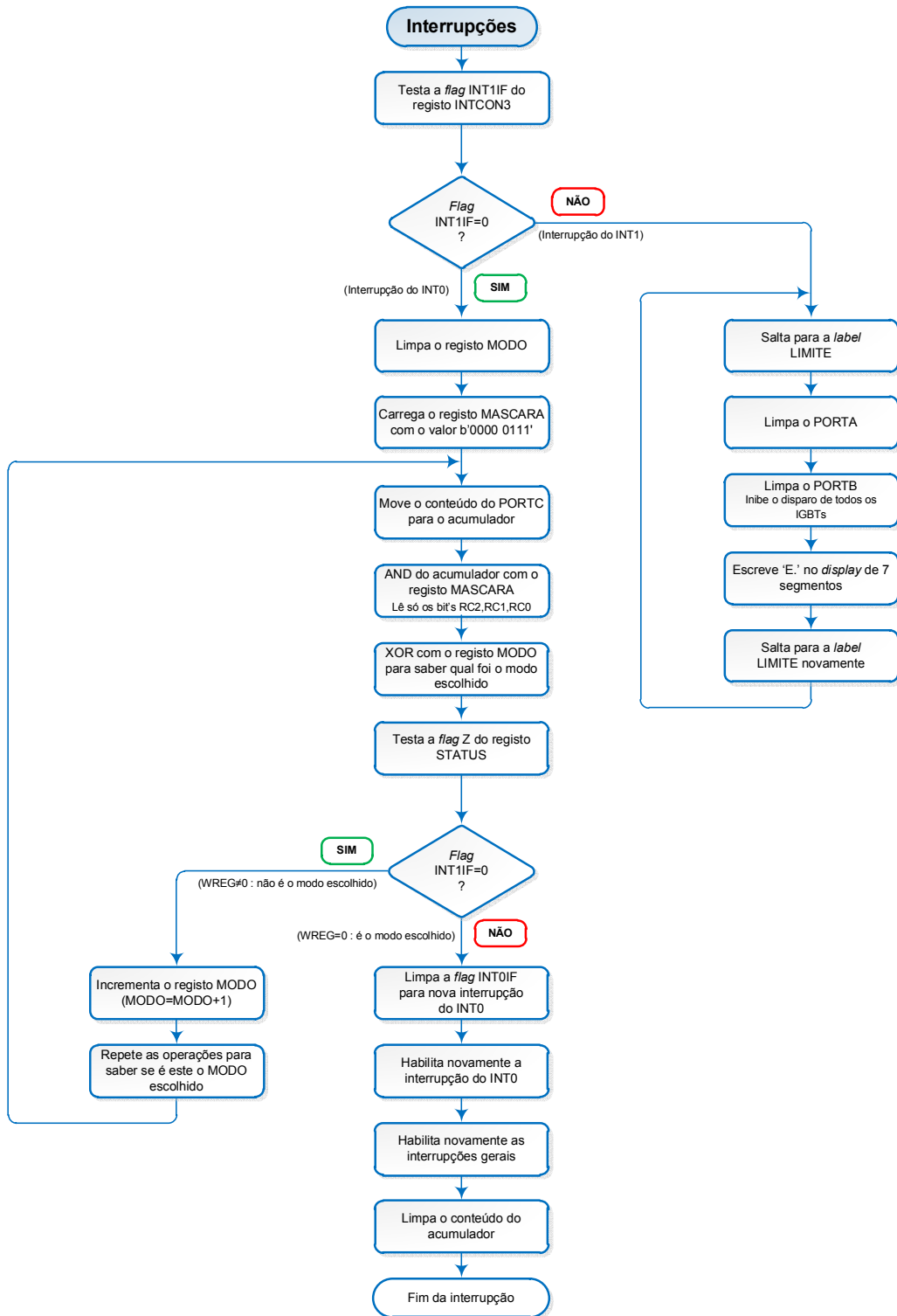
Label MODO4: Modo Impulsos Positivos com curto-circuito da Carga

Label MODO5: Modo Bipolar

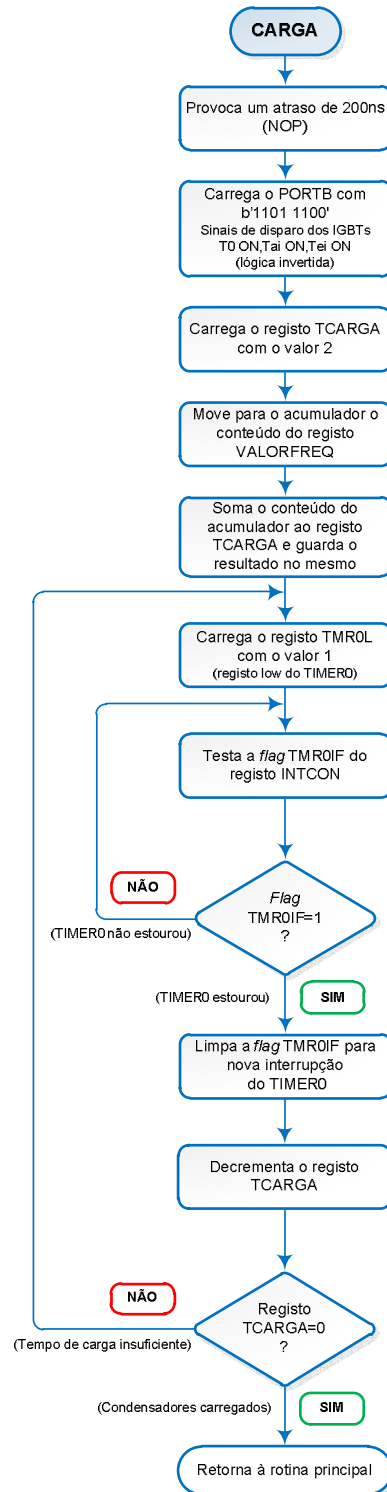
Label MODO6: Modo Bipolar com curto-circuito da Carga

Label MOD07: Modo Bipolar com curto-circuito da Carga e carga dos condensadores entre impulsos

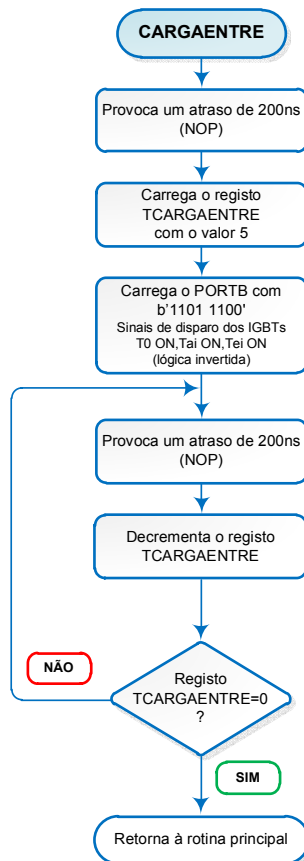
Rotina das Interrupções



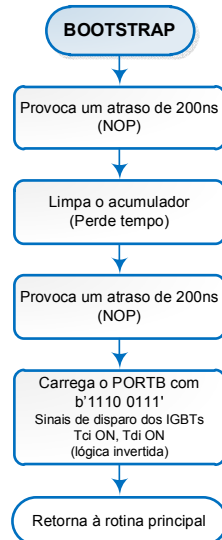
Rotina de carga dos condensadores



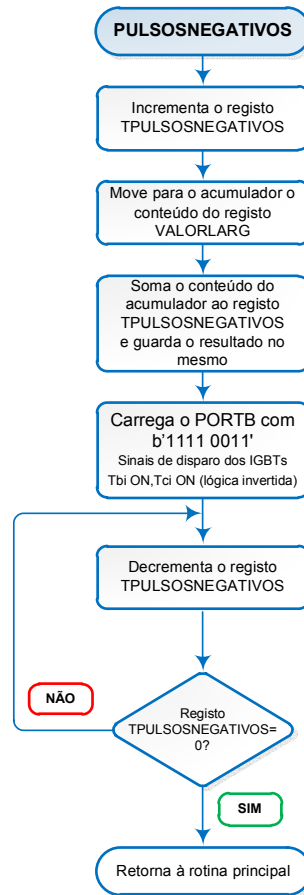
Rotina de carga dos condensadores entre os impulsos



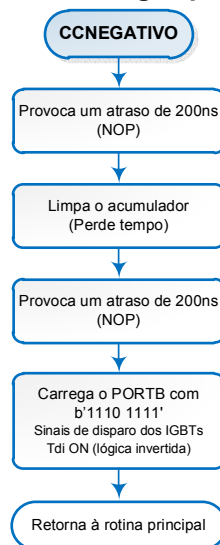
Rotina de Bootstrap



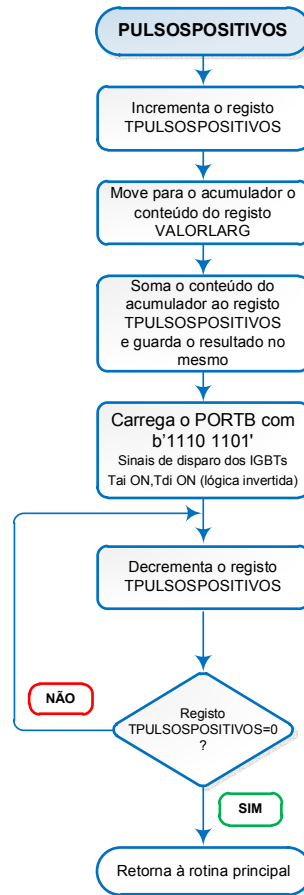
Rotina dos Impulsos Negativos



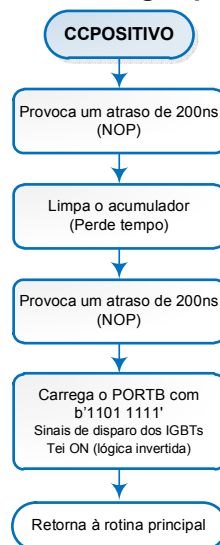
Rotina de curto-circuito da Carga após impulsos negativos



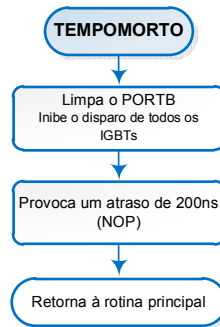
Rotina dos Impulsos Positivos



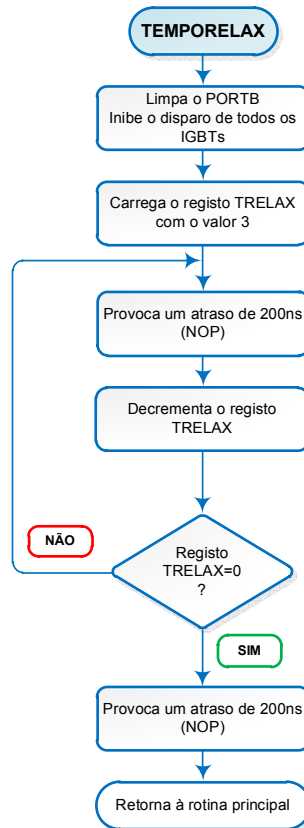
Rotina de curto-circuito da Carga após impulsos positivos



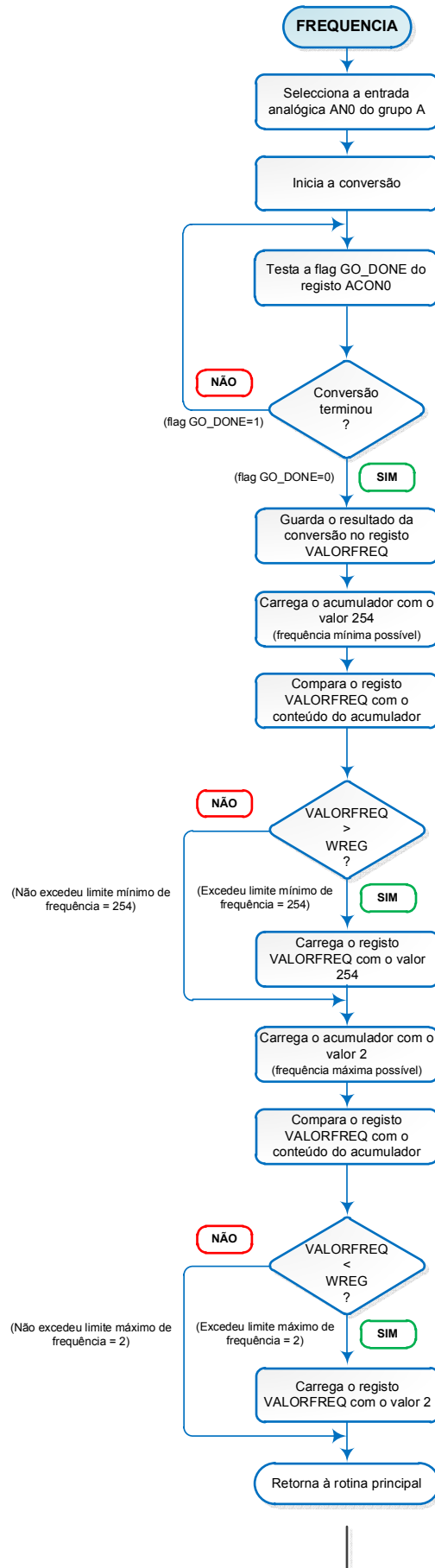
Rotina dos Tempos Mortos



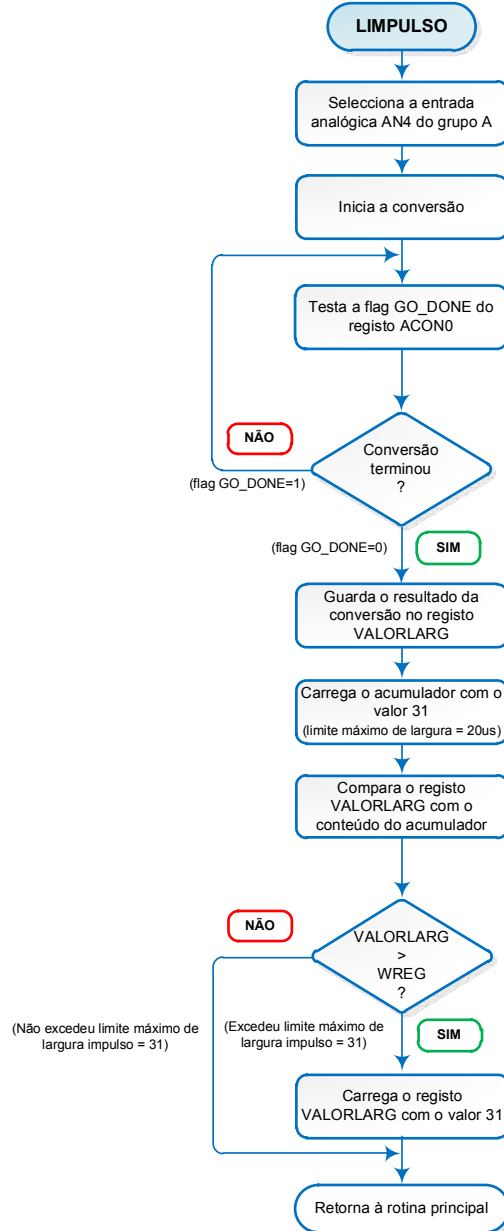
Rotina do Tempo de Relaxação entre os impulsos



Rotina da Frequência dos impulsos

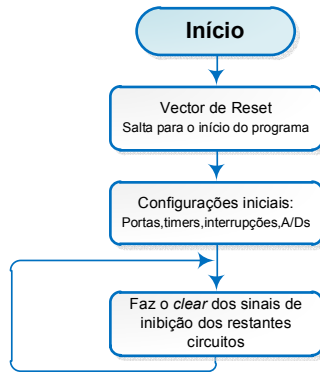


Rotina da Largura dos impulsos

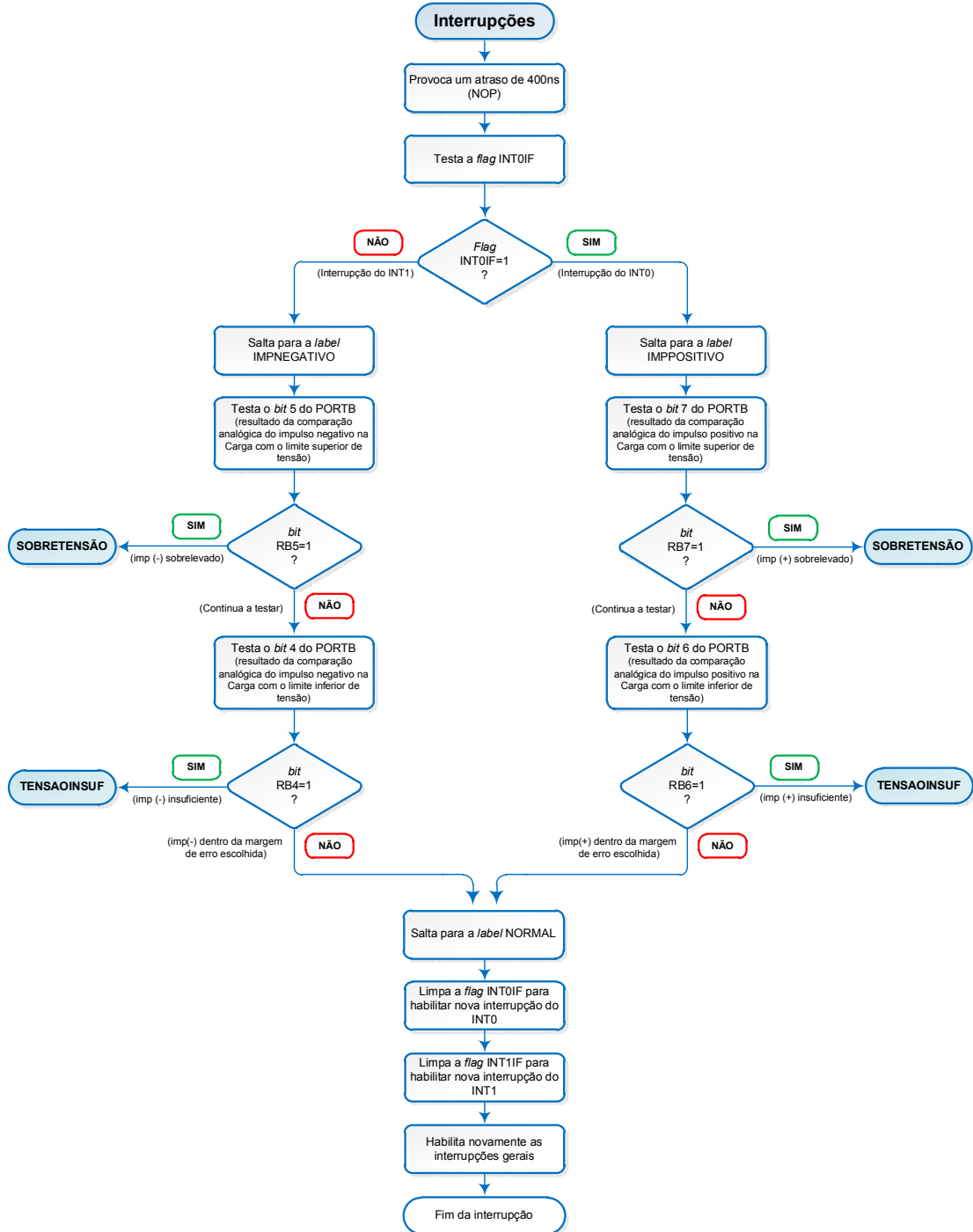


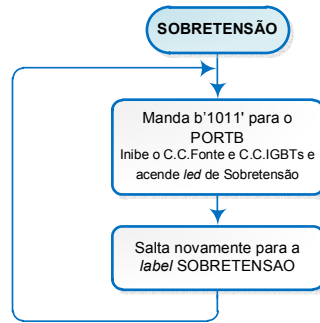
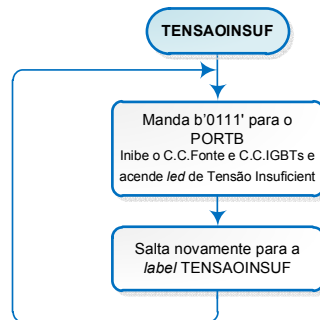
Anexo 4 - Fluxogramas da programação do microcontrolador responsável pela Protecção

Início do Programa



Rotina das Interrupções



Label - SOBRETENSAO**Label - TENSAOINSUF**

Anexo 5 - Código fonte da programação do microcontrolador responsável pelo Controlo da fonte

```

-----
;
;                               CONTROLO DA FONTE HV 1kV - Nuno Santos
;
-----
;* * * * *
;*                               ARQUIVOS DE DEFINIÇÕES
;* * * * *
#INCLUDE <P18F4331.INC> ;arquivo padrão microchip para 18f4331

CONFIG OSC = HSPLL ;configurar oscilador externo HSPLL, 4xFreq OSC - 4x10MHz
CONFIG WDTEN = OFF ;desligar Watchdog Timer
CONFIG LVP = OFF ;desligar Low Voltage Program
CONFIG BOREN = OFF ;desligar Brown-out Reset
CONFIG MCLR = ON ;activar Master Clear (RE3 inactiva)
CONFIG PWRTE = ON ;activar Power-up Timer

;* * * * *
;*                               PAGINAÇÃO DE MEMÓRIA
;* * * * *
;definição de comandos de usuário para alteração da página de memória

;* * * * *
;*                               VARIÁVEIS
;* * * * *
; definição dos nomes e endereços de todas as variáveis utilizadas pelo sistema

CBLOCK 0x20 ;endereço inicial da memória de usuário
    TENSÃO ;variáveis
ENDC ;fim do bloco de memória

;* * * * *
;*                               VECTOR DE RESET
;* * * * *

ORG 0x00 ;endereço inicial de processamento
GOTO INICIO

;* * * * *
;*                               INTERRUPÇÕES
;* * * * *

ORG 0x04 ;endereço de desvio das interrupções
LIMITE
    CLRF LATD ;limpa o PORTD (saída para o DAC a '0')

;VISUALIZAÇÃO(3digitos):
;DIGITO CENTENAS: a=RB0,b=RB1,c=RB2,d=RB3,e=RB4,f=RB5,g=RB6,pto=RB7
;DIGITO DEZENAS: a=RC7,b=RC6,c=RC5,d=RC3,e=RC2,f=RC1,g=RC0,pto=RE1
;DIGITO UNIDADES: a=RE0,b=RA5,c=RA4,d=RA3,e=RA2,f=RA1,g=RA0,pto=RE1

MOVLW B'11111001' ;mostra 'E':pto=1,g=1,f=1,e=1,d=1,c=0,b=0,a=1
MOVWF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a) a a a
MOVLW B'11111' ;mostra 'E':pto=1,a=1,b=0,c=0,d=1,e=1,f=1,g=1 f # f # f #
MOVWF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # g # g # g
BCF LATC,5 ;saída display 7seg-digito dezenas(c) ### ### ###
BCF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) e # e # e #
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # d # d # d
MOVLW B'0011111' ;mostra 'E':pto=1,a=1,b=0,c=0,d=1,e=1,f=1,g=1 ### # ### # ### #
MOVWF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g) pto pto pto
MOVLW B'111'
MOVWF LATE ;saídas display 7seg-digito unidades(pto,a)
GOTO LIMITE
RETFIE

```



```

TESTAR8
  MOV LW .121 ; manda para o acumulador 121 em decimal (0111 1001)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR9 ; testa novamente
  GO TO U450 ; T ENSAO < 121 -> Tensão de 450 V
TESTAR9
  MOV LW .133 ; manda para o acumulador 133 em decimal (1000 0101)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR10 ; testa novamente
  GO TO U500 ; T ENSAO < 133 -> Tensão de 500 V
TESTAR10
  MOV LW .145 ; manda para o acumulador 145 em decimal (1001 0001)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR11 ; testa novamente
  GO TO U550 ; T ENSAO < 145 -> Tensão de 550 V
TESTAR11
  MOV LW .157 ; manda para o acumulador 157 em decimal (1001 1101)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR12 ; testa novamente
  GO TO U600 ; T ENSAO < 157 -> Tensão de 600 V
TESTAR12
  MOV LW .170 ; manda para o acumulador 170 em decimal (1010 1010)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR13 ; testa novamente
  GO TO U650 ; T ENSAO < 170 -> Tensão de 650 V
TESTAR13
  MOV LW .182 ; manda para o acumulador 182 em decimal (1011 0110)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR14 ; testa novamente
  GO TO U700 ; T ENSAO < 182 -> Tensão de 700 V
TESTAR14
  MOV LW .194 ; manda para o acumulador 194 em decimal (1100 0010)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR15 ; testa novamente
  GO TO U750 ; T ENSAO < 194 -> Tensão de 750 V
TESTAR15
  MOV LW .206 ; manda para o acumulador 206 em decimal (1100 1110)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR16 ; testa novamente
  GO TO U800 ; T ENSAO < 206 -> Tensão de 800 V
TESTAR16
  MOV LW .218 ; manda para o acumulador 218 em decimal (1101 1010)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR17 ; testa novamente
  GO TO U850 ; T ENSAO < 218 -> Tensão de 850 V
TESTAR17
  MOV LW .231 ; manda para o acumulador 231 em decimal (1110 0111)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR18 ; testa novamente
  GO TO U900 ; T ENSAO < 231 -> Tensão de 900 V
TESTAR18
  MOV LW .243 ; manda para o acumulador 243 em decimal (1111 0011)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO TESTAR19 ; testa novamente
  GO TO U950 ; T ENSAO < 243 -> Tensão de 950 V
TESTAR19
  MOV LW .255 ; manda para o acumulador 255 em decimal (11111111)
  CP FS LT T ENSAO ; compara com o registo T ENSAO
  GO TO MAIN ; testa novamente
  GO TO U1000 ; T ENSAO < 255 -> Tensão de 1000 V

```

```

;-----
;Mostra os valores de tensão nos displays:
;DIGITO CENTENAS: a=RB0,b=RB1,c=RB2,d=RB3,e=RB4,f=RB5,g=RB6,pto=RB7
;DIGITO DEZENAS: a=RC7,b=RC6,c=RC5,d=RC3,e=RC2,f=RC1,g=RC0,pto=RE1
;DIGITO UNIDADES: a=RE0,b=RA5,c=RA4,d=RA3,e=RA2,f=RA1,g=RA0,pto=RE1

```

```

U0;tensão 0V (000)
MOVW B'00111111' ;mostra '0':pto=0,g=0,f=1,e=1,d=1,c=1,b=1,a=1 a a a
MOVWF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOVLW B'1110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 f# #bf# #bf# #b
MOVWF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # # # # # #
BSF LATC,5 ;saída display 7seg-digito dezenas(c)
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) e# #ce# #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # d # # d # # d #
MOVLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ### ###
MOVWF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVLW B'00000000'
MOVWF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão selecionada
;-----

```

```

U050;tensão 50V (050)
MOVW B'00111111' ;mostra '0':pto=0,g=0,f=1,e=1,d=1,c=1,b=1,a=1 a a a
MOVWF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOVLW B'1011' ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1 f# #bf# f# #b
MOVWF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # # # g # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BCF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) e# #c #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # d # d # # d #
MOVLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ### ###
MOVWF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVLW B'00001101'
MOVWF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão selecionada
;-----

```

```

U100;tensão 100V (100)
MOVW B'00000110' ;mostra '1':pto=0,g=0,f=0,e=0,d=0,c=1,b=1,a=0 a a
MOVWF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a) ### ###
MOVLW B'1110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 #bf# #bf# #b
MOVWF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # # # # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c)
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) #ce# #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # # d # # d #
MOVLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ###
MOVWF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVLW B'00011010'
MOVWF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão selecionada
;-----

```

```

U150;tensão 150V (150)
MOVW B'00000110' ;mostra '1':pto=0,g=0,f=0,e=0,d=0,c=1,b=1,a=0 a a
MOVWF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a) ### ###
MOVLW B'1011' ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1 #bf# f# #b
MOVWF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # # g # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BCF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) #c #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # d # # d #
MOVLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ###
MOVWF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVLW B'00100110'
MOVWF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão selecionada
;-----

```

```

U200;tensão 200V (200)
MOVWLW B'01011011' ;mostra '2':pto=0,g=1,f=0,e=1,d=1,c=0,b=1,a=1 a a a
MOVWFF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOVWLW B'1110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 #bf# #bf# #b
MOVWFF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) g # # # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) e# e# #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # d # d # # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ### ###
MOVWFF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'00110011'
MOVWFF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U250;tensão 250V (250)
MOVWLW B'01011011' ;mostra '2':pto=0,g=1,f=0,e=1,d=1,c=0,b=1,a=1 a a a
MOVWFF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOVWLW B'1011' ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1 #bf# f# #b
MOVWFF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) g # # g # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) e# #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # d # d # # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ### ###
MOVWFF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'01000000'
MOVWFF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U300;tensão 300V (300)
MOVWLW B'01001111' ;mostra '3':pto=0,g=1,f=0,e=0,d=1,c=1,b=1,a=1 a a a
MOVWFF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOVWLW B'1110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 #bf# #bf# #b
MOVWFF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) g # # # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) #ce# #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) d # # d # # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ### ###
MOVWFF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'01001101'
MOVWFF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U350;tensão 350V (350)
MOVWLW B'01001111' ;mostra '3':pto=0,g=1,f=0,e=0,d=1,c=1,b=1,a=1 a a a
MOVWFF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOVWLW B'1011' ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1 #bf# f# #b
MOVWFF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) g # # g # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) #c #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) d # # d # # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ### ###
MOVWFF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'01011001'
MOVWFF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U400;tensão 400V (400)
MOVWLW B'01100110' ;mostra '4':pto=0,g=1,f=1,e=0,d=0,c=1,b=1,a=0 a a
MOVWFF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ###
MOVWLW B'1110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 f# #bf# #bf# #b
MOVWFF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # g # # # # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) #ce# #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # # d # # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ###
MOVWFF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'01100110'
MOVWFF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U450;tensão 450V (450)
MOVWLW B'01100110' ;mostra '4':pto=0,g=1,f=1,e=0,d=0,c=1,b=1,a=0          a      a
MOVWFF LATB      ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)    ###    ###
MOVWLW B'1011'    ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1    f#    #bf#    f#    #b
MOVWFF LATC      ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g)          # g #    # g #    #    #
BSF     LATC,5    ;saídas display 7seg-digito dezenas(c)                ###    ###
BCF     LATC,6    ;saída display 7seg-digito dezenas(b)                  #c     #ce#    #c
BSF     LATC,7    ;saída display 7seg-digito dezenas(a)                  #      d #    # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0          ###    ###
MOVWFF LATA      ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF     LATE,0    ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'01110011'
MOVWFF LATD      ;saída DAC
GOTO    TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;-----

```

```

U500;tensão 500V (500)
MOVWLW B'01101101' ;mostra '5':pto=0,g=1,f=1,e=0,d=1,c=1,b=0,a=1          a      a      a
MOVWFF LATB      ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)    ###    ###    ###
MOVWLW B'1110'    ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0    f#    f#    #bf#    #b
MOVWFF LATC      ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g)          # g #    #    #    #
BSF     LATC,5    ;saídas display 7seg-digito dezenas(c)                ###
BSF     LATC,6    ;saída display 7seg-digito dezenas(b)                  #ce#    #ce#    #c
BSF     LATC,7    ;saída display 7seg-digito dezenas(a)                  d #    # d #    # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0          ###    ###    ###
MOVWFF LATA      ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF     LATE,0    ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'10000000'
MOVWFF LATD      ;saída DAC
GOTO    TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;-----

```

```

U550;tensão 550V (550)
MOVWLW B'01101101' ;mostra '5':pto=0,g=1,f=1,e=0,d=1,c=1,b=0,a=1          a      a      a
MOVWFF LATB      ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)    ###    ###    ###
MOVWLW B'1011'    ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1    f#    f#    f#    #b
MOVWFF LATC      ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g)          # g #    # g #    #    #
BSF     LATC,5    ;saídas display 7seg-digito dezenas(c)                ###    ###
BCF     LATC,6    ;saída display 7seg-digito dezenas(b)                  #c     #ce#    #c
BSF     LATC,7    ;saída display 7seg-digito dezenas(a)                  d #    d #    # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0          ###    ###    ###
MOVWFF LATA      ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF     LATE,0    ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'10001100'
MOVWFF LATD      ;saída DAC
GOTO    TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;-----

```

```

U600;tensão 600V (600)
MOVWLW B'01111101' ;mostra '6':pto=0,g=1,f=1,e=1,d=1,c=1,b=0,a=1          a      a      a
MOVWFF LATB      ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)    ###    ###    ###
MOVWLW B'1110'    ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0    f#    f#    #bf#    #b
MOVWFF LATC      ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g)          # g #    #    #    #
BSF     LATC,5    ;saídas display 7seg-digito dezenas(c)                ###
BSF     LATC,6    ;saída display 7seg-digito dezenas(b)                  e#    #ce#    #ce#    #c
BSF     LATC,7    ;saída display 7seg-digito dezenas(a)                  # d #    # d #    # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0          ###    ###    ###
MOVWFF LATA      ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF     LATE,0    ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'10011001'
MOVWFF LATD      ;saída DAC
GOTO    TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;-----

```

```

U650;tensão 650V (650)
MOVWLW B'01111101' ;mostra '6':pto=0,g=1,f=1,e=1,d=1,c=1,b=0,a=1          a      a      a
MOVWFF LATB      ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)    ###    ###    ###
MOVWLW B'1011'    ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1    f#    f#    f#    #b
MOVWFF LATC      ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g)          # g #    # g #    #    #
BSF     LATC,5    ;saídas display 7seg-digito dezenas(c)                ###    ###
BCF     LATC,6    ;saída display 7seg-digito dezenas(b)                  e#    #c     #ce#    #c
BSF     LATC,7    ;saída display 7seg-digito dezenas(a)                  # d #    d #    # d #
MOVWLW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0          ###    ###    ###
MOVWFF LATA      ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF     LATE,0    ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVWLW B'10100110'
MOVWFF LATD      ;saída DAC
GOTO    TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;-----

```

```

U700;tensão 700V (700)
MOV LW B'00000111' ;mostra '7':pto=0,g=0,f=0,e=0,d=0,c=1,b=1,a=1 a a a
MOV WF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOV LW B'1110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 #bf# #bf# #b
MOV WF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # # # # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) #ce# #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # # d # # d #
MOV LW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ###
MOV WF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOV LW B'10110011'
MOV WF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U750;tensão 750V (750)
MOV LW B'00000111' ;mostra '7':pto=0,g=0,f=0,e=0,d=0,c=1,b=1,a=1 a a a
MOV WF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOV LW B'1011' ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1 #bf# f# #b
MOV WF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # # g # # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BCF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) #c #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # d # # d #
MOV LW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ###
MOV WF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOV LW B'10111111'
MOV WF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U800;tensão 800V (800)
MOV LW B'01111111' ;mostra '8':pto=0,g=1,f=1,e=1,d=1,c=1,b=1,a=1 a a a
MOV WF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOV LW B'1110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 f# #bf# #bf# #b
MOV WF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # g # # # # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) e# #ce# #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # d # # d # # d #
MOV LW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ### ###
MOV WF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOV LW B'11001100'
MOV WF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U850;tensão 850V (850)
MOV LW B'01111111' ;mostra '8':pto=0,g=1,f=1,e=1,d=1,c=1,b=1,a=1 a a a
MOV WF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOV LW B'1011' ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1 f# #bf# f# #b
MOV WF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # g # # g # # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BCF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) e# #c #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # d # d # # d #
MOV LW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ### ###
MOV WF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOV LW B'11011001'
MOV WF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U900;tensão 900V (900)
MOV LW B'01100111' ;mostra '9':pto=0,g=1,f=1,e=0,d=0,c=1,b=1,a=1 a a a
MOV WF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)### ### ###
MOV LW B'1110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 f# #bf# #bf# #b
MOV WF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g) # g # # # # #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c) ###
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b) #ce# #ce# #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a) # # d # # d #
MOV LW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0 ### ### ###
MOV WF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOV LW B'11100110'
MOV WF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada
;

```

```

U950;tensão 950V (95)
MOVW B'01100111' ;mostra '9':pto=0,g=1,f=1,e=0,d=0,c=1,b=1,a=1      a      a      a
MOVWF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)###    ###    ###
MOVW B'1011' ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1      f#    #bf#    f#    #b
MOVWF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g)      # g #    # g #    #    #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c)      ###    ###
BCF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b)      #c    #ce#    #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a)      #    d #    # d #
MOVW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0      ###    ###
MOVWF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVW B'11110010'
MOVWF LATD ;saída DAC
GOTO TSELECCIONADA;tensão seleccionada

```

```

-----
U1000;tensão 1000V (1.0)
MOVW B'10000110' ;mostra '1':pto=1,g=0,f=0,e=0,d=0,c=1,b=1,a=0      a      a
MOVWF LATB ;saídas display 7seg-digito centenas(pto,g,f,e,d,c,b,a)      ###    ###
MOVW B'1110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0      #b    f#    #bf#    #b
MOVWF LATC ;saídas display 7seg-digito dezenas(d,e,f,g)      #    #    #    #    #
BSF LATC,5 ;saídas display 7seg-digito dezenas(c)
BSF LATC,6 ;saída display 7seg-digito dezenas(b)      #c    e#    #ce#    #c
BSF LATC,7 ;saída display 7seg-digito dezenas(a)      #    # d #    # d #
MOVW B'111110' ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0      #    ###    ###
MOVWF LATA ;saídas display 7seg-digito unidades(b,c,d,e,f,g)      pto
BSF LATE,0 ;saída display 7seg-digito unidades(a)
MOVW B'11111111'
MOVWF LATD ;saída DAC
TSELECCIONADA ;tensão seleccionada
RETURN ;sai da rotina TENSÃO

```

```

; * * * * *
;*                               INICIO DO PROGRAMA
;* * * * *

```

```

INICIO
;Configuração dos PORT:
MOVW B'00000000'
MOVWF TRISA ;define o PORTA como saídas digitais
MOVW B'00000000'
MOVWF TRISB ;define o PORTB como saídas digitais
MOVW B'00010000'
MOVWF TRISC ;define o PORTC como entradas/saídas digitais
MOVW B'00000000'
MOVWF TRISD ;define o PORTD como saídas digitais
MOVW B'100'
MOVWF TRISE ;define o PORTE como entradas/saídas digitais
MOVW B'00000001'
MOVWF ANSEL1 ;define RE2/AN8 como sendo uma entrada analógica

```

```

-----
;Configuração dos TIMERS:
MOVW B'11000000'
MOVWF T0CON ;permite o uso do TIMER0,com prescaler 1:2(factor multiplicativo do TIMER=2)
;bit7 - TMROON=1 - TIMER0 activo
;bit6 - T016BIT=1 - TIMER0 configurado como um temporizador de 8bit's
;bit5 - T0CS=0 - clock interno
;bit4 - T0SE=0 - incremento do TIMER0 nas transições ascendentes no
; pino T0CKI
;bit3 - PSA=0 - prescaler do TIMER0 é atribuido
;bit2-0 - TOPS2:T0PS0=000 - prescaler 1:2 seleccionado

CLRF T1CON ;TIMER1 desligado

CLRF T2CON ;TIMER2 desligado
-----

```

;Configuração dos INTERRUPTS:

```
MOVW B'10000000'  
MOVWF RCON ;activa os níveis de prioridade para as interrupções  
;bit7 - IPEN=1 - níveis de prioridade para as interrupções activos  
;bit6 - 0 - não implementado  
;bit5 - 0 - não implementado  
;bit4 - RI=0 - limpa a flag do RESET  
;bit3 - TO=0 - limpa a flag do WATCHDOG TIME-OUT  
;bit2 - PD=0 - limpa a flag do POWER-DOWN DETECTION  
;bit1 - POR=0 - limpa a flag do POWER-ON RESET STATUS  
;bit0 - BOR=0 - limpa a flag do BROWN-OUT STATUS  
  
MOVW B'10000000'  
MOVWF INTCON ;habilita todas as interrupções de alta prioridade  
;bit7 - GIE/GIEH=1 - activa todas as interrupções de alta prioridade  
;bit6 - PEIE/GIEL=0 - desactiva todas as interrupções periféricas de  
; baixa prioridade  
;bit5 - TMR0IE=0 - desactiva a interrupção do TIMER0  
;bit4 - INT0IE=0 - desactiva a interrupção externa INT0  
;bit3 - RBIE=0 - desactiva as interrupções externas por mudança de estado  
; nos pinos RB7:RB4  
;bit2 - TMR0IF=0 - limpa a flag de "overflow" do TIMER0  
;bit1 - INT0IF=0 - limpa a flag de interrupção do INT0  
;bit0 - RBIF=0 - limpa a flag de interrupção dos pinos RB7:RB4  
  
MOVW B'00100000'  
MOVWF INTCON2 ;habilita a interrupção externa do INT1 no flanco ascendente  
;bit7 - RBPU=0 - pull-ups no PORTB desligados  
;bit6 - INTEDG0=0 - interrupção do INT0 no flanco descendente  
;bit5 - INTEDG1=1 - interrupção do INT1 no flanco ascendente  
;bit4 - INTEDG2=0 - interrupção do INT2 no flanco descendente  
;bit3 - 0 - não implementado  
;bit2 - TMR0IP=0 - prioridade baixa para a interrupção do TIMER0  
;bit1 - 0 - não implementado  
;bit0 - RBIP=0 - prioridade baixa para a interrupção externa no PORTB  
  
MOVW B'01001000'  
MOVWF INTCON3 ;permite a interrupção externa do INT1 com prioridade alta  
;bit7 - INT2IP=0 - prioridade baixa para a interrupção externa do INT2  
;bit6 - INT1IP=1 - prioridade alta para a interrupção externa do INT1  
;bit5 - 0 - não implementado  
;bit4 - INT2IE=0 - interrupção externa do INT2 desabilitada  
;bit3 - INT1IE=0 - interrupção externa do INT1 habilitada  
;bit2 - 0 - não implementado  
;bit1 - INT2IF=0 - limpa a flag INT2IF  
;bit0 - INT1IF=0 - limpa a flag INT1IF
```

;Configuração do CONVERSOR A/D:

```
MOVW B'00000001'  
MOVWF ADCON0 ;conversor A/D activo  
;bit7 - 0 - não implementado  
;bit6 - 0 - não implementado  
;bit5 - ACONV=0 - modo "single-shot" activo  
;bit4 - ACSCH=0 - converte um único canal  
;bit3-2 - ACMOD1:ACMOD0=00 - selecciona o canal MODO1, GRUPO A é adquirido e  
; convertido  
;bit1 - GO/DONE=0 - conversão A/D desligada  
;bit0 - ADON=1 - módulo conversor A/D activo  
  
MOVW B'00010000'  
MOVWF ADCON1 ;FIFO "buffer" activo (First In First Out)  
;bit7-6 - VCFG1:VCFG0=00 - Vref+=AVDD; Vref-=AVSS, AN2 e AN3 são entradas  
; analógicas ou I/O digitais  
;bit5 - 0 - não implementado  
;bit4 - FIFOEN=1 - FIFO activo  
;bit3 - BFEMT=0 - FIFO não está vazio  
;bit2 - BFOVFL=0 - limpa a flag de "overflow" do resultado da conversão A/D  
;bit1-0 - ADPNT1:ADPNT0=00 - endereço 0 do buffer  
  
MOVW B'00000111'  
MOVWF ADCON2 ;resultado da conversão A/D justificado à esquerda  
;bit7 - ADFM=0 - resultado da conversão A/D justificado à esquerda  
;bit6-3 - ACQT3:ACQT0=0000 - inicia a conversão imediatamente após o GO/DONE  
;bit2-0 - ADCS2:ADCS0=111 - clock da conversão A/D resulta do oscilador  
; interno RC
```

```

;* * * * *
;*
;* * * * *          INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS          *
;* * * * *

    CLRFB  PORTA    ;limpa o PORTA
    CLRFB  PORTB    ;limpa o PORTB
    CLRFB  PORTC    ;limpa o PORTC
    CLRFB  PORTD    ;limpa o PORTD
    CLRFB  PORTE    ;limpa o PORTE

    CLRFB  LATA     ;limpa o LATA
    CLRFB  LATB     ;limpa o LATB
    CLRFB  LATC     ;limpa o LATC
    CLRFB  LATD     ;limpa o LATD
    CLRFB  LATE     ;limpa o LATE

;* * * * *
;*
;* * * * *          ROTINA PRINCIPAL          *
;* * * * *

MAIN
    CALL   TENSAOFONTE    ;chama a rotina TENSAOFONTE
    GOTO   MAIN

;* * * * *
;*
;* * * * *          FIM DO PROGRAMA          *
;* * * * *

    END

```

Anexo 6 - Código fonte da programação do microcontrolador responsável pela Geração dos disparos dos IGBT's

```

-----
;
;                               CIRCUITO DE GERAÇÃO DOS DISPAROS DOS IGBT'S - Nuno Santos
;
-----
;* * * * *
;*                               ARQUIVOS DE DEFINIÇÕES
;* * * * *

#INCLUDE <P18F4331.INC> ;arquivo padrão microchip para 18f4331

CONFIG OSC = HS ;configurar oscilador externo HS de 20MHz
CONFIG WDTCN = OFF ;desligar Watchdog Timer
CONFIG LVP = OFF ;desligar Low Voltage Program
CONFIG BOREN = OFF ;desligar Brown-out Reset
CONFIG MCLR = ON ;activar Master Clear (RE3 inactiva)
CONFIG PWRTE = ON ;activar Power-up Timer

;* * * * *
;*                               PAGINAÇÃO DE MEMÓRIA
;* * * * *
;definição de comandos de usuário para alteração da página de memória

;* * * * *
;*                               VARIÁVEIS
;* * * * *
; definição dos nomes e endereços de todas as variáveis utilizadas pelo sistema

CBLOCK 0x20 ;endereço inicial da memória de usuário
MASCARA
MODO
TCARGA
TCARGAENTRE
TPULSOSNEGATIVOS ;variáveis
TPULSOSPOSITIVOS
TRELAX
VALORLARG
VALORFREQ
ENDC ;fim do bloco de memória

;* * * * *
;*                               VECTOR DE RESET
;* * * * *

ORG 0x00 ;endereço inicial de processamento
GOTO INICIO

```

```

;* * * * *
;*
;* * * * *          INTERRUPTÕES
;* * * * *

```

ORG 0x04 ;endereço de desvio das interrupções
NOP
NOP
BTFSC INTCON3,INT1IF ;testa a flag INT1IF
GOTO LIMITE ;interrupção externa do INT1 - salta para a label LIMITE
CLRF MODO ;interrupção externa do INT0 - limpa o registo MODO
MOVLW B'00000111' ;manda para o acumulador o valor '00000111'
MOVWF MASCARA ;carrega o registo MASCARA com o valor do acumulador

LOOP
MOVF PORTC,W ;manda para o acumulador o que está no PORTC
ANDWF MASCARA,0 ;AND do acumulador com o registo MASCARA para ler só os RC2,RC1,RC0
XORWF MODO,0 ;XOR com o registo MODO para saber qual foi o modo seleccionado
BTFSC STATUS,Z ;testa a flag de sinal do STATUS
GOTO FIM ;flag Z=1(resultado no acumulador=0) - modo escolhido=registo MODO
INCF MODO,1 ;flag Z=0- modo escolhido não é = ao registo MODO,incrementa-o
GOTO LOOP ;salta para a label "LOOP"

FIM
BCF INTCON,INT0IF ;flag INT0IF=1;limpa a flag para nova interrupção do INT0
BSF INTCON,INT0IE ;permite novamente a interrupção do INT0
BSF INTCON,GIE ;permite novamente as interrupções gerais
CLRF WREG ;limpa o conteúdo do acumulador
GOTO MAIN ;salta para a rotina principal

LIMITE
CLRF LATA ;limpa o PORTA
CLRF LATB ;limpa o PORTB
SETF LATB ;limpa o PORTB(lógica invertida)
CLRF LATC ;limpa o PORTC
MOVLW B'11001111' ;mostra 'E':pto=1,a=1,b=0,c=0,d=1,e=1,f=1,g=1 a
MOVWF LATD ;saída display 7segmentos f#
GOTO LIMITE ;salta para a label LIMITE e fica em loop # g
RETFIE ; #####
; e#
; # d
; #####


```

;-----
;ROTINA DO CC DA CARGA APÓS IMPULSOS NEGATIVOS: (1us)
;Tei(RB5)=0, Tdi(RB4)=1, Tci(RB3)=0, Tbi(RB2)=0, Tai(RB1)=0, T0(RB0)=0
CCNEGATIVO
    NOP                ;atraso de 200ns
    CLRF    WREG        ;limpa o acumulador (perde tempo)
    NOP                ;atraso de 200ns
;   MOV LW    B'00010000' ;Tdi ON
    MOV LW    B'11101111' ;Tdi ON(lógica invertida)
    MOV WF    LATB      ;manda para o PORTB os sinais de comando dos IGBTs
    RETURN          ;regressa à rotina principal

;-----
;ROTINA DOS IMPULSOS POSITIVOS: (ajustável de 1,6us a 20us)
;Tei(RB5)=0, Tdi(RB4)=1, Tci(RB3)=0, Tbi(RB2)=0, Tai(RB1)=1, T0(RB0)=0
PULSOSPOSITIVOS
    INC F    TPULSOSPOSITIVOS ;incrementa o registo TPULSOSPOSITIVOS
    MOV FF   VALORLARG,WREG    ;manda para o acumulador o que está no registo VALORLARG
    ADD WF   TPULSOSPOSITIVOS,F ;soma o conteúdo do acumulador ao registo TPULSOSPOSITIVOS
;                                     e guarda o resultado no mesmo
;   MOV LW    B'00010010' ;Tdi ON, Tai ON
    MOV LW    B'11101101' ;Tdi ON, Tai ON(lógica invertida)
    MOV WF    LATB      ;manda para o PORTB os sinais de comando dos IGBTs
DECREMENTA4
    DEC FSZ  TPULSOSPOSITIVOS,F ;decrementa o registo TPULSOSPOSITIVOS
    GOTO     DECREMENTA4      ;registo TPULSOSPOSITIVOS ainda não chegou a 0,decrementa novamente;
;                                     salta para a label DECREMENTA4
;   RETURN          ;registo TPULSOSPOSITIVOS chegou a 0,regressa à rotina principal

;-----
;ROTINA DO CC DA CARGA APÓS IMPULSOS POSITIVOS: (1us)
;Tei(RB5)=1, Tdi(RB4)=0, Tci(RB3)=0, Tbi(RB2)=0, Tai(RB1)=0, T0(RB0)=0
CCPOSITIVO
    NOP                ;atraso de 200ns
    CLRF    WREG        ;limpa o acumulador (perde tempo)
    NOP                ;atraso de 200ns
;   MOV LW    B'00100000' ;Tei ON
    MOV LW    B'11011111' ;Tei ON(lógica invertida)
    MOV WF    LATB      ;manda para o PORTB os sinais de comando dos IGBTs
    RETURN          ;regressa à rotina principal

;-----
;ROTINA DOS TEMPOS MORTOS (2us)
TEMPOMORTO
;   CLRF    LATB        ;limpa o PORTB
    SETF    LATB        ;limpa o PORTB(lógica invertida)
    NOP                ;atraso de 200ns
    RETURN          ;regressa à rotina principal

;-----
;ROTINA DO TEMPO DE RELAXAÇÃO: (5us)
TEMPORELAX
;   CLRF    LATB        ;limpa o PORTB
    SETF    LATB        ;limpa o PORTB(lógica invertida)
    MOV LW    .3
    MOV WF    TRELAX    ;tempo de 5us
DECREMENTA5
    NOP                ;atraso de 200ns
    DEC FSZ  TRELAX    ;decrementa o registo TRELAX
    GOTO     DECREMENTA5 ;registo TRELAX ainda não chegou a 0,decrementa novamente;
;                                     salta para a label DECREMENTA5
;   NOP                ;atraso de 200ns
    RETURN          ;registo TRELAX chegou a 0,regressa à rotina principal

```

```

-----
;ROTINA DE SELECÇÃO DA FREQUÊNCIA
FREQUENCIA
    BCF    ADCHS,GASEL0        ;selecciona a entrada AN0 do grupo A
    BCF    ADCHS,GASEL1
    BSF    ADCON0,GO_DONE      ;inicia a conversão
CONVERSAO0
    BTFSC  ADCON0,GO_DONE      ;testa o bit GO_DONE para saber se já terminou a conversão
    GOTO   CONVERSAO0          ;GO_DONE=1 - em processo de conversão;salta para a label CONVERSAO0
    MOVFF  ADRESH,VALORFREQ    ;GO_DONE=0 - conversão terminada;
;                               guarda o valor da conversão no registo VALORFREQ
    MOVLW  .254                ;posição do potenciometro(tensão) para a FREQ minima possivel
    CPFSGT VALORFREQ            ;compara com o registo VALORFREQ
    GOTO   SELECCIONADA        ;registo VALORFREQ<.254 -> não chegou ao minino;
;                               salta para a label SELECCIONADA
    MOVWF  VALORFREQ            ;registo VALORFREQ>.254 -> ultrapassou o limite minimo de FREQ possivel
;                               move .254(valor correspondente ao limite minimo) para o registo VALORFREQ
SELECCIONADA
    MOVLW  .2                  ;posição do potenciometro(tensão) para a FREQ maxima possivel
    CPFSGT VALORFREQ            ;compara com o registo VALORFREQ
    MOVWF  VALORFREQ            ;registo VALORFREQ<.2 -> ultrapassou o limite maximo de FREQ possivel
;                               move .2(valor correspondente ao limite maximo) para o registo VALORFREQ
    RETURN                       ;registo VALORFREQ<.254 -> não chegou ao maximo;
;                               regressa à rotina principal
-----
;ROTINA DE SELECÇÃO DA LARGURA DO IMPULSO
LIMPULSO
    BSF    ADCHS,GASEL0        ;selecciona a entrada AN4 do grupo A
    BCF    ADCHS,GASEL1
    BSF    ADCON0,GO_DONE      ;inicia a conversão
CONVERSAO1
    BTFSC  ADCON0,GO_DONE      ;testa o bit GO_DONE para saber se já terminou a conversão
    GOTO   CONVERSAO1          ;GO_DONE=1 - em processo de conversão;salta para a label CONVERSAO1
    MOVFF  ADRESH,VALORLARG    ;GO_DONE=0 - conversão terminada;
;                               guarda o valor da conversão no registo VALORLARG
    MOVLW  .31                 ;posição do potenciometro(tensão) para uma largura de impulso máxima de 20us
    CPFSGT VALORLARG            ;compara com o registo VALORLARG
    GOTO   SELECCIONADO        ;registo VALORLARG<.31 -> não chegou ao limite;
;                               salta para a label SELECCIONADO
    MOVWF  VALORLARG            ;registo VALORLARG>.31 -> ultrapassou o limite máx de 20us
;                               move .31 (valor correspondente a 20us) para o registo VALORLARG
SELECCIONADO
    RETURN                       ;largura de impulso seleccionada
;                               regressa à rotina principal

; * * * * *
;*                               INICIO DO PROGRAMA
;* * * * *
INICIO
;Configuração dos PORT:
    MOVLW  B'00010001'
    MOVWF  TRISA    ;define o PORTA como entradas
    MOVLW  B'00010001'
    MOVWF  ANSEL0   ;define as entradas do PORTA como sendo analógicas
    MOVLW  B'00000000'
    MOVWF  TRISB    ;define o PORTB como saídas digitais
    MOVLW  B'00011111'
    MOVWF  TRISC    ;define o PORTC como entradas/saídas digitais
    MOVLW  B'00000000'
    MOVWF  TRISD    ;define o PORTD como saídas digitais
    MOVLW  B'000'
    MOVWF  TRISE    ;define o PORTE como saídas digitais
-----
;Configuração dos TIMERS:
    MOVLW  B'11000000'
    MOVWF  T0CON     ;permite o uso do TIMER0,com prescaler 1:2(factor multiplicativo do TIMER=2)
;                               ;bit7 - TMR0ON=1 - TIMER0 activo
;                               ;bit6 - T016BIT=1 - TIMER0 configurado como um temporizador de 8bit's
;                               ;bit5 - T0CS=0 - clock interno
;                               ;bit4 - T0SE=0 - incremento do TIMER0 nas transições ascendentes no
;                               ;                               pino T0CKI
;                               ;bit3 - PSA=0 - prescaler do TIMER0 é atribuído
;                               ;bit2-0 - TOPS2:T0PS0=000 - prescaler 1:2 seleccionado

    CLRF  T1CON     ;TIMER1 desligado
    CLRF  T2CON     ;TIMER2 desligado

```

```

-----
;Configuração dos INTERRUPTS:
  MOV LW  B'10000000'
  MOV WF  RCON      ;activa os níveis de prioridade para as interrupções
                  ;bit7 - IPEN=1 - níveis de prioridade para as interrupções activos
                  ;bit6 - 0 - não implementado
                  ;bit5 - 0 - não implementado
                  ;bit4 - RI=0 - limpa a flag do RESET
                  ;bit3 - TO=0 - limpa a flag do WATCHDOG TIME-OUT
                  ;bit2 - PD=0 - limpa a flag do POWER-DOWN DETECTION
                  ;bit1 - POR=0 - limpa a flag do POWER-ON RESET STATUS
                  ;bit0 - BOR=0 - limpa a flag do BROWN-OUT STATUS

  MOV LW  B'10010000'
  MOV WF  INTCON     ;habilita a interrupção externa através do RC3/INT0
                  ;bit7 - GIE/GIEH=1 - activa todas as interrupções de alta prioridade
                  ;bit6 - PEIE/GIEL=0 - desactiva todas as interrupções periféricas de
;                  baixa prioridade
                  ;bit5 - TMR0IE=0 - desactiva a interrupção do TIMER0
                  ;bit4 - INT0IE=1 - activa a interrupção externa INT0
;                  ;bit3 - RBIE=0 - desactiva as interrupções externas por mudança de estado
;                  nos pinos RB7:RB4
                  ;bit2 - TMR0IF=0 - limpa a flag de "overflow" do TIMER0
                  ;bit1 - INT0IF=0 - limpa a flag de interrupção do INT0
                  ;bit0 - RBIF=0 - limpa a flag de interrupção dos pinos RB7:RB4

  MOV LW  B'00100000'
  MOV WF  INTCON2    ;habilita a interrupção externa do INT1 no flanco ascendente
                  ;bit7 - RBPU=0 - pulL-ups no PORTB desligados
                  ;bit6 - INTEDG0=0 - interrupção do INT0 no flanco descendente
                  ;bit5 - INTEDG1=1 - interrupção do INT1 no flanco ascendente
                  ;bit4 - INTEDG2=0 - interrupção do INT2 no flanco descendente
                  ;bit3 - 0 - não implementado
                  ;bit2 - TMR0IP=0 - prioridade baixa para a interrupção do TIMER0
                  ;bit1 - 0 - não implementado
                  ;bit0 - RBIP=0 - prioridade baixa para a interrupção externa no PORTB

  MOV LW  B'01001000'
  MOV WF  INTCON3    ;permite a interrupção externa do INT1 com prioridade alta
                  ;bit7 - INT2IP=0 - prioridade baixa para a interrupção externa do INT2
                  ;bit6 - INT1IP=1 - prioridade alta para a interrupção externa do INT1
                  ;bit5 - 0 - não implementado
                  ;bit4 - INT2IE=0 - interrupção externa do INT2 desabilitada
                  ;bit3 - INT1IE=1 - interrupção externa do INT1 habilitada
                  ;bit2 - 0 - não implementado
                  ;bit1 - INT2IF=0 - limpa a flag INT2IF
;                  ;bit0 - INT1IF=0 - limpa a flag INT1IF
-----

;Configuração do CONVERSOR A/D:
  MOV LW  B'00000001'
  MOV WF  ADCON0     ;conversor A/D activo
                  ;bit7 - 0 - não implementado
                  ;bit6 - 0 - não implementado
                  ;bit5 - ACONV=0 - modo "single-shot" activo
                  ;bit4 - ACSCH=0 - converte um único canal
;                  ;bit3-2 - ACMOD1:ACMOD0=00 - selecciona o canal MOD01, GRUPO A é adquirido e
;                  convertido
                  ;bit1 - GO/DONE=0 - conversão A/D desligada
                  ;bit0 - ADON=1 - módulo conversor A/D activo

  MOV LW  B'00010000'
  MOV WF  ADCON1     ;FIFO "buffer" activo (First In First Out)
                  ;bit7-6 - VCFG1:VCFG0=00 - Vref+=AVDD; Vref-=AVSS, AN2 e AN3 são entradas
;                  analógicas ou I/O digitais
                  ;bit5 - 0 - não implementado
                  ;bit4 - FIFOEN=1 - FIFO activo
                  ;bit3 - BFEMT=0 - FIFO não está vazio
                  ;bit2 - BFOVFL=0 - limpa a flag de "overflow" do resultado da conversão A/D
;                  ;bit1-0 - ADPNT1:ADPNT0=00 - endereço 0 do buffer

  MOV LW  B'00000111'
  MOV WF  ADCON2     ;resultado da conversão A/D justificado à esquerda
                  ;bit7 - ADFM=0 - resultado da conversão A/D justificado à esquerda
;                  ;bit6-3 - ACQT3:ACQT0=0000 - inicia a conversão imediatamente após o GO/DONE
;                  ;bit2-0 - ADCS2:ADCS0=111 - clock da conversão A/D resulta do oscilador
;                  interno RC

```

```

;* * * * *
;*
;          INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS
;* * * * *

    CLRFB   LATA    ;limpa o PORTA
    CLRFB   WREG    ;limpa o acumulador
    CLRFB   MODO    ;limpa o registo MODO
;   CLRFB   LATB    ;limpa o PORTB
    SETFB   LATB    ;limpa o PORTB (lógica invertida)

;* * * * *
;*
;          ROTINA PRINCIPAL
;* * * * *

; 1º-ESCOLHA DOS MODOS DE FUNCIONAMENTO
MAIN
    BSFB    LATC,5  ;acende o power do circuito de disparos dos IGBTs
    CPFSEQ  MODO    ;compara o registo MODO com o acumulador(que está a zero)
    GOTO    NEXT1   ;não é igual ao acumulador salta para a label NEXT1
    GOTO    MODO0    ;é igual ao acumulador salta para a label MODO0(RC2=0,RC1=0,RC0=0)
NEXT1
    INCF    WREG    ;incrementa o conteúdo do acumulador W='00000001'
    CPFSEQ  MODO    ;compara o registo MODO com o acumulador
    GOTO    NEXT2   ;não é igual ao acumulador salta para a label NEXT2
    GOTO    MODO1    ;é igual ao acumulador salta para a label MODO1(RC2=0,RC1=0,RC0=1)
NEXT2
    INCF    WREG    ;incrementa o conteúdo do acumulador W='00000010'
    CPFSEQ  MODO    ;compara o registo MODO com o acumulador
    GOTO    NEXT3   ;não é igual ao acumulador salta para a label NEXT3
    GOTO    MODO2    ;é igual ao acumulador salta para a label MODO2(RC2=0,RC1=1,RC0=0)
NEXT3
    INCF    WREG    ;incrementa o conteúdo do acumulador W='00000011'
    CPFSEQ  MODO    ;compara o registo MODO com o acumulador
    GOTO    NEXT4   ;não é igual ao acumulador salta para a label NEXT4
    GOTO    MODO3    ;é igual ao acumulador salta para a label MODO3(RC2=0,RC1=1,RC0=1)
NEXT4
    INCF    WREG    ;incrementa o conteúdo do acumulador W='00000100'
    CPFSEQ  MODO    ;compara o registo MODO com o acumulador
    GOTO    NEXT5   ;não é igual ao acumulador salta para a label NEXT5
    GOTO    MODO4    ;é igual ao acumulador salta para a label MODO4(RC2=1,RC1=0,RC0=0)
NEXT5
    INCF    WREG    ;incrementa o conteúdo do acumulador W='00000101'
    CPFSEQ  MODO    ;compara o registo MODO com o acumulador
    GOTO    NEXT6   ;não é igual ao acumulador salta para a label NEXT6
    GOTO    MODO5    ;é igual ao acumulador salta para a label MODO5(RC2=1,RC1=0,RC0=1)
NEXT6
    INCF    WREG    ;incrementa o conteúdo do acumulador W='00000110'
    CPFSEQ  MODO    ;compara o registo MODO com o acumulador
    GOTO    NEXT7   ;não é igual ao acumulador salta para a label NEXT7
    GOTO    MODO6    ;é igual ao acumulador salta para a label MODO6(RC2=1,RC1=1,RC0=0)
NEXT7
    INCF    WREG    ;incrementa o conteúdo do acumulador W='00000111'
    CPFSEQ  MODO    ;compara o registo MODO com o acumulador
    GOTO    MAIN    ;não é igual ao acumulador salta para a label MAIN
    GOTO    MODO7    ;é igual ao acumulador salta para a label MODO7(RC2=1,RC1=1,RC0=1)

;-----

```

; 2°-MODOS DE FUNCIONAMENTO

MODO0;standby

```
    MOVLW  B'01111110'    ;mostra '0':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=1,f=1,g=0      a
    MOVWF  LATD            ;saída display 7segmentos                #####
M0
;    CLRWF  LATB            ;inibe os sianis de comando dos IGBTs    f#    #b
;    SETF   LATB            ;inibe os sinais de comando IGBTs (lógica invertida)  #    #
;    GOTO   M0              ;salta pra label M0                        e#    #c
;                                                                    # d #
;                                                                    #####
```

MODO1;impulsos negativos

```
    MOVLW  B'00110000'    ;mostra '1':pto=0,a=0,b=1,c=1,d=0,e=0,f=0,g=0
    MOVWF  LATD            ;saída display 7segmentos
M1
    CALL   CARGA           ;chama a rotina CARGA                      #b
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO                                           #
    CALL   BOOTSTRAP       ;chama a rotina BOOTSTRAP
    CALL   LIMPULSO        ;chama a rotina LIMPULSO                                           #c
    CALL   FREQUENCIA      ;chama a rotina FREQUENCIA                                           #
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO
    CALL   PULSOSNEGATIVOS ;chama a rotina PULSOSNEGATIVOS
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO
    GOTO   M1              ;salta para a label M1
```

MODO2;impulsos negativos cc

```
    MOVLW  B'01101101'    ;mostra '2':pto=0,a=1,b=1,c=0,d=1,e=1,f=0,g=1
    MOVWF  LATD            ;saída display 7segmentos
M2
    CALL   CARGA           ;chama a rotina CARGA                      a
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO                                           #####
    CALL   BOOTSTRAP       ;chama a rotina BOOTSTRAP                                           #b
    CALL   LIMPULSO        ;chama a rotina LIMPULSO                                           g #
    CALL   FREQUENCIA      ;chama a rotina FREQUENCIA                                           #####
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO                                           e#
    CALL   PULSOSNEGATIVOS ;chama a rotina PULSOSNEGATIVOS                                       # d
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO                                           #####
    CALL   CCNEGATIVO      ;chama a rotina CCNEGATIVO
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO
    GOTO   M2              ;salta para a label M2
```

MODO3;impulsos positivos

```
    MOVLW  B'01111001'    ;mostra '3':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=1,e=0,f=0,g=1
    MOVWF  LATD            ;saída display 7segmentos
M3
    CALL   CARGA           ;chama a rotina CARGA                      a
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO                                           #####
    CALL   BOOTSTRAP       ;chama a rotina BOOTSTRAP                                           #b
    CALL   LIMPULSO        ;chama a rotina LIMPULSO                                           g #
    CALL   FREQUENCIA      ;chama a rotina FREQUENCIA                                           #####
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO                                           #c
    CALL   PULSOSPOSITIVOS ;chama a rotina PULSOSPOSITIVOS                                       d #
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO                                           #####
    GOTO   M3              ;salta para a label M3
```

MODO4;impulsos positivos cc

```
    MOVLW  B'00110011'    ;mostra '4':pto=0,a=0,b=1,c=1,d=0,e=0,f=1,g=1
    MOVWF  LATD            ;saída display 7segmentos
M4
    CALL   CARGA           ;chama a rotina CARGA                      f#    #b
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO                                           # g #
    CALL   BOOTSTRAP       ;chama a rotina BOOTSTRAP                                           #####
    CALL   LIMPULSO        ;chama a rotina LIMPULSO                                           #c
    CALL   FREQUENCIA      ;chama a rotina FREQUENCIA                                           #
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO
    CALL   PULSOSPOSITIVOS ;chama a rotina PULSOSPOSITIVOS
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO
    CALL   CCPOSITIVO      ;chama a rotina CCPOSITIVO
    CALL   TEMPOMORTO      ;chama a rotina TEMPOMORTO
    GOTO   M4              ;salta para a label M4
```

```

;-----
MODO5;bipolar
  MOV LW B'01011011' ;mostra '5':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=0,f=1,g=1
  MOV WF LATD ;saída display 7segmentos
M5
  CALL CARGA ;chama a rotina CARGA a
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO ####
  CALL BOOTSTRAP ;chama a rotina BOOTSTRAP f#
  CALL LIMPULSO ;chama a rotina LIMPULSO # g
  CALL FREQUENCIA ;chama a rotina FREQUENCIA #####
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO #c
  CALL PULSOSNEGATIVOS ;chama a rotina PULSOSNEGATIVOS d #
  CALL TEMPORELAX ;chama a rotina TEMPORELAX #####
  CALL PULSOSPOSITIVOS ;chama a rotina PULSOSPOSITIVOS
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO
  GOTO M5 ;salta para a label M5

```

```

;-----
MODO6;bipolar cc
  MOV LW B'01011111' ;mostra '6':pto=0,a=1,b=0,c=1,d=1,e=1,f=1,g=1
  MOV WF LATD ;saída display 7segmentos
M6
  CALL CARGA ;chama a rotina CARGA a
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO ####
  CALL BOOTSTRAP ;chama a rotina BOOTSTRAP f#
  CALL LIMPULSO ;chama a rotina LIMPULSO # g
  CALL FREQUENCIA ;chama a rotina FREQUENCIA #####
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO e# #c
  CALL PULSOSNEGATIVOS ;chama a rotina PULSOSNEGATIVOS # d #
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO #####
  CALL CCNEGATIVO ;chama a rotina CCNEGATIVO
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO
;3instruções anteriores:tempo morto(2us)+cc negativo(1us)+tempo morto(2us)=tempo de relaxação(5us)
  CALL PULSOSPOSITIVOS ;chama a rotina PULSOSPOSITIVOS
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO
  CALL CCPOSITIVO ;chama a rotina CCPOSITIVO
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO
  GOTO M6 ;salta para a label M6

```

```

;-----
MODO7;bipolar cc carga
  MOV LW B'01110000' ;mostra '7':pto=0,a=1,b=1,c=1,d=0,e=0,f=0,g=0
  MOV WF LATD ;saída display 7segmentos
M7
  CALL CARGA ;chama a rotina CARGA a
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO ####
  CALL BOOTSTRAP ;chama a rotina BOOTSTRAP #b
  CALL LIMPULSO ;chama a rotina LIMPULSO #
  CALL FREQUENCIA ;chama a rotina FREQUENCIA
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO #c
  CALL PULSOSNEGATIVOS ;chama a rotina PULSOSNEGATIVOS #
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO
  CALL CCNEGATIVO ;chama a rotina CCNEGATIVO
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO
;3instruções anteriores:tempo morto(2us)+cc negativo(1us)+tempo morto(2us)=tempo de relaxação(5us)
  CALL CARGAENTRE ;chama a rotina CARGAENTRE
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO
  CALL PULSOSPOSITIVOS ;chama a rotina PULSOSPOSITIVOS
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO
  CALL CCPOSITIVO ;chama a rotina CCPOSITIVO
  CALL TEMPOMORTO ;chama a rotina TEMPOMORTO
  GOTO M7 ;salta para a label M7

```

```

; * * * * *
; *
; * * * * * FIM DO PROGRAMA *
; * * * * *

```

END

Anexo 7 - Código fonte da programação do microcontrolador responsável pela Protecção

```

-----
;
;                               CIRCUITO DE PROTECÇÃO - Nuno Santos
;
-----
;* * * * *
;*                               ARQUIVOS DE DEFINIÇÕES
;* * * * *
#INCLUDE <P18F2331.INC> ;arquivo padrão microchip para 18f2331

CONFIG OSC = HS           ;configurar oscilador externo HS de 10MHz
CONFIG WDTEN = OFF       ;desligar Watchdog Timer
CONFIG BOREN = OFF       ;desligar Brown-out Reset
CONFIG MCLRE = ON        ;activar Master Clear (RE3 inactiva)
CONFIG PWRTEN = OFF      ;desligar Power-up Timer
CONFIG LVP = OFF         ;desligar Low Voltage Program

;* * * * *
;*                               PAGINAÇÃO DE MEMÓRIA
;* * * * *
;definição de comandos de usuário para alteração da página de memória

;* * * * *
;*                               VARIÁVEIS
;* * * * *
; definição dos nomes e endereços de todas as variáveis utilizadas
; pelo sistema

CBLOCK 0x20               ;endereço inicial da memória de usuário
ENDC                      ;fim do bloco de memória

;* * * * *
;*                               VECTOR DE RESET
;* * * * *

ORG 0x00                  ;endereço inicial de processamento
GOTO INICIO

```

```

;* * * * *
;*
;* * * * *          INTERRUPTÕES
;* * * * *

```

ORG 0x08 ;ENDEREÇO INICIAL DA INTERRUPTÃO
NOB ;provoca um atraso de 400ns
BTFSS INTCON,1 ;testa a flag INTOIF de interrupt do INTO
GOTO IMPNEGATIVO ;INT0IF=0=>INT1IF=1-salta para a label IMPNEGATIVO
GOTO IMPPOSITIVO ;INT0IF=1=>INT1IF=0-salta para a label IMPPOSITIVO

IMPNEGATIVO;interrupção do INT1(RC4) - ordem de leitura do impulso negativo
BTFSC PORTB,5 ;testa o resultado da comparação analógica ACIMA
GOTO SOBRETENSAO ;RB5=1 - SOBRETENSAO
BTFSC PORTB,4 ;testa o resultado da comparação analógica ABAIXO
GOTO TENSAOINSUF ; ;RB4=1 - TENSÃO INSUFICIENTE
GOTO NORMAL

IMPPOSITIVO;interrupção do INT0(RC3) - ordem de leitura do impulso positivo
BTFSC PORTB,7 ;testa o resultado da comparação analógica ACIMA
GOTO SOBRETENSAO ;RB7=1 - SOBRETENSAO
BTFSC PORTB,6 ;testa o resultado da comparação analógica ABAIXO
GOTO TENSAOINSUF ; ;RB6=1 - TENSÃO INSUFICIENTE
GOTO NORMAL

SOBRETENSAO ;RB5=1 OU RB7=1 - anomalia SOBRETENSAO
MOVLW B'1011' ;activa o modo PROTECÇÃO
MOVWF LATB ;fica em loop
GOTO SOBRETENSAO

TENSAOINSUF ;RB4=1 OU RB6=1 - anomalia TENSÃO INSUFICIENTE
MOVLW B'0111' ;activa o modo PROTECÇÃO
MOVWF LATB ;fica em loop
GOTO TENSAOINSUF

NORMAL
BCF INTCON,1 ;habilita novamente a interrupção externa INTO
BCF INTCON3,0 ;habilita novamente a interrupção externa INT1
BSF INTCON,7 ;habilita novamente as interrupções gerais

RETIE

```

;* * * * *
;*
;* * * * *          INICIO DO PROGRAMA          *
;* * * * *

```

INICIO

```

MOVLW   B'0000'
MOVWF   LATB
;Configuração dos PORT:
MOVLW   B'00000000'
MOVWF   TRISA ;define o PORTA como saídas digitais
MOVLW   B'11110000'
MOVWF   TRISB ;define o PORTB como entradas/saídas digitais
MOVLW   B'00011000'
MOVWF   TRISC ;define o PORTC como entradas/saídas digitais

```

```

;Configuração dos INTERRUPTS:
MOVLW   B'10010000'
MOVWF   INTCON ;habilita as interrupções de alta prioridade
;bit7 - GIE/GIEH=1 - activa todas as interrupções de alta prioridade
;bit6 - PEIE/GIEL=0 - desactiva todas as interrupções periféricas de
;
;          baixa prioridade
;bit5 - TMR0IE=0 - desactiva a interrupção do TIMER0
;bit4 - INT0IE=1 - activa a interrupção externa INTO
;bit3 - RBIE=0 - desactiva as interrupções externas por mudança de estado
;
;          nos pinos RB7:RB4
;bit2 - TMR0IF=0 - limpa a flag de "overflow" do TIMER0
;bit1 - INT0IF=0 - limpa a flag de interrupção do INTO
;bit0 - RBIF=0 - limpa a flag de interrupção dos pinos RB7:RB4

```

```

;
MOVLW   B'01100000'
MOVLW   B'01000000' ;(lógica invertida)
MOVWF   INTCON2 ;habilita a interrupção externa do INT1 no flanco ascendente
;bit7 - RBPU=0 - pull-ups no PORTB desligados
;bit6 - INTEDG0=1 - interrupção do INT0 no flanco ascendente
;bit5 - INTEDG1=1 - interrupção do INT1 no flanco ascendente
; (bit5 - INTEDG1=0 - interrupção do INT1 no flanco descendente-lógica invertida)
;bit4 - INTEDG2=0 - interrupção do INT2 no flanco descendente
;bit3 - 0 - não implementado
;bit2 - TMR0IP=0 - prioridade baixa para a interrupção do TIMER0
;bit1 - 0 - não implementado
;bit0 - RBIP=0 - prioridade baixa para a interrupção externa no PORTB

```

```

MOVLW   B'00001000'
MOVWF   INTCON3 ;permite a interrupção externa do INT1 com prioridade alta
;bit7 - INT2IP=0 - prioridade baixa para a interrupção externa do INT2
;bit6 - INT1IP=1 - prioridade alta para a interrupção externa do INT1
;bit5 - 0 - não implementado
;bit4 - INT2IE=0 - interrupção externa do INT2 desabilitada
;bit3 - INT1IE=0 - interrupção externa do INT1 desabilitada
;bit2 - 0 - não implementado
;bit1 - INT2IF=0 - limpa a flag INT2IF
;bit0 - INT1IF=0 - limpa a flag INT1IF

```

```

;* * * * *
;*
;* * * * *          ROTINA PRINCIPAL          *
;* * * * *

```

MAIN

```

MOVLW   B'0000'
MOVWF   LATB ;faz o clear dos sinais de inibição dos restantes circuitos
GOTO    MAIN

```

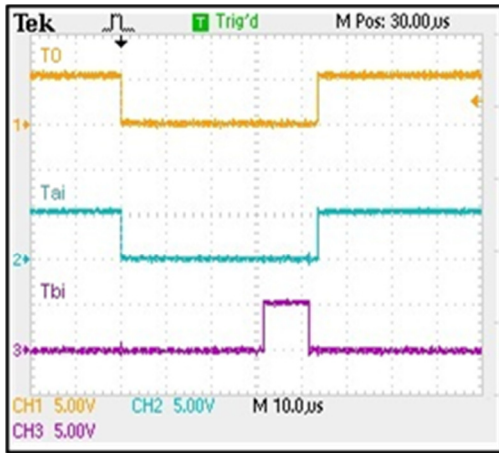
```

;* * * * *
;*
;* * * * *          FIM DO PROGRAMA          *
;* * * * *

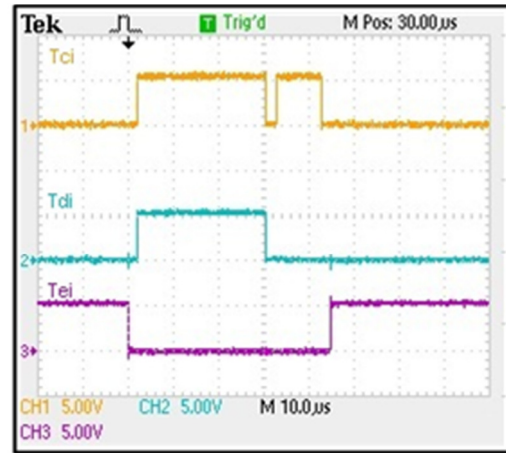
```

END

**Anexo 8 - Sinais de disparo dos
semicondutores controlados para os
diferentes modos de funcionamento com:
 $f=1\text{kHz}; T=10\mu\text{s}$**

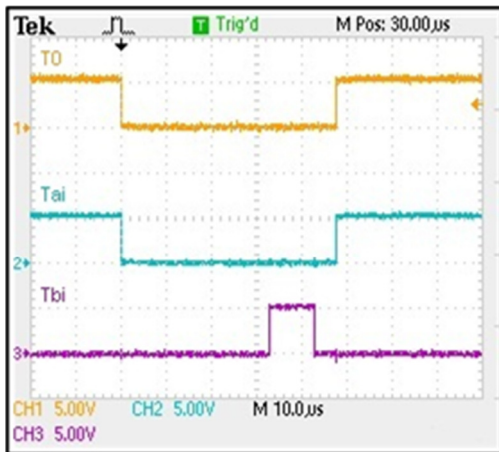


a)

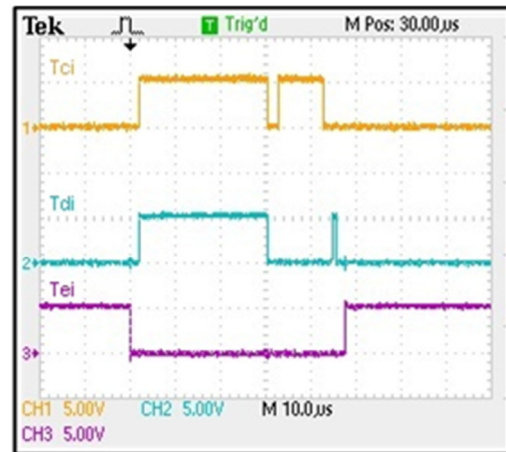


b)

Fig 1 – Sinais de disparo IGBTs para o MODO 1: a) T0, Tai e Tbi; b) Tci, Tdi e Tei

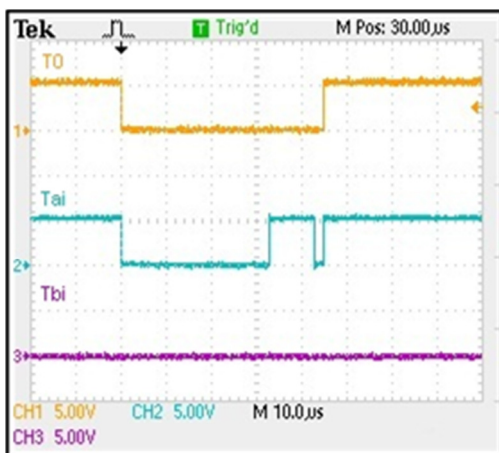


a)

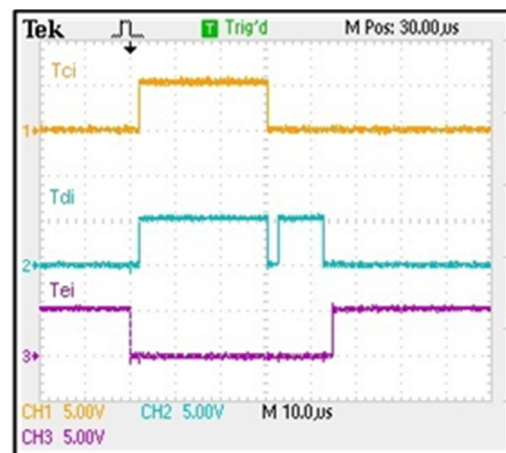


b)

Fig 2 – Sinais de disparo IGBTs para o MODO 2: a) T0, Tai e Tbi; b) Tci, Tdi e Tei

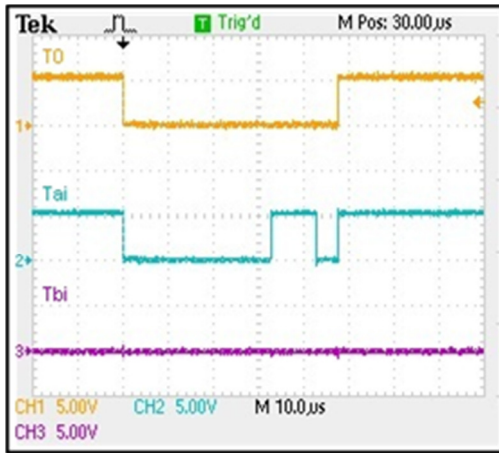


a)

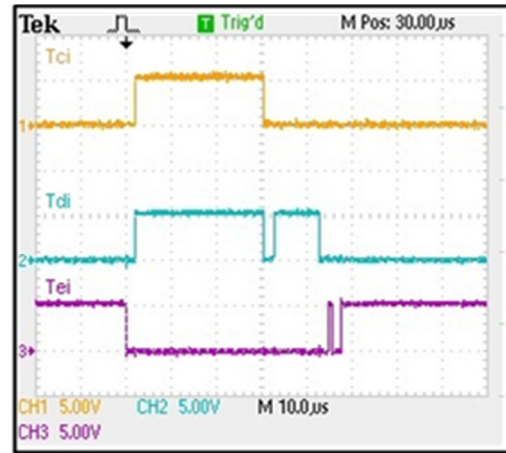


b)

Fig 3 – Sinais de disparo IGBTs para o MODO 3: a) T0, Tai e Tbi; b) Tci, Tdi e Tei

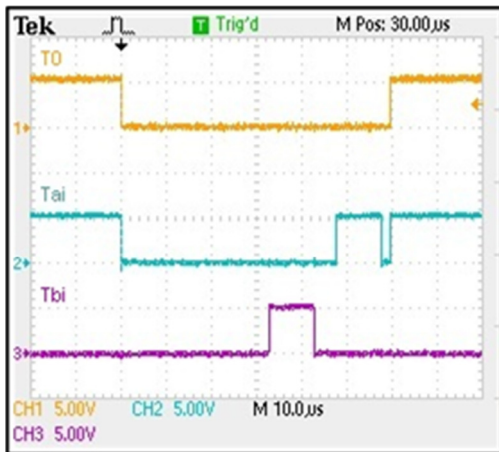


a)

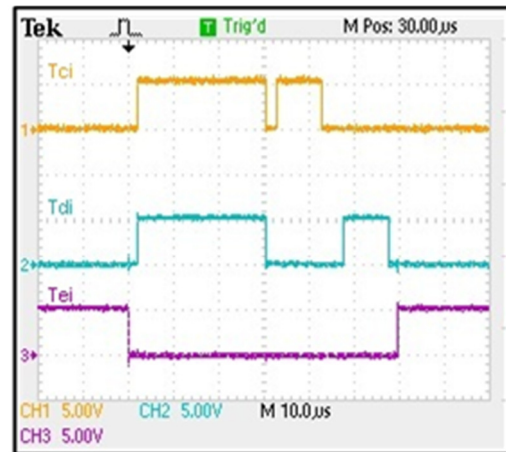


b)

Fig 4 – Sinais de disparo IGBTs para o MODO 4: a) T0, Tai e Tbi; b) Tci, Tdi e Tei

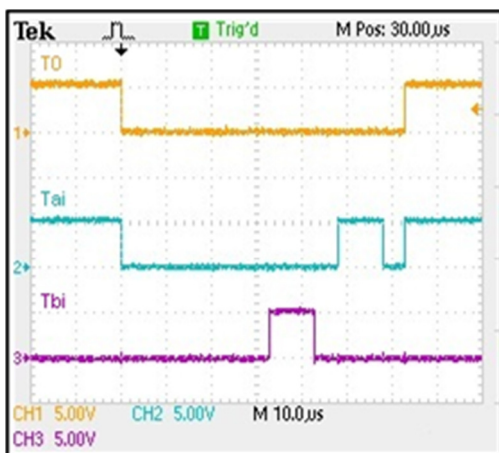


a)

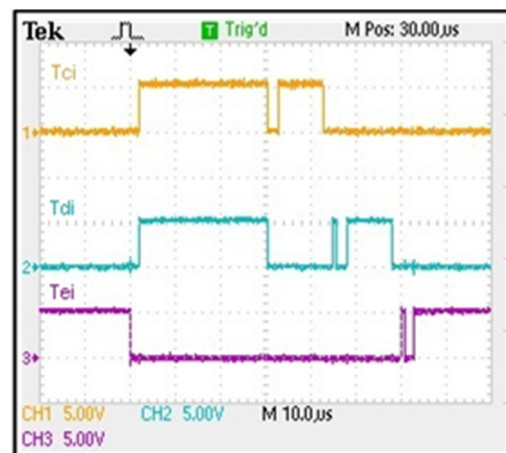


b)

Fig 5 – Sinais de disparo IGBTs para o MODO 5: a) T0, Tai e Tbi; b) Tci, Tdi e Tei

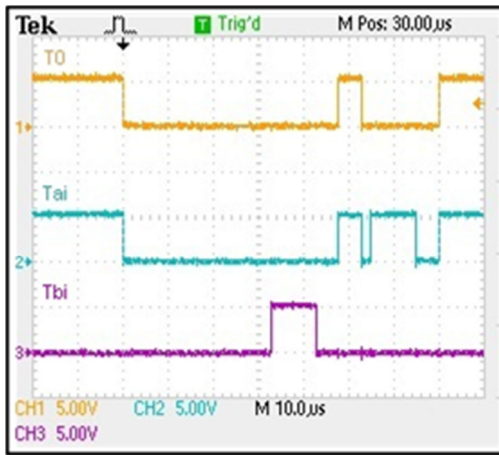


a)

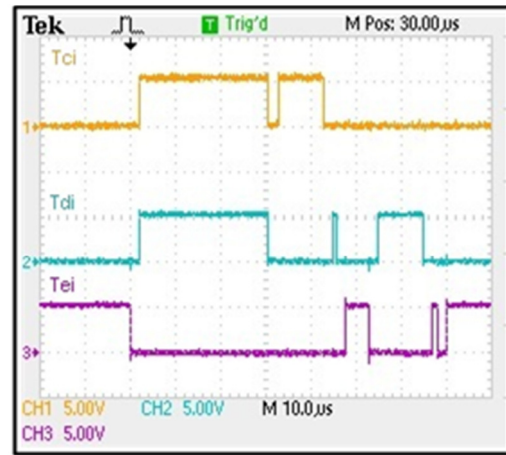


b)

Fig 6 – Sinais de disparo IGBTs para o MODO 6: a) T0, Tai e Tbi; b) Tci, Tdi e Tei



a)



b)

Fig 7 – Sinais de disparo IGBTs para o MODO 7: a) T0, Tai e Tbi; b) Tci, Tdi e Tei

**Anexo 9 - Impulsos de alta tensão
aplicados à Carga para os diferentes
modos de funcionamento com:
 $f=1\text{kHz}; T=10\mu\text{s}$**

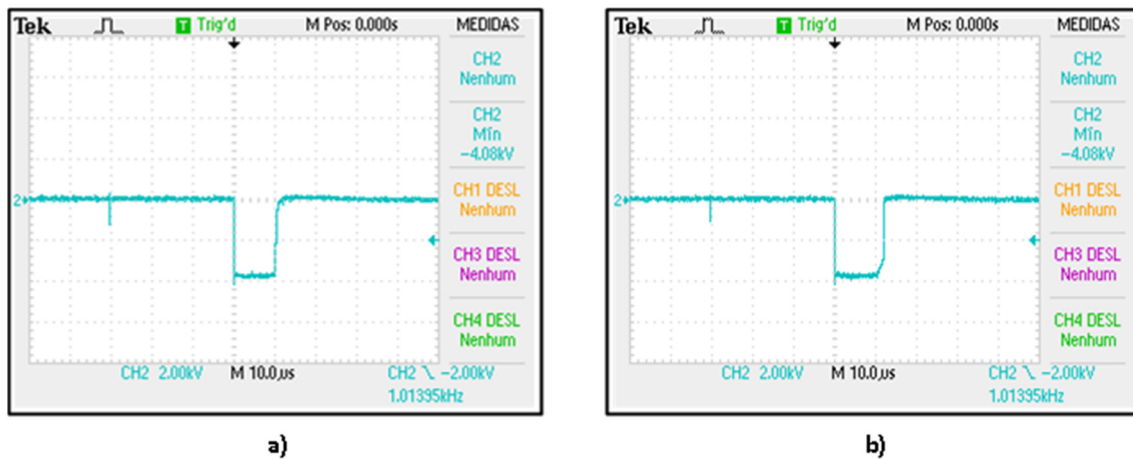


Fig 8 – Impulso na Carga para o MODO 1: a) R carga = 2kΩ; b) R carga = 50kΩ

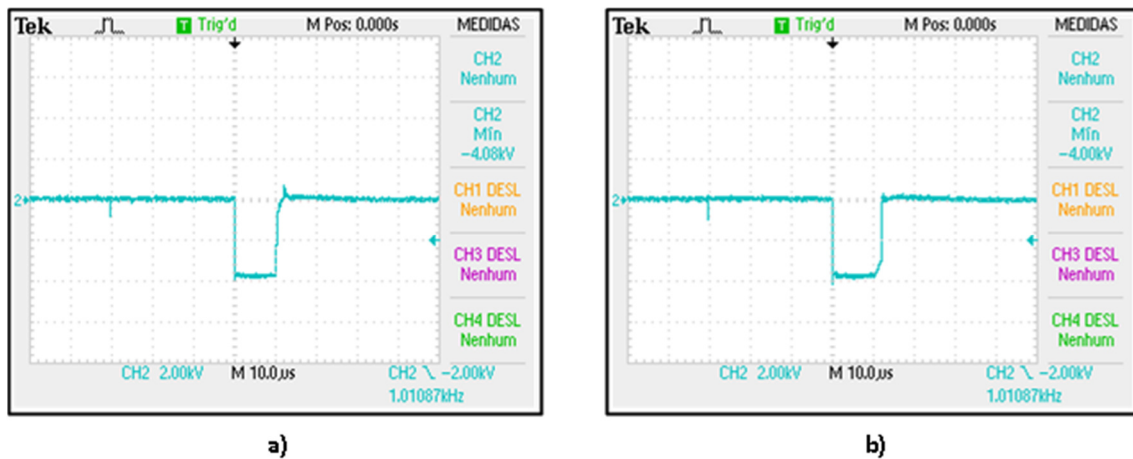


Fig 9 – Impulso na Carga para o MODO 2: a) R carga = 2kΩ; b) R carga = 50kΩ

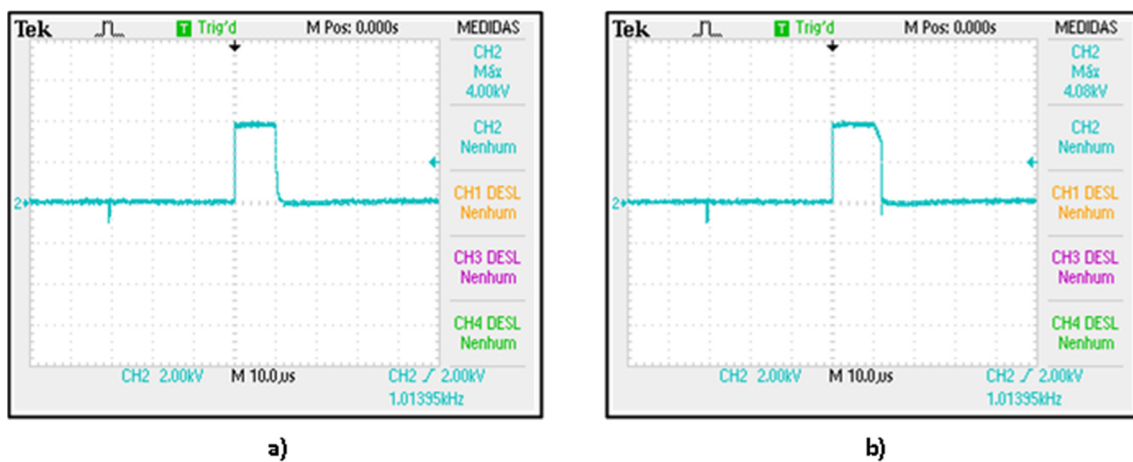
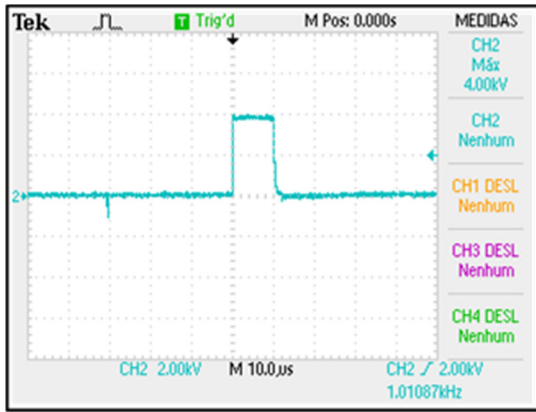
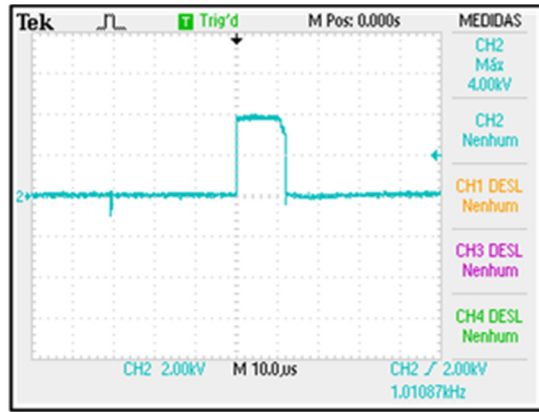


Fig 10 – Impulso na Carga para o MODO 3: a) R carga = 2kΩ; b) R carga = 50kΩ

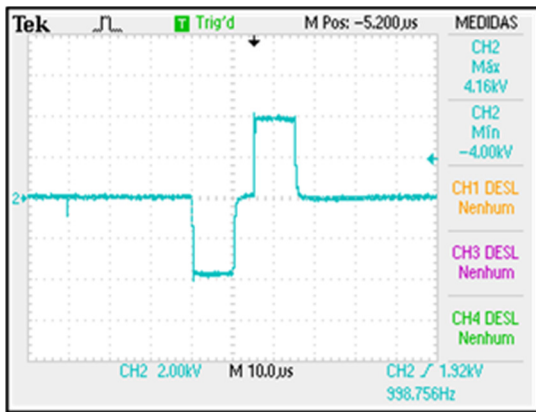


a)

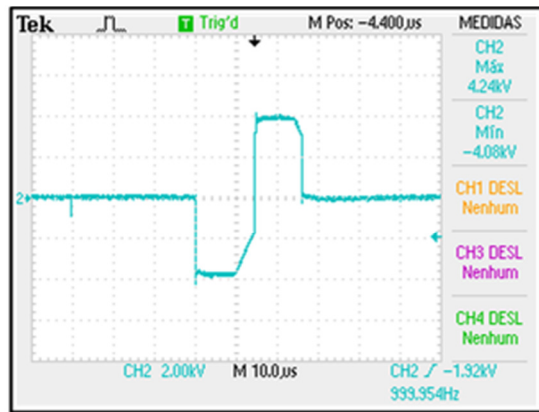


b)

Fig 11 – Impulso na Carga para o MODO 4: a) R_{carga} = 2kΩ; b) R_{carga} = 50kΩ

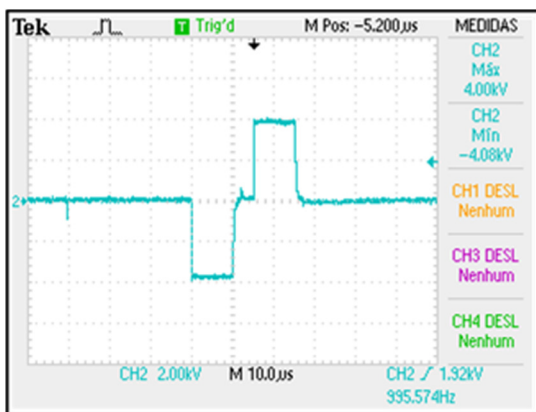


a)

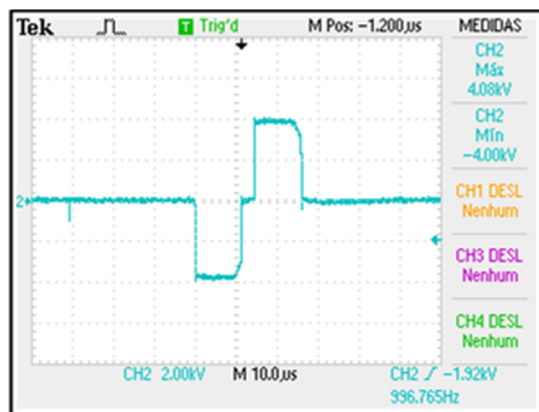


b)

Fig 12 – Impulso na Carga para o MODO 5: a) R_{carga} = 2kΩ; b) R_{carga} = 50kΩ



a)



b)

Fig 13 – Impulso na Carga para o MODO 6: a) R_{carga} = 2kΩ; b) R_{carga} = 50kΩ

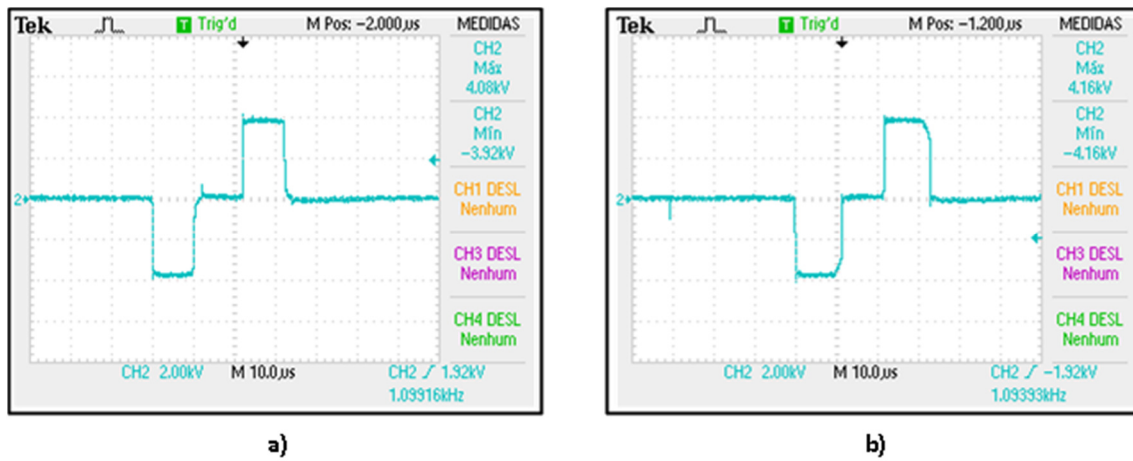
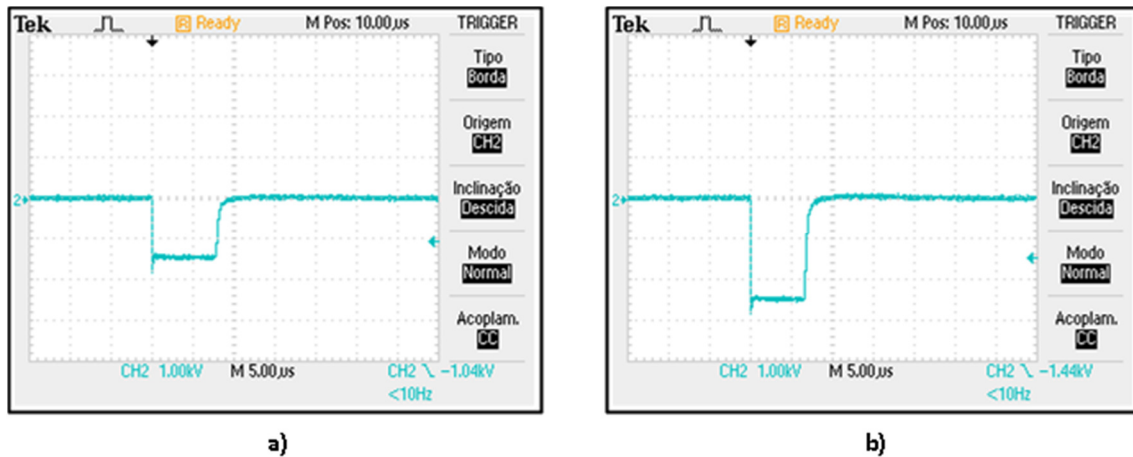


Fig 14 – Impulso na Carga para o MODO 7: a) $R_{carga} = 2k\Omega$; b) $R_{carga} = 50k\Omega$

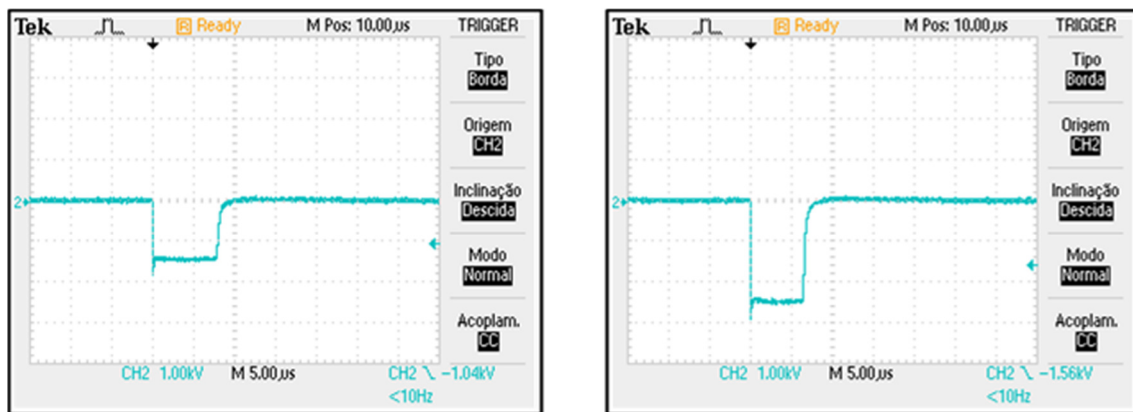
Anexo 10 - Impulsos de alta tensão aplicados à Carga para os diferentes modos de funcionamento após simulação de anomalias com: $V_{\text{fonte}}=500\text{V}$; $f=100\text{Hz}$; $T=10\mu\text{s}$; $R_{\text{carga}}=2\text{k}\Omega$



a)

b)

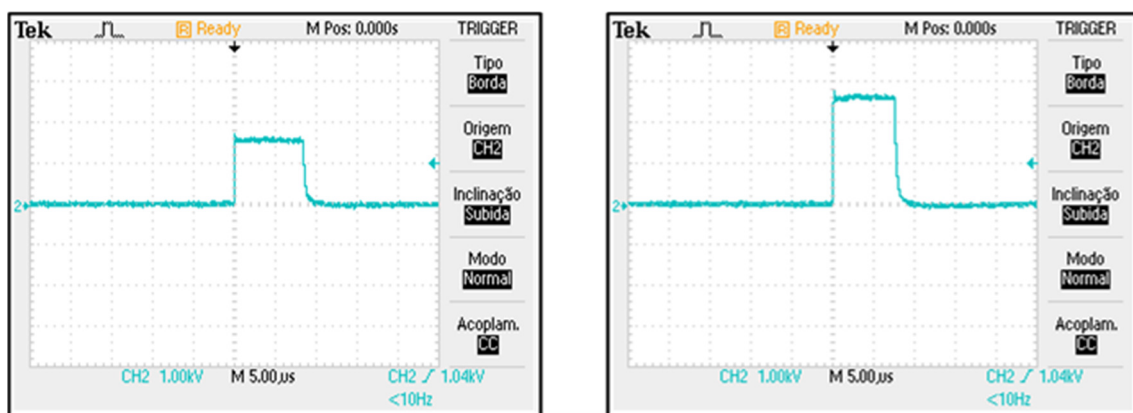
Fig 15 – Simulação de anomalias para o MODO 1:

a) Tensão Insuficiente: $V_{\text{fonte}} = 381\text{V}$; b) Sobretensão: $V_{\text{fonte}} = 635\text{V}$ 

a)

b)

Fig 16 – Simulação de anomalias para o MODO 2:

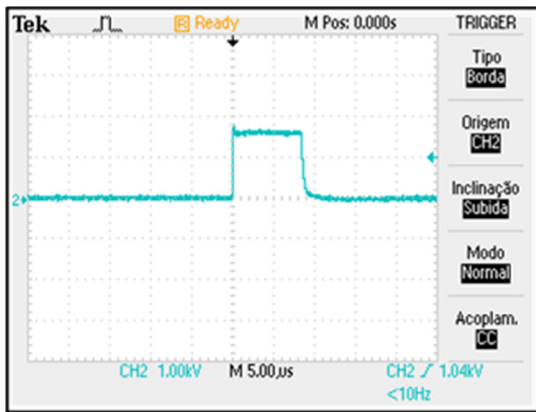
a) Tensão Insuficiente: $V_{\text{fonte}} = 380\text{V}$; b) Sobretensão: $V_{\text{fonte}} = 632\text{V}$ 

a)

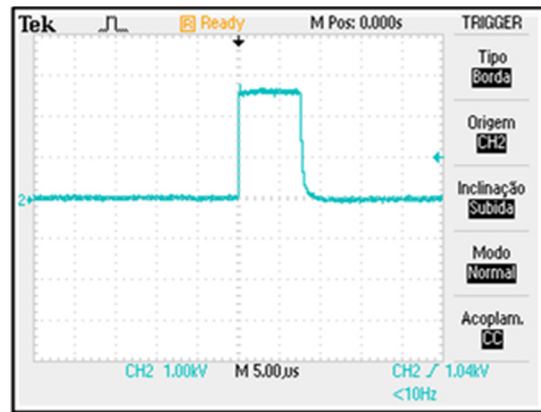
b)

Fig 17 – Simulação de anomalias para o MODO 3:

a) Tensão Insuficiente: $V_{\text{fonte}} = 387\text{V}$; b) Sobretensão: $V_{\text{fonte}} = 646\text{V}$

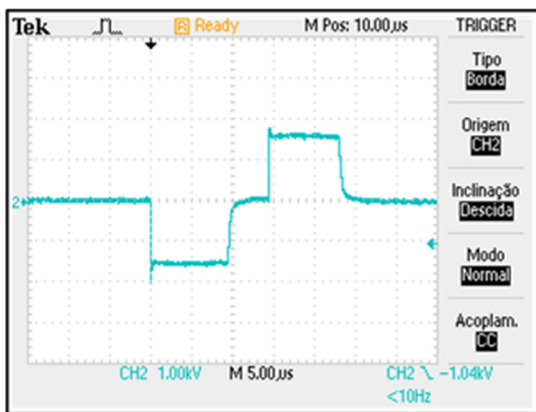


a)

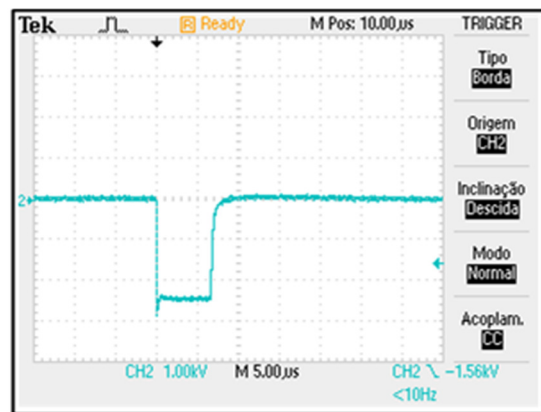


b)

Fig 18 – Simulação de anomalias para o MODO 4:

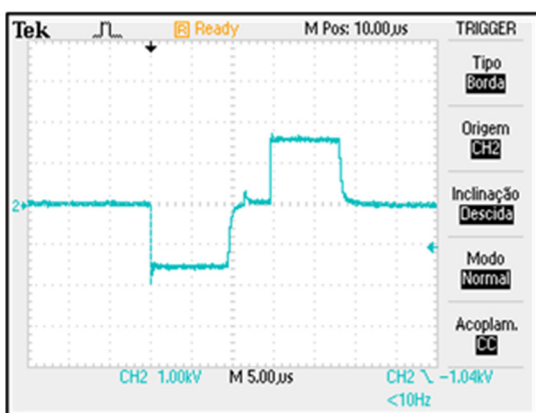
a) Tensão Insuficiente: $V_{\text{fonte}} = 389\text{V}$; b) Sobretensão: $V_{\text{fonte}} = 648\text{V}$ 

a)

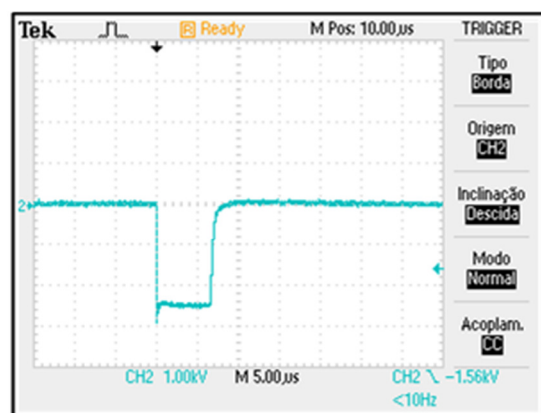


b)

Fig 19 – Simulação de anomalias para o MODO 5:

a) Tensão Insuficiente: $V_{\text{fonte}} = 386\text{V}$; b) Sobretensão: $V_{\text{fonte}} = 648\text{V}$ 

a)



b)

Fig 20 – Simulação de anomalias para o MODO 6:

a) Tensão Insuficiente: $V_{\text{fonte}} = 389\text{V}$; b) Sobretensão: $V_{\text{fonte}} = 649\text{V}$

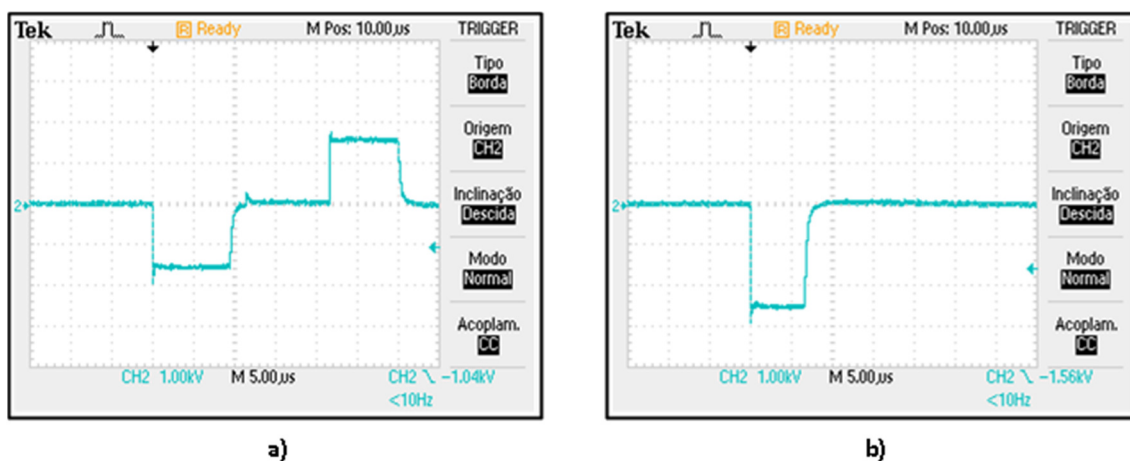


Fig 21 – Simulação de anomalias para o MODO 7:

a) Tensão Insuficiente: $V_{\text{fonte}} = 387\text{V}$; b) Sobretensão: $V_{\text{fonte}} = 645\text{V}$