

Rodrigo Krug

Tutorial Software Eagle 5.10

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIA

Porto Alegre

29 de setembro de 2010

Sumário

1	Introdução	p. 11
2	Instalando o software	p. 13
3	Executando o Software	p. 19
3.1	Barra de ação	p. 22
3.2	Barra de Ferramentas	p. 23
3.3	Bibliotecas	p. 25
3.4	Alterando o " <i>Grid</i> " do Ambiente	p. 26
3.5	Adicionando Componentes à Janela de Trabalho	p. 28
4	Projeto: Fonte Simétrica Regulável de -12V à +12V	p. 31
4.1	Funcionamento do Circuito	p. 31
4.2	Lista de Componentes	p. 32
4.3	Criando o Esquema Elétrico	p. 34
4.3.1	Adicionando Componentes	p. 34
4.3.2	Conectando os Componentes	p. 37

4.4	Informações Importantes	p. 40
4.5	Criando o <i>Layout</i> da Placa	p. 41
4.5.1	Roteamento Automático	p. 45
4.5.2	Roteamento Manual	p. 49
4.5.3	Fazendo uma Malha de Terra(GND) na Placa	p. 58
4.6	Impressão	p. 60
Anexo A – Esquema Elétrico		p. 63
Anexo B – Lista de Componentes		p. 65
Anexo C – Resultado Final		p. 67
Referências		p. 69

Lista de Figuras

1	Etapa 1	p. 13
2	Etapa 2	p. 14
3	Etapa 3	p. 14
4	Etapa 4	p. 15
5	Etapa 5	p. 15
6	Etapa 6	p. 16
7	Etapa 7	p. 16
8	Finalização	p. 17
9	Tela inicial	p. 19
10	Criando o projeto	p. 20
11	Criando esquemático	p. 20
12	Janela de edição de esquemático	p. 21
13	Barra de ação	p. 22
14	Barra de ferramentas	p. 23
15	Bibliotecas disponíveis	p. 26

16	Detalhes na escolha de um componente	p. 27
17	Modificando <i>Grid</i> do ambiente	p. 27
18	Janela de escolha de componente	p. 28
19	Escolha de um componente	p. 29
20	Executando uma " <i>ULP</i> "	p. 32
21	Edição de parâmetros da " <i>ULP</i> "	p. 33
22	Adicionando um componente	p. 34
23	Componente adicionado	p. 35
24	Componentes adicionados	p. 36
25	Escolha do " <i>frame</i> "	p. 36
26	Parâmetros de conexão	p. 37
27	<i>Net classes</i>	p. 38
28	<i>ERC - Eletrical Rule Check</i>	p. 39
29	Componentes adicionados	p. 39
30	Trocando de ambiente de edição	p. 42
31	Ambiente de edição do <i>layout</i> da placa de circuito impresso	p. 42
32	Barra de ferramentas de <i>layout</i>	p. 43
33	Posição dos componentes	p. 45
34	<i>DRC - Design Rule Check</i>	p. 46
35	Parâmetro " <i>Clearance</i> "	p. 46
36	Parâmetro " <i>Sizes</i> "	p. 47
37	Definindo parâmetros de roteamento automático	p. 47
38	Resultado do roteamento automático	p. 48

39	Limpando o roteamento automático	p. 49
40	Posição dos componentes	p. 50
41	Ferramentas para criar e apagar as trilhas	p. 50
42	Parâmetros do comando " <i>Route</i> "	p. 51
43	Possíveis conexões da trilha	p. 51
44	Conexão realizada	p. 52
45	Placa roteada	p. 53
46	Detalhe nas trilhas não terminadas	p. 53
47	Criando um <i>jumper</i>	p. 54
48	Criando um <i>jumper</i>	p. 55
49	Criando um <i>jumper</i>	p. 55
50	Criando um <i>jumper</i>	p. 56
51	Roteamento completo	p. 56
52	Inserindo um texto na placa	p. 57
53	Placa pronta	p. 58
54	Parâmetros da ferramenta " <i>Polygon</i> "	p. 58
55	Nomeando malha	p. 59
56	Resultado da malha	p. 59
57	Seleção de visualização de <i>layers</i>	p. 60
58	Seleção de <i>layers</i> para a impressão	p. 61
59	Configurando impressão	p. 61
60	Resultado final da placa	p. 62
61	Esquema Elétrico	p. 63

62 Resultado final p. 67

Lista de Tabelas

1	Lista de componentes	p. 33
2	Relação largura de trilha versus capacidade de corrente	p. 41
3	Lista de componentes	p. 65

1

Introdução

O Eagle é um software de desenho de placas de circuito impresso (PCI). É disponibilizado nas versões "*Professional*", onde o usuário tem acesso a todos os recursos, necessitando a comprar uma licença. E a versão "*light*" do software, a qual é disponibilizada de graça, sendo a diferença relevante entre as versões a limitação do tamanho da placa em 100mm por 80mm, e o numero de layers disponíveis para o roteamento e indisponibilidade da ferramenta de roteamento automático.

Pode-se fazer o download da versão mais ressente do software na pagina do desenvolvedor, <http://www.cadsoft.de>.

Em primeiro lugar, o projeto de uma placa de circuito impresso no software Eagle, basicamente é composto por dois arquivos, um contendo o esquema elétrico pretendido (arquivo de extensão *.sch), e o segundo contendo o desenho da placa em si para futura confecção(arquivo de extensão *.brd).

Utilizando as bibliotecas de componentes existentes no programa, constrói-se o esquema elétrico que será usado como base no projeto da placa de circuito impresso(PCI, ou PCB). Sendo assim, é muito importante a seleção correta dos componentes, pois além da sua aplicação básica também servirão de referência as suas características gerais, tais como o tamanho, o encapsulamento, a potência, etc.

Após a elaboração do esquema elétrico é possível gerar uma PCI, através de um rascunho fornecido pelo programa. Este rascunho pode (e deve) ser alterado para a

adequação e posicionamento físico dos componentes sobre a placa, de modo a facilitar a passagem das trilhas, montagens, fixações mecânicas e outros requisitos.

2

Instalando o software

Faça o download do software a partir do site do desenvolvedor <http://www.cadsoft.de>.

Localize no seu computador o disco onde foi salvo o programa "eagle-xx.exe"¹. Execute-o para iniciar a instalação e clique sobre a opção "*Setup*".

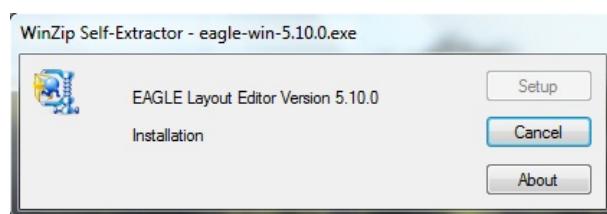


Fig. 1: Etapa 1

Será apresentada a janela de boas vindas. Clique em "*Next*".

¹"xx"corresponde a versão atual

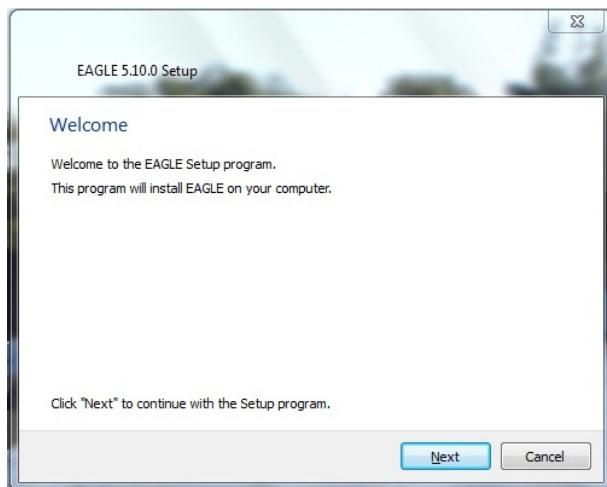


Fig. 2: Etapa 2

Em seguida será apresentada a janela de concordância com a licença e termos de utilização. Este software é de uso livre para fins educativos apresentando no entanto algumas limitações. Clique em "*YES*".

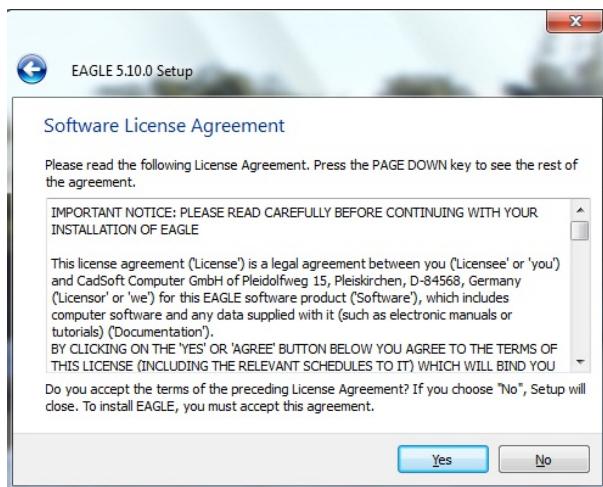


Fig. 3: Etapa 3

Será apresentada uma nova janela para a escolha do diretório de destino da instalação do programa. Caso seja necessário, altere para a localização pretendida. Clique em "*Next*".

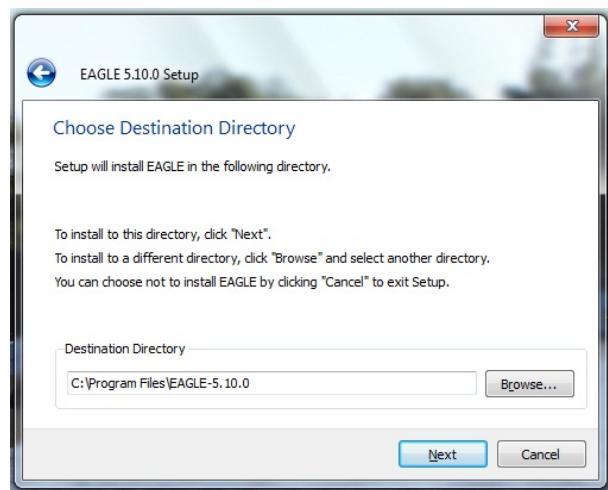


Fig. 4: Etapa 4

A janela seguinte apresenta para simples conferência, um resumo dos parâmetros iniciais da instalação. Clique em "*Next*". Começará a instalação propriamente dita.

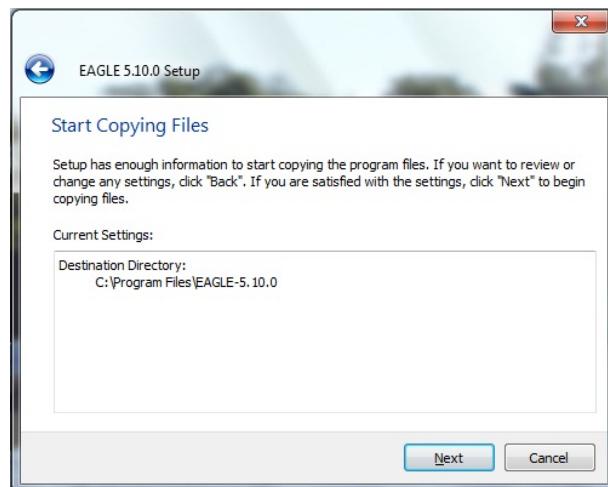


Fig. 5: Etapa 5

O processo de instalação é iniciado e pode ser acompanhado pela barra de progresso. Terminada a instalação, surge a janela de finalização. Aguarde o término e clique em "*Next*".

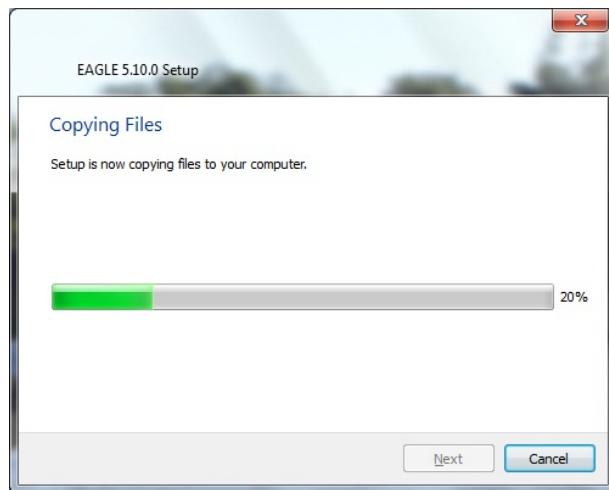


Fig. 6: Etapa 6

Terminada a instalação, surge a janela de finalização. Selecione o modo de execução do software pretendido, no caso "*Run as Freeware*", e clique em "*Next*".

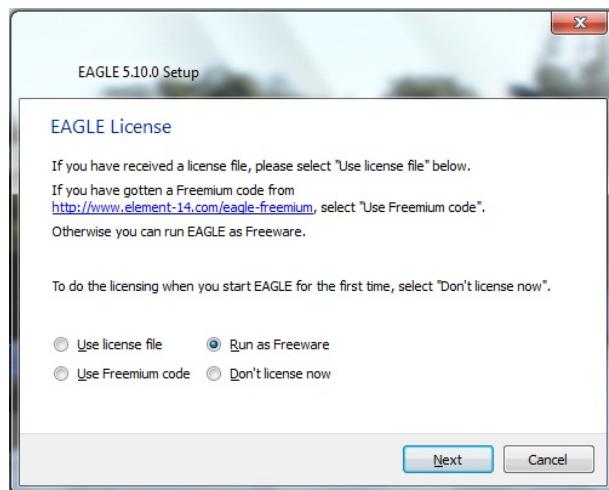


Fig. 7: Etapa 7

Pronto, a instalação está completa, basta clicar em "*Finish*" e começar a utilizar o software.

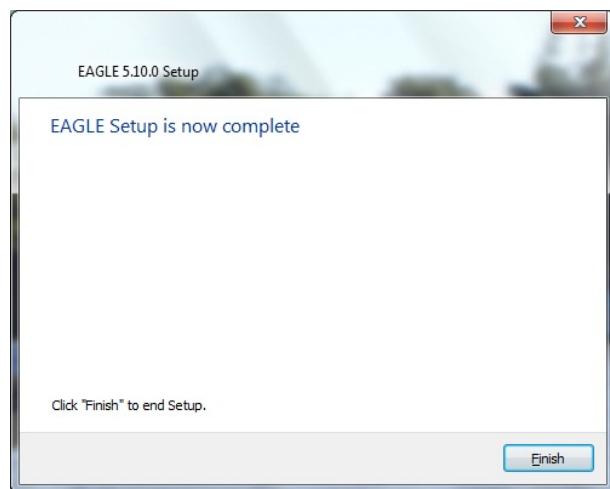


Fig. 8: Finalização

3

Executando o Software

Executando o software, surge a janela principal onde estão localizados os comandos básicos para criação e abertura de projetos. Entre estes, destaco o diretório "*Projects*", onde originalmente são armazenados os projetos em elaboração ou já concluídos.

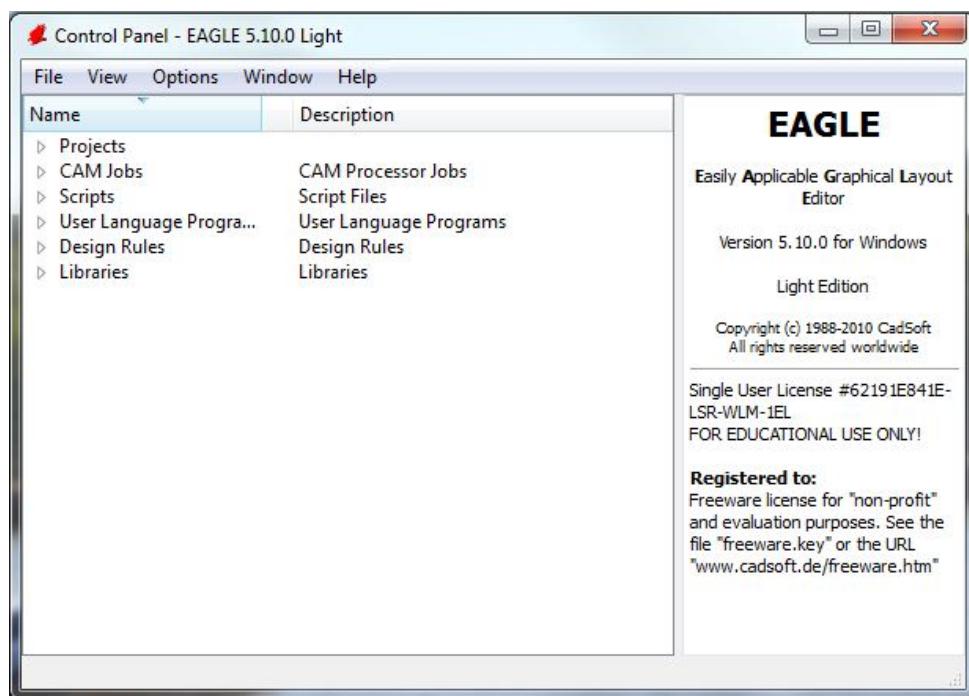


Fig. 9: Tela inicial

Como vamos realizar a aprendizagem através de um exemplo prático, devemos criar inicialmente um novo projeto para guardarmos os nossos trabalhos. Para isso clique em: "*File → New → Project*".

Vamos acrescentar um novo projeto ao qual vamos atribuir o nome "*Fonte Simétrica*".

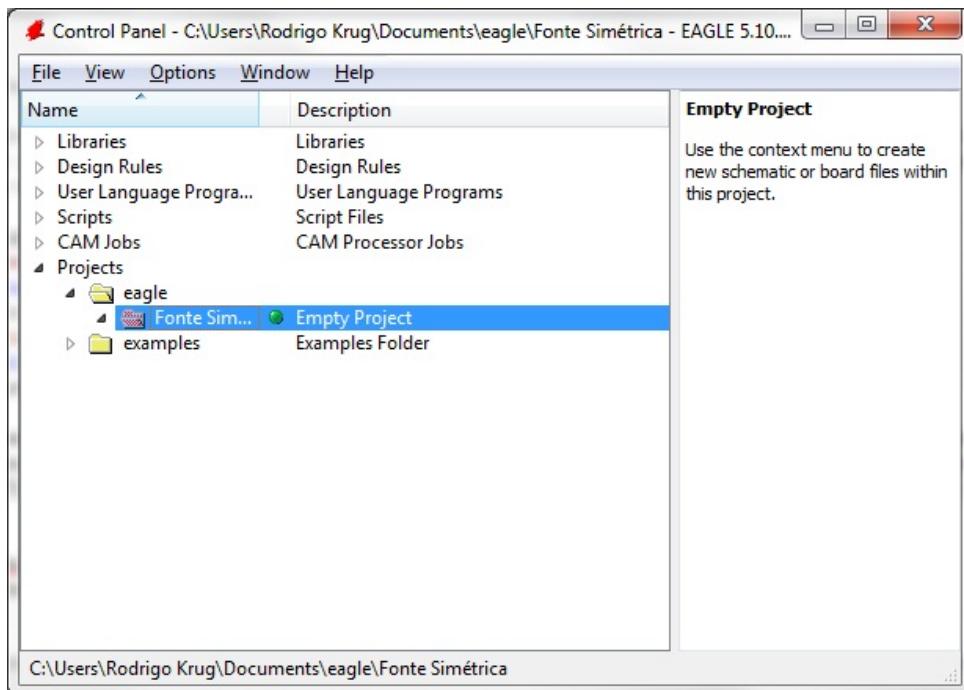


Fig. 10: Criando o projeto

Observe que à direita do nome, surge a frase "*Empty Project*", indicando que ainda não tem nenhum conteúdo, ou seja, apenas a pasta foi criada. Devemos então criar um novo esquema elétrico "*New Schematic*", pressionando com o botão direito do mouse sobre a pasta Fonte Simétrica, seguindo a sequência mostrada na figura a seguir.

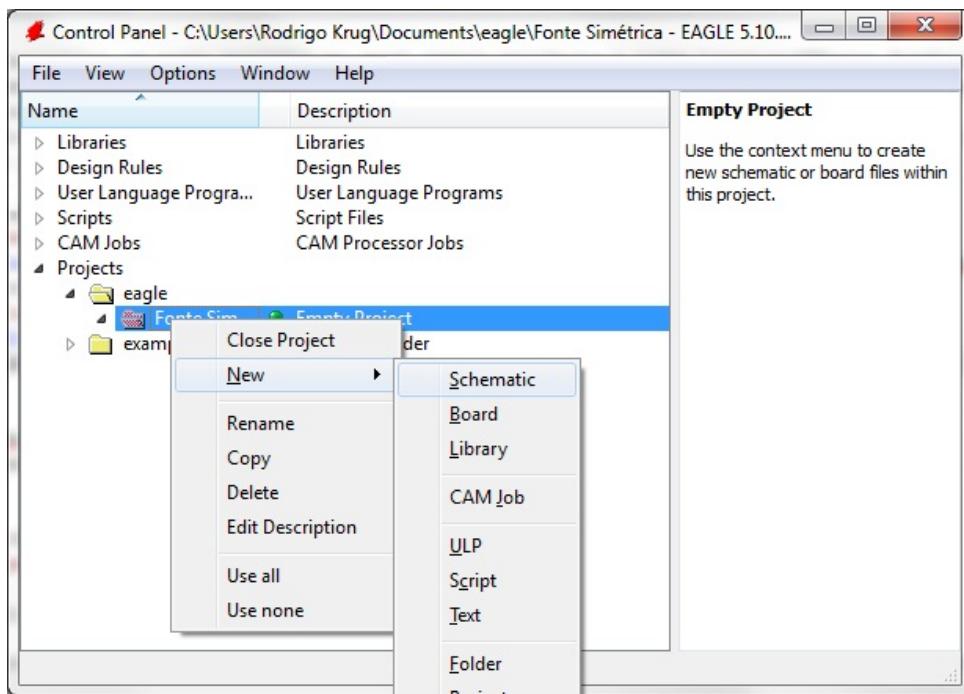


Fig. 11: Criando esquemático

Surge então a janela com os comandos e funções específicas para o desenho do esquema elétrico.

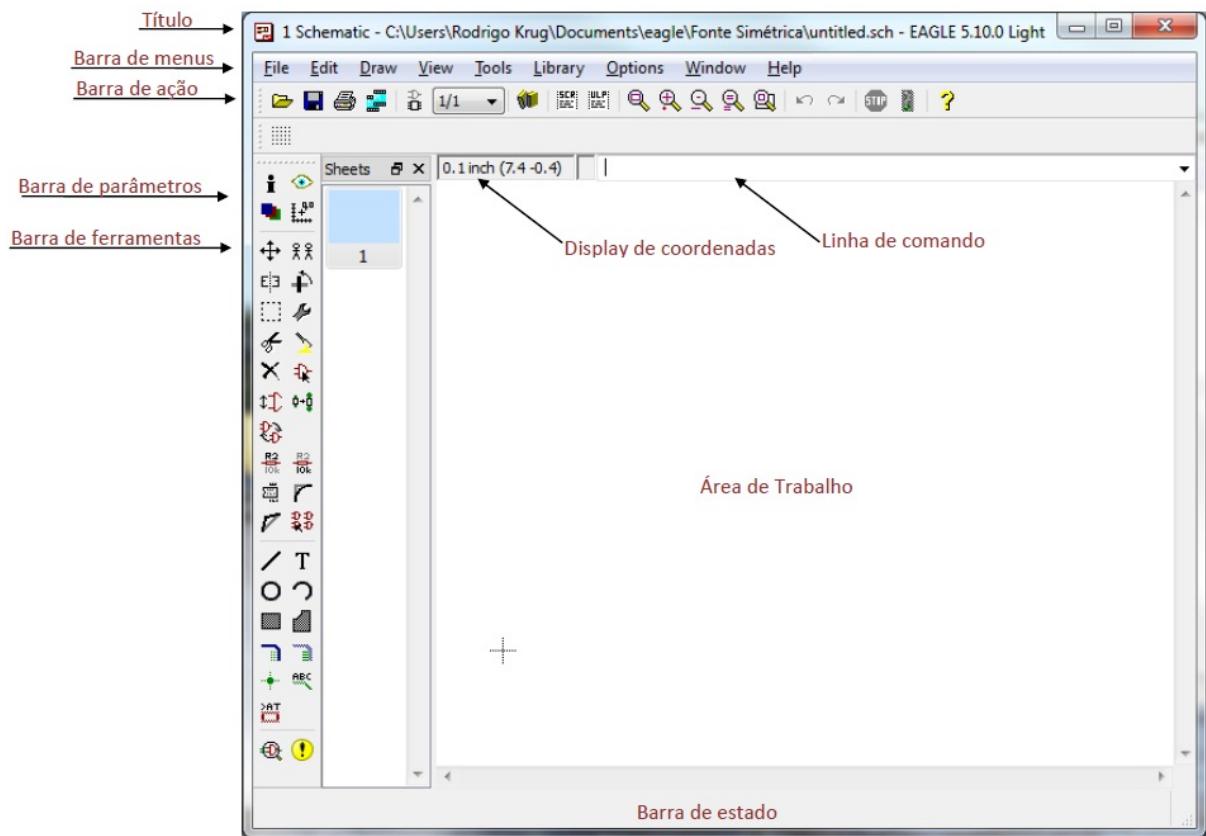


Fig. 12: Janela de edição de esquemático

3.1 Barra de ação



Fig. 13: Barra de ação

1. Abrir um documento.
2. Salvar um documento.
3. Imprimir um documento.
4. Exportar um arquivo para o formato de industrialização.
5. Passar do esquemático para a placa e vice-versa.
6. Número de folhas.
7. Utilizar a biblioteca.
8. Executar um arquivo *script* (*.scr).
9. Executar um programa de linguagem de utilizador (*.ulp).
10. Ajustar o desenho à janela.
11. Ampliar o desenho.
12. Diminuir o desenho.
13. Redesenhar/limpar o desenho.
14. Ampliar uma área selecionada do desenho.
15. Anular a última alteração.
16. Refazer a alteração anterior.

17. Cancelar comando.
18. Executar comando.
19. Ajuda do programa.
20. Editar o malha "Grid" da tela.

3.2 Barra de Ferramentas

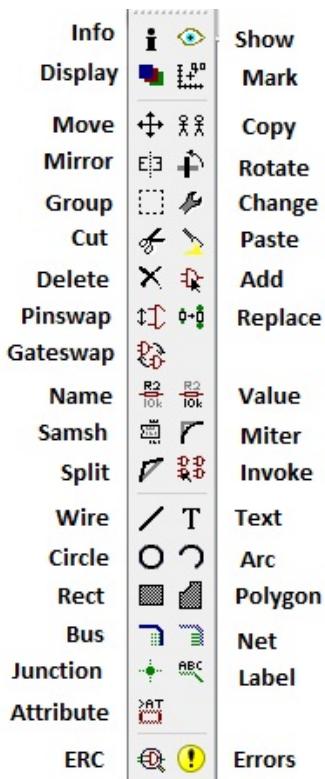


Fig. 14: Barra de ferramentas

INFO - Mostra as propriedades dos objetos selecionados¹.

SHOW - Mostra, na barra de status, os nomes e outros detalhes do objeto selecionado.

DISPLAY - Permite mostrar ou esconder as camadas ("layers") que pretendemos que apareçam ou não no desenho ou impressão.

¹Se necessitar de ajuda suplementar sobre alguma ferramenta, clique no seu ícone e seguidamente no ícone de *Help* ou escreva na linha de comando a palavra "help" seguida do nome da ferramenta.

MARK - Permite selecionar a origem das coordenadas para a apresentação da posição relativa indicada na parte superior da janela.

MOVE - Permite mover um objeto selecionado.

COPY - Permite copiar um objeto.

MIRROR - Gera uma imagem invertida dos objetos e grupos relativamente ao eixo "Y".

ROTATE - Permite rodar um objeto.

GROUP - Ativado esta função pode-se selecionar um conjunto de objeto.

CHANGE - Permite alterar as propriedades dos objetos.

CUT e PASTE - Com "*CUT*" pode-se guardar na memória um componente ou grupo e "*PASTE*" permite recuperá-lo e colocá-lo na área de trabalho.

DELETE - Permite apagar um objeto selecionado.

ADD - Com esta função podem-se inserir no esquema os componentes que estão disponíveis nas bibliotecas.

PINSWAP - Permite trocar pinos equivalentes.

REPLACE - Troca o componente selecionado por outro da biblioteca.

GATESWAP - Permite trocar gates equivalentes.

NAME - Permite modificar o nome que o programa deu aos componentes e condutores utilizados.

VALUE - Permite definir ou modificar o valor de um objeto.

SMASH - Permite separar o nome do objeto do seu valor.

MITER - Permite arredondar o canto das ligações.

SPLIT - Permite curvar uma linha já desenhada.

INVOKE - Pode ser utilizada para permitir a ligação de componentes ativos a outra fonte de tensão que não seja VCC ou GND.

WIRE - Permite desenhar linhas/condutores.

TEXT - Permite acrescentar etiquetas de texto a um elemento ou desenho.

CIRCLE - Permite desenhar círculos.

ARC - Permite desenhar arcos.

RECTANGLE - Permite desenhar retângulos.

POLYGON - Permite desenhar um polígono.

BUS - Permite desenhar barramentos de condutores paralelos.

NET - Permite fazer ligações elétricas ao "bus" e definir o dimensionamento das pistas.

JUNCTION - Serve para inserir um nó (numa derivação) ou para definir os terminais dos componentes.

LABEL - Permite colocar uma etiqueta com o nome dado a uma linha simples ou barramento.

ATTRIBUTES - Permite definir atributos de componentes e ligações.

ERC - (Electrical Rule Check) Esta é uma ferramenta que realiza uma verificação elétrica do circuito, detectando erros nos esquemas elétricos.

ERRORS - Mostra erros de ligação do esquema elétrico.

3.3 Bibliotecas

Os componentes eletrônicos disponíveis estão agrupados por similaridade e ou fabricante e organizados por ordem alfabética, em arquivos independentes denominados bibliotecas. Se selecionarmos o menu "*Library*" → "*Use*" podemos verificar que o Eagle já

carregou todas as bibliotecas disponíveis, este comando só será utilizado quando necessário utilizar uma outra biblioteca que não consta na biblioteca padrão do software.

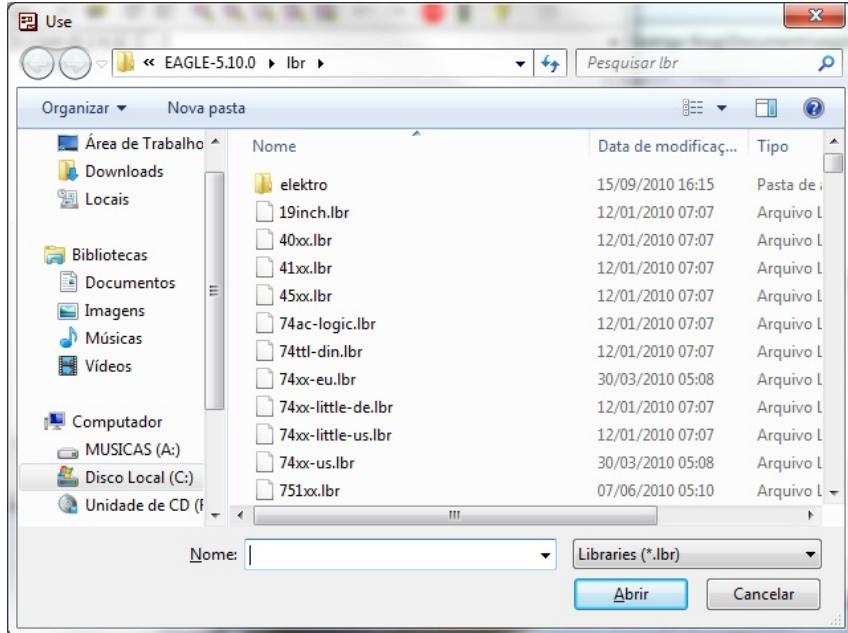


Fig. 15: Bibliotecas disponíveis

Como podemos observar, em função da quantidade de bibliotecas, componentes e combinações entre os grupos, inicialmente haverá certa dificuldade em localizar o componente desejado.

Além disso, uma vez localizado, devemos decidir sobre qual entre as variações apresentadas é a mais adequada, para tal devemos utilizar as informações mostradas na janela à direita quando selecionamos uma biblioteca qualquer ou um componente.

Como exemplo o componente selecionado C-EU025-025X050 é um capacitor não polarizado tendo como símbolo o padrão europeu e com seu *"footprint"*, ou seja seu formato na placa com as dimensões de 2,5 mm x 5 mm e com uma distância entre os terminais *"grid"* de 2,5 mm.

3.4 Alterando o *"Grid"* do Ambiente

Os esquemas elétricos devem ser sempre desenhados com a malha de 0,1 polegada (2,54 mm), porque a maioria das bibliotecas estão definidas para este valor. Os símbolos

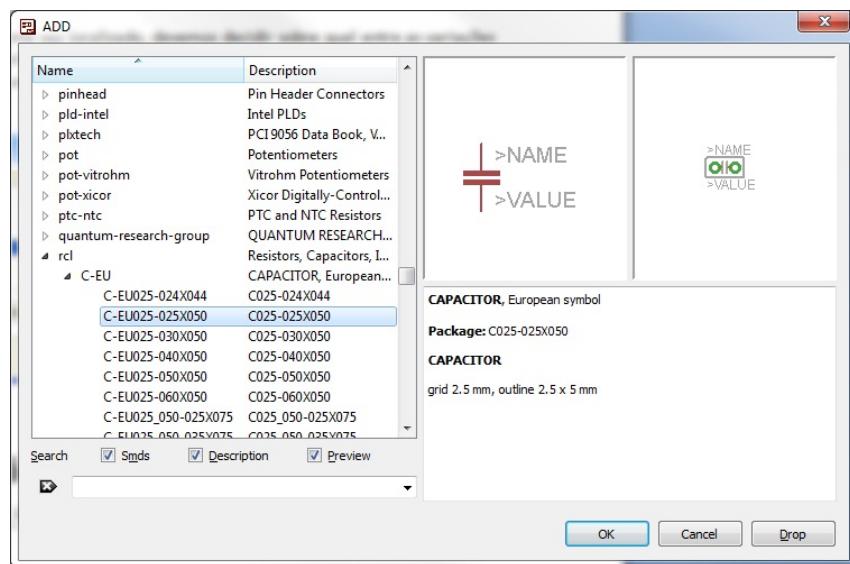


Fig. 16: Detalhes na escolha de um componente

deverão ser colocados nesta grade ou num múltiplo da mesma, uma vez que em caso contrário é possível que as pistas não possam ser ligadas aos pinos (terminais). Para editar o valor de *grid*, basta clicar sobre a ferramenta "*Grid*" sobre a barra de ação, ou digite "grid" no campo linha de comando.

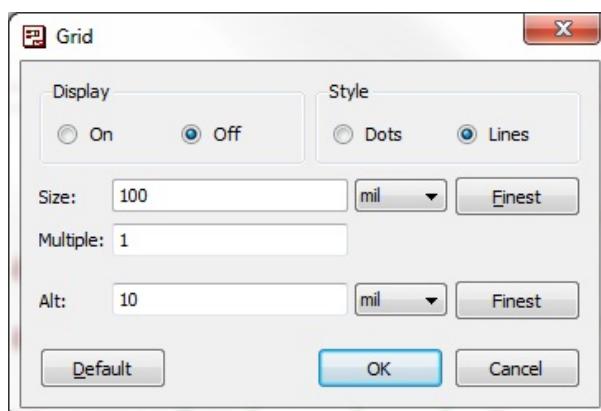


Fig. 17: Modificando *Grid* do ambiente

Note, que é possível alterar o sistema de unidades do projeto, o usual é trabalhar com o sistema de unidades "*mil*"². . Sempre altere o *grid* em um múltiplo do numero atual, pois caso contrário não será possível a conexão dos componentes. O parâmetro "*Size*" corresponde ao grid normal do ambiente, o parâmetro "*Alt*" normalmente é definido com um *grid* inferior ao anterior, ele entra em ação pressionando a tecla "Alt"do teclado juntamente ao comando que esta sendo executado. Pode-se optar por mostrar ou não o grid na tela, isso para facilitar o alinhamento dos componentes. Todas essas configurações valem também para o ambiente de desenho da placa de circuito impresso.

3.5 Adicionando Componentes à Janela de Trabalho

Uma vez que as bibliotecas estão disponíveis, para se inserir um componente, utilizamos os comandos "*Edit → Add*", ou clique no ícone correspondente, uma outra forma mais usual é simplesmente digitar o comando "add"no campo "Linha de comando". Sur- girá a seguinte janela.

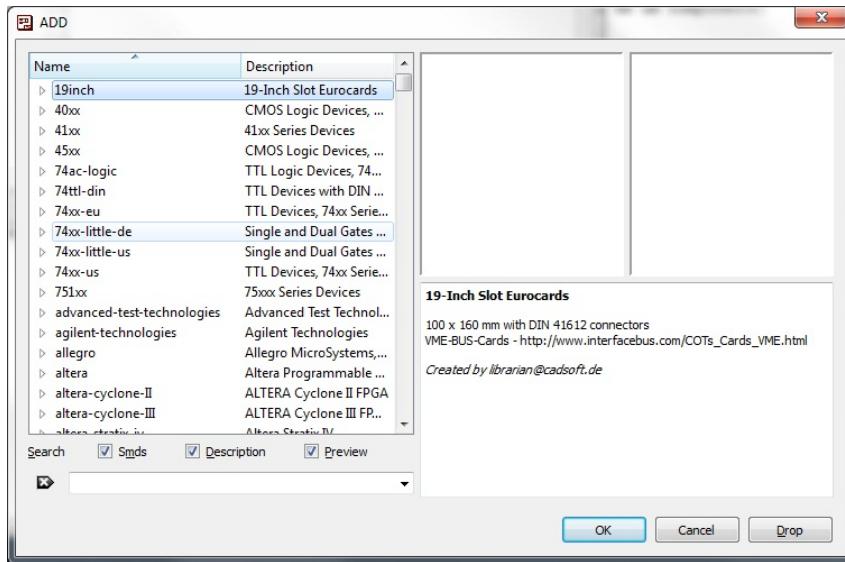


Fig. 18: Janela de escolha de componente

Faça a rolagem da listagem de nomes, selecione e expanda a biblioteca "*rcl*". Den-

²Relação entre "*mil*" e milímetros: 10mil (milésimos de polegada) $\rightarrow (10/1000) * 25,4\text{mm} \rightarrow 0,01 * 25,4\text{mm} \rightarrow 0,25\text{mm}$

tro desta biblioteca localize o componente "*R-EU_0204/7*" (lê-se: Resistência, símbolo EUropeu, dimensões 2mm x 7mm, distância entre as ilhas 12mm), para isso procure pela categoria "*R-EU_*".

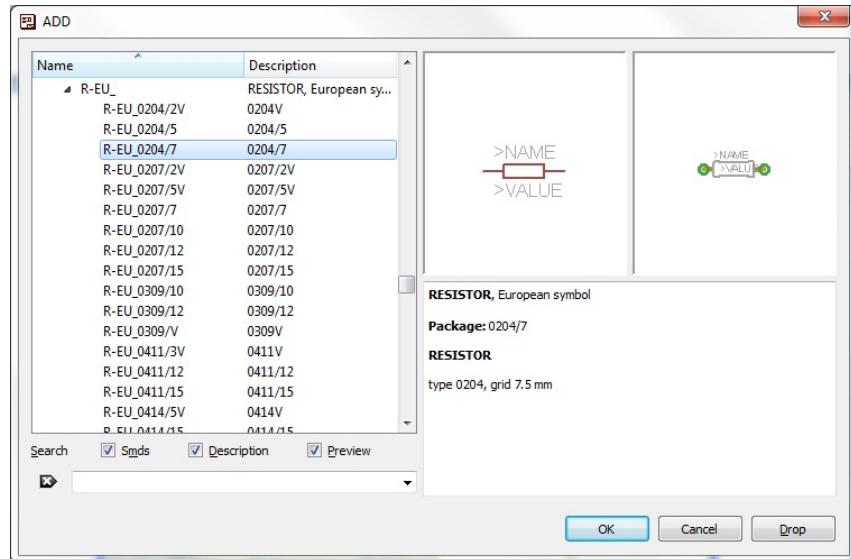


Fig. 19: Escolha de um componente

Na janela do lado direito pode ser vista a representação do componente (símbolo), a sua configuração física (ilhas, serigrafia), seu encapsulamento.

4

Projeto: Fonte Simétrica Regulável de -12V à +12V

Para a maioria dos projetos que você pense em fazer, você vai precisar de uma fonte para testá-los, neste exemplo foi projetada uma fonte simétrica regulável de +1.25 V à +12 V e de -1.25 V à -12 V, suportando uma corrente máxima de 1 A. Uma fonte simétrica é capaz de produzir tensão negativa e positiva, foi escolhido esse o projeto desse dispositivo devido sua importância dentro da engenharia, pois existem vários circuitos elétricos que necessitam de tensão negativa e positiva para funcionar, por exemplo, uma aplicação com um amplificador operacional.

4.1 Funcionamento do Circuito

Esta fonte foi projetada para fornecer uma tensão regulável, tanto positiva quanto negativa. Os principais componentes de seu funcionamento são os reguladores de voltagem, LM317 que fornece a variação de tensão positiva, e o LM337 que fornece a variação de tensão negativa, estes dois podem suportar no máximo 1 Ampere de consumo. A fonte consiste em um transformador 12+12 V por 1 A, essa tensão fornecida pelo transformador é retificada através de uma ponte de retificação feita com diodos 1N4004, junto com os capacitores que filtram a onda, deixando-a em forma linear. Juntamente aos reguladores de tensão, um potenciômetro de $10K\Omega$ fornece regulagem grossa e um de 270Ω a regulagem fina da tensão, isso tanto para o LM317 e LM337, após um capacitor de $1\mu F$ filtra

os ruídos gerados¹.

4.2 Lista de Componentes

Com a ajuda do software, disponibilizo uma lista dos componentes a serem utilizados no projeto, esta lista pode ser gerada de forma automática seguindo os seguintes passos. Clique no botão "*ULP*" na barra de ação, ou digite "*run*" no campo linha de comando. Aparecerá a seguinte janela.

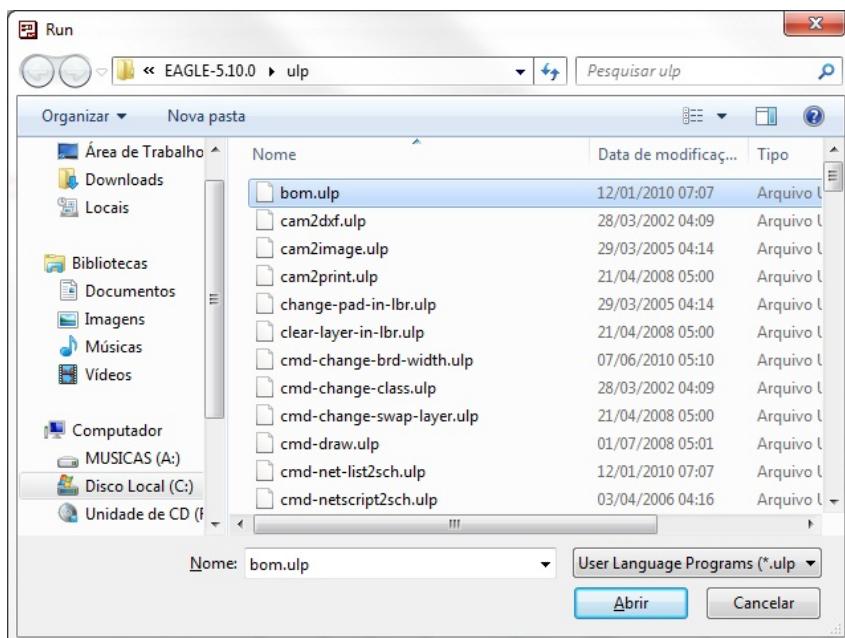


Fig. 20: Executando uma "*ULP*"

Selecione "*bom.ulp*" (Bill of materials), e clique em "Abrir".

¹Nunca provoque um curto circuito entre os polos de alimentação, caso isso aconteça poderá ocasionar em danos irreversíveis em alguns componentes da fonte.

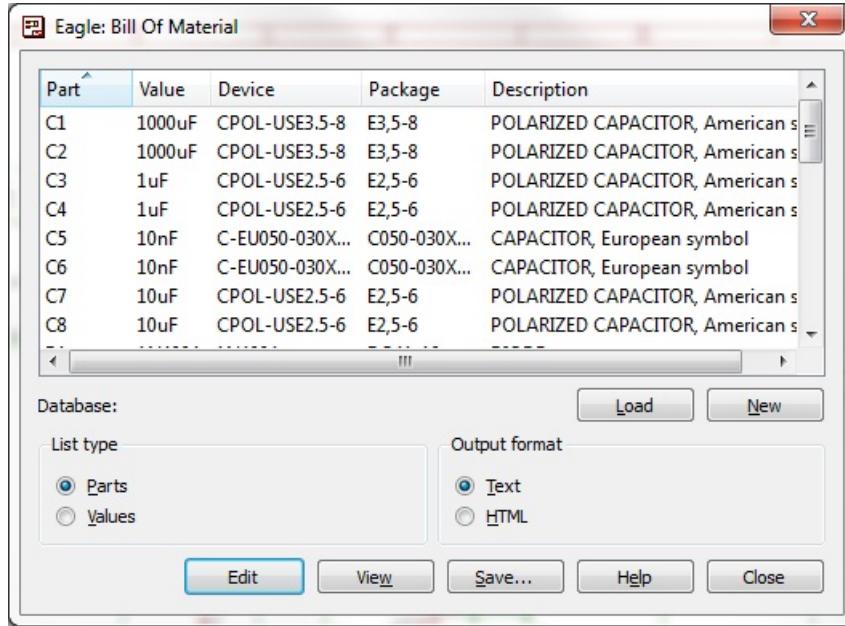


Fig. 21: Edição de parâmetros da "ULP"

Nesta janela poderão ser editados os parâmetros de configuração da "ulp". Basta clicar em "Save...". Será gerado um arquivo do formato selecionado na pasta do projeto em edição. A seguir a lista de componentes a serem utilizados no projeto proposto.

Tab. 1: Lista de componentes

Part	Value	Device	Package	Description	Library
C1	1000uF	CPOL-USE3.5-8	E3,5-8	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C2	1000uF	CPOL-USE3.5-8	E3,5-8	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C3	1uF	CPOL-USE2.5-6	E2,5-6	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C4	1uF	CPOL-USE2.5-6	E2,5-6	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C5	10nF	C-EU050-030X075	C050-030X075	CAPACITOR, European symbol	rcl
C6	10nF	C-EU050-030X075	C050-030X075	CAPACITOR, European symbol	rcl
C7	10uF	CPOL-USE2.5-6	E2,5-6	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C8	10uF	CPOL-USE2.5-6	E2,5-6	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
D1	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE	diode
D2	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE	diode
D3	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE	diode
D4	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE	diode
ENTRADA		AK500/3	AK500/3	CONNECTOR	con-ptr500
SAIDA		AK500/3	AK500/3	CONNECTOR	con-ptr500
IC1	317T	317T	TO220H	Positive VOLTAGE REGULATOR	linear
IC2	337T	337T	TO220H	Negative VOLTAGE REGULATOR	linear
LED1	+vcc	LED5MM	LED5MM	LED	led
LED2	-vcc	LED5MM	LED5MM	LED	led
R1	10KOhm	TRIM_EU-RS3	RS3	POTENTIOMETER	pot
R2	470Ohm	TRIM_EU-RS3	RS3	POTENTIOMETER	pot
R3	470Ohm	TRIM_EU-RS3	RS3	POTENTIOMETER	pot
R4	10KOhm	TRIM_EU-RS3	RS3	POTENTIOMETER	pot
R5	220Ohm	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol	rcl
R6	220Ohm	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol	rcl
R7	330Ohm	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol	rcl
R8	330Ohm	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol	rcl

4.3 Criando o Esquema Elétrico

4.3.1 Adicionando Componentes

Na janela inicial clique no ícone "Add", ou digite "add" no campo linha de comando. Irá abrir a janela da biblioteca de componentes, para facilitar, no canto inferior esquerdo existe um campo de busca, onde o usuário põe o nome do componente ou sua característica e o software realiza uma busca em toda a biblioteca.

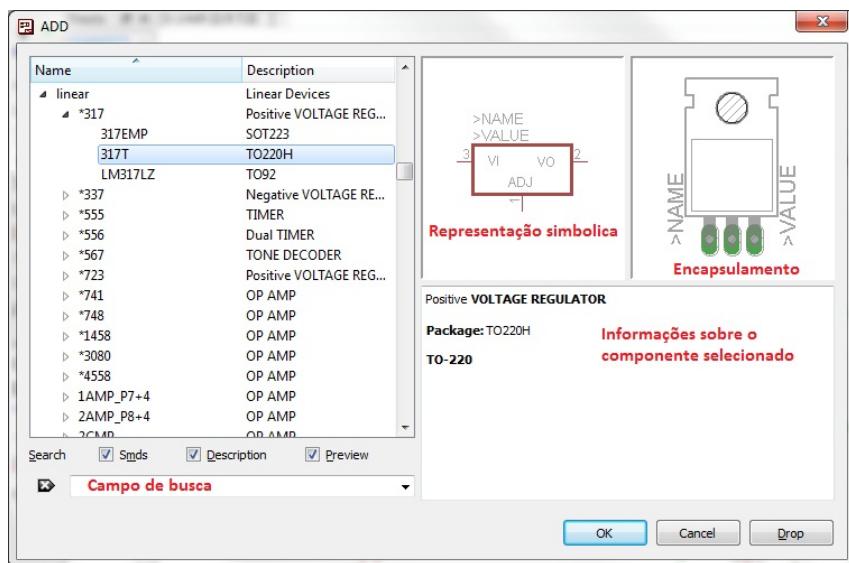


Fig. 22: Adicionando um componente

Após digitar o nome do componente, aperte "ENTER" e os resultados aparecerão, escolha o mais o componente correto para sua aplicação e clique em "OK", caso a busca não apresente resultado, limpe o campo de busca e aperte "ENTER", para voltar a aparecer a biblioteca completa². De um clique no componente a ser adicionado e o mesmo ficará "preso" no mouse, e a cada clique com o botão esquerdo será fixado um componente na área de trabalho, adicione quantos componentes forem necessários e em seguida aperte a tecla "Esc" do teclado. Aproveite e já os posicione da maneira que mais lhe agrade.

²Para uma busca mais eficiente experimente utilizar asterisco antes e depois do nome desejado, por exemplo, *317*, assim o software listará todos os componentes que tiverem "317" em seu nome, bastando apenas localizar o correto

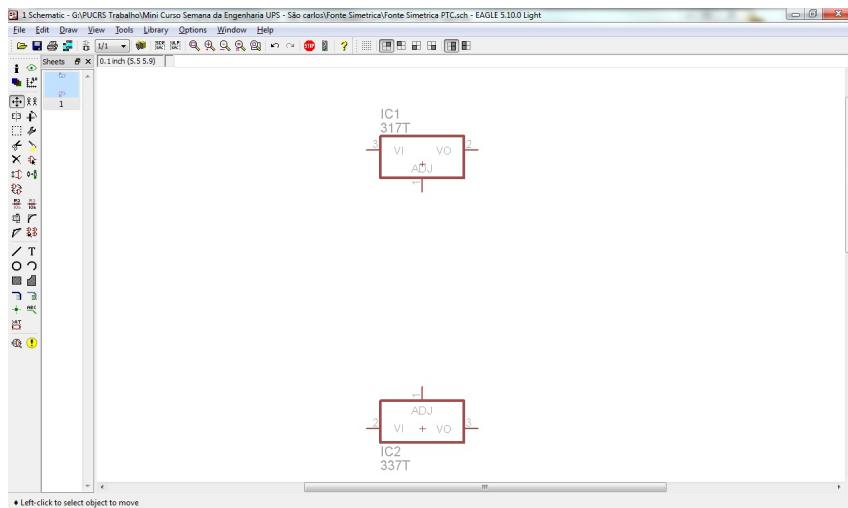


Fig. 23: Componente adicionado

Adicione os componentes restantes, conforme descrito anteriormente. Caso a busca que você fizer não obtiver resultados satisfatórios, você deverá de percorrer a lista até achar o componente que lhe satisfaça. Para a montagem desta fonte você irá precisar adicionar todos os componentes da lista da tabela 1. Na mesma lista se encontram a localização dos mesmos em suas bibliotecas.

Alguns componentes elétricos, tais como resistores e capacitores, necessitam de um valor que corresponde a seu valor real, lembrando que o software Eagle, serve apenas para confecção de placas de circuito impresso e não simula esquemas elétricos, logo, o valor digitado servirá apenas para facilitar a identificação na montagem e manutenção da placa, também para a geração da lista de componentes a fim de documentar o projeto. Para dar valor a um componente é necessário clicar sobre o ícone "*Value*", ou digitar "value" no campo linha de comando, após selecionado o comando basta clicar sobre um componente e editar seu valor, o mesmo se aplica para o comando "*Name*". Após adicionar todos os componentes o esquema deve parecer com a imagem a seguir.

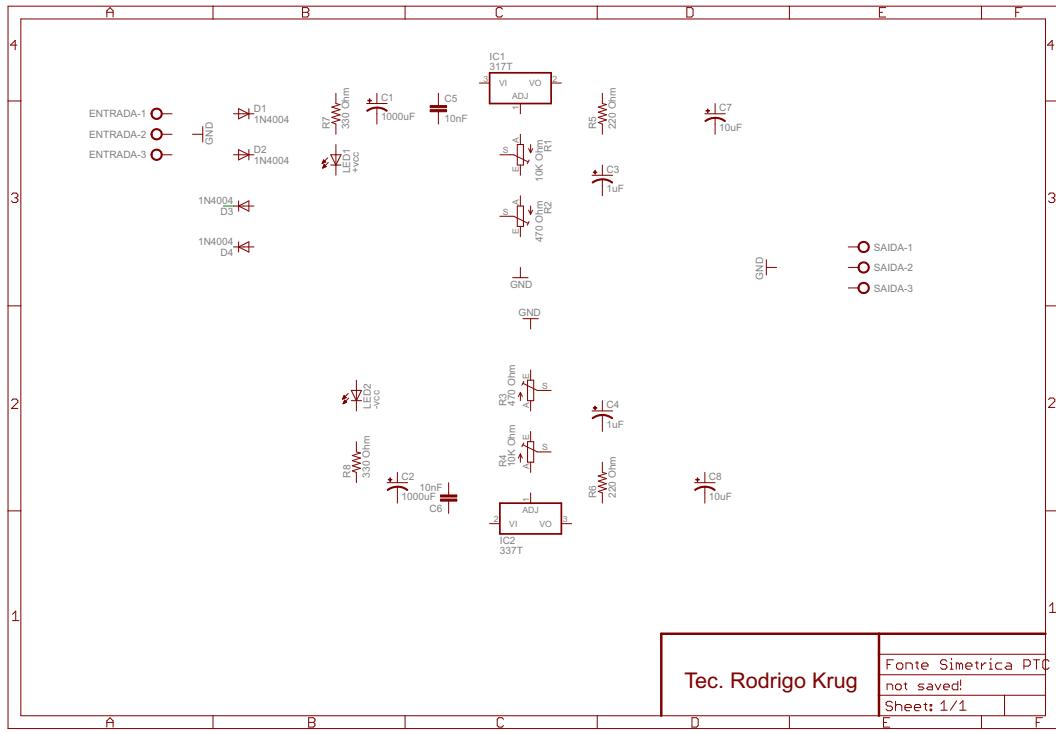


Fig. 24: Componentes adicionados

Uma dica é adicionar junto ao esquemático um "frame", que nada mais é uma borda por toda a página, onde existem marcações para facilitar a procura de componentes e campos para a inserção de informações do projeto. Para adicionar o "frame" navegue na biblioteca de componentes até a biblioteca "Frames" e lá usualmente é utilizado o frame "A4L-LOC", que possui o formato "Landscape" no tamanho "A4".

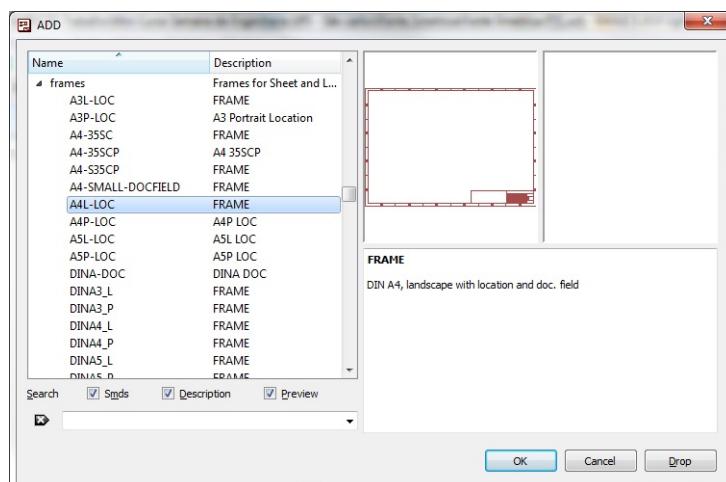


Fig. 25: Escolha do "frame"

4.3.2 Conectando os Componentes

Após adicionar os componentes é necessário fazer a ligação elétrica entre eles, para isso, a maneira corretá é utilizar a ferramenta "*Net*" na barra de ferramentas, ou digitar "net" no campo linha de comandos.

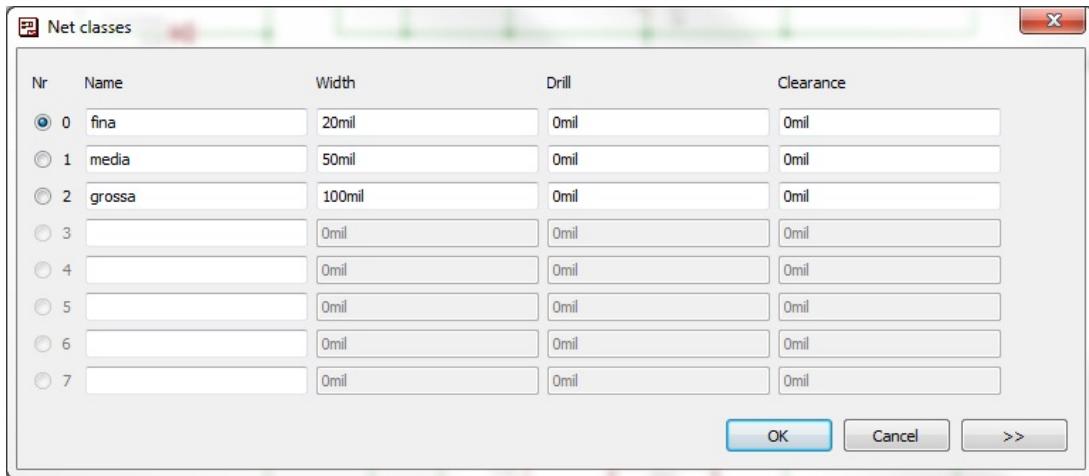
Com um clique do mouse na extremidade de um terminal inicia-se a linha e com outro clique na extremidade do outro terminal (ou Esc) conclui a ligação.



Fig. 26: Parâmetros de conexão

Observe que ao selecionar o comando "*Net*" surgem algumas opções de configuração na parte superior da janela do software. Com estas opções podemos ajustar os parâmetros das linhas que iremos desenhar. Podemos alterar o formato das linhas (ângulo reto, 45 graus, curvas e espessura da linha), lembrando que esta edição é apenas uma representação do esquema elétrico. Um cuidado deve ser tomado na hora de conectar os componentes, a conexão só é realizada quando a linha ("*net*") é conectada bem na ponta do pino do componente, caso contrario a ligação não é feita, para testar se a conexão foi realmente feita, basta selecionar a ferramenta "*move*" e arrastar o componente ao qual a linha esta conectada, se ela não acompanhar o movimento do componente, ela não esta conectada ao mesmo.

Um dos parâmetros mais interessantes a serem utilizados na ferramenta "*Net*" é o "*Net Class*", o qual, o usuário configura anteriormente classes de trilhas definindo seus parâmetros, tais como largura, diâmetro de furo e isolamento, já prevendo a utilização da mesma, por exemplo, uma trilha que vai transmitir apenas um sinal de controle pode ter uma largura menor que uma que trabalhe com um sinal de potência. Para definir estes parâmetros é necessário clicar em "*Edit → Net classes*".

Fig. 27: *Net classes*

O parâmetro "*Width*" corresponde a largura da trilha, "*Drill*" corresponde ao diâmetro do furo para possível conexão, "*Clearance*" corresponde ao isolamento da trilha em relação as outras. Lembrando que todas as medidas estão dispostas na unidade "*mil*" que corresponde à milésimos de polegadas³.

Após terminar de ligar todos os pontos do circuito, o Eagle oferece uma ferramenta que verifica se todas as conexões realmente estão conectadas, e se todos os componentes tem seu devido nome e valor. Para executa-la, clique no comando "*Erc*" ("Electrical Rule Check"), ou digite "erc" no campo linha de comando. Aparecerá uma janela informando se há algum erro no esquema elétrico, caso sim, clique duas vezes em cima da mensagem de erro e o software indicará onde está posicionado o erro.

³Relação entre "*mil*" e milímetros: 10mil (milésimos de polegada) $\rightarrow (10/1000) * 25,4\text{mm} \rightarrow 0,01 * 25,4\text{mm} \rightarrow 0,25\text{mm}$

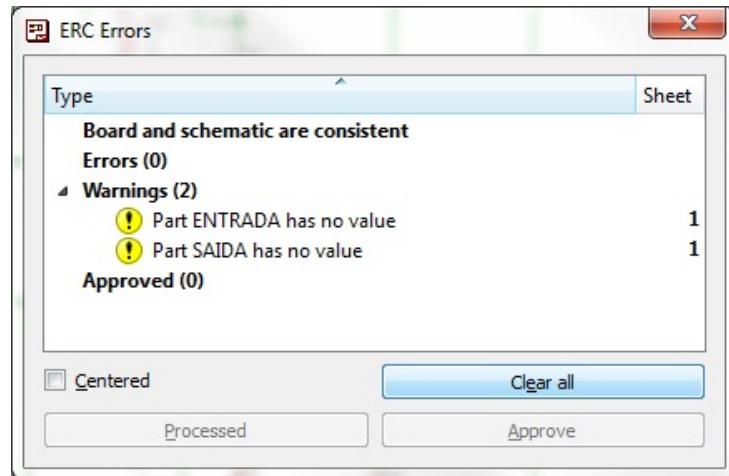


Fig. 28: *ERC - Electrical Rule Check*

No exemplo, o software apenas encontrou dois "Warnings", pode se observar este resultado também na barra inferior esquerda do software, na .Caso esteja tudo certo, o circuito deve se parecer com o indicado na imagem a seguir, note que na barra no canto inferior esquerdo são informados todos os "erros" e "warnings" do esquema elétrico. Em anexo é disponibilizado uma cópia em maior tamanho do esquema elétrico.

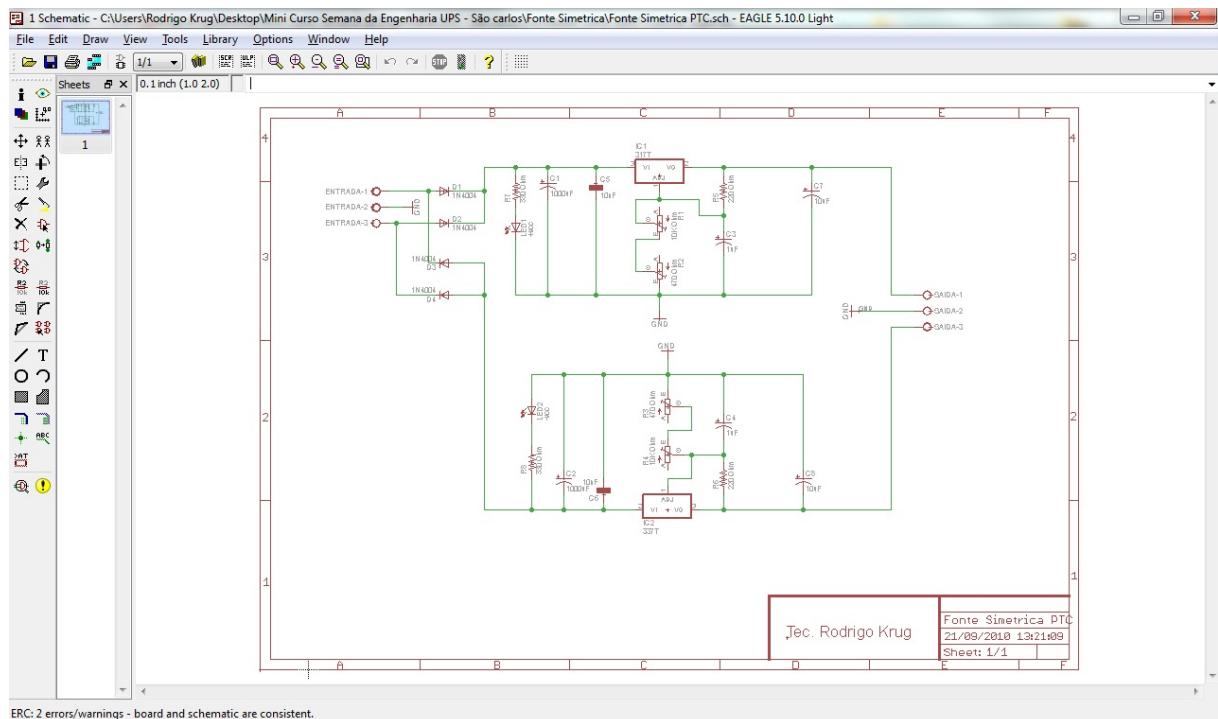


Fig. 29: Componentes adicionados

4.4 Informações Importantes

Antes de qualquer coisa, salve seu esquema elétrico.

A partir de agora passamos para uma fase do projeto, onde vamos gerar uma placa de circuito impresso, onde o software tomará por referência o esquema elétrico anterior para realizar as ligações entre os pinos dos componentes.

Antes de começar é interessante esclarecer algumas informações sobre o processo. Primeiramente o processo de desenho de placas de circuito impresso é composto de "*Layers*", os quais são os lados de uma placa, em nosso caso, devido a limitação da versão *light*, de 2 *layers*, "*Top*", lado superior da placa e "*Bottom*", lado inferior da placa, onde normalmente são soldadas os pinos dos componentes. Mas a confecção de placas de circuito impresso, não está limitada há somente dois *layers*, placas mais complexas e processos mais sofisticados de manufatura podem realizar placas com um numero maior de *layers*. A versão *Professional* do Eagle suporta até 16 *layers*.

Em nosso projeto trabalharemos apenas com o *layer "Bottom"* da placa, pois apenas com um *layer* fica muito simples de manufaturar a placa, podendo ser feita com poucos recursos.

Resumo de termos técnicos utilizados:

TOP - Trilhas do lado dos componentes.

BOTTOM - Trilhas do lado da solda.

PADS - Ilhas de solda dos componentes.

VIAS - Ilhas de passagem para conectar *layers*.

UNROUTED - Linhas que indicam uma conexão ainda não "roteada".

tKEEPOUT e bKEEPOUT - Demarca áreas onde componentes não pode ser posicionados.

tSTOP e bSTOP - Máscara de solda.

É importante também levar em consideração a largura das trilhas a serem feitas, as quais não precisam ter sua largura constante, por exemplo, quanto maior for a corrente acionada pela trilha, mais larga ela deve ser. A tabela 2 mostra a capacidade de condução em relação a largura e espessura da trilha.

Tab. 2: Relação largura de trilha versus capacidade de corrente

Largura da trilha	Corrente para cobre = 1oz.	Corrente para cobre = 2oz.
5 mils	500 mA	700 mA
10 mils	800 mA	1.4 A
20 mils	1.4 A	2.2 A
30 mils	1.9 A	3 A
50 mils	2.5 A	4 A
100 mils	4 A	7 A

Quando a intenção é fabricar uma placa de circuito impresso do modo "caseiro", ou seja, imprimir o *layout* da placa em papel *transfer* posteriormente transferi-lo para a placa de cobre com uma prensa a calor, é recomendado utilizar as trilhas com uma espessura de no minimo 30 mils, isso porque o processo é muito rudimentar e muitas vezes trilhas mais finas não são transferidas para a placa. É recomendado também se possível, fazer todos os cantos em 45°, isso para evitar cantos agudos, onde o liquido corrosivo tende a se acumular, possivelmente rompendo a trilha.

Se a intenção for mandar a placa para a manufatura em um empresa especializada, é importante verificar junto a empresa quais são as limitações da empresa à respeito de diâmetro de furos, largura minima de trilha, espaçamentos, etc.

4.5 Criando o *Layout* da Placa

Ainda na tela de edição do esquema elétrico clique no menu "*File → Switch to board*", ou digite "board"no campo linha de comando. Quando questionado se realmente quer criar uma placa do circuito projetado clique em "*Yes*".

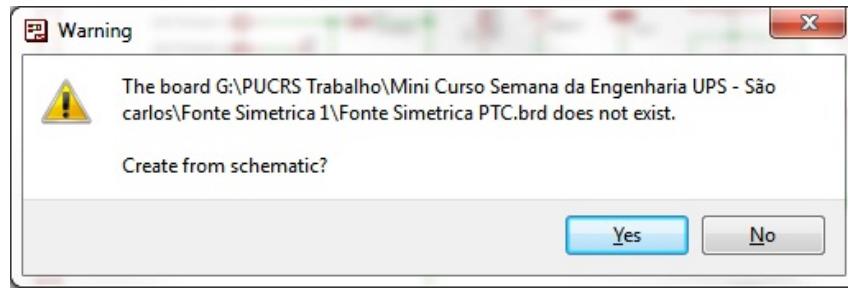


Fig. 30: Trocando de ambiente de edição

Observe que automaticamente será inicializada uma nova janela apresentando os componentes utilizados no esquema elétrico, com as interligações todas espalhadas e os componentes posicionados ao lado de uma área retangular. A partir deste rascunho inicial iremos posicionar adequadamente estes componentes na placa para gerar o layout final da PCI. Lembrando que a versão *light* do Eagle limita o tamanho da placa à 100mm x 80 mm.

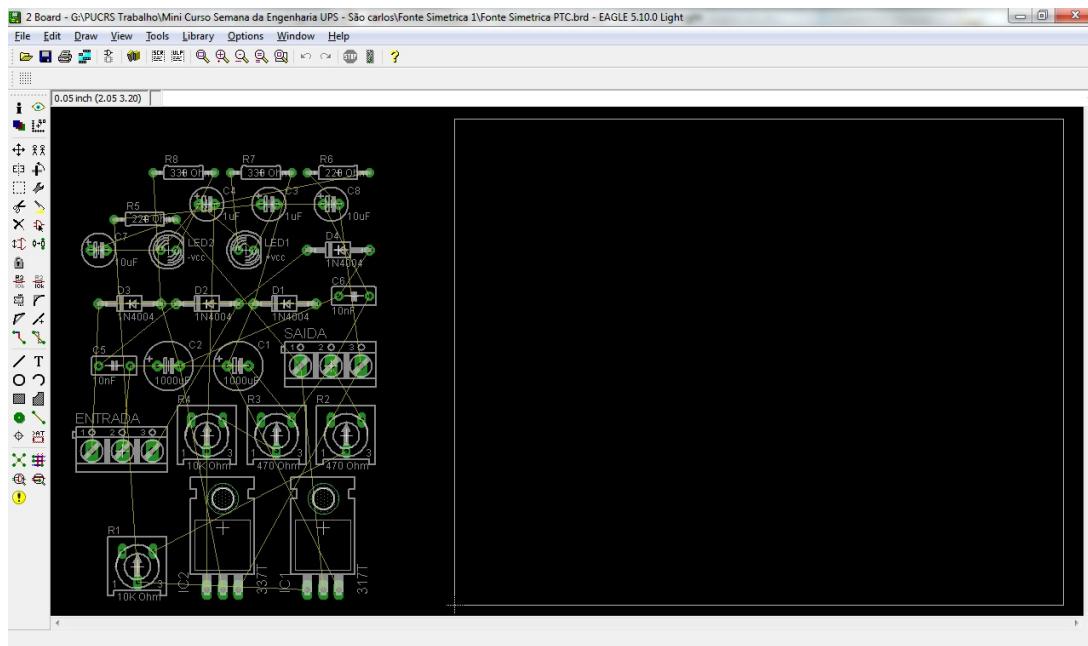


Fig. 31: Ambiente de edição do *layout* da placa de circuito impresso

Antes de iniciar a criação da placa, observe que algumas novas funções (em vermelho) na figura 32 foram acrescentadas na barra de ferramentas.

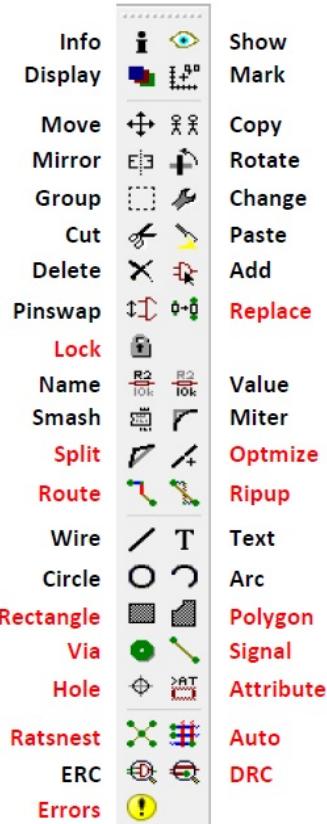


Fig. 32: Barra de ferramentas de *layout*

REPLACE - Troca o componente selecionado por outro da biblioteca.

LOCK - Trava a posição de algum componente na placa.

SPLIT - Cria uma dobra na trilha.

OPTMIZE - Une segmentos de fio.

ROUTE - Permite criar manualmente uma trilha a partir de uma ligação já estabelecida no esquema elétrico.

RIPUP - Permite desfazer uma trilha.

RECTANGLE - Permite fazer uma malha em forma de retângulo sobre a placa, por exemplo uma malha de terra.

POLYGON - Mesma função do comando "*Rectangle*", porém pode-se desenhar qualquer forma.

VIA - Permite fazer uma ligação entre os "layers" da placa.

SIGNAL - Permite gerar ligações entre ilhas de componentes (pads).

HOLE - Permite adicionar furos de fixação na placa.

ATTRIBUTE - Permite definir atributos de componentes e ligações.

RATSNEST - Redesenha a tela, calculando a menor distância entre os pontos de ligação elétrica.

AUTO - Permite fazer o roteamento das ligações de maneira automática (**Indisponível na versão light**).

DRC - "*Design Rule Check*". Verifica a placa a procura de erros, tais como curto circuito, falta de ligação, etc.

ERRORS - Mostra erros encontrados pela ferramenta "DRC".

Semelhante ao que se fez no esquema elétrico é conveniente termos um rascunho da distribuição desejada, principalmente em função das dimensões mecânicas gerais da placa (tamanho da caixa, pontos de fixação, dissipação térmica, etc.). A seguir deve-se mover os componentes para dentro da área da placa (retângulo na cor branca), para isso use o comando "*Move*" da barra de ferramentas, ou digite "*move*" no campo linha de comando.

Posicione os componentes conforme é possível ou de acordo com as especificações do projeto. Durante a movimentação do componente pode girá-lo utilizando o botão direito do mouse, de modo a encontrar uma posição mais favorável à passagem das trilhas.

Após o posicionamento dos componentes, a janela irá ficar parecida com a seguinte.

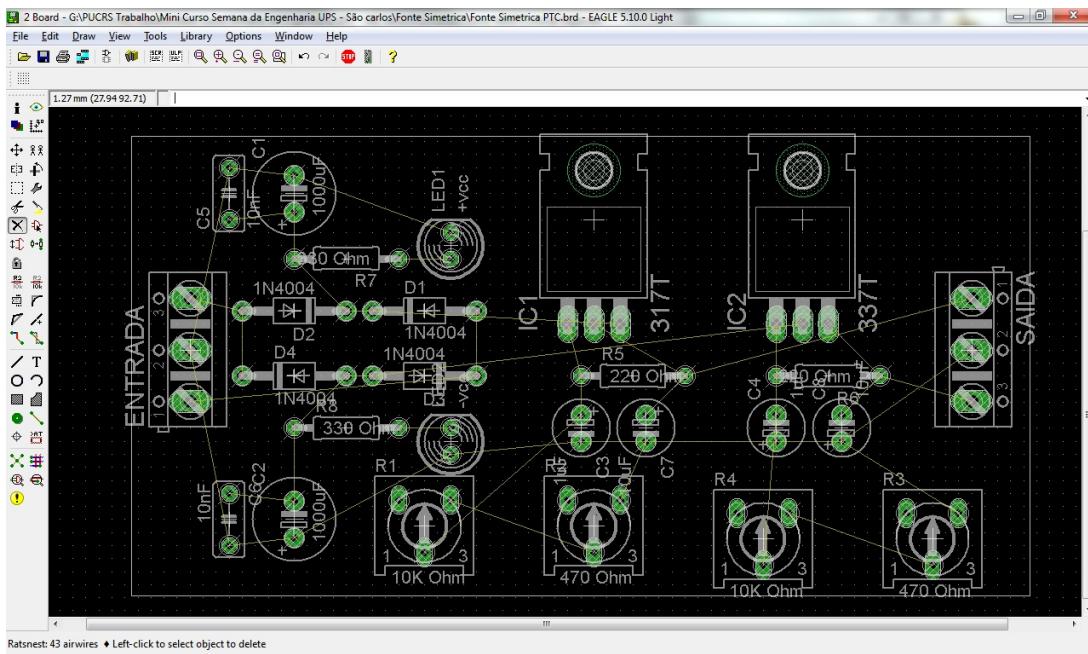


Fig. 33: Posição dos componentes

Também com o comando "*Move*" ajuste o tamanho do retângulo branco, este representa o tamanho real de sua placa. Após mover os componentes, execute o comando "Ratsnest" para organizar as trilhas de referência. Verifique o layout quanto à necessidade de mais ajustes, tais como rotacionar ou mover algum componente para facilitar a passagem das trilhas. Com os componentes posicionados é hora de rotear as trilhas, podemos fazer isso de duas maneiras, manual e automática.

4.5.1 Roteamento Automático

Uma ferramenta que a versão *Professional* do Eagle fornece é o roteamento automático, onde o usuário define uma série de parâmetros, onde a partir destes, o software faz o roteamento seguindo um algoritmo interno. Este método é muito prático e rápido, mas não tão eficaz quanto rotear a placa manualmente. Para iniciar o roteamento manual é necessário ajustar alguns parâmetros, para isso clique no menu "*Tolls → DRC*", ou digite "drc" no campo linha de comando.

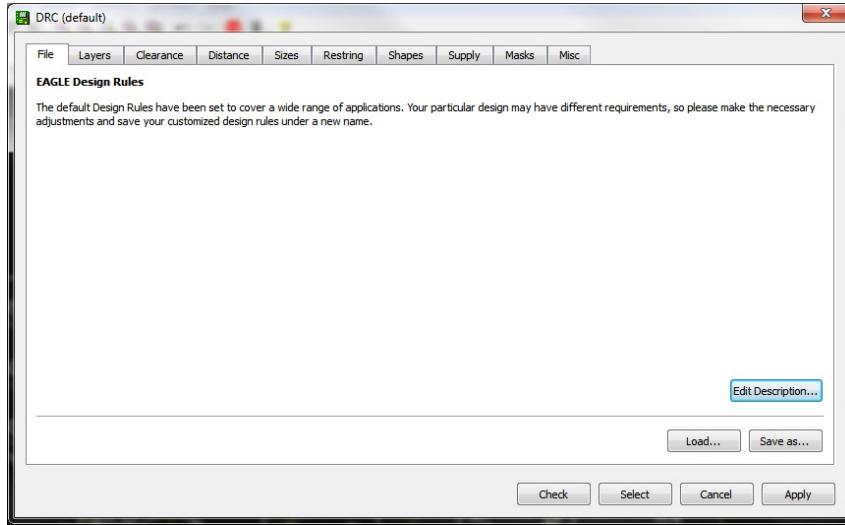


Fig. 34: DRC - *Design Rule Check*

Nesta janela é configurado uma série de parâmetros, vamos focar nos mais úteis no momento, levando em consideração que placa será manufaturada pelo método "caseiro". Clique na aba "*Clearance*", neste campo vamos editar as distâncias mínimas entre as trilhas, *pad's* e vias, assim evitando curto circuito entre elas. Configure os valores conforme a imagem abaixo.

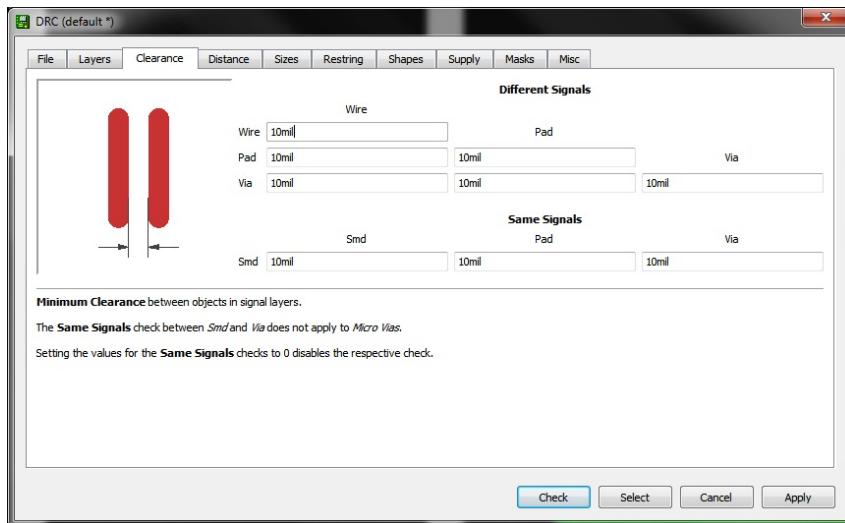


Fig. 35: Parâmetro "*Clearance*"

Clique na aba "*Sizes*", neste campo vamos editar as larguras mínimas de trilha e diâmetros de furos, caso estes valores forem muito pequenos você terá dificuldade na hora de fazer a placa, pois as trilhas muito finas poderão desaparecer. Configure os valores conforme a imagem abaixo.

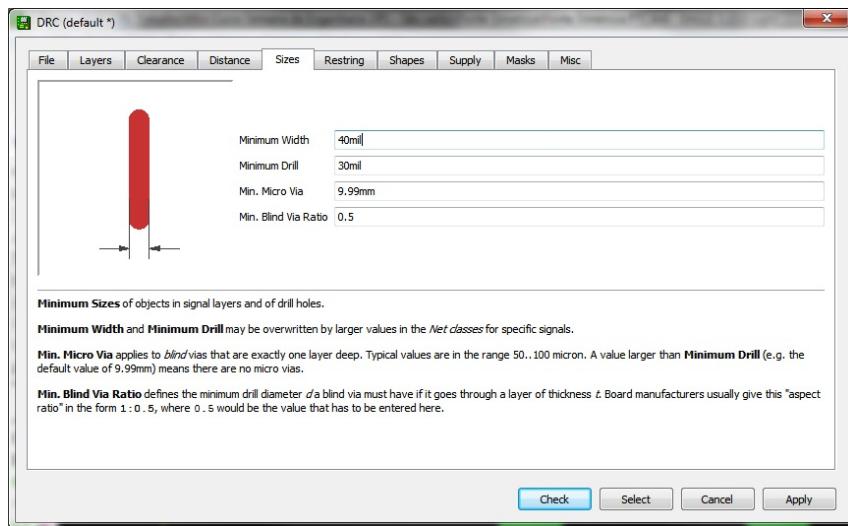


Fig. 36: Parâmetro "Sizes"

Os restante dos parâmetros serão aplicados quando a placa for manufaturada em uma empresa especializada, logo o projetista deve configurar estes de acordo com as especificações da empresa.

Após efetuar as configurações clique em "*Check*", o software buscará por erros na placa, e os apontará. Resolva todos os erros até que o comando "*Check*" não os detecte mais. Assim sua placa está pronta para ser roteada.

Clique no menu "*Tools* → *Auto*", ou digite "auto" no campo linha de comando, a seguinte janela se abrirá.

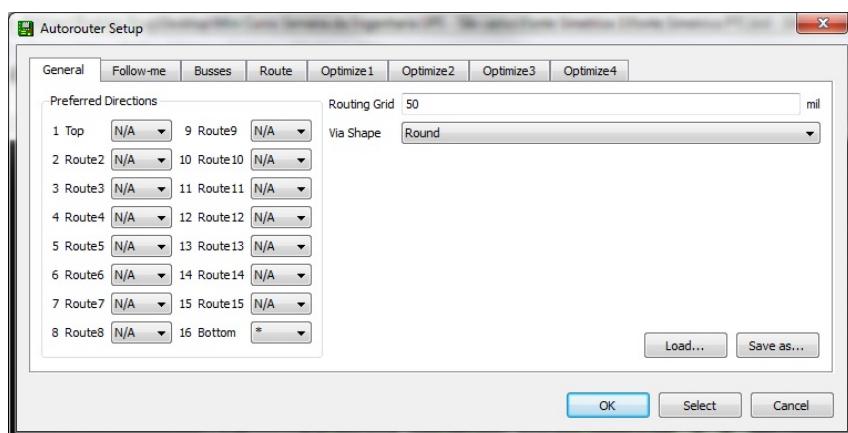


Fig. 37: Definindo parâmetros de roteamento automático

Nesta janela são definidos os parâmetros de roteamento automático, vamos nos deter a primeira aba da janela, onde o usuário configura o numero de layer's que utilizará,

e também define as direções preferenciais de cada *layer*. Em nosso caso utilizaremos apenas o *layer* "Bottom" configurado para permitir que as trilhas sejam desenhadas sem uma direção preferida, assim definido pelo símbolo "*". Clique em "OK" para iniciar o processo.

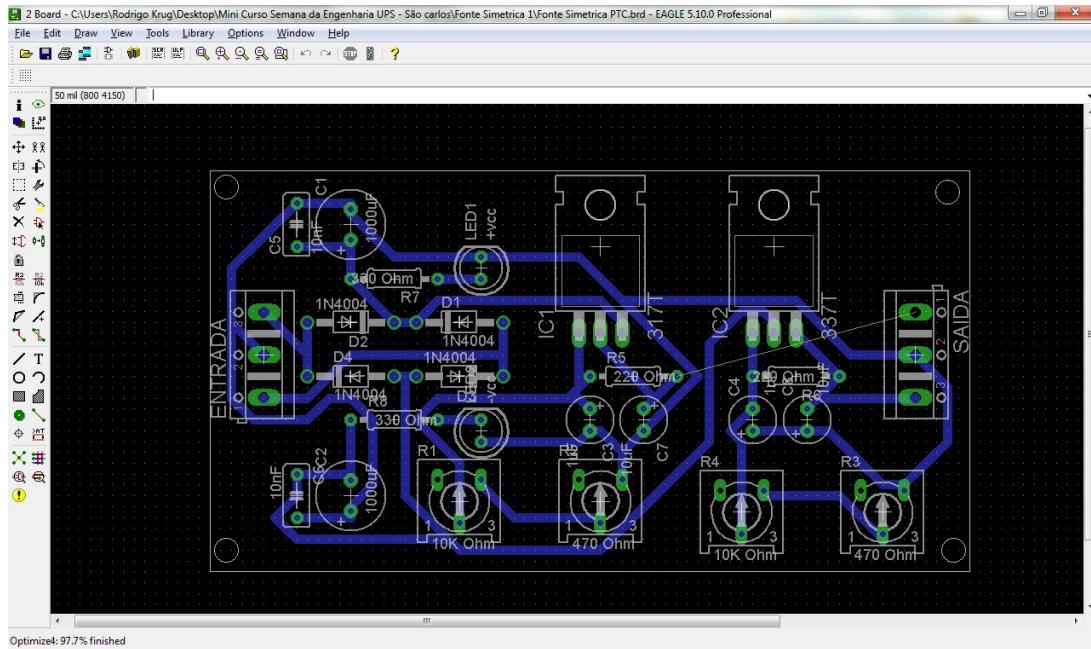


Fig. 38: Resultado do roteamento automático

Pode-se observar que o resultado obtido fica bastante confuso e visualmente desagradável, pois as trilhas estão todas desorganizadas. Mesmo com o processo de roteamento automático, pode-se observar que resta ainda uma conexão a ser feita, a qual o software não foi capaz de realizar.

Existem duas maneiras de solucionar este problema, a primeira seria reposicionando alguns componentes e realizando o processo novamente até obter o roteamento completo da placa. Para isso a placa deve ter suas trilhas desconectadas, como no estado anterior o roteamento automático. Para isso clique na ferramenta "*Ripup*", ou digite "ripup" no campo linha de comando. Após clique no símbolo de semáforo na barra de ação. O software questionará se realmente o usuário quer desconectar todas as trilhas, clique em "Yes", e a placa voltará ao estado anterior ao processo.

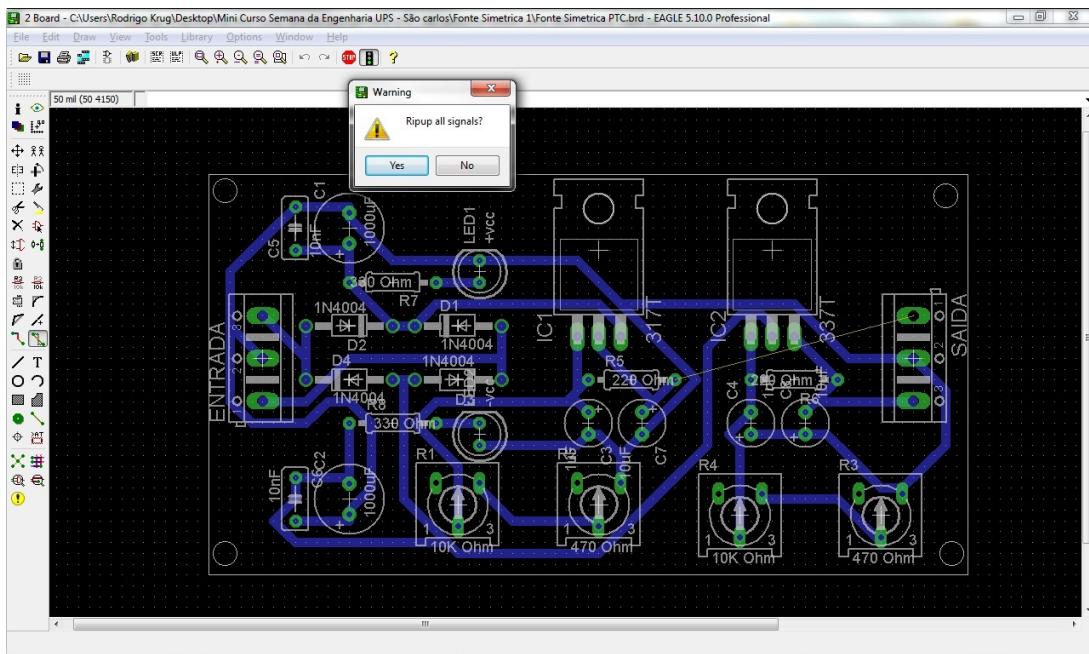


Fig. 39: Limpando o roteamento automático

Após reposicione os componentes da maneira adequada, e repita o processo novamente até obter um resultado satisfatório.

A outra maneira é fazer um "*jumper*" que nada mais é que uma ponto utilizando um pedaço de fio através do lado superior da placa, no capítulo 4.5.2 é explicado como fazer-lo.

4.5.2 Roteamento Manual

No roteamento manual, o usuário deve fazer todas as ligações da placa de maneira manual, ligando ponto a ponto. Apesar de ser trabalhoso, os resultados de uma placa roteada manualmente, são de grande satisfação, pois o usuário tem total controle sobre o caminho das trilhas, assim podendo adotar estratégias de roteamento, que o método automático não é capaz de tomar, um exemplo seria separar as trilhas de potência, de trilhas que conduzem algum sinal lógico, assim evitando problemas de ruídos, etc. Com o roteamento manual, fica muito mais simples de localizar possíveis problemas no protótipo, pois o usuário tem conhecimento de todas as trilhas. Uma outra vantagem muito importante, é que o usuário durante o roteamento pode alterar o posicionamento dos

componentes, o que facilita e reduz o tamanho da placa consideravelmente.

Assim como no roteamento automático, os componentes devem ser previamente posicionados para iniciar o processo.

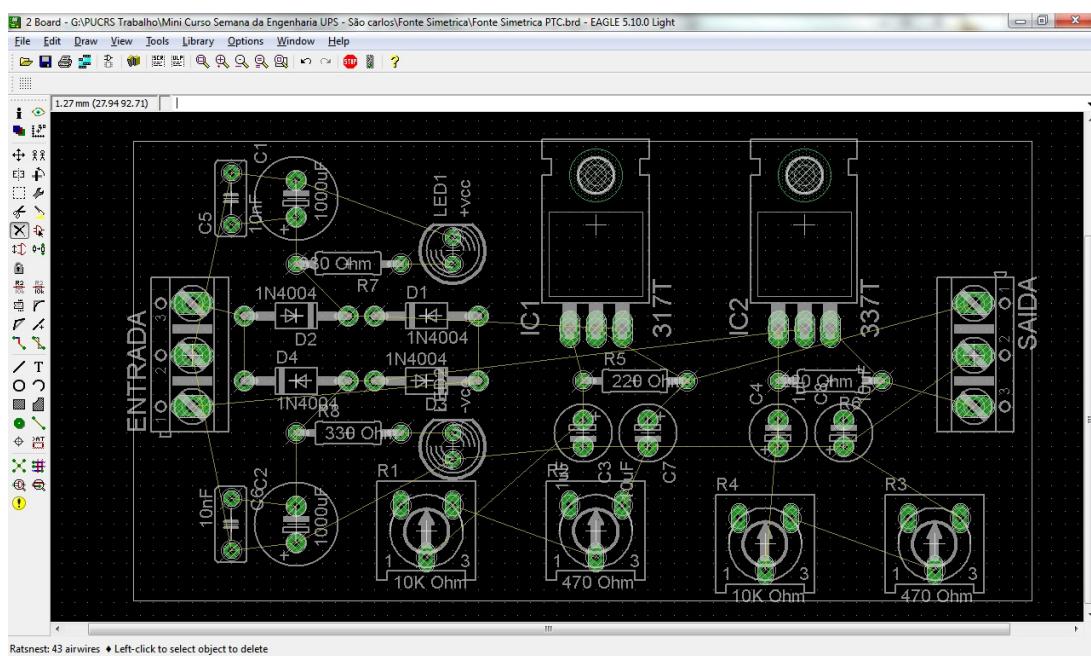


Fig. 40: Posição dos componentes

Antes de iniciar clique no comando "*Ratsnest*", ou digite "ratsnest" no campo linha de comando. Isso fará com quem todas as ligações ainda não realizadas(linhas na cor amarela) procurem o menor caminho até o ponto em que são conectadas, assim facilitando a visualização das conexões.

Para iniciar o roteamento selecione a ferramenta "*Route*", ou digite "route" no campo linha de comando.



Fig. 41: Ferramentas para criar e apagar as trilhas

Na barra de ação aparecerá os campos de seleção dos parâmetros da trilha.



Fig. 42: Parâmetros do comando "Route"

Onde nestes parâmetros, o usuário define o *layer* a ser trabalhado, o tipo de "canto" da trilha, tipo de arredondamento de cantos e raio("*Miter*"). Define a largura da trilha em "*mils*"⁴, o formato das "vias"e suas dimensões.

Para o projeto da fonte, recomendo utilizar uma largura de trilha de *50mils*, não só por suportar a corrente necessária, mas também para facilitar na hora de manufaturar a placa, pois trilhas muito finas, tendem a desaparecer no processo de transferência e corrosão. Também recomento configurar o canto das trilhas para 45° , isso para evitar o acumulo de liquido corrosivo nos cantos agudos.

Após setar todos os parâmetros, basta clicar sobre a trilha desejada que o software mostrará onde ela deve ser conectada.

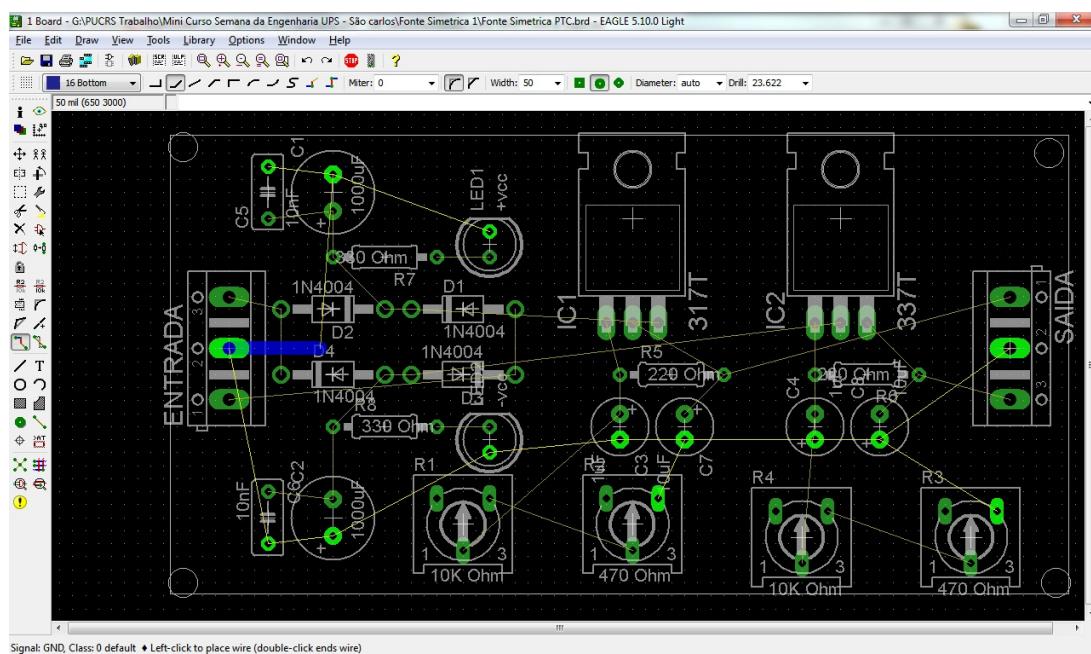


Fig. 43: Possíveis conexões da trilha

Note que o software enfatiza os locais em comum conexão na cor verde claro. Também

⁴Relação entre "mil" e milímetros: 10mil (milésimos de polegada) $\rightarrow (10/1000) * 25,4\text{mm} \rightarrow 0,01 * 25,4\text{mm} \rightarrow 0,25\text{mm}$

no canto inferior direito o software exibe algumas informações na trilha a ser conectada.

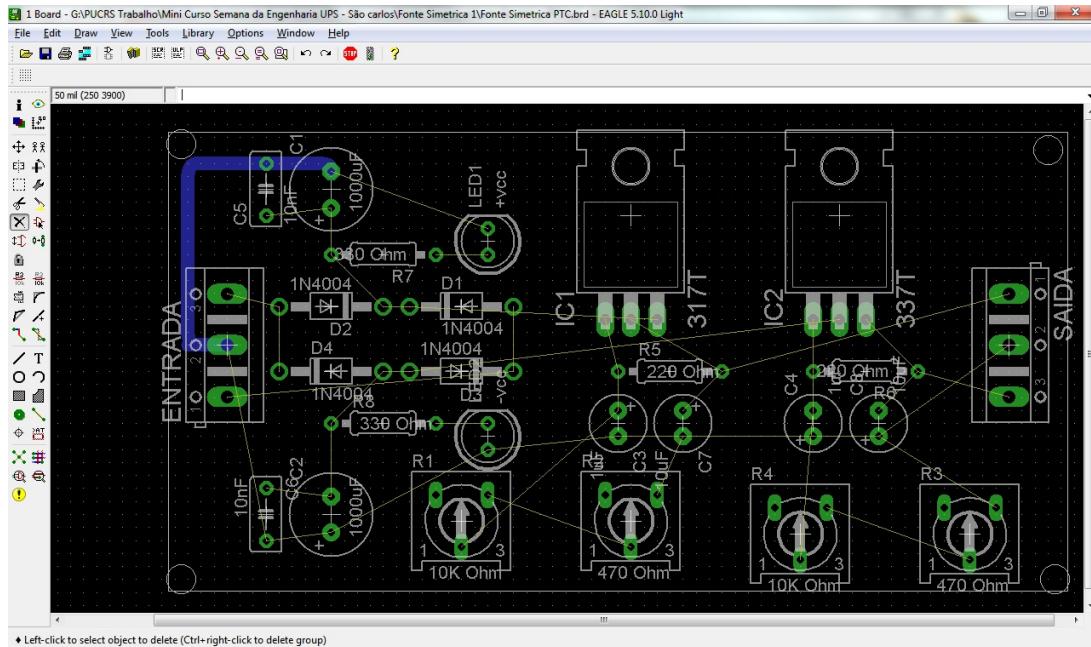


Fig. 44: Conexão realizada

Agora basta repetir o processo até que todas as trilhas estejam conectadas.

Importante: Deve-se observar para que trilhas distintas de um mesmo *layer* não podem cruzar-se umas sobre as outras, isso ocasionaria um curto circuito, prejudicando o funcionamento da placa, também deve-se observar a distância entre trilhas distintas, a fim de evitar curto circuito, devido a falhas no processo de manufatura.

Após terminar o processo a placa deve-se parecer com a imagem seguir.

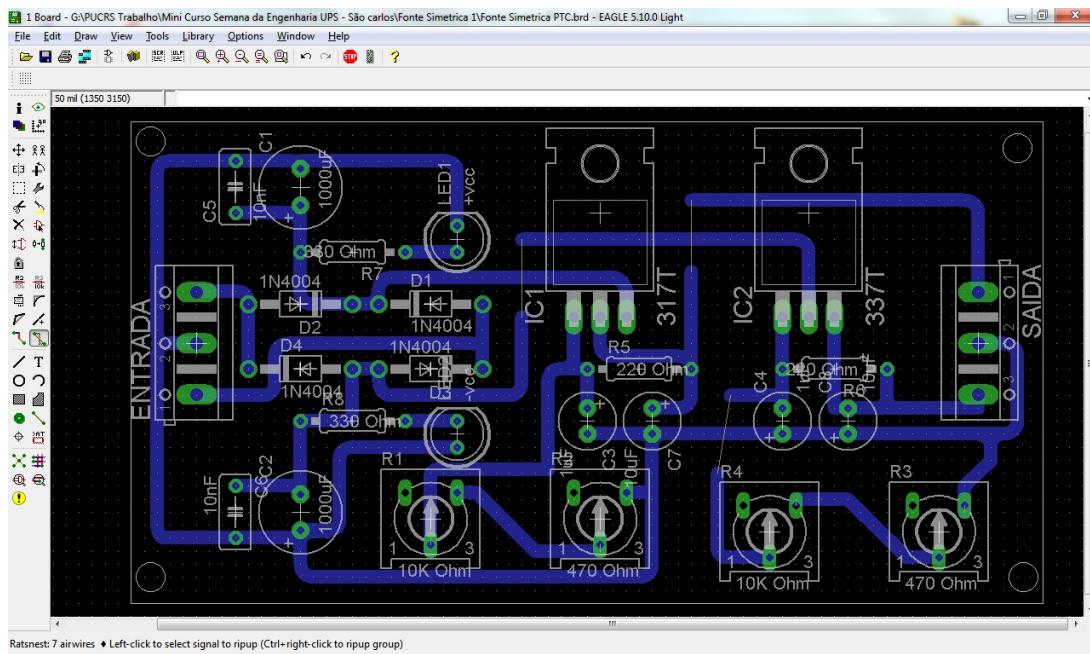


Fig. 45: Placa roteada

Note que ainda faltam rotear 3 trilhas na placa, as quais não foi encontrada uma maneira de conectar-as sem provocar um curto circuito.

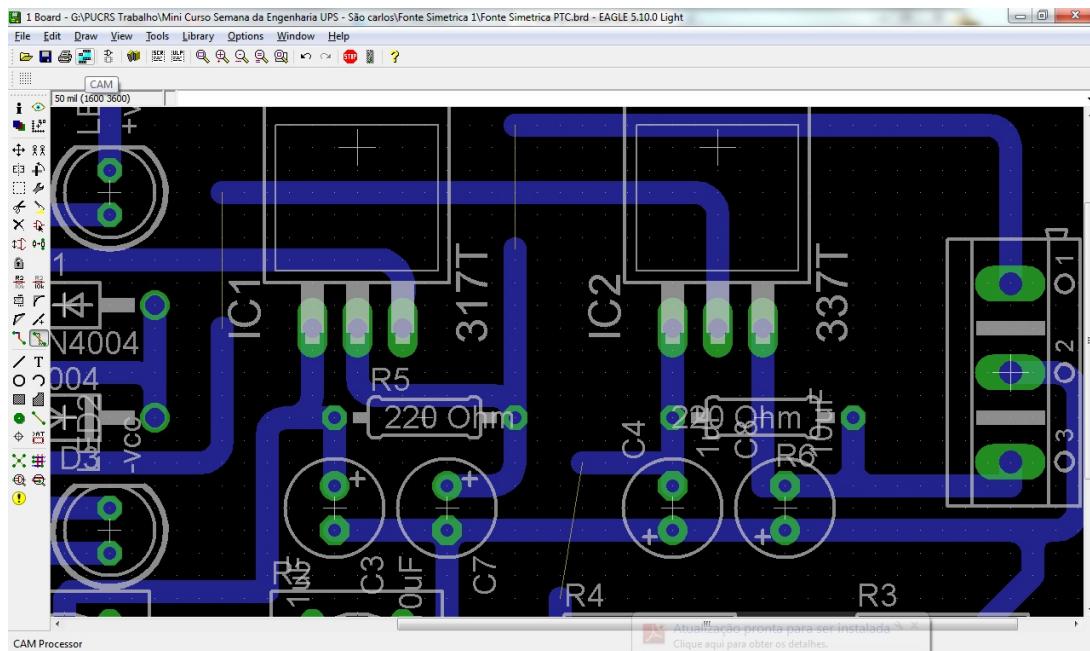


Fig. 46: Detalhe nas trilhas não terminadas

É possível solucionar este problema de duas maneiras, a primeira seria tentar realocar alguns componentes a fim de encontrar um caminho, mas muitas vezes isto não é possível, outra maneira seria recorrer a utilização de mais um layer da placa, o "Top"(superfície

superior), já que o software à disponibiliza.

Neste projeto queremos fazer uma placa com apenas um *layer*, sendo assim, existe uma maneira simples de resolver o problema, criando um *jumper*(Uma ponte pela superfície da placa com um pedaço de fio), para isso, desenhe a trilha até o ponto mais próximo da outra parte da trilha, conforme a imagem a seguir.

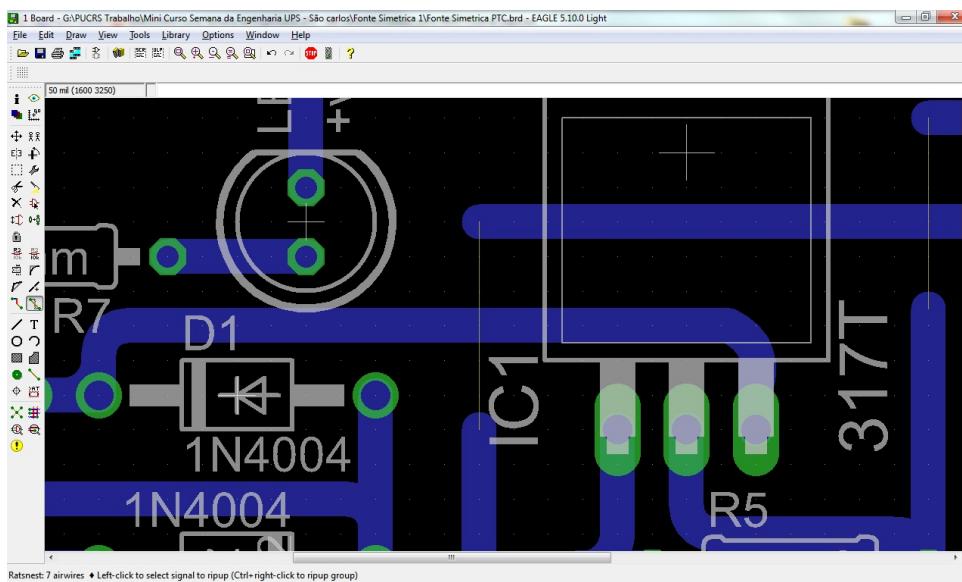


Fig. 47: Criando um *jumper*

O próximo passo é adicionar uma "via"(furo que liga o lado inferior com o lado superior da placa). A maneira mais simples é desenhando uma trilha no *layer "Top"* da placa, que criará automaticamente as duas vias necessárias para a conexão.

Para isso selecione a ferramenta "*Route*", configures os parâmetros da via nas opções da ferramenta. Recomendo que os furos de via sejam feitos com o diâmetro de 1mm, pois é a broca mais comum disponível. Clique sobre a extremidade da trilha a ser trabalhada, selecione o *layer "Top"*, clique na outra extremidade da trilha.

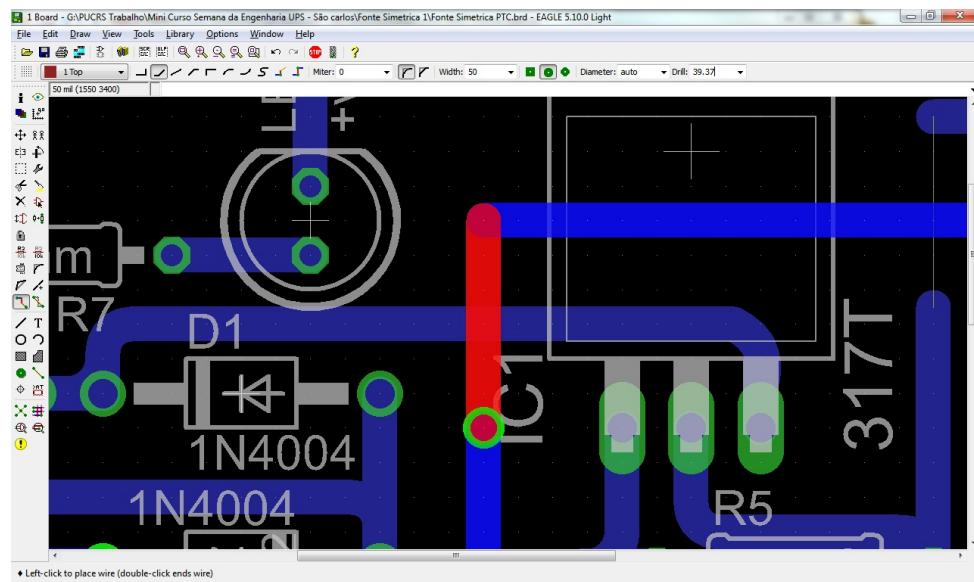


Fig. 48: Criando um *jumper*

Após clicar na outra extremidade da trilha, selecione novamente o *layer* "Bottom" e clique mais uma vez sobre a trilha.

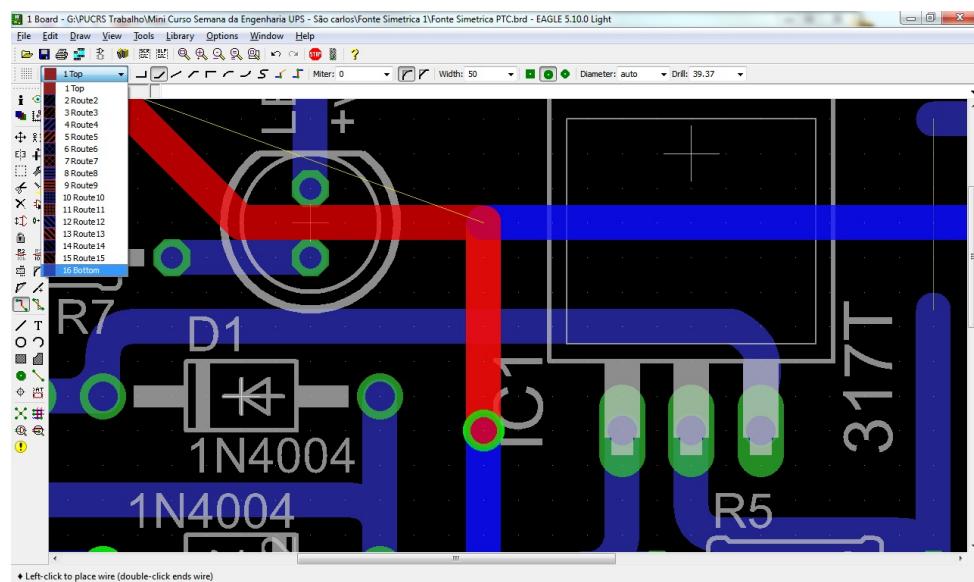
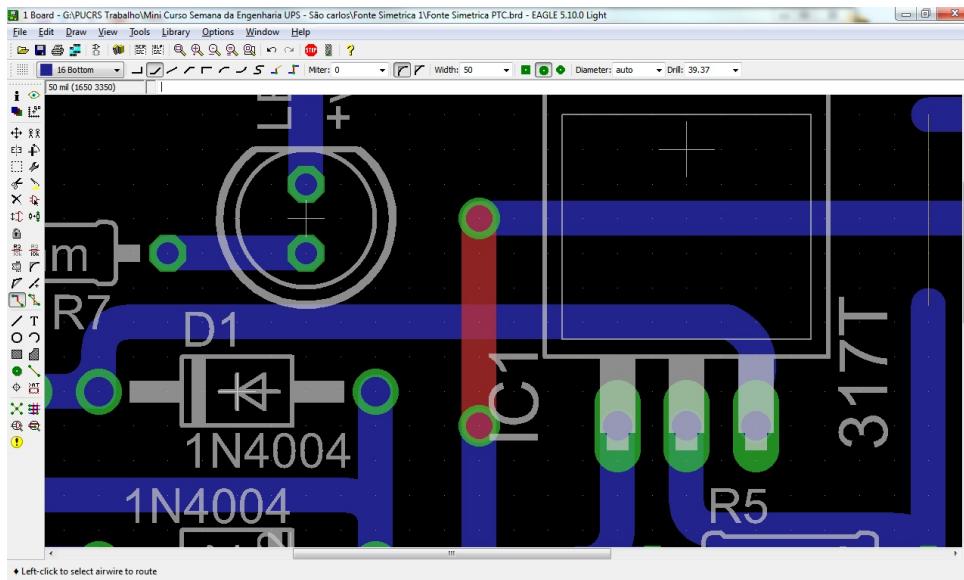


Fig. 49: Criando um *jumper*

Agora basta repetir o processo para todos os outros *jumper*'s da placa. É recomendado quanto menos *jumper*'s melhor, pois eles se tornam pontos críticos da placa. Uma dica, quando é feita a troca de *layer*'s, ao invés de ir até a barra de ação e trocar de *layer*, clicando com o botão central(clique na rolagem) do mouse durante o processo, da acesso ao menu de *layer*'s.

Fig. 50: Criando um *jumper*

Ao final do roteamento a placa deve-se parecer com a imagem abaixo.

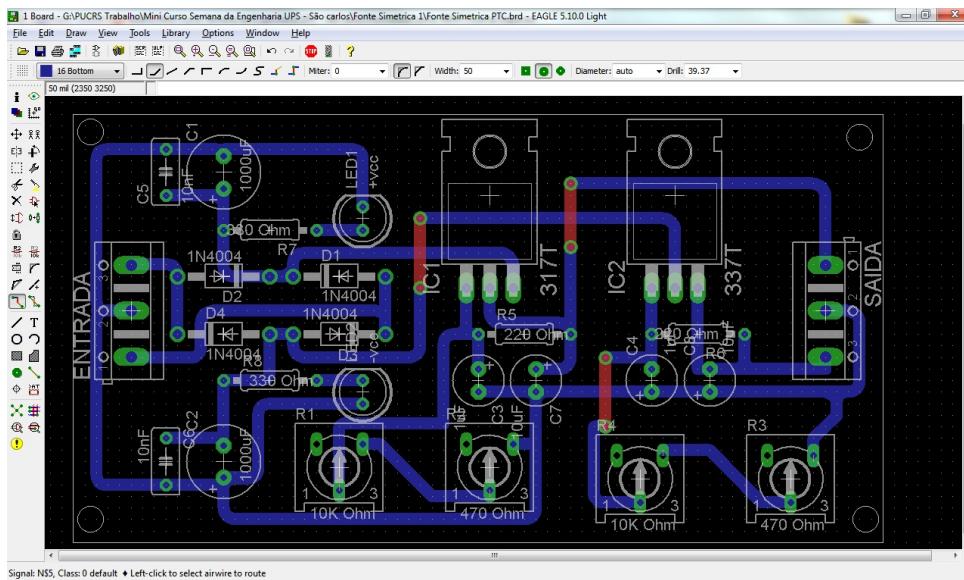


Fig. 51: Roteamento completo

A fim de ajudar na identificação de pinos de entrada, e até a inserção de uma informação qualquer, é possível adicionar texto na placa. Caso a placa for feita no processo caseiro, este texto pode estar em forma de cobre, assim auxiliando o usuário na conexão dos cabos de alimentação, etc. Para isso basta selecionar a opção "*Text*", ou digitar "text" no campo linha de comando, configurar o tamanho e fonte do texto, e posicioná-lo

na placa.

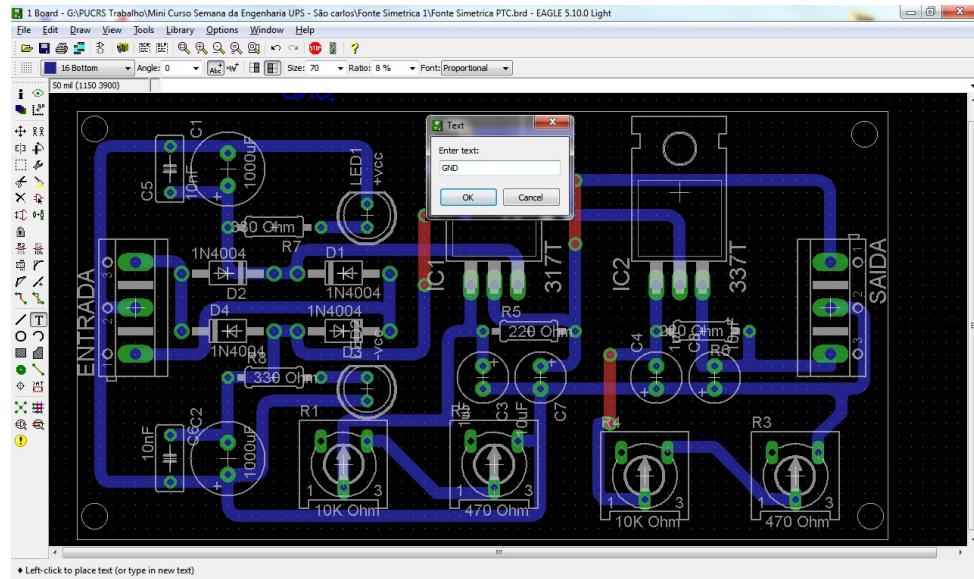


Fig. 52: Inserindo um texto na placa

Por fim, é interessante adicionar furos de fixação em sua placa. Basta clicar no comando "*Via*", ou digitar "via" no campo linha de comando, definir os parâmetros na barra de ação, e adicionar os furos necessários na placa. Também recomento adicionar uma linha mais larga no contorno da placa, a fim de ajudar no corte da placa. Para isso basta clicar no comando "*Wire*", ou digitar "wire" no campo linha de comando, definir seus parâmetros e desenha-la no contorno da placa, sempre observando para não provocar pontos de curto circuito na placa. Ao final a placa deve-se parecer com a imagem a seguir.

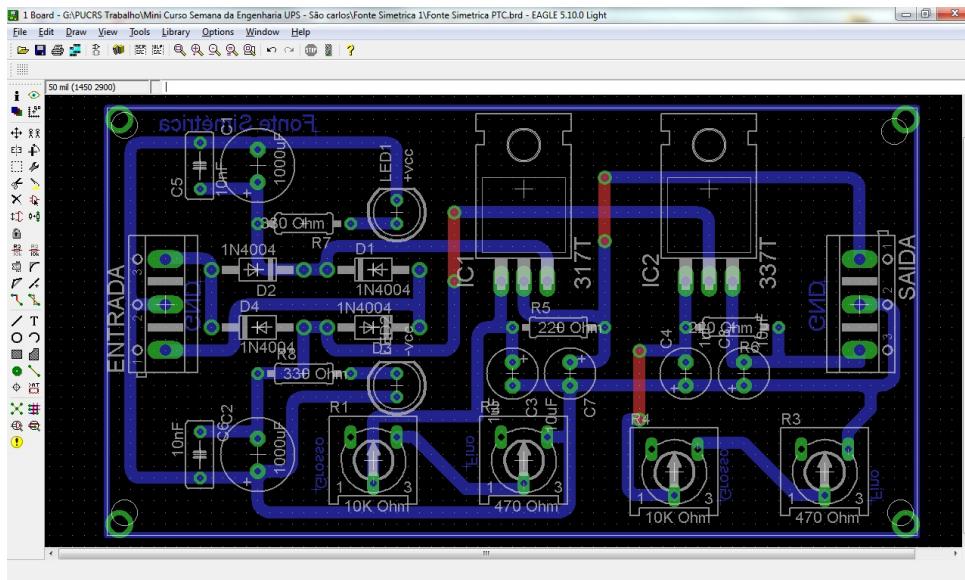


Fig. 53: Placa pronta

4.5.3 Fazendo uma Malha de Terra(GND) na Placa

Alguns circuitos necessitam de uma malha de terra. Para isso clique na ferramenta "Polygon", ou digite "polygon" no campo linha de comando.



Fig. 54: Parâmetros da ferramenta "Polygon"

Note que surgirão na barra de ação, os parâmetros a serem ajustados, entre eles destaco, a escolha do *layer* de aplicação da malha de terra, tipo de malha e de conexão dos furos e isolamento(*Isolate*) da malha em relação a trilhas que não pertencem ao "GND".

Para desenhar uma malha de terra("GND") por exemplo, selecione a ferramenta *polygon*, configure os parâmetros de acordo com o especificado no projeto, em nosso caso altere o parâmetro "*Width*" para 32mils e "*Isolate*" para 32mils.

Desenhe o formato da malha desejada, procure sempre fechar o polígono por completo, caso contrário o software não realizará a malha.

Após fechar o polígono, clique no comando "*Name*", ou digite "name" no campo linha de comando, e de o nome a quem a malha deve se conectar, em nosso caso, ao "GND".

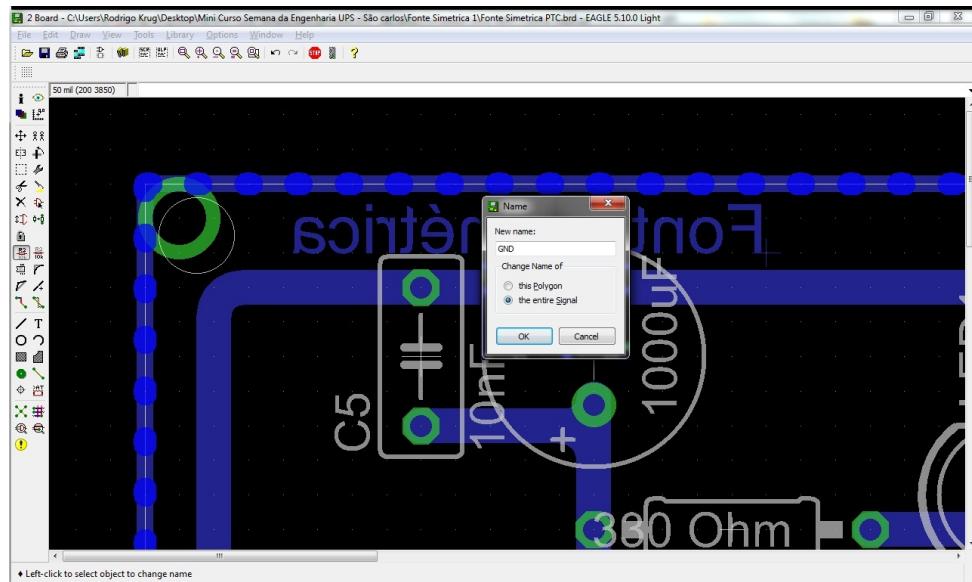


Fig. 55: Nomeando malha

Marque a opção "*the entire signal*", clique em "OK", o software questionará se realmente o usuário quer conectar a malha com o sinal em questão, clique em "OK" e sua malha estará pronta.

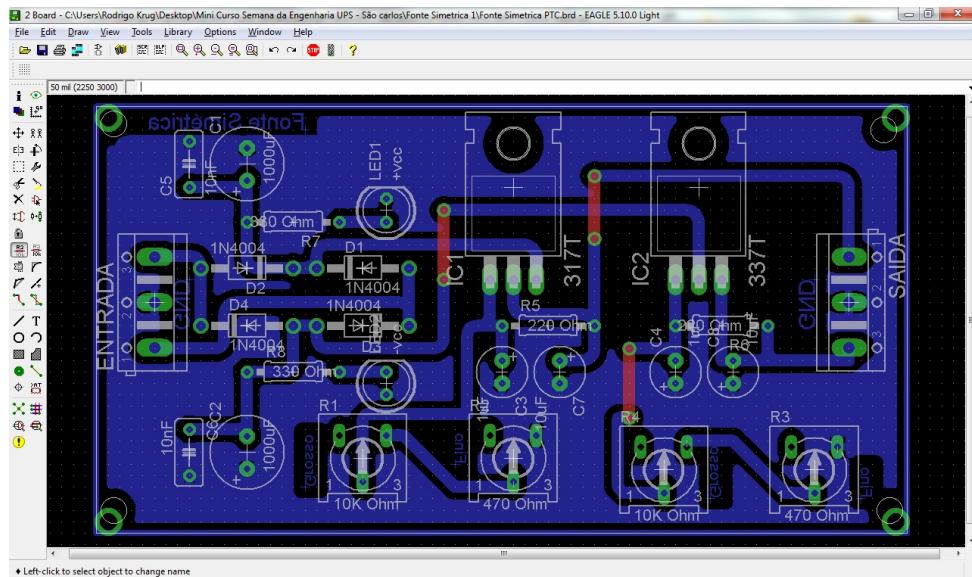


Fig. 56: Resultado da malha

4.6 Impressão

A última etapa consiste na impressão do circuito, seja para a documentação do projeto ou para a fabricação da placa através do método de transferência por calor e corrosão. Antes de imprimir é necessário desativar temporariamente alguns *layers* indesejados. Deste modo, podemos imprimir apenas as ilhas, vias e trilhas da placa, ou apenas a serigrafia e as ilhas (para a documentação do projeto).

Para desabilitar estes *layers*, para isso clique em "*Display*" na barra de ferramentas ou digite "display" no campo linha de comando. A seguinte janela aparecerá.

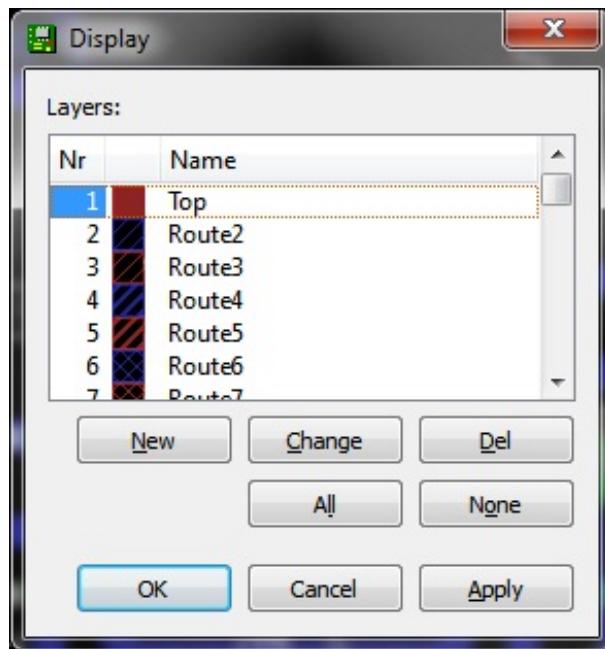


Fig. 57: Seleção de visualização de *layers*

Para ativar ou desativar a visualização de um *layer*, basta clicar sobre o numero do *layer* correspondente, tendo como cor "azul" ativado e "branco" desativado.

Para a impressão da placa para a manufatura caseira de um *layer*(*Bottom*), deve-se selecionar apenas os *layers*: *Bottom*, *Pads*, *Vias*, conforme imagem a seguir.

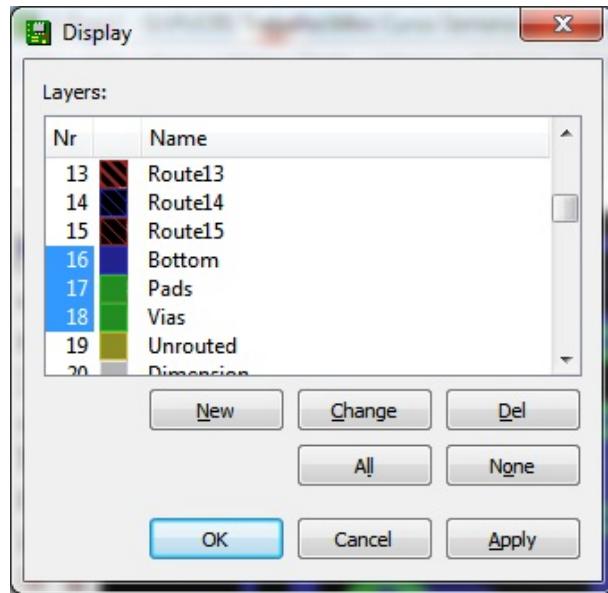


Fig. 58: Seleção de *layers* para a impressão

O próximo passo é imprimir a placa em uma impressora laser, em um papel especial para este tipo de processo(normalmente papel "transfer"ou "glossi", encontrado em diversas lojas de eletrônica). Ao imprimir, é aberta uma janela de configuração, onde devem ser selecionadas as seguintes caixas: *Black*, *Solid*, isto para evitar que impressora tente imprimir em escala de cinza, prejudicando o resultado final. Também podemos alterar o alinhamento da placa sobre a folha, assim melhorando o aproveitamento da folha.

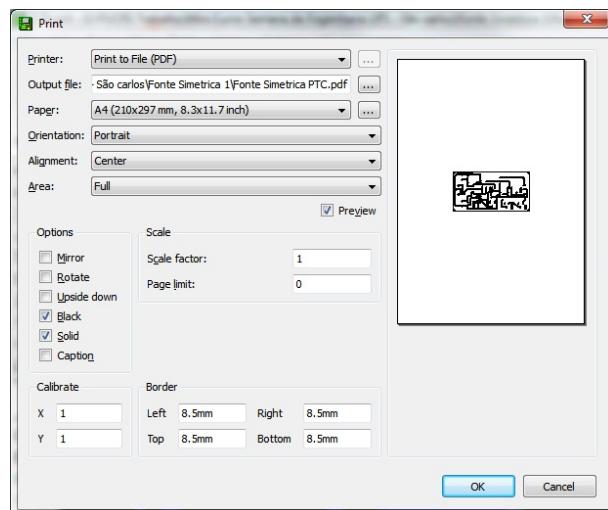


Fig. 59: Configurando impressão

Clique em "OK" e obteremos o seguinte resultado, pronto para ser transferido para a placa.

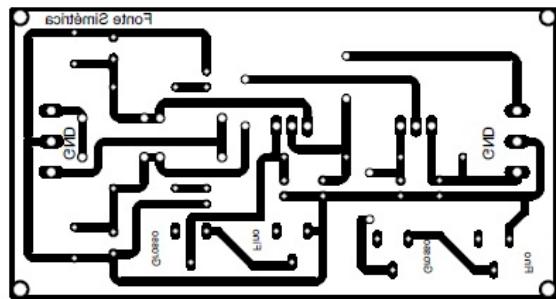


Fig. 60: Resultado final da placa

ANEXO A - Esquema Elétrico

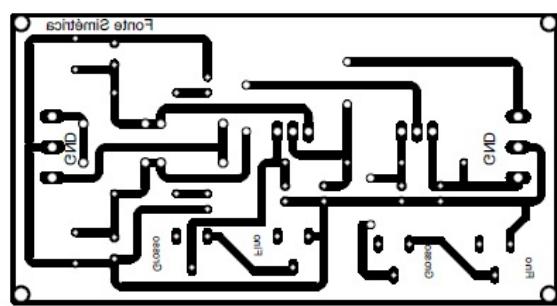


Fig. 61: Esquema Elétrico

ANEXO B - Lista de Componentes

Tab. 3: Lista de componentes

Part	Value	Device	Package	Description	Library
C1	1000uF	CPOL-USE3.5-8	E3,5-8	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C2	1000uF	CPOL-USE3.5-8	E3,5-8	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C3	1uF	CPOL-USE2.5-6	E2,5-6	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C4	1uF	CPOL-USE2.5-6	E2,5-6	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C5	10nF	C-EU050-030X075	C050-030X075	CAPACITOR, European symbol	rcl
C6	10nF	C-EU050-030X075	C050-030X075	CAPACITOR, European symbol	rcl
C7	10uF	CPOL-USE2.5-6	E2,5-6	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
C8	10uF	CPOL-USE2.5-6	E2,5-6	POLARIZED CAPACITOR, American symbol	rcl
D1	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE	diode
D2	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE	diode
D3	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE	diode
D4	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE	diode
ENTRADA		AK500/3	AK500/3	CONNECTOR	con-pr500
SAIDA		AK500/3	AK500/3	CONNECTOR	con-pr500
IC1	317T	317T	TO220H	Positive VOLTAGE REGULATOR	linear
IC2	337T	337T	TO220H	Negative VOLTAGE REGULATOR	linear
LED1	+vcc	LED5MM	LED5MM	LED	led
LED2	-vcc	LED5MM	LED5MM	LED	led
R1	10KOhm	TRIM_EU-RS3	RS3	POTENTIOMETER	pot
R2	470Ohm	TRIM_EU-RS3	RS3	POTENTIOMETER	pot
R3	470Ohm	TRIM_EU-RS3	RS3	POTENTIOMETER	pot
R4	10KOhm	TRIM_EU-RS3	RS3	POTENTIOMETER	pot
R5	220Ohm	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol	rcl
R6	220Ohm	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol	rcl
R7	330Ohm	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol	rcl
R8	330Ohm	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol	rcl

ANEXO C - Resultado Final

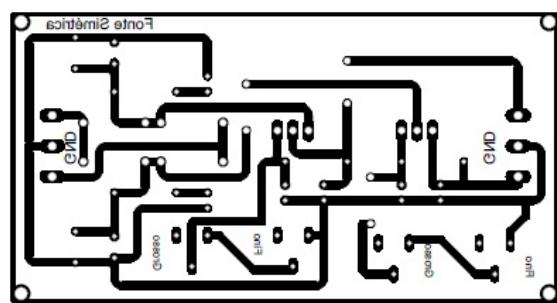


Fig. 62: Resultado final

Referências

- [1] M. N. O. S. Charles K. Alexander. *Fundamentos de circuitos elétricos*. McGraw-Hill, 2008.
- [2] Wikipédia. Conversor digital-analógico, 2009. [Online; Acessado em 23 de junho de 2009].