



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
CURSO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

CLÁUDIO GABRIEL VENCESLAU VALE

**DESENVOLVIMENTO DE UM TESTADOR DE COMPONENTES ELETRÔNICOS
UTILIZANDO ARDUINO**

MOSSORÓ

2022

CLÁUDIO GABRIEL VENCESLAU VALE

**DESENVOLVIMENTO DE UM TESTADOR DE COMPONENTES ELETRÔNICOS
UTILIZANDO ARDUINO**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Paulo César Linhares da
Silva, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2022

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu respectivo(a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V149d Vale, Cláudio Gabriel Venceslau.
DESENVOLVIMENTO DE UM TESTADOR DE COMPONENTES
ELETRÔNICOS UTILIZANDO ARDUINO / Cláudio Gabriel
Venceslau Vale. - 2022.
78 f. : il.

Orientador: Paulo César Linhares da Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Arduino. 2. Identificador. 3. Componentes.
4. Alternativa. I. Silva, Paulo César Linhares
da, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade

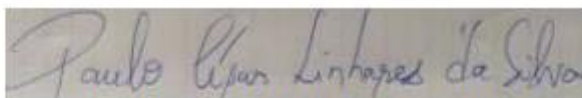
CLAUDIO GABRIEL VENCESLAU VALE

**DESENVOLVIMENTO DE UM TESTADOR DE COMPONENTES ELETRÔNICOS
UTILIZANDO ARDUINO**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 17/06 /2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. PAULO CÉSAR LINHARES DA SILVA – UFERSA
Presidente e orientador



Prof. Dr. REUBER RÉGIS DE MELO – UFC

Primeiro Membro
IDALMIR DE SOUZA QUEIROZ
JUNIOR:63510731468

Assinado de forma digital por IDALMIR DE
SOUZA QUEIROZ JUNIOR:63510731468
Dados: 2022.06.17 16:19:06 -03'00'

Prof. Dr. IDALMIR QUEIROZ FILHO - UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus familiares, especialmente a minha mãe Gizelle, minha irmã Gabrielle e minha avó Gercina, por serem as três mulheres que cuidaram e ainda cuidam de mim. Sem elas não seria possível chegar tão longe.

Em segundo lugar, agradeço ao meu orientador Dr. Paulo César Linhares da Silva, pela paciência e compreensão que teve por mim durante todo esse período.

Por fim, mas não menos importante, agradeço aos meus amigos que me serviram de inspiração e me fizeram crescer ao lado deles, além de tornarem minha rotina estudantil mais agradável.

Muito obrigado!

RESUMO

Para atender a necessidade cada vez maior de métodos práticos para a realização da montagem e manutenção de circuitos eletrônicos, torna-se vital o uso de aparelhos que possam indicar e medir as características dos componentes desses dispositivos. Com esse propósito, o trabalho de pesquisa visa criar um identificador de componentes eletrônicos utilizando a Plataforma Arduino. Realizando isso através do estudo das propriedades dos principais componentes eletrônicos, da identificação dos recursos que o Arduino pode oferecer para a criação do instrumento e por fim, da criação do programa que irá realizar as sequências de passos necessárias para a finalidade do projeto. Realizou-se então, uma pesquisa de finalidade aplicada, com objetivo descritivo, de abordagem quantitativa, utilizando o método hipotético dedutivo, através do procedimento bibliográfico. Diante disso, constatou-se a viabilidade da criação de um instrumento, capaz de medir componentes eletrônicos a partir do Arduino, de forma relativamente eficiente, sendo uma alternativa barata a outros aparelhos presentes no mercado.

Palavras-chave: Arduino. Identificador. Componentes. Alternativa.

ABSTRACT

To meet the increasing need for practical methods for the assembly and maintenance of electronic circuits, it is vital to use devices that can indicate and measure the characteristics of the components of these devices. For this purpose, the research work aims to create an electronic component identifier using the Arduino Platform. This is accomplished by studying the properties of the main electronic components, the identification of the resources that Arduino can offer for the creation of the instrument, and finally, the creating the program that will perform the sequences of steps necessary for the project. Applied research was then carried out, with a descriptive objective, of quantitative approach, using the hypothetical deductive method, through the bibliographical procedure. Therefore, the viability of creating an instrument capable of measuring electronic components from Arduino was verified, in a relatively efficient way, being a cheap alternative to other devices on the market.

Keywords: Arduino. Identifier. Component. Alternative.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Componentes eletrônicos:	10
2.1.1	Resistores.....	10
2.1.2	Capacitores	11
2.1.3	Diodo	15
2.1.4	Transistor Bipolar de Junção	19
2.1.5	Indutor	22
2.2	Arduino UNO.....	25
2.2.1	Portas Analógicas	25
2.2.2	Medidor de Tempo	28
2.2.3	Portas Digitais	28
2.2.4	Comparador Analógico.....	30
2.2.5	Interrupções	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	Circuito	33
3.2	Software do dispositivo	35
3.3	Medições	41
3.4	Considerações sobre o projeto.....	43
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXO A- CÓDIGO DO IDENTIFICADOR DE COMPONENTES.....	55
	ANEXO B -CODIGO DE CALIBRAÇÃO DO IDENTIFICADOR	75

1 INTRODUÇÃO

Os componentes eletrônicos são amplamente utilizados em diversos aparelhos que tenham eletricidade como meio de funcionamento, sendo indispensáveis para diferentes circuitos e servem para diversas finalidades devido as características únicas que cada um deles possui. Além disso, a maioria deles tem baixo custo e são utilizados no meio eletrônico por amadores e profissionais.

Nos últimos anos houve um crescente aumento de produtos eletrônicos na economia, tendo estes cada vez mais participação nos serviços, na indústria em geral, no setor de telecomunicação e informática e nos bens de consumo, como: automóveis, produtos de áudio e eletrodomésticos, que a cada ano incorporam um maior número de componentes eletrônicos (TAVARES, 2001).

No mercado atual diversos empreendimentos que trabalham com a manutenção e construção de aparelhos eletrônicos necessitam constantemente avaliar as propriedades dos componentes, que não são mostradas de forma explícita e necessitam de aparelhos de medição para facilitação do trabalho e melhora na eficiência.

Uma plataforma popular e acessível que pode ser usada para criação dos mais diversos tipos de projetos é o Arduino. Depois do início do Arduino Project em 2005, foram vendidas mais de 500 mil placas Arduino no mundo todo, somando isso ao fato do número de placas clones e não oficiais ser possivelmente ainda mais numeroso, o Arduino e suas variantes contam com mais de um milhão de placas comercializadas. Sua popularidade é cada vez maior e possui um grande potencial na criação de projetos de forma rápida e fácil, com uma curva de aprendizagem relativamente baixa (MCROBERTS, 2015).

Todos esses fatores corroboram com a necessidade de medir as propriedades desses elementos, de maneira fácil e rápida, utilizando uma plataforma de software aberto, com IDE (ambiente de desenvolvimento integrado), gratuito, que permite as mais diversas pessoas o utilizem para auxiliar em projetos de eletrônica, servindo também como alternativa a outros aparelhos de medida.

Portanto, indaga-se: é possível criar um dispositivo simples e acessível a partir do Arduino que possa identificar e medir as características de componentes eletrônicos de forma automática e eficiente?

A fim de sanar essa dúvida a pesquisa apresenta como objetivo geral, criar um testador de componentes eletrônicos usando Arduino.

Realizando isto através dos seguintes objetivos específicos: testar eficiência do Arduino usando outros meios como referência, criar um programa em Arduino que possa identificar e testar componentes, identificar os tipos de componentes eletrônicos viáveis e suas principais características, obter uma forma acessível de pessoas que possuem o Arduino possam testar componentes sem o uso de outros aparelhos, disponibilizar uma forma didática de mostrar os diferentes componentes a alunos de eletrônica.

Para tanto, foi testada a possibilidade de criar um dispositivo que consiste em uma protoboard, conectada a um Arduino, com o intuito de que através de um programa autoral, o aparelho fosse configurado para identificar e apresentar as características que foram possíveis descobrir sobre o componente eletrônico conectado a ele. Com essa finalidade, pode-se utilizar recursos como o medidor de tempo e o medidor de tensão presentes no Arduino, para que com auxílio de resistores dispostos no circuito cujo valor já seja identificável pelo operador, seja viável medir suas propriedades usando cálculos matemáticos.

A fim de que se possa verificar essa proposição foi utilizada uma metodologia de finalidade aplicada, com objetivo descritivo, de abordagem quantitativa, utilizando para isso o método hipotético dedutivo, através do procedimento bibliográfico.

A abordagem dada ao estudo foi a pesquisa quantitativa, caracterizada pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas (RICHARDSON, 1999).

A ciência prefere o tratamento quantitativo porque ele é mais apto aos aperfeiçoamentos formais: a quantidade pode ser testada, verificada, experimentada, mensurada, por isso a escolha dessa abordagem (DEMO, 2002).

Para atingir o objetivo proposto a pesquisa foi desenvolvida através do procedimento bibliográfico, a partir de material já elaborado, constituído, principalmente, de livros e artigos científicos que foi importante para o levantamento de informações básicas sobre os aspectos direta e indiretamente ligados a temática (VERGARA, 2000).

Partindo desses conceitos, no capítulo 2 é abordado todos os componentes que podem ser medidos no identificador, que abrangem capacitores, resistores, indutores, diodos e transistores bipolar de junção, explicitando as suas funções no circuito, os seus funcionamentos e as equações que foram responsáveis pela medição de suas características. Além disso, é evidenciado, o funcionamento interno de alguns dos principais periféricos do Arduino, entre eles, os timers, conversor analógico digital, comparador analógico, portas digitais e interrupções, demonstrando o motivo do uso deles para cada uma das funções usadas no projeto, além de mostrar as vantagens e limitações de cada um deles.

Em seguida, no Capítulo 3 é apresentado a metodologia, onde é mostrado o circuito usado no identificador e explicado passo a passo de como o software foi programado para diferenciar e medir os componentes explorando as características do Arduino pertinente para isso, além de revelar, todos os ajustes e correções de erro usados no projeto.

No Capítulo 4 foi apresentado a análise de resultados, que inclui um balanço comparativo entre diferentes valores de indutância, resistência e capacitância, comparando os resultados com os valores nominais dos componentes e com instrumentos de medidas comerciais, como o multímetro e o testador de componentes LCR-T4.

Por fim, verifica-se que os objetivos foram cumpridos e a hipótese confirmada, indicando a viabilidade do dispositivo na medição dos componentes eletrônicos.

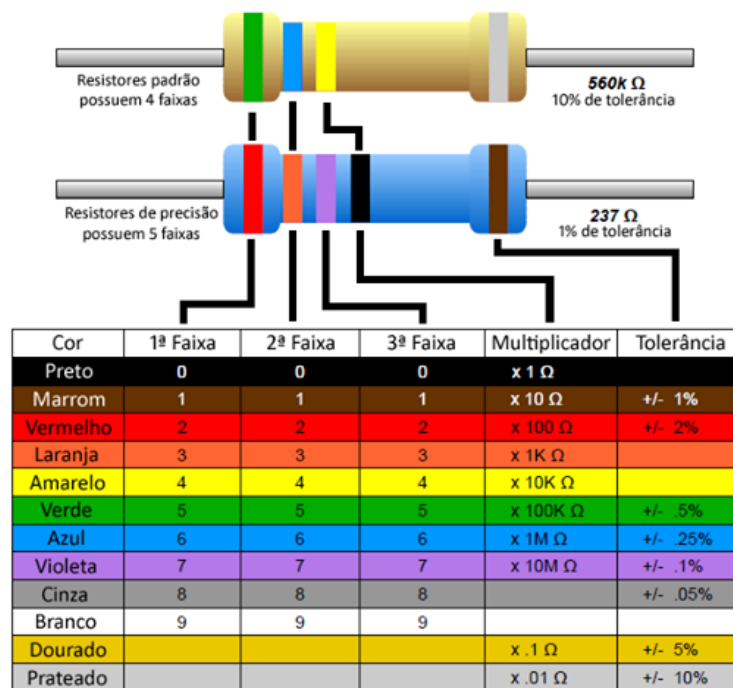
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Componentes eletrônicos:

2.1.1 Resistores

Resistores são um dos componentes mais comuns da eletrônica, usado para diversos tipos de aplicações. Comercialmente seu valor nominal vem descrito através de cores fixadas no próprio componente e interpretado através da Figura 1.

Figura 1- Código de cores de resistores



Fonte: <https://blog.baudaeletronica.com.br/>

Nos resistores as faixas de cores que estão próximas uma das outras representam o valor de resistência sendo a última delas o fator multiplicativo que define sua magnitude, por fim a faixa de cor que está separada representa o intervalo de tolerância que o valor real do resistor pode ter.

“A resistência é uma medida da oposição de um objeto ao fluxo de elétrons” (SHAMIER; MCCOMB, 2012, p. 40).

Esse conceito denota a função de um resistor como um condutor, utilizado como um meio para dificultar a passagem de corrente elétrica. O que pode servir para diversos fins, como:

A geração de calor ou até mesmo brilho, através da dissipação da energia cinética, desencadeada pelas colisões dos elétrons ao atravessarem o material resistivo;

O controle de tensão que será fornecido a outros pontos dos circuitos, feito através da manipulação dos dados de diferença de potencial (V) em Volts, resistência (R) em Ohms e corrente (I) em Amperes. Que ao serem aplicados a equação (1), podem determinar a tensão que será dissipada pelo resistor e aquela que será destinada ao restante do circuito (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

$$V = R \cdot I \quad (1)$$

Essa resistência depende do material que o resistor é feito, pois isso influencia na dificuldade de circulação dos elétrons dentro do condutor. Esta característica é conhecida como resistividade e varia de acordo com a temperatura, tendo em vista que o aquecimento aumenta o grau de agitação dos átomos, gerando mais colisões. Além disso, fatores geométricos também influenciam no valor da resistência, já que a alteração da área da secção transversal pode modificar a quantidade de elétrons que podem passar ao mesmo tempo pelo condutor e o seu comprimento determina o número de colisões que terá ao longo do caminho. (BOYLESTAD, 2012)

Esses fatores são expressos por meio da equação (2):

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (2)$$

Onde R representa a resistência em Ω , ρ a resistividade em $\Omega \cdot m$, l, o comprimento em m e A, a área em m^2 .

Através desse cálculo é possível perceber que a resistência é diretamente proporcional a resistividade e ao comprimento e inversamente proporcional a área.

Portanto, também implica que os próprios fios usados para fazer o dispositivo terão uma resistência interna, além da própria fonte de tensão, o que contribuirá para possíveis erros na tensão medida. Pois muitas vezes será pressuposto que haverá 5 Volts de tensão antes da corrente chegar no resistor, e zero Volts depois que passou por todos eles. Porém a realidade é que devido a resistência dos fios uma pequena parte da tensão será consumida neles.

2.1.2 Capacitores

Capacitores são condutores separados por um isolante que ao serem alimentado com uma tensão, armazenam energia elétrica. A sua principal característica é a capacitância (C) em Farad, que depende das propriedades geométricas dos condutores e do tipo de isolante entre

elas, além da distância desses condutores. Ela pode ser expressa pela razão entre a carga (Q) em Coulomb e a tensão (V) em Volts, sendo constante para cada capacitor (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

$$C = \frac{Q}{V} \quad (3)$$

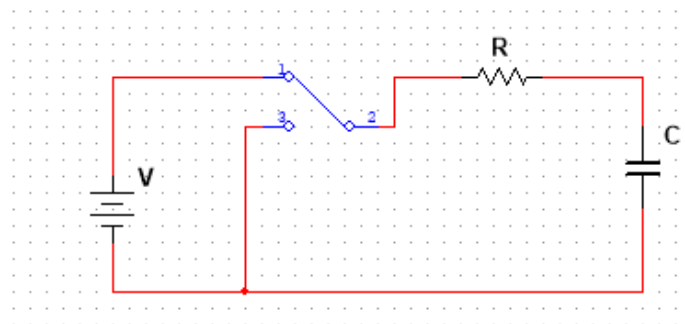
Essas características permitem a ele ter várias funções em um circuito, entre elas, a oposição a mudanças abruptas de tensão, considerando que esse componente leva determinado tempo para carregar ou descarregar até ficar estável, fazendo com que variações não ocorram de forma instantânea.

Também é capaz de bloquear a corrente contínua, pois ao ficar totalmente carregado ele funciona como um circuito aberto, além disso permite a passagem de corrente alternada, já que as constantes cargas e descargas que ocorrem devido a fonte de tensão gerar potencial alternado, permite que os elétrons se mantenham em movimentos de aproximação e afastamento. Essa característica permite que ele filtre correntes alternadas de baixa frequência, devido a sua reatância (X_c) em Ω ser inversamente proporcional a frequência angular (ω) em rad/s, fazendo com que partes cada vez maiores da tensão fornecida ao sistema seja consumida pelo capacitor em baixas oscilações. (SHAMIER; MCCOMB, 2012)

$$X_c = \frac{1}{j\omega C} \quad (4)$$

Os capacitores possuem tempo de carga e descarga estabelecidos de acordo com a resistência em serie associado a ele, cuja relação entre o tempo de carga e a resistência pode ser expressa através de equações obtidas a partir da análise do circuito mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Circuito de carga e descarga de um capacitor



Fonte: Autoria própria

A Figura 2 representa a carga de um capacitor C em serie com uma resistência R quando a chave está na posição 1. Quando o capacitor descarregado é posicionado no circuito, a fonte de tensão produz um campo elétrico que induz os elétrons a se aproximarem de seu

polo positivo e a se afastarem de seu polo negativo, esse movimento cria uma polaridade no capacitor, obtendo uma quantidade diferente de elétrons entre os seus polos, gerando uma diferença de potencial, que aumenta progressivamente com o passar do tempo, até que se adquira uma tensão igual a da fonte de tensão. A velocidade desse processo é limitada pela resistência em série com o capacitor e pela capacitância (BRAGA, 2012).

Essa relação pode ser obtida através da lei de Kirchhoff das correntes de malha, igualando o somatório das tensões que passam em uma mesma malha do circuito a zero. Como expresso nas equações de (5) a (13), onde é demonstrado a equação de carga do capacitor.

$$Vr + Vc = V \quad (5)$$

$$RI + \frac{Q}{C} = V \quad (6)$$

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{Q}{C} = V \quad (7)$$

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{RC} (Q - CV) \quad (8)$$

$$\int_0^Q \frac{dq}{Q - CV} = \int_0^t \frac{dt}{RC} \quad (9)$$

$$\ln \frac{(Q - CV)}{-CV} = -\frac{t}{RC} \quad (10)$$

$$\frac{(Q - CV)}{-CV} = e^{-\frac{t}{RC}} \quad (11)$$

$$\frac{Q}{C} = V \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (12)$$

$$Vc = V \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (13)$$

Ao substituirmos o tempo pelo produto de R por C obtemos uma expressão da tensão momentânea do capacitor em função da tensão fornecida pela fonte, é possível constatar que quando a diferença de potencial do capacitor durante sua carga for aproximadamente 63 por cento da tensão total o tempo para que isso ocorra vai ser igual o produto de R por C essa expressão é conhecida como constante de tempo τ (BOYLESTAD, 2012).

$$Vc = V \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (14)$$

$$t = RC \quad (15)$$

$$V_c = V \left(1 - e^{-\frac{RC}{RC}} \right) \quad (16)$$

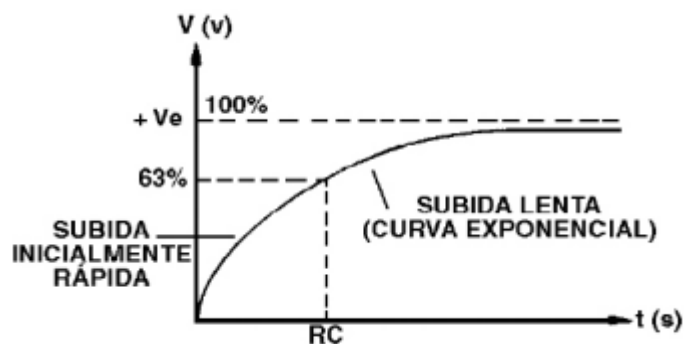
$$V_c = V(1 - e^{-1}) \quad (17)$$

$$V_c = V(1 - 0,3678) \quad (18)$$

$$V_c \cong 0,63V \cong 63\%V \quad (19)$$

Dessa forma o gráfico da carga de um capacitor baseado na equação (13) é representado de acordo com a Figura 3, onde mostra uma curva com grande variação inicial de tensão em função do tempo no início de sua carga e com pouca variação no final, tendendo a um tempo infinito para a carga completa. Além disso mostra a constante de tempo correspondente ao produto da resistência pela capacitância, demonstrando que ela corresponde a 63,2 por cento da carga máxima (BRAGA, 2012).

Figura 3- Curva de carga de um capacitor

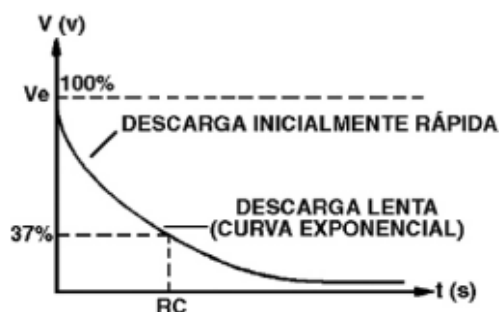


Fonte: BRAGA, (2012, p. 125)

De modo semelhante é possível deduzir o tempo de descarga de um capacitor nas condições em que a chave do circuito mostrado na Figura 2 está na posição três, onde o capacitor estará em série com o resistor e os elétrons se moverão do polo negativo para o positivo com o fluxo limitado pelo resistor até que o capacitor fique neutro, obtendo a curva delimitada na Figura 4.

$$V_c = V \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (20)$$

Figura 4- Curva de carga de um capacitor



Fonte: BRAGA, (2012, p. 126)

2.1.3 Diodo

Diodos são dispositivos equivalentes a válvulas de retenção em circuitos mecânicos, pois permitem a passagem de corrente quando diretamente polarizados e impedem quando inversamente polarizado (SHAMIER; MCCOMB, 2012).

Sua estrutura é formada por átomos chamados de semicondutores como silício ou germânio, que possuem ligações covalentes, compartilhando os elétrons de valência em uma estrutura cristalina com ligações fortes entre os átomos, fazendo-os se comportarem como isolantes na maior parte do tempo (MALVINO; BATES, 2016).

Ao adicionarmos átomos de materiais conhecidos como dopantes nessa estrutura, ela irá adquirir outras propriedades, por exemplo: Ao adicionar arsênio em átomos de silício ele irá se ligar a esses átomos em ligações covalentes, mas devido ao arsênio ter um elétron a mais na sua banda de valência este ficará fracamente ligado a estrutura, permitindo que possa ser facilmente transportado entre os átomos vizinhos adquirindo o comportamento de um semicondutor do tipo N (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

Já quando se mistura átomos com menos elétrons de valência que o silício, tais como o boro, ao se ligarem uns aos outros, a falta de elétrons na ligação gera lacunas, que podem atrair os átomos vizinhos, gerando lacunas em outros lugares que também irão atrair outros átomos, permitindo assim o fluxo de elétrons e se comportando como um semicondutor do tipo P.

Apesar do grande número de elétrons livres no tipo N, e de lacunas no tipo P essas estruturas ainda assim são consideradas eletricamente neutras, já que, apesar dessa

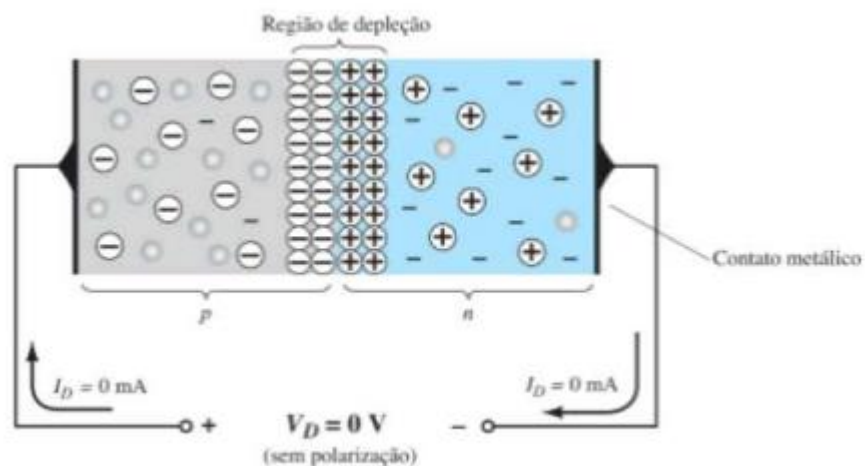
instabilidade, os átomos idealmente ainda possuem o mesmo número de prótons e elétrons (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

A combinação do tipo N com o tipo P compõe um diodo, onde o polo positivo da fonte de tensão deve ser conectado ao tipo P e o negativo ao tipo N, para que fique diretamente polarizado, conduzindo corrente, e, caso seja conectado de maneira oposta, obtenha polarização inversa e bloqueie a passagem da corrente.

Na fronteira entre os dois semicondutores os elétrons livres do tipo N serão atraídos pelas lacunas do tipo P. Quando esses elétrons atravessam essa divisão, eles deixam os átomos próximos eletricamente positivo e se recombina com uma lacuna do tipo P, deixando nesse outro lado excesso de elétrons, essa recombinação ocorre até que nessa região de interação todos os portadores livres tenham sido absorvidos, restando uma polarização inversa no centro que tenha uma diferença de potencial suficiente para impedir que mais elétrons e lacunas que surgiram pela dopagem dos semicondutores se recombinem (MALVINO; BATES, 2016).

A região em que ocorre esse processo é chamada de zona de depleção, como ilustrado na Figura 5.

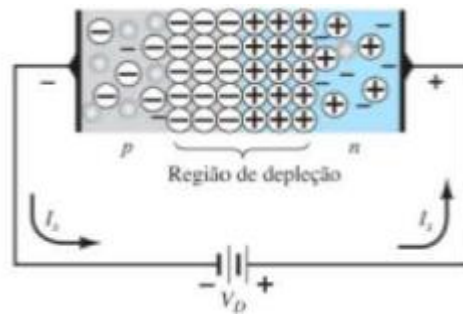
Figura 5-distribuição interna das cargas de uma junção PN



Fonte: BOYLESTAD; NASHELSKY, (2013, p. 10)

Ao se polarizar inversamente um transistor o polo positivo irá atrair as partículas negativas do lado N e o negativo irá atrair as positivas do lado P, aumentando assim a zona neutra também chamada de zona de depleção, tornando inviável a passagem de corrente, tal como visto na Figura 6.

Figura 6- Junção p-n inversamente polarizada

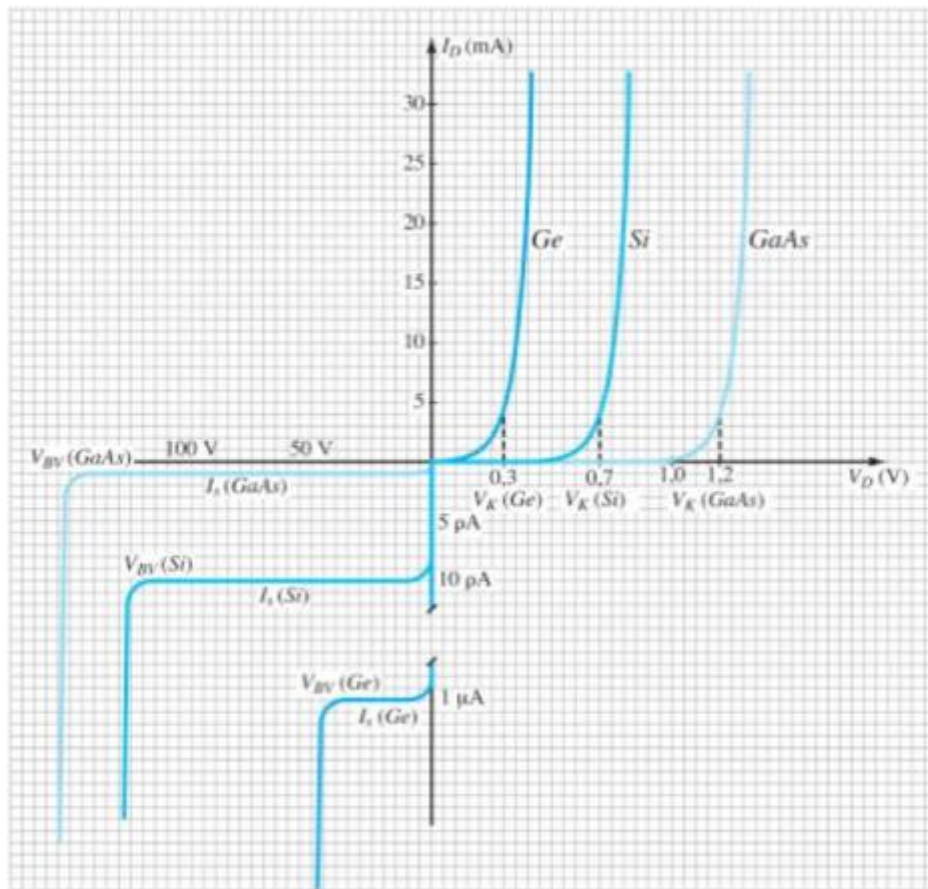


Fonte: Adaptado de BOYLESTAD; NASHELSKY, (2013, p. 11)

Ao polarizar diretamente o transistor ocorrerá o oposto a configuração anterior, haverá uma repulsão entre os polos da bateria e as cargas do diodo diminuindo a zona de depleção, até chegar a uma tensão suficiente para extinguir essa zona, desse modo, os elétrons a mais presentes nos átomos de arsênio são direcionadas as lacunas presentes nos átomos de boro, preenchendo o caminho para que novos elétrons possam circular e permitindo a passagem da corrente (SHAMIER; MCCOMB, 2012).

Essa tensão mínima necessária para ocorrer passagem de corrente depende do tipo de material o qual o diodo é feito, sendo 0,3 V para o germânio, 0,7 V para o silício e 1,2 V para o Arsenieto de Gálio. Na Figura 7 é possível observar que na polarização inversa do diodo existirá uma pequena corrente causada pelo movimento dos portadores minoritários nos átomos próximos a zona de depleção conhecida por corrente de saturação reversa. Esta corrente ficará praticamente constante independente da tensão inversa colocada, até que ele atinja a tensão de ruptura, que consiste em um ponto em que a tensão reversa é tão alta que os portadores minoritários são capazes de libertar mais portadores através de colisões com átomos estáveis, causando um efeito em cadeia conhecido como corrente de avalanche (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

Figura 7: comparação de diodos comerciais de Ge, Si e GaAs



Fonte: BOYLESTAD; NASHELSKY, (2013, p. 16)

Esse tipo de comportamento característico do diodo permite que ele tenha diversas funcionalidades, já que ele pode servir para impedir faísca em chaveamento com materiais que possuem bobinas, pois se posto em paralelo com esses dispositivos e estiver inversamente polarizado com a fonte de tensão, ele torna-se capaz de impedir que a descarga do indutor ao abrir a chave de um circuito danifique o sistema, considerando que a corrente gerada para descarregar a energia acumulada no indutor irá passar pelo diodo no lugar da chave.

Outra aplicação é na transformação da corrente alternada em contínua considerando que o diodo em série com uma fonte AC só deixará passar corrente quando vindo em uma direção, gerando uma retificação de meia onda, ou pode se usar uma combinação deles para que a corrente passe sempre na mesma direção em determinado ramo do circuito para gerar uma retificação de onda completa (MALVINO; BATES, 2016).

Diodos são usados até mesmo para gerar luz, já que em alguns deles ao passar corrente libera fótons no espectro visível e são conhecidos como LEDs.

2.1.4 Transistor Bipolar de Junção

Os transistores são formados por semicondutores do tipo N e P e tem como função permitir ou negar a passagem de corrente elétrica no ramo conectado a ele de acordo com o sinal elétrico recebido pela base.

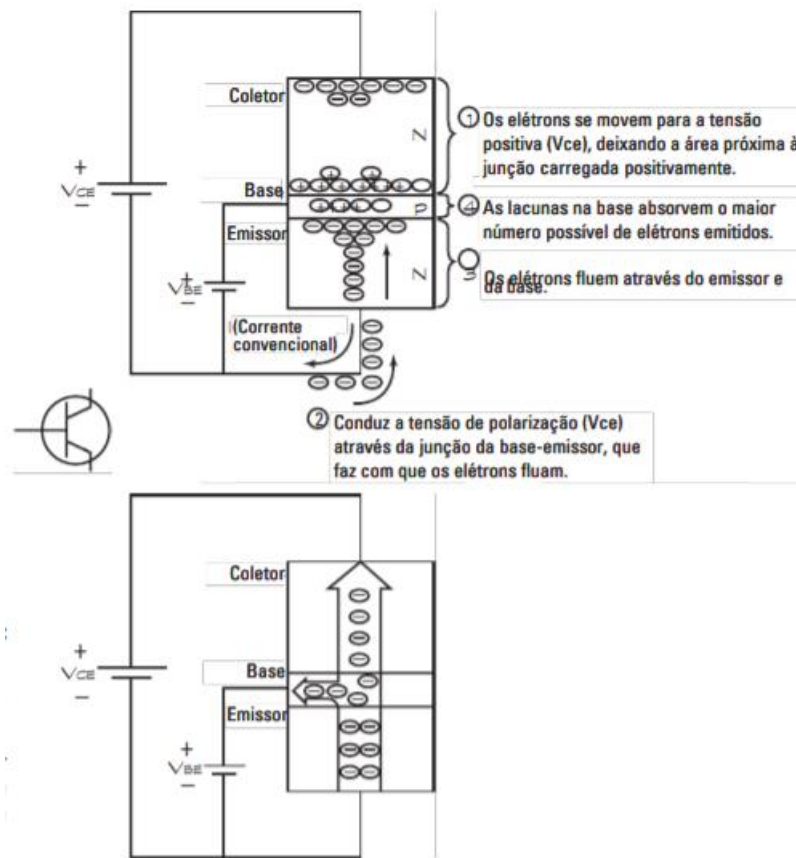
Esses dispositivos possuem três ramos, o coletor, a base e o emissor, em que um deles representa aquele que recebe o polo positivo da fonte por onde a corrente irá entrar, a base estabelece a condição para a passagem de corrente e o outro recebe o polo negativo por onde a corrente irá sair (MALVINO, 2016).

Um dos tipos mais convencionais de transistores são os bipolares de junção, que são divididos em dois tipos:

O NPN que possui uma junção de dois semicondutores do tipo N ligado a uma camada mais fina de um semicondutor tipo P, onde a corrente flui do coletor para o emissor ligados as junções N, apenas quando se aplica uma corrente maior que o suficiente para vencer a zona de depleção na base ligada a junção P (MALVINO, 2016).

O exemplo da Figura 8 admite o sentido real da corrente, onde os elétrons vão do polo negativo até o positivo, também é valido considerar que o transistor apresentado na Figura é do tipo NPN. Ao ligar uma fonte de tensão que aplica uma voltagem positiva da base ao emissor e do coletor para o emissor, como ilustrado na Figura 8, os elétrons da junção N do coletor são atraídos, deixando a região próxima a junção carregada positivamente. A base também ligada a uma fonte, atrai os elétrons excedentes da junção N do emissor, os fazendo preencher as lacunas presentes no tipo P. Devido ao semicondutor central ser pouco espesso, ainda sobram elétrons livres no emissor, que são atraídos em sua maioria para o coletor, já que ele está polarizado positivamente próximo a base devido a fonte de tensão ligada a ele, fazendo-o atrair a maioria dos elétrons, gerando portanto uma divisão de corrente cuja a maior parte flui do coletor para o emissor e o restante da base para o emissor (SHAMIER; MCCOMB, 2012).

Figura 8- Comportamento de um transistor NPN diretamente polarizado



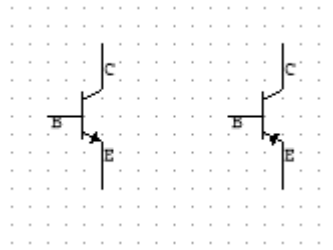
Fonte: SHAMIER; MCCOMB (2012, p. 130)

O outro tipo, denominado PNP possui dois semicondutores tipo P ligados por uma camada mais fina de um semicondutor tipo N e funciona de forma análoga ao NPN, porém a corrente flui do emissor para o coletor caso não exista uma voltagem positiva na base, desse modo a corrente flui do emissor para a base e do emissor para o coletor.

Apesar das conexões corretas dos terminais dos tipos PNP e NPN serem diferentes, a ideia de que a corrente de emissor é igual a corrente de base mais a corrente de coletor é verdadeira para as duas configurações (MALVINO, 2016).

A Figura 9 possui os símbolos adotados a esses dois tipos de transistores onde a seta em um dos terminais os diferencia, caso ela esteja apontada para dentro se configura PNP, caso esteja para fora NPN.

Figura 9- simbologia do TBJ tipo NPN e PNP respectivamente



Fonte: Autoria própria

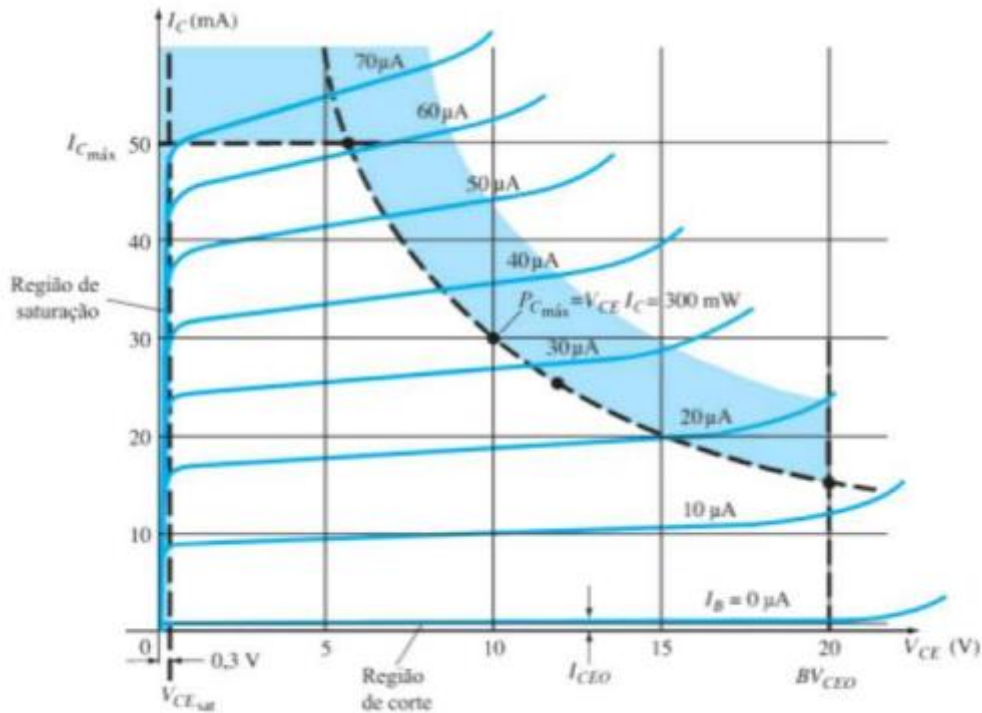
Ao adicionar corrente que flui para base a corrente entre o coletor e o emissor também aumentará na mesma proporção até que se chegue ao ponto de saturação, dessa forma é possível ter um certo controle da corrente que estará passando para o circuito de acordo com a corrente na base, essa característica do componente é explorada em alguns circuitos para amplificar correntes, porém esse aumento varia com fatores como a temperatura e portanto não se deve configurar um valor de circuito que dependa especificamente do ganho de corrente (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

Esse ganho pode ser expresso pela equação (21) e consiste na razão entre a corrente que passa pelo coletor (I_c) e a corrente de base (I_b) e é constante em determinados intervalos de intensidade onde a relação entre essas correntes cresce de forma linear.

$$B = \frac{I_c}{I_b} \quad (21)$$

A Figura 10 mostra a relação entre a tensão de coletor para emissor (VCE) e a corrente no coletor. É possível observar que para um VCE igual a zero o transistor terá o comportamento de um circuito fechado, o que significa que toda a tensão da fonte será dissipada na resistência do coletor (R_C) obtendo a maior corrente possível. Já para um VCE máximo toda a tensão da fonte estará no transistor, obtendo o comportamento de um circuito aberto. Com o aumento da corrente de base (I_B) o ponto de operação Q se aproxima cada vez mais da corrente I_c máxima tendendo a tornar o TBJ em um curto-circuito.

Figura 10- variação da corrente IB na reta de carga



Fonte: BOYLESTAD; NASHELSKY, (2013, p. 130)

Devido a quantidade limitada de elétrons livres e de lacunas dopadas nos semicondutores, quando se aumenta a corrente de base até certo ponto o número de elétrons livres que saem da base chega ao seu limite, atingindo a saturação. Com isso a tensão entre o emissor e o coletor tende a zero e passa a maior corrente possível em seus terminais, se comportando de forma similar a um fio condutor. Nessas condições o transistor pode ser usado como um interruptor que abre e fecha o circuito ao adicionar ou suspender a corrente da base.

2.1.5 Indutor

Com a descoberta da ligação entre eletricidade e magnetismo foi possível explorar essa relação no uso de circuitos elétricos através de dispositivos como indutores, bobina e transformadores, cuja natureza da sua funcionalidade pode ser descrita nas equações (22) e (23):

$$V = \frac{d\varphi}{dt} \quad (22)$$

$$\varphi = BA \cos \theta \quad (23)$$

Ao analisar essas formulas é possível perceber que a força eletromotriz induzida (V) é igual a taxa de variação do fluxo magnético (φ) em função do tempo. O fluxo magnético é diretamente proporcional ao campo magnético (B), que por sua vez possui diferentes expressões a depender da geometria do objeto, mas tem sempre relação direta com a corrente quando se analisa sua geração a partir do fluxo de cargas (YOUNG; FREEDMAN, 2009). Dessa forma é possível perceber que a variação da corrente com o tempo influencia diretamente a tensão induzida, e é com esse princípio que um indutor trabalha.

Sendo o indutor um condutor enrolado em formato de espiras com um núcleo que pode ser desde o próprio ar até materiais ferromagnéticos (BRAGA, 2012). Ao receber corrente de uma fonte de tensão que está inicialmente desligada, a variação de corrente que é praticamente instantânea em circuitos resistivos sofre uma atenuação com a utilização desse componente já que a variação de corrente gera uma tensão autoinduzida contrária a força eletromotriz aplicada pela alimentação.

No momento em que a corrente é aplicada, o indutor responde a variação instantânea gerando uma tensão contrária igual a da fonte, cancelando a força elétrica resultante, o que torna seu comportamento inicial semelhante a de um circuito aberto. Esse processo resulta na diminuição da taxa de variação da corrente com o tempo fazendo a tensão induzida diminuir tornando se cada vez menor que a tensão da fonte gerando em um aumento progressivo da corrente até que alcance seu estado máximo (SHAMIER; MCCOMB, 2012).

O mesmo ocorre quando se desliga a fonte de tensão onde o indutor reage a variação de corrente descarregando toda energia acumulada em seu campo magnético, em uma tensão induzida, retardando assim o cerceamento da corrente.

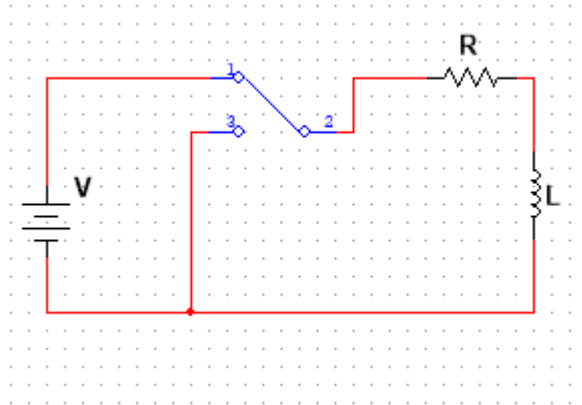
Essa reação contrária a mudança das correntes gera um fenômeno conhecido como reatância, gerada tanto em capacitores como indutores, é similar a resistência, mas só ocorre durante variações de corrente e depende da frequência no caso de fontes alternadas (SHAMIER; MCCOMB, 2012).

Todas essas características tornam indutores fundamentais em alguns tipos de circuitos, pois seu princípio pode ser usado em transformadores que usam bobinas com diferentes quantidades de espiras para aumentar ou diminuir a tensão, além de relés e motores que de diferentes formas utiliza o campo magnético gerado para mudar posição de chave e girar um rotor respectivamente. Indutores também são usados em filtros em conjunto com resistores e/ou capacitores, que bloqueiam certas frequências de tensão (BRAGA, 2012).

Um meio prático para encontrar a indutância é através do tempo de carga ou descarga do indutor, que funciona de forma análoga ao capacitor, sendo a tensão para o capacitor

comparável a corrente para o caso do indutor, tendo como consequência o aumento da corrente e a diminuição da tensão no decorrer do tempo durante seu processo de carga (BOYLESTAD, 2012). As equações (24) a (35) demonstram a equação do tempo de carga de um indutor, que ocorre quando uma bobina descarregada é posicionada em um circuito como o da Figura 11, no momento em que a chave está na posição 3.

Figura 11- circuito de carga e descarga de um indutor



Fonte: autoria própria

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (24)$$

$$V = V_r + V_L \quad (25)$$

$$V = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (26)$$

$$\frac{di}{dt} = -\frac{R}{L} \left(-\frac{V}{R} + i \right) \quad (27)$$

$$\int_0^i \frac{di}{\left(-\frac{V}{R} + i \right)} = \int_0^t \frac{-R}{L} dt \quad (28)$$

$$\ln \left(\frac{-\frac{V}{R} + i}{-\frac{V}{R}} \right) = \frac{-Rt}{L} \quad (29)$$

$$\frac{-\frac{V}{R} + i}{-\frac{V}{R}} = e^{\frac{-Rt}{L}} \quad (30)$$

$$i = \frac{V}{R} \left(1 - e^{\frac{-Rt}{L}} \right) \quad (31)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{R} \frac{R}{L} e^{\frac{-Rt}{L}} \quad (32)$$

$$L \frac{di}{dt} = V e^{\frac{-Rt}{L}} \quad (33)$$

$$v(t) = V e^{\frac{-Rt}{L}} \quad (34)$$

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (35)$$

Além do fato de que a tensão sobre o indutor diminui com a carga do mesmo, vale salientar que a constante τ (equação (35)) é a razão entre a indutância e a resistência que está em serie com o indutor, o que significa que quanto maior a indutância e menor a resistência, mais lentamente a bobina carregará.

2.2 Arduino UNO

O Arduino UNO é um circuito embarcado de software e hardware aberto que possui como microcontrolador o ATMEGA328P. seus principais periféricos são: três timers, sendo dois deles de 8 bits e um de 16 bits, um conversor analógico digital multiplexado em 6 portas, um sensor de temperatura, um comparador analógico, resistores de pullup em cada uma das portas digitais, entre outros. Esse dispositivo é usado na programação e montagem de diversos projetos de automação, pois possui muitas ferramentas uteis que permitem diversas configurações pertinentes a diversos tipos de finalidades. Muitas delas utilizadas no desenvolvimento do identificador de componentes eletrônicos.

2.2.1 Portas Analógicas

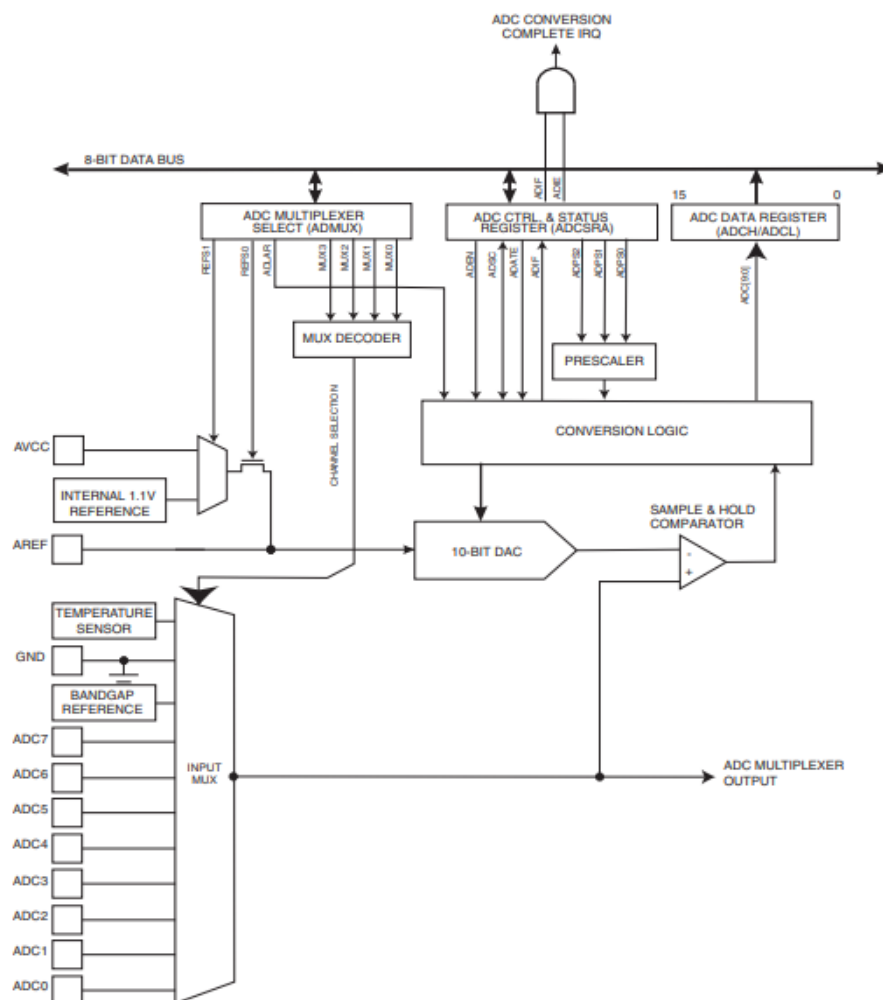
Utilizadas para a obtenção do valor de tensão que está passando pelo ramo do circuito conectado a ela, tendo como referência de valor máximo 5 Volts, que é a tensão usual fornecida pelo Arduino, nesse caso representado por 1023, valor esse obtido devido a sua leitura analógica ser de 10 bits, o que significa que pode quantizar a tensão em intervalos que vão de 0 a $(2^{10} - 1)$ que é igual a 1023. Ao dividir os 5 Volts do Arduino pelas 1024 partes que são quantizadas pelas portas analógicas, tem-se que o Arduino pode medir em intervalos de aproximadamente 5 milivolts (MIORIM; VILLAÇA, 2012).

É necessário portanto converter o valor de tensão lido pela porta que está apresentado por um número no intervalo de 10 bits, pelo seu resultado correspondente em Volts. Para isso basta apenas multiplicá-lo pela alimentação de 5 V e dividi-lo por 1023 como mostrado na seguinte equação.

$$V = \frac{ADC \cdot 5}{1023} \quad (36)$$

O sistema de conversão analógico digital usado no Arduino está esquematizado na Figura 12, as portas analógicas contidas nele estão ligadas a apenas um conversor e, portanto, só é possível converter uma das entradas de cada vez. O referencial para conversão pode vir do pino AVCC que possui 5 Volts de tensão contínua, da referência interna de 1,1 Volts contida no próprio Arduino ou do pino AREF onde pode ser colocada uma tensão externa que esteja preferencialmente entre 0 e 5 Volts.

Figura 12- Diagrama de blocos do conversor analógico digital do Arduino

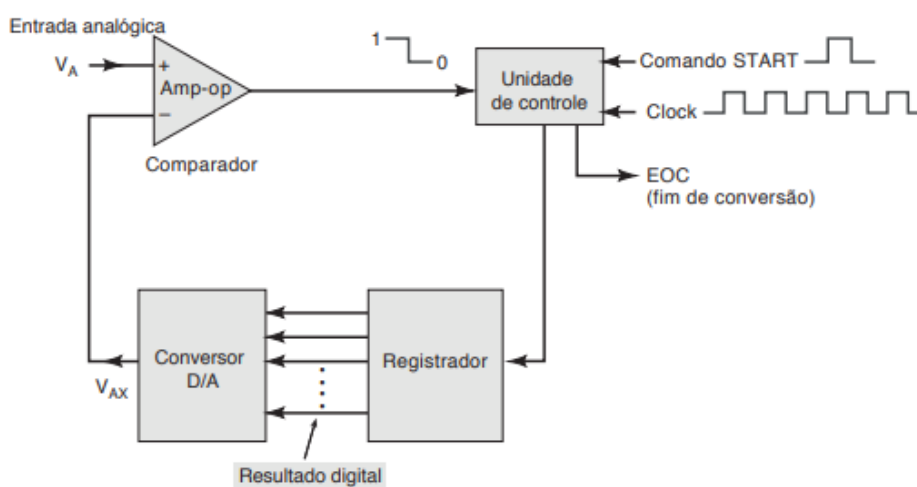


Fonte: MEGA AVR datasheet (2020, p. 247)

A Figura 13 mostra um esquema simplificado do que ocorre na conversão, onde um amplificador operacional que funciona como comparador verifica se a tensão colocada na entrada negativa é igual a da entrada analógica, caso não seja, a unidade de controle irá adicionar um número ao registrador que irá converter esse valor digital a uma tensão analógica, para ser novamente comparada ao registrador, reiniciando o processo até que o

valor da entrada negativa no amplificador operacional seja maior que a entrada positiva modificando a saída do comparador, parando a conversão e guardando o resultado no registrador ADC. Devido a alta quantidade de tarefas apenas para realizar uma conversão esse processo tem menos eficiência que outros comandos do arduino e portanto demanda um certo tempo para sua aplicação, ficando inviável para alguns tipos específicos de aplicações em que ocorrem variações muito rápidas de tensão, como no caso da carga e descarga de indutores ou de capacitores com capacitâncias pequenas (RONALD, WIDMER, MOSS 2011).

Figura 13- Diagrama geral de um conversor analógico digital



Fonte: RONALD, WIDMER, MOSS (2011, p. 645)

As configurações para a seleção da conversão analógico digital ficam a cargo do registrador ADMUX, cujos bits mais significativos selecionarão a tensão de referência e os menos significativos selecionarão a tensão de qual pino será lido, além disso o registrador ADCSRA é responsável por ativar a conversão, inicializá-la e indicar qual fator de divisão do clock será usado na conversão. Quanto menor for o fator de divisão, mais rápido o valor será lido, mas como consequência ficará mais sensível ao ruído e corre mais riscos do valor ser discrepante com a realidade (MEGA AVR datasheet, 2020).

Graças a essa funcionalidade é possível medir e monitorar a tensão que está sendo transmitida aos dispositivos eletrônicos inseridos, além de poder descobrir através desses dados a corrente em determinados ramos do circuito e com isso medir a resistência, do componente inserido lá. Mas traz a desvantagem de só poder ser medida por intervalos quantizados e ter um valor mínimo de tensão que pode ser registrado, o que gera uma certa imprecisão nos resultados além de ter aplicação limitada a uma determinada faixa de tensão.

2.2.2 Medidor de Tempo

são muito uteis para obtenção de dados precisos sobre aparelhos cujas propriedades variam com o tempo, que é o caso dos indutores e capacitores.

O Arduino possui três registradores de tempo sendo eles: o timer 0, timer 1 e timer 2, o primeiro e o último possuem o tamanho de 8 bits, já o timer 1 possui 16 bits. cada um desses registradores soma 1 em binário de acordo com a frequência de clock e, portanto, para medir o tempo máximo contado por cada um deles é necessário utilizar a equação a seguir: (MEGA AVR datasheet, 2020).

$$tempo = \frac{2^{bits_timer} \cdot prescaler}{frequencia_clock} \quad (37)$$

Sendo o prescaler a quantidade de pulsos de clocks necessários para somar mais 1 ao registrador, implicando que quanto maior o prescaler mais tempo o timer consegue somar, mas em contrapartida maior é o intervalo discreto de tempo entre um bit e outro, aumentando assim sua imprecisão. Os timers 0 e 2 possuem 8 bits, portanto são capazes de contar valores de 0 a 255, seu prescaler máximo é de 1024 e por isso podem contar até aproximadamente 16 milissegundos, já o timer 1 possui 16 bits e conta até 65535, tem prescaler máximo de 1024 e mede um tempo máximo de 4,2 segundos (MIORIM; VILLAÇA, 2012).

Após o contador atingir o valor máximo ele entra em overflow, retornando ao valor zero e reiniciando a contagem. É possível contar tempos maiores que o valor máximo do contador usando programação para registrar e somar essas contagens, além disso é possível contar valores menores que o máximo, usando o Registrador TCNT1, que limitará a partir de qual valor o timer irá contar, também existem 2 comparadores para cada timer que podem dizer o valor máximo que será atingido na contagem até o overflow (KERSCHBAUMER, 2018).

2.2.3 Portas Digitais

Usadas para alimentar o circuito com valores discretos de 5 ou 0 Volts, de tal forma que possam ser ligadas ou desligadas, pelo acionamento de determinados bits, possibilitando assim que o circuito seja alimentado em diferentes caminhos e desligado quando for pertinente de forma automática, garantindo que se possa verificar se um componente inserido no identificador tem continuidade quando a corrente vem de uma direção ou da outra, podendo identificar dessa forma dispositivos como diodos, e transistores.

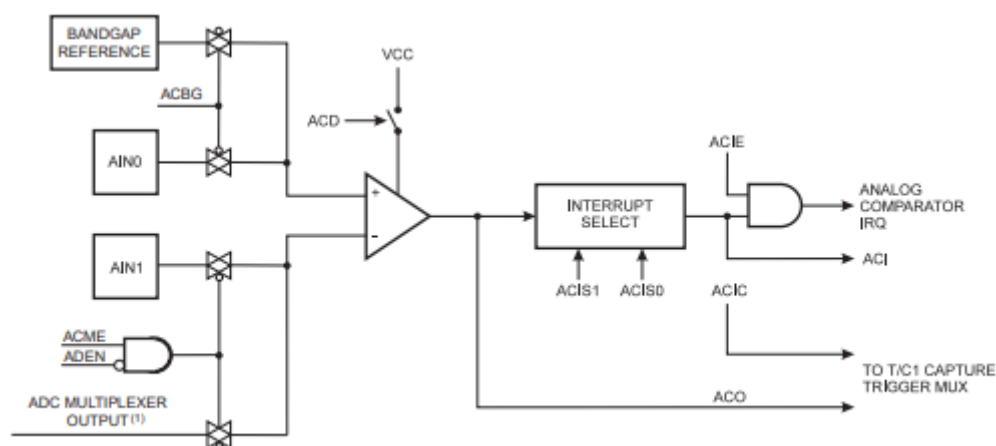
O microcontrolador AVR diferente de outros, possui como peculiaridade resistores de *pull-up*, individuais para cada uma das portas, sendo possível ativá-los ou desativá-los individualmente. Eles são responsáveis por colocar as entradas digitais em nível lógico alto, evitando que elas fiquem em estado de alta impedância.

As portas do Arduino são divididas entre três tipos: B, C e D, as portas C correspondem aos pinos analógicos e ao RESET, as portas B correspondem aos pinos digitais do 9 ao 13 além dos pinos do oscilador, já as portas D correspondem aos pinos digitais do 0 ao 7. Os registradores que podem manipular esses pinos são o DDRX, onde no lugar do X é colocado o tipo de pino (B, C ou D), este é responsável por definir se a porta está em output ou input, já o registrador PORTX indica, caso esteja em input, se o resistor de *pull-up* estará ativado ou se estará em estado de alta impedância. Usando este mesmo registrador para o caso das portas em output, ele definirá se estará em HIGH ou LOW, caso esteja em LOW ela conectará a entrada à terra, servindo como receptora de corrente, do contrário conectará o pino ao VCC. Por fim o registrador PINX irá ler a porta escolhida e determinar se há ou não tensão sendo recebida por ela. As portas analógicas também podem servir como digitais enviando ou recebendo tensão (LIMA, 2009).

Na Figura 14 o flip flop tipo D presente no canto superior direito, irá repassar o estado do registrador DDRX para saída Q, o bit PUD que serve para desabilitar o *pull-up* de todo o byte normalmente fica em zero, se o bit do DDRX também estiver em zero, as entradas são invertidas na porta AND, fazendo com que caso o bit do PORTX esteja em 1 o transistor no canto superior esquerdo seja ativado e o resistor de *pull-up* seja liberado para o pino, se ambos o DDRX e o PORTX estiverem em 1 o buffer tri-state que fica no meio da Figura será ativado e colocará 5 Volts no pino, a leitura do pino controlado pelo registrador PINX fica na parte inferior da Figura (MEGA AVR datasheet, 2020).

referência utilizada, pela diminuição da tensão ou por cada vez que se atinge o valor especificado de tensão. Além disso o bit ACO e ACIC ativam a interrupção por evento de captura que registra o valor do timer quando os valores comparados são iguais e os põe no registrador ICR1. A interrupção por captura de evento está associada somente ao timer 1 (MEGA AVR datasheet, 2020).

Figura 15- Diagrama de blocos do comparador analógico



Fonte: MEGA AVR datasheet (2020, p. 243)

2.2.5 Interrupções

As interrupções são métodos usados para que o Arduino possa fazer atividades predeterminadas de modo mais eficiente, o Arduino possui 26 interrupções que possuem ordem de prioridade e diferente de outros microcontroladores sua prioridade não pode ser reprogramada, além disso, ele possui a peculiaridade de que algumas interrupções não podem ser retiradas devido à alta prioridade (MEGA AVR datasheet, 2020).

A grande vantagem dessa função, é que, diferente do método clássico para se programar em Arduino, onde necessita que o Arduino leia a faixa de código esperada dentro do loop no tempo certo, nas interrupções não há a necessidade desta preocupação, pois independente do trecho de código que o Arduino esteja lendo, será interrompido para que possa ser direcionado a função que a desencadeou, já que o próprio hardware é quem ativa esse desvio, não tendo necessidade de realizá-lo por software. Isso é fundamental para que se consiga valores mais exatos de variáveis que dependem do tempo de carga ou descarga como capacitância e indutância. Quando mais de uma interrupção é feita ao mesmo tempo, a interrupção de maior prioridade é acionada primeiro e se outra interrupção acontecer enquanto

a primeira está sendo acionada ela irá esperar até que a primeira termine mesmo que seja de maior prioridade. (LIMA, 2009)

As interrupções usadas no programa foram as de overflow dos timers 1 e 2 para que fosse possível esperar uma possível carga dos capacitores e dos indutores, a interrupção de leitura analógico digital foi usada para medir as tensões quando elas fossem lidas, além da interrupção por evento de captura do timer 1, para que pudesse medir o tempo que levou até que o capacitor e o indutor atingissem a tensão de referência interna de 1,1 Volts.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordados a configuração na qual o circuito foi feito, os tipos de resistores utilizados, bem como a programação empregada para identificação e medição dos componentes, além de considerações e ajustes feitos para adaptar o projeto da simulação para a realidade.

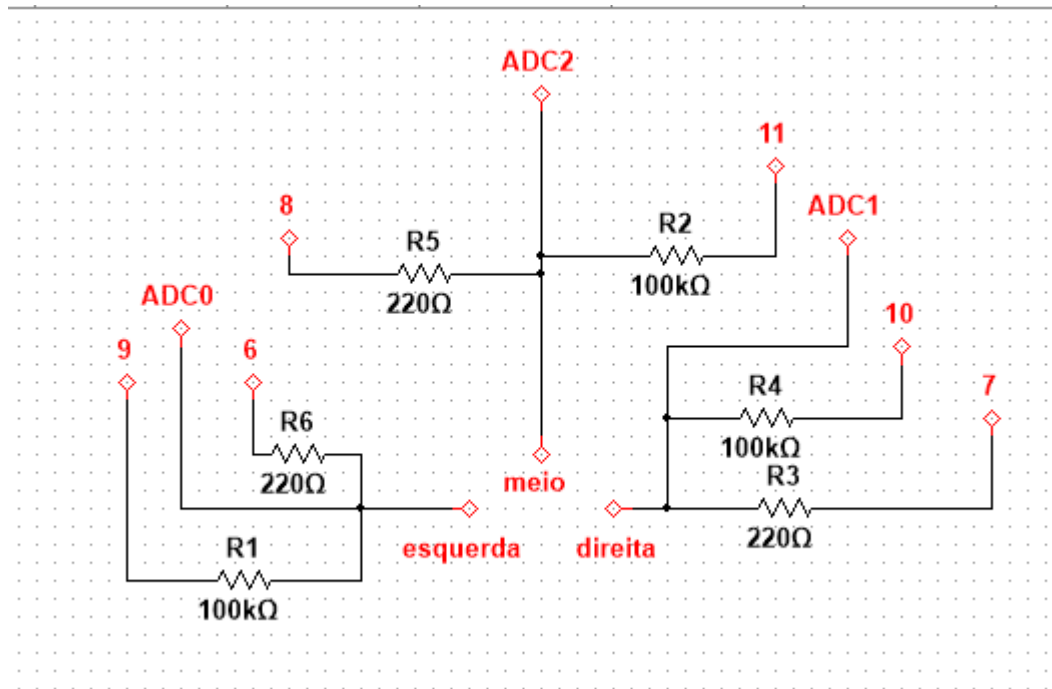
3.1 Circuito

O circuito consiste em três ramos de fio, correspondente as entradas para os componentes eletrônicos, conectados a uma protoboard que interliga os fios de um mesmo ramo. Em cada um deles há um condutor que vem da porta analógica, outro que vem da porta digital e se conectará ao resistor de $220\ \Omega$ e um terceiro vindo de outra porta digital até um terminal de um resistor de $100\ \text{k}\Omega$, como esquematizado na Figura 16.

Os componentes que possuem dois terminais como os indutores, capacitores, resistores e diodos serão encaixados nas extremidades (denominadas esquerda e direita na Figura 16) e os de três pinos como os transistores, utilizarão os três terminais da protoboard. Essa configuração permite que a corrente entre e saia em cada um dos ramos, fazendo com que seja possível, testar o componente pelos dois terminais e atestar a suas características.

Os resistores que serão escolhidos para compor o equipamento deverão ser 3 de $100\ \text{k}\Omega$ e 3 de $220\ \Omega$, onde os de valores mais elevados irão desempenhar um papel importante na medição da capacitância, já que sua medida é diretamente proporcional ao tempo de carga, de modo contrário a indutância será determinada usando os menores resistores, além disso é recomendável uma resistência maior na base do que no coletor e emissor do transistor, a fim de facilitar a medição do seu ganho de corrente. Mesmo usando um resistor de $220\ \Omega$, ainda fica difícil a medição do tempo de descarga do indutor, porém o valor da resistência não pode ser muito menor que esse, pois a corrente máxima que o Arduino suporta é de $50\ \text{mA}$.

Figura 16 – circuito do identificador de componentes

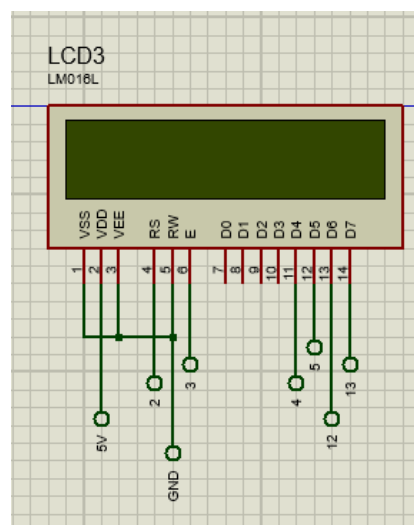


Fonte: Autoria própria

Na Figura 16 os numeros em vermelho representa em qual porta digital do arduino o fio está conectado, já os pinos com as referências ADC0, ADC1, ADC2 representam as portas A0, A1 e A2 respectivamente.

No circuito feito na protoboard tambem foi usado uma tela LCD conectada ao arduino que irá exibir o nome e a caracteristica do componente para o operador. O esquema de ligação do LCD no arduino esta exposto na Figura 17 onde cada numero mostrado nos terminais dos fios corresponde a porta digital conectada a ela.

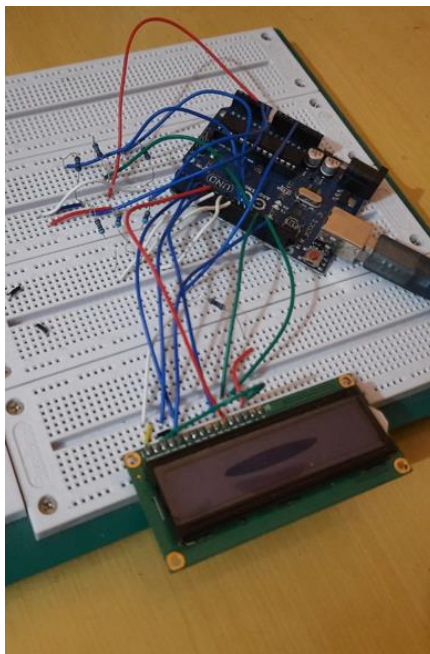
Figura 17- ligações do display LCD no Arduino



Fonte: Autoria propria

Apesar do uso do display também é possível visualizar o que foi indicado no dispositivo usando o monitor serial, permitindo, assim, que as pessoas que não possuam o LCD sejam capazes de usar o aparelho criado. Na Figura 18 é possível perceber o dispositivo conectado na protoboard.

Figura 18- identificador montado na protoboard



Fonte: Autoria própria

3.2 Software do dispositivo

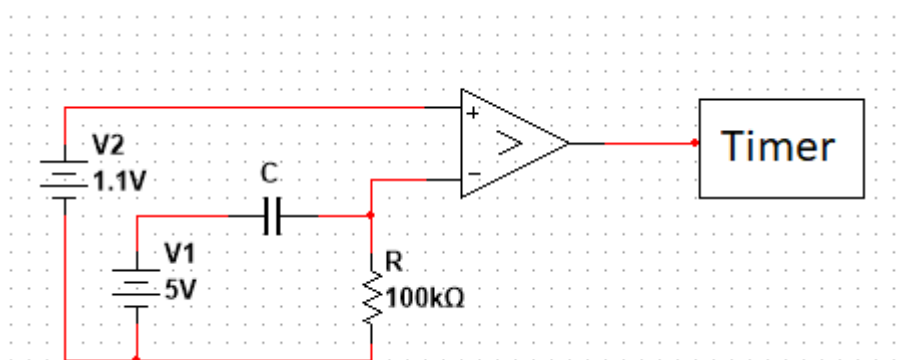
O software usado para a programação do microcontrolador foi a própria IDE do Arduino. No programa foram adicionadas as bibliotecas `<avr/io.h>` e `<avr/interrupt.h>` para que o software possa rodar a linguagem C e permita que faça interrupções de modo mais fácil. Além dessas a biblioteca `<LiquidCrystal.h>` foi acionada para auxiliar na configuração do display LCD.

Na função principal foram configurados os pinos 6 e 7 em OUTPUT e desligado, e todos os outros pinos em input, em seguida foi adicionado um laço de repetição while que irá ler constantemente a tensão até que ela seja zero e só então sairá do laço. Esse trecho do código tem como objetivo esperar o descarregamento do capacitor ou indutor que possa estar sendo colocado. A esses comandos foi atribuída a função “descarregar” que pode ser chamada outras vezes durante o código quando for requisitada.

O primeiro teste a ser realizado é verificar se o dispositivo colocado é um capacitor, para isso, uma tensão de 5 Volts é aplicada na porta A0, enviando uma corrente que passa

pelo componente colocado e sai pelo terminal conectado a um resistor de $100\text{k}\Omega$ (como na Figura 19), após isso, é ativada a interrupção por overflow do timer 1 e a interrupção por evento de captura configurada para comparar a tensão recebida pela porta A1 com a referência de tensão interna de 1,1 Volts. Estes mecanismos serão responsáveis por medir o tempo em que a tensão lida pela porta A0 será igual a 1,1 Volts. Se isso ocorrer no intervalo entre 0 e 3 segundos (tempo definido pelo projetista, equivalente a 740 overflows), significa que o componente medido possui capacitância, pois sua tensão variou de um curto-circuito no instante zero, medindo 5 Volts na porta A1, até atingir 1,1 Volts instantes depois.

Figura 19 – circuito de medição de tempo de carga do capacitor

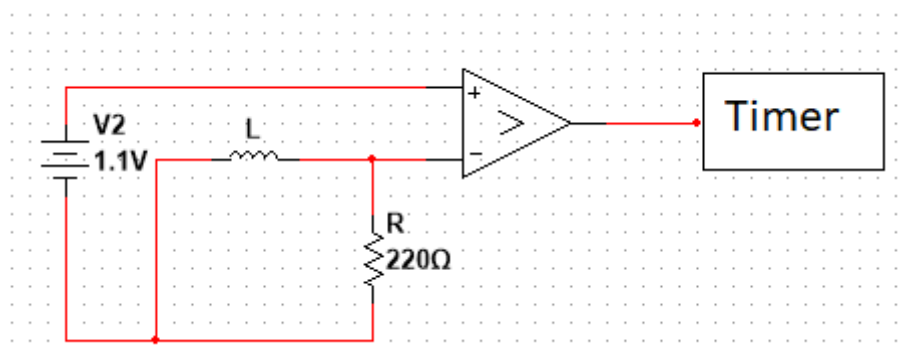


Fonte: Autoria própria

Caso o circuito não tenha chegado a 1,1 Volts a função descarregar é acionada e um novo teste semelhante ao anterior é feito, mas dessa vez a corrente fluirá através do resistor de $220\ \Omega$ e será aguardado apenas 2 segundos (400 overflows) para a ativação da captura de evento, caso isso ocorra dentro do tempo que foi determinado, significa que o dispositivo será um capacitor cuja capacitância é relativamente alta, acarretando a finalização do código.

Quando o tempo de espera de 2 segundos definido pelo projetista, para identificar se há capacitância acaba, é ativada a função “carregar” que irá alimentar o circuito e aguardar até que a tensão dele se estabilize. Feito isso, a porta A0 e a porta 7 conectada ao resistor de $220\ \Omega$ serão desligadas, a fim de verificar se a energia armazenada no dispositivo é descarregada, esse teste é semelhante ao dos capacitores e irá aguardar meio segundo (100 overflows). Se durante esse tempo a captura de evento é acionada, significa que o dispositivo medido trata se de um indutor.

Figura 20 – circuito de medição do tempo de descarga do indutor carregado



Fonte Autoria propria

Tendo o componente eletrônico passado por todas essas etapas sem ser identificado ele irá passar por uma serie de estruturas de condições, a fim de avaliar as suas características. Nessa etapa serão usados os pinos 9, 10 e 11 que estão conectados a resistores de 100 k Ω , além das portas A0, A1 e A2 para realizar as medições de tensão.

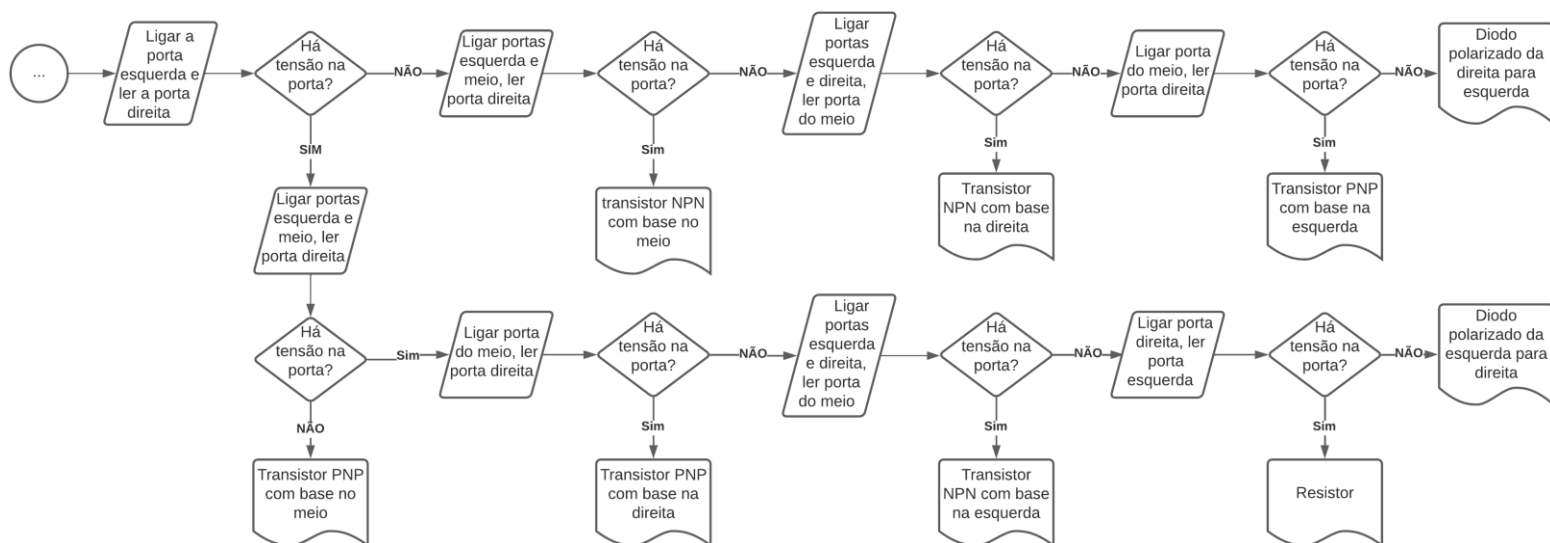
No primeiro laço condicional, a alimentação é colocada na porta esquerda e posteriormente medida a tensão na porta direita, se o valor lido for zero as possibilidades são reduzidas a um Transistor Bipolar de Junção (TBJ) NPN cuja base pode estar no meio ou na direita, um diodo inversamente polarizado ou um transistor PNP com a base na esquerda. A diferenciação entre os transistores consiste em ligar portas em duas direções diferentes ao mesmo tempo e observar se existe tensão na porta em que não está alimentada. Dessa forma, o TBJ NPN com base no meio foi identificado através da alimentação das portas 9 e 11 e medição da porta 10. De forma análoga, no NPN com a base na porta direita, é identificado com o acionamento das portas direita e esquerda combinado com a leitura da porta do meio. Por fim resta o diodo inversamente polarizado e o TBJ PNP, que são diferenciados ligando a porta do meio e verificando a porta direita, caso a tensão seja maior que zero se trata de um transistor, em caso negativo será um diodo.

Ainda sobre o primeiro laço condicional existe a possibilidade da tensão medida na direita quando a porta esquerda for ligada ser maior que zero. Nesse caso as possibilidades seriam de que o componente seja um diodo diretamente polarizado, um resistor, um TBJ NPN cuja base esta na esquerda, ou um TBJ PNP com a base no meio ou na direita. Utilizando o mesmo criterio para a diferenciação de transistores as portas 11 e 9 serão acionadas e a porta 10 será medida, caso o resultado seja zero será um TBJ PNP a base no meio, em caso de haver tensão na porta central resta as outras possibilidades. Ligando a porta do meio e lendo a porta direita chega-se a conclusão que na presença de tensão lida pela porta o componente será um TBJ PNP com a base na direita. Para identificar o TBJ NPN com a base a esquerda é

acionada as portas 9 e 10 e verificado se possui tensão na porta 11, em caso negativo restam duas alternativas que são resistor ou diodo, facilmente identificáveis enviando alimentação pela direita e verificando se há tensão na esquerda.

A Figura 21 mostra um fluxograma simplificado de parte do processo feito na identificação dos componentes. O início do fluxograma corresponde ao momento em que o código terminou o processo de verificação se há capacitancia ou indutancia no componente testado.

Figura 21 – Fluxograma do processo de identificação dos componentes



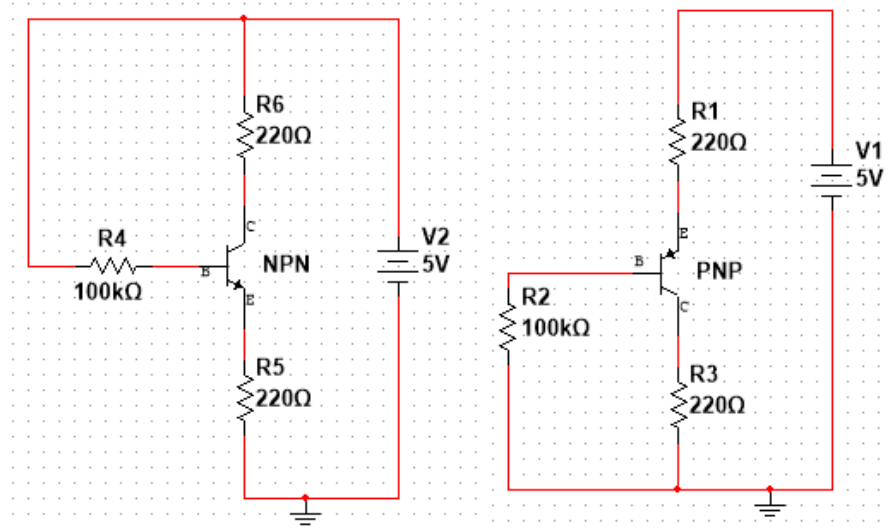
Fonte: Autoria própria

Quando é descoberta a localização da base de um transistor as outras 2 entradas são conectadas por ramos que estão em serie com resistores de $220\ \Omega$, caso o transistor seja do tipo NPN a base e um dos outros pinos são alimentados, no caso do PNP apenas uma das entradas que não seja a base é alimentada, feito isso, é medido a corrente que está passando pela base e pelo pino alimentando, em seguida é feita a divisão dessas correntes, de tal forma que se o transistor tiver diretamente polarizado o resultado da divisão será maior do que quando esta inversamente polarizado, devido a diferença de dopagem entre o material presente no coletor e no emissor. Deste modo é possível descobrir a localização do coletor e emissor de qualquer um desses transistores, além de possibilitar a medição do seu ganho apenas pela divisão das correntes de coletor e base.

A Figura 23 mostra o comportamento do identificador quando um transistor (circulado em azul) é encaixado em seus terminais. Ele indica as informações acerca do tipo de transistor, além da localização da base, coletor e emissor, na ordem em que os pinos foram encaixados na protoboard, sendo representados no display pelas letras B, C e E

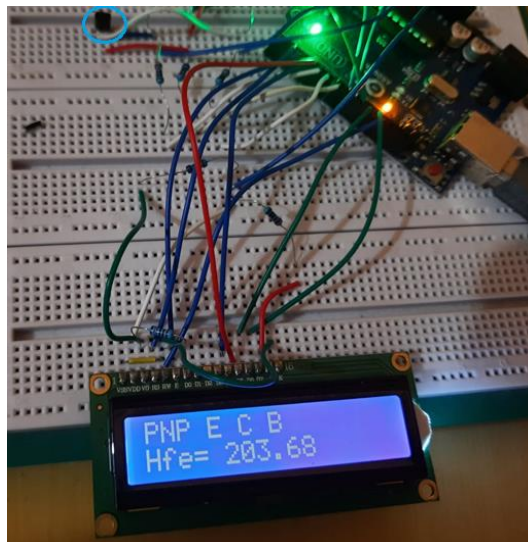
respectivamente, além disso, na segunda linha do display, é mostrado o ganho do transistor. A Figura 22 mostra a configuração correta que os transistores devem ter, para a medição do ganho.

Figura 22- configuração dos circuitos para medição de ganho do TBJ



Fonte: Autoria própria

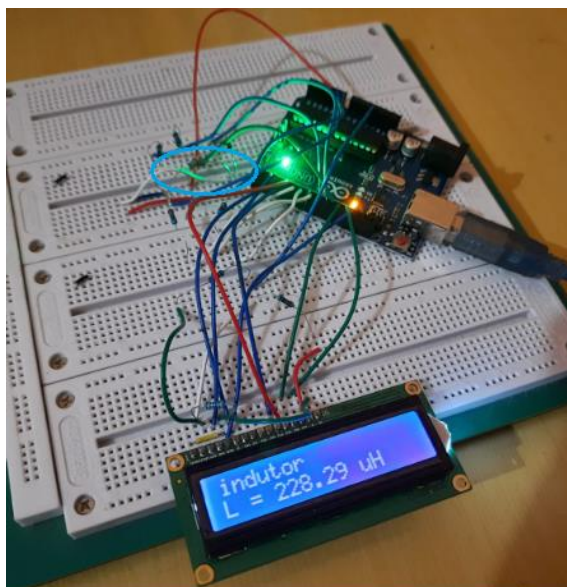
Figura 23- medição de ganho no TBJ realizada pelo identificador



Fonte: Autoria própria

A capacitância e indutância são determinadas pelo seu tempo de carga e descarga respectivamente, medido pelo timer 1 do arduino, além do resistor em serie com eles já estabelecido no programa antes da medição. A Figura 24 mostra como a identificação e medição do indutor (circulado em azul) são mostradas no display.

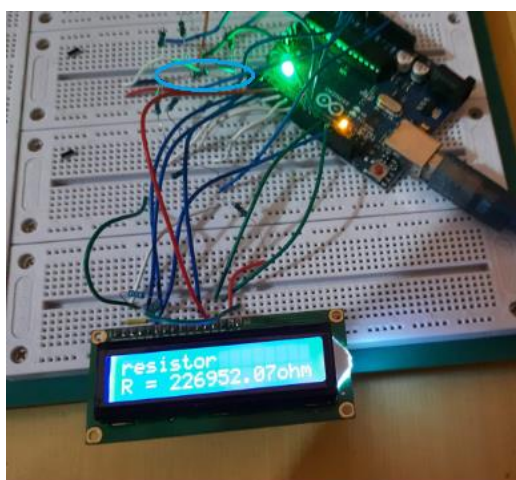
Figura 24-medição de indutancia no identificador



Fonte: Autoria Própria

Ao se identificar um resistor é medido a tensão que esta a sua direita e esquerda a fim de identificar a tensão consumida por ele, posteriormente é medida a corrente que passa pelo circuito atravez da divisão da tensão que passa pelo resistor que faz parte do dispositivo pela sua resistencia. O produto dessa tensão pela corrente dará o valor da resistencia indentificada no circuito. A Figura 25 mostra como a identificação e medição do resistor (circulado em azul) é vista no display.

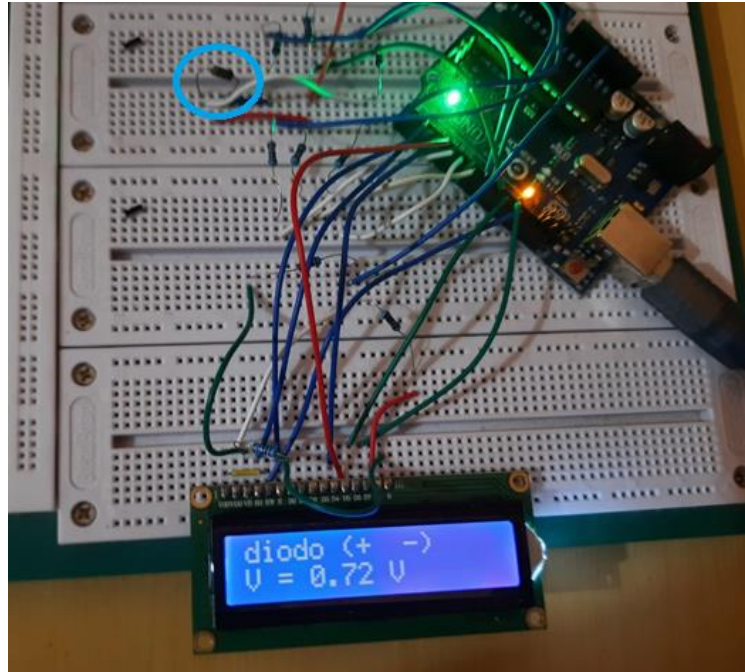
Figura 25-medição de resistencia no identificador



Fonte: Autoria própria

Caso tenha sido um diodo colocado nos terminais do identificador o programa irá dar como características a localização do seu polo positivo e negativo, e a tensão entre os teriminiais do diodo quando esta diretamente polarizado. A Figura 26 mostra como a identificação e medição do diodo (circulado em azul) é vista no display.

Figura 26-medição de tensão no diodo realizada pelo identificador



Fonte: Autoria própria

3.3 Medições

Para a medição de capacitores, como a conexão da entrada negativa do comparador está alocada depois do capacitor a tensão lida inicialmente será de aproximadamente 5 Volts pois o capacitor descarregado em um primeiro momento se comporta como um circuito fechado, posteriormente, com o avanço da carga do capacitor a tensão lida tenderá a diminuir até chegar em zero. Esse comportamento é semelhante a descarga de um capacitor evidenciada na equação (20). com isso o valor da capacitância vai ser obtido isolando a variável C tal como expresse nas equações (38) a (41).

$$\frac{V_C}{V} = e^{\frac{-t}{RC}} \quad (38)$$

$$\ln\left(\frac{V_C}{V}\right) = \ln\left(e^{\frac{-t}{RC}}\right) \quad (39)$$

$$\frac{-t}{RC} = \ln\left(\frac{V_C}{V}\right) \quad (40)$$

$$C = \frac{-t}{R \cdot \ln\left(\frac{V_c}{V}\right)} \quad (41)$$

Como o valor do tempo t da equação (41) deve ser expresso em segundos e o arduino recebe como variável $t1$ a quantidade de overflows e como variável X o valor do registrador ICR1 de 16 bits. A conversão desses valores consiste em multiplicar a equação (37) na variável $t1$ para um prescaler de 1 e uma frequência de 16 MHz. Resultando na equação a seguir:

$$tempo = \frac{2^{bits_timer} \cdot prescaler}{frequencia_clock} = \frac{2^{16} \cdot 1}{16000000} = 0.004096s \quad (42)$$

O valor obtido na equação (42) multiplicado por $t1$ é somado com a variável X que representa o numero de clocks presentes no registrador. Para transformar esse valor em segundos basta dividi-lo pela frequência de clock do próprio arduino, de 16MHz. Considerando a tensão V como sendo 5 Volts da alimentação de arduino e a tensão de bandgap V_c de 1,1 Volts, obtem-se através da substituição desses valores a equação final da capacitancia, a seguir:

$$C = \frac{-\left(0,004096 * t1 + \frac{X}{16000000}\right)}{R \cdot \ln\left(\frac{1,1}{5}\right)} \quad (43)$$

De modo análogo, o valor da indutância pode ser encontrado usando a equação (36) de carga do indutor. Isolando a variável L pelo mesmo método usado nas equações (38) a (41) e substituindo o tempo t pela função das variáveis $t1$ e X , como descrito na equação abaixo:

$$L = \frac{-\left(0,004096 * t1 + \frac{X}{16000000}\right) \cdot R}{\ln\left(\frac{1,1}{5}\right)} \quad (44)$$

O cálculo do ganho de um transistor é feito pela razão entre a corrente de coletor e a de base (equação (21)). para realizar isso a porta analógica que está na entrada do coletor, e a que está conectada a base medem a tensão nesses pontos. Caso o transistor seja do tipo NPN o valor de tensão consumida na resistência de coletor e da base será de 1023, que corresponde aos 5 Volts de alimentação do Arduino, subtraído do valor lido pela porta analógica correspondente. No caso do tipo PNP as quedas de tensões nos resistores serão o próprio valor da porta analógica, tendo em vista que eles estão conectados entre o transistor e o aterramento. Esses valores de tensão encontrados precisam ser convertidos para Volts através

da equação (36). em seguida essas tensões são divididas pelas suas resistências correspondentes (100k Ω para Base e 220 Ω para coletor), a fim de encontrar suas correntes. Aplicando os valores encontrados no cálculo do ganho obtém-se como resultado:

$$B = \frac{\frac{V_{coletor}}{220}}{\frac{V_{base}}{100000}} = \frac{100000 \cdot V_{coletor}}{220 \cdot V_{base}} \quad (45)$$

A medição de resistência usou como princípio a equação (1), onde é necessário a determinação da corrente e da tensão para encontrar a resistência. A obtenção da corrente ocorre de modo similar a vista no transistor, já que se tem conhecimento das resistências que estão em serie com o componente colocado. Com essa informação e com a tensão obtida pela porta analógica ADC1, encontra se a corrente, que é a mesma para qualquer ponto do circuito, pois os resistores estão em serie. Restando apenas a diferença de potencial no componente, que pode ser encontrada subtraindo as tensões nas portas analógicas ADC0 e ADC1 que existem antes e depois dele. Esse processo resulta na seguinte equação:

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{ADC0 - ADC1}{\frac{ADC1}{R_C}} = R_C \cdot \frac{ADC0 - ADC1}{ADC1} \quad (46)$$

O resistor R_C representa a resistência conhecida, que está em serie com o componente, ela pode ter valor de 220 ou de 100000 Ω , o critério para eleger o R_C é baseado na resistência do componente colocado, caso ele seja para valores iguais ou maiores que dezenas de k Ω será de 100k, para medição de resistências menores será de 220. Essa mudança ocorre, pois, quando há uma diferença muito grande na magnitude entre o resistor medido e o R_C a diferença de potencial na resistência menor vai ficar muito próxima de zero, aumentando assim, a imprecisão do resultado, devido as limitações do conversor analógico digital.

Por fim, a medição de tensão no diodo é medida simplesmente pela subtração das tensões em seus terminais.

3.4 Considerações sobre o projeto

Vale ressaltar que a tensão de Bandgap de 1,1 Volts usado no comparador leva um tempo para se estabilizar, por isso foi criado uma função chamada “carregar” após configurar a interrupção por captura de evento, que consistia em esperar 100 overflows no timer 2 com o prescaler de 1, o que corresponde a aproximadamente 1 segundo, para ai sim iniciar a carga ou descarga do componente.

Os parâmetros para identificar se está passando ou não corrente em determinada medição não foram baseados na verificação se a leitura na porta analógica era zero, pois devido a diversos fatores, a tensão que deveria ser medida muitas vezes não consta como zero e sim um valor próximo dele, que para a escala de 1024 bits como sendo 5 Volts, foi considerado valores lidos de 50 ou até mesmo 150 bits, como zero.

As leituras de tensão foram feitas sempre com o prescaler máximo (fator de divisão de 128), para que a medição fosse mais precisar possível, além disso, foi necessário medir a tensão 2 vezes seguidas, para que a capacitância do próprio conversor e a do componente não influenciassem no resultado.

Componentes como transistores e diodos apresentaram níveis de capacitância detectáveis, assim como alguns resistores tinham quantidades relevantes de indutância, por isso, mesmo passando nos testes de carga e descarga de dispositivos, os capacitores e indutores só eram identificados quando descartado a hipótese de serem outros tipos de componentes.

Para economizar espaço de memória no Arduino, foram usadas as mesmas Variáveis Y e X para medir todas as características dos dispositivos conectados, já que não era necessário armazenar mais de uma característica por vez, pois o identificador só mede um dispositivo por vez.

Os valores teóricos que o identificador pode medir de capacitância pode ser calculado através da equação (43) em que o menor valor identificável ocorre quando se usa a resistência de 100 K Ω e se durante a medição timer não fizer overflow sendo o valor de $t_1 = 0$, e o valor do registrador ICR1 armazenado na variável X é igual a 1, substituindo os valores tem-se:

$$C = \frac{-\left(0,004096 * 0 + \frac{1}{16000000}\right)}{100000 \cdot \ln\left(\frac{1,1}{5}\right)} = 0,413 pF \quad (47)$$

Já o maior valor teórico depende da quantidade máxima de tempo programada para aguardar até que se identifique uma capacitância, para o capacitor em paralelo com 220 Ω , esse valor de tempo é de 400 overflows, portanto a máxima capacitância ocorrerá com o valor de t_1 em 399 e o valor de X em 65534.

$$C = \frac{-\left(0,004096 * 399 + \frac{65534}{16000000}\right)}{220 \cdot \ln\left(\frac{1,1}{5}\right)} = 4,93 mF \quad (48)$$

Na medição das faixas de valores teóricos de indutância ocorre o mesmo procedimento que foi realizado com os capacitores, mas desta vez usando a equação (44) como parâmetro, além de que, neste caso o número máximo de overflows que o identificador irá esperar é de 100 e a resistência usada é apenas a de 220Ω . Com isso, os valores de indutância máxima e mínima reconhecível, é mostrado nas equações (49) e (50) respectivamente.

$$L = \frac{-\left(0,004096 \cdot 0 + \frac{1}{16000000}\right) \cdot 220}{\ln\left(\frac{1,1}{5}\right)} = 9uH \quad (49)$$

$$L = \frac{-\left(0,004096 \cdot 99 + \frac{65534}{16000000}\right) \cdot 220}{\ln\left(\frac{1,1}{5}\right)} = 59H \quad (50)$$

Apesar do identificador reconhecer os valores mínimos de capacitância e indutância, é importante salientar que resultados próximos dessa faixa terão imprecisões altas pois o dispositivo vai apenas reconhecer os valores de tempo discretos com o passo de 1/16 milhões e quanto menor for esse valor mais relevante são os erros associados.

Outros parâmetros a considerar vem do fato de que o timer só é capaz de trazer resultados a partir de 9uH, porém, um indutor de 1 uH foi identificada na prática, isso ocorreu pois o comparador analógico consegue atuar para valores ainda mais rápidos que o circuito de clock, e nesse caso o registrador ICR1 mediu 11 clocks, o que significa que esse é o intervalo aproximado que o Arduino leva para iniciar a medição. Com isso o valor da variável X foi substituída por X-11 a fim de retirar o período em que o identificador não está medindo, reduzindo os erros.

Um critério muito importante a ser ajustado foi a resistência já que além do resistor de 220Ω havia resistências na fonte de tensão e nos próprios fios, portanto a medição do valor aproximado dessa resistência se deu com o uso de um programa feito para calibrar o identificador (anexo 2). Esse processo consistia em curto-circuitar as entradas esquerda e direita em seguida medir a tensão lida ao conectar o ramo esquerdo diretamente na alimentação e o ramo direito em serie com uma resistência de 220Ω até a terra. Foi constatado uma tensão de 4,497V, depois disso a mesma medição foi feita, mas dessa vez o resistor estava sendo alimentado até a entrada esquerda e o outro ramo estavam conectados diretamente ao aterramento, obtendo uma tensão de 0,43V. a partir desses resultados foi possível calcular as resistências parasitas, medindo a corrente que passa no resistor, em que a sua diferença de potencial será a subtração das 2 tensões. Por fim, a resistência parasita foi

encontrada dividindo sua tensão que consiste nos 5 Volts da fonte menos a tensão medida de 4,497 Volts, somado com a tensão de 0,43V, a razão entre isso e a corrente achada na equação (51) resulta na equação (52) totalizando 50,7 Ω .

$$I = \frac{V_{R220}}{R_{220}} = \frac{4,497 - 0,43}{220} = 0,0184A \quad (51)$$

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{(5 - 4,497) + 0,43}{0,0184} = 50,70\Omega \quad (52)$$

Com toda essa informação o cálculo da indutância ou da capacitância em serie com o resistor de 220 Ω , terão ajustes como: a tensão da fonte de 4,497 Volts em vez de 5 Volts já que é essa o valor visto pelo componente quando alimentado. Além disso a resistência de 220 Ω será somada com os 50,8 Ω achados anteriormente, e o valor de X será subtraído de 11. Resultando nas equações (53) e (54) para capacitores em serie com 220 Ω e para indutores respectivamente.

$$C = \frac{-\left(0,004096 * t1 + \frac{(X - 11)}{16000000}\right)}{(220 + 50,7) \cdot \ln\left(\frac{1,1}{4,497}\right)} \quad (53)$$

$$L = \frac{-\left(0,004096 * t1 + \frac{(X - 11)}{16000000}\right) \cdot (220 + 50,7)}{\ln\left(\frac{1,1}{4,497}\right)} \quad (54)$$

O cálculo da capacitância para o caso em que o componente está em serie com a resistência de 100 k Ω não são considerados os dados das perdas na fonte e nos fios pois como a resistência é muito alta os 50,7 Ω tornam-se irrelevante para o cálculo. Porém, a análise feita baseada na equação deduzida para resistores em serie com 100 k Ω , obteve valores com um erro absoluto baixo, mas com erros relativos elevados, principalmente para valores baixos de capacitância, portanto fatores como tensão de bandagap e resistência tiveram pequenas alterações para que os valores medidos ficassem mais próximos dos nominais, A tensão de bandagap foi modificada para 1 V na equação e a resistência considerada ficou mais próxima de 105000.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise prática do testador de componentes foi capaz de confirmar a medição e identificação de resistências em uma faixa que varia de 10Ω a $1\text{ M}\Omega$. A menor capacitância identificável testada foi de 22 pF e a maior foi de $2200\text{ }\mu\text{F}$. Quanto as indutâncias o menor valor testado em que se é possível identificar foi de $1\text{ }\mu\text{H}$ e o maior foi de 1 mH , para um teste realizado com apenas um transistor de cada tipo (PNP e NPN) o identificador, foi capaz de reconhecer as posições da base, coletor e emissor em quaisquer configurações, o ganho medido em cada transistor foi consistente para qualquer posição, além disso, o diodo foi corretamente identificado e a posição do catodo e do anodo foi explícita em qualquer uma das posições.

Para atestar a eficiência do dispositivo criado, quanto a sua resistência foi comparado medições de diferentes resistores comerciais realizadas com o identificador e com o multímetro em seguida foi calculado o erro relativo percentual (E) dado na equação (55) em que R_n é a resistência nominal e R_m é a resistência medida.

$$E = \frac{|R_n - R_m|}{R_n} \cdot 100 \quad (55)$$

O multímetro utilizado no teste foi da marca CHY modelo A830L, exposto na Figura 27. Os dados de medição e erro relativo mostrado nos dispositivos se encontram na Tabela 1.

Figura 27 – Multímetro usado na medição



Fonte: Autoria própria

Tabela 1- dados comparativos de resistências medidas

Resistência nominal (Ω)	Resistências medidas (Ω)		Erro relativo em relação ao valor nominal		Erro relativo do identificador em relação ao multímetro
	multímetro	Identificador	Multímetro	identificador	
10	11	10,24	10,00%	2,40%	6,91%
22	22,8	23,06	3,64%	4,82%	1,14%
47	47,2	49,7	0,43%	5,74%	5,30%
100	98,6	103,76	1,40%	3,76%	5,23%
150	145,4	153,78	3,07%	2,52%	5,76%
200	195,7	208,56	2,15%	4,28%	6,57%
510	511	531,22	0,20%	4,16%	3,96%
680	665	691,56	2,21%	1,70%	3,99%
2000	1969	2052,5	1,55%	2,63%	4,24%
3300	3210	3409,25	2,73%	3,31%	6,21%
6800	6720	6882,78	1,18%	1,22%	2,42%
20000	19900	19937,63	0,50%	0,31%	0,19%
68000	68200	68283,88	0,29%	0,42%	0,12%
100000	99800	100235,78	0,20%	0,24%	0,44%
470000	465000	468520	1,06%	0,31%	0,76%
680000	674000	675270	0,88%	0,70%	0,19%
1000000	959000	1000399,93	4,10%	0,04%	4,32%
Erro percentual médio:			2,09%	2,27%	3,40%

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 1 é possível perceber que os valores lidos pelo identificador tiveram um erro relativo máximo em relação aos valores nominais de 5,74% enquanto o multímetro chegou a 10%, a tolerância das resistências utilizadas é de 1%, o que significa que alguns dos resultados obtidos tiveram até pelo menos 9% de erro em relação ao valor real do resistor. O identificador teve um erro médio em relação ao multímetro de 3,4% chegando a 6,91% em uma das medições. De modo geral a precisão da medição de resistência foi satisfatória e relativamente próxima a do multímetro que é vendido comercialmente.

Para a comparação com a medição de capacitores e indutores será utilizado o testador de componentes ESR-T4 (Figura 28). Em seguida é feito um levantamento análogo ao anterior a respeito das medições, onde os valores obtidos para os capacitores estão contidos na Tabela 2 e para indutores na Tabela 3.

Figura 28- Testador de componentes LCR-T4



Fonte: Autorial propria

Tabela 2- Dados comparativos de capacitâncias medidas

capacitância nominal	Capacitância vista pelo LCR-T4	Capacitância vista pelo identificador	erro relativo do identificador em relação ao LCR-T4
pF			
20	Não Identificado	20,19	--
30	30	29,13	2,90%
100	91	99,03	8,82%
330	315	329,7	4,67%
nF			
1	1,003	1,06	5,68%
2,2	2,187	2,26	3,34%
33	32,77	33,48	2,17%
47	44,93	48,35	7,61%
330	320	346,43	8,26%
uF			
1	0,964	1	3,73%
22	22,76	22,12	2,81%
1000	996	1048,7	5,29%
Erro percentual médio:			5,03%

Fonte: Autoria Própria

As capacitâncias medidas com o identificador tiveram o erro relativo máximo de 8,82%, além disso seu erro relativo médio foi de 5,03%. Vale ressaltar que o identificador foi capaz de medir a capacitância de 20 pF enquanto o outro dispositivo não foi capaz. O que mostra uma performance média satisfatória e uma maior faixa de atuação a favor do identificador.

Tabela 3- Dados comparativos de indutâncias medidas

Indutância nominal (uH)	Indutâncias medidas (uH)		Erro relativo em relação ao valor nominal		Erro relativo do identificador em relação ao LCR-T4
	LCR-T4	identificador	LCR-T4	identificador	
1	não identificado	11,99	----	1099,00%	-----
10	10	11,99	0,00%	19,90%	19,90%
22	20	23,98	9,09%	9,00%	19,90%
33	30	35,97	9,09%	9,00%	19,90%
100	80	107,93	20,00%	7,93%	34,91%
150	130	155,89	13,33%	3,93%	19,92%
220	190	239,84	13,64%	9,02%	26,23%
330	280	347,77	15,15%	5,38%	24,20%
470	420	491,68	10,64%	4,61%	17,07%
560	520	587,61	7,14%	4,93%	13,00%
1000	1010	971,36	1,00%	2,86%	3,83%
Erro percentual médio:			5,83%	4,50%	11,70%

Fonte: Autoria Própria

Nos indutores também foram obtidos resultados satisfatórios, já que todos os erros contidos nas medições em relação aos valores nominais, exceto um deles estão na faixa de tolerância dos indutores que foram usados de 10%. O erro médio do identificador em relação ao LCR-T4 foi de 11,7%, o que indica uma faixa razoável de precisão, além disso a faixa de identificação de indutores foi maior no identificador, abrangendo a indutância de 1uH, apesar desse valor ter se mostrado incongruente, devido o timer não ser capaz de registrar valores de tempo menores que o correspondente a 10 uH. Vale salientar que os valores de indutâncias encontradas pelo LCR-T4 foram ajustados após uma calibração feita pelo usuário, já que ele estava apresentando valores ainda mais distantes do nominal antes disso.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao iniciar o trabalho de pesquisa, visou-se a necessidade de uma forma prática para identificação e medição de componentes, que fosse acessível a usuários profissionais e leigos. Por isso considerou-se pertinente a pesquisa e realização de um identificador de componentes eletrônicos, feito na plataforma Arduino, tornando-se acessível a todos que tivessem esse sistema embarcado de forma gratuita.

Diante disso, o objetivo geral da pesquisa foi a criação do identificador de componentes, cujo projeto foi efetivamente feito e demonstrado de forma quantitativa, identificando todos os componentes propostos.

Além desse, um dos objetivos teve como proposta apresentar a eficiência desse dispositivo em relação a outras ferramentas com finalidades semelhantes, cumprindo esses requisitos ao comparar as medições usando o aparelho criado e um multímetro e compará-los com os valores nominais dos componentes.

Também foi proposto a criação do programa em Arduino que fosse capaz de realizar a verificação dos componentes apresentados, o que foi explicado no tópico: software do Arduino, mostrando cada um dos passos realizados para a implementação do código.

Outro objetivo específico foi explicar cada um dos componentes que o dispositivo criado era capaz de identificar, sendo realizado através da demonstração das principais características de cada um deles, além das equações que envolviam a explicação física para suas funções.

A hipótese dada na pesquisa, que consistia na realização dos componentes usando como parte física apenas o sistema embarcado, bem como o uso de uma protoboard e resistores, para, dessa forma, identificar todos os componentes, foram cumpridas, já que o equipamento criado exigiu 6 resistores, e fios de conexões, com 12 portas, além de uma tela LCD.

O problema do trabalho consistiu na seguinte questão: é possível criar um dispositivo simples e acessível a partir do Arduino que possa identificar e medir as características de componentes eletrônicos de forma automática e eficiente? Esta proposição foi realizada de forma relativa, já que o dispositivo feito foi capaz de identificar 5 dentre os tipos de componentes eletrônicos existentes e possui uma boa eficiência, apesar de não ser tão bom quanto algumas tecnologias existentes atualmente, mas teve uma boa assertividade diante dos componentes testados.

O método usado no projeto foi a pesquisa a respeito do microcontrolador atmega328p, para entender todas as funções nele disponíveis e elaborar as possibilidades, além de verificar a bibliografia de livros a respeito de eletricidade, para averiguar quais conceitos físicos podem ser explorados na identificação dos componentes.

Apesar dos resultados positivos, a pesquisa possui algumas limitações quanto aos tipos de componentes que podem ser identificados, além da faixa de indutância e capacitância mensuráveis, a qual foi limitada pela velocidade de clock dos aparelhos de medição contidos no Arduino, também foi identificado imprecisão nos resultados pela baixa resolução dos medidores, sensibilidade aos ruídos etc.

Como sugestão para trabalhos futuros recomendasse que possa ampliar a quantidade de tipos de componentes identificáveis, bem como usar outras plataformas que podem ser mais eficientes e/ou ter mais recursos para a criação do dispositivo, ou até mesmo encontrar formas mais eficientes de medir certos parâmetros do projeto.

REFERÊNCIAS

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK R. **Fundamentos da Física**, volume 3: eletromagnetismo. 10ª. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MICROCHIP Technology Inc. **Mega AVR. Datasheet: ATMEGA 328P**. Electronic Publication, 2020.

BOYLESTAD, R., NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, 11ª ed, Prentice-Hall do Brasil, 2013. MALVINO, A.P., **Eletrônica: volume 1**, 7a ed, São Paulo: Makron Books, 2007.

BOYLESTAD, Robert L. – **Introdução à Análise de Circuitos** – Prentice Hall/Pearson, 12ª. Ed, 2012.

LIMA, C. B. L; VILLAÇA, M. V. M. **AVR e Arduino: técnicas de projeto** 2ª ed. Florianópolis: Ed. dos autores, 2012. 632 p.

RAMIRO, Ricardo. **Apostila de eletrônica básica: dispositivos optoeletrônicos e diodo zener**. [S.l.]: [s.n.], 2007. Cap. 3. RASPBERRYPI. p. 3-9.

SHAMIEH, C; MCCOMB, G. **Eletrônica para Leigos** 2.ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011. 416 p.

CERNIAK, S. N. **Estudo e desenvolvimento de um capacitor eletrolítico de nióbio**. 2011. 121 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Natal, RN, 2011.

YOUNG, H. D; FREEDMAN, R. A. **"Física III: Eletromagnetismo**, 12a. ed." Pearson, São Paulo, Brasil, 2009. 441 p.

DAGOSTIM, Daniel. **Aperfeiçoamento de layout de placas de circuito impresso com técnicas de indutância e capacitância embarcados**. 2018. 93 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018.

RONALD, Tocci.; WIDMER, Neal S; MOSS, Gregory L. **Sistemas Digitais: princípios e aplicações**. 11. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 817p. ISBN: 9788576059226.

MALVINO, Albert; BATES, David J. **Eletrônica**. tradução: Antonio Pertence Jr. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 624 p.

BRAGA, Newton C. **Curso de Eletrônica: Eletrônica Básica**, 1ª ed. Instituto NCB, São Paulo, Brasil, 2012. 233 p.

LIMA, Chales, Borges de. **Os Poderosos µcontroladores AVR**. Florianópolis, SC, Brasil. IFSC Departamento Acadêmico de Eletrônica. 2009.

BLUM, Jeremy. **Explorando o Arduino: Técnicas e Ferramentas para Magias de Engenharia**, 1ª ed. Alta Books, Rio de Janeiro, 2016. 386 p.

KERSCHBAUMER, Ricardo. **Engenharia de controle e Automação Microcontroladores**. Instituto Federal Catarinense, Câmpus Luzerna, 2018. 181 p.

TAVARES, Walkyria Menezes leitão. **A INDÚSTRIA ELETRÔNICA NO BRASIL E SEU IMPACTO SOBRE A BALANÇA COMERCIAL**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2001.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. 2ª ed. Novatec, São Paulo, 2015. 512 p.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3.ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2000.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

DEMO, P. **Avaliação qualitativa**. 7.ed. Campinas: Autores Associados, 2002.

ANEXO A- CÓDIGO DO IDENTIFICADOR DE COMPONENTES

```

/*
 * pino 6 esquerdo(0 ohm), pino 7 direito(220 ohm),pino 8 meio(220 ohm)
 * pino A0 esquerdo, pino A1 direito, pino A2 do meio
 * pino 9 esquerdo(1000 ohm), pino 10 direito(40000 ohm),pino 11 meio(40000 ohm)
 * Created on 29 de Setembro de 2021, 10:32
 */
//quando for medir o ganho ou quando for identificar Coletor e Emissor para uma
mesma base, o resistor da base tem que ser alto e os outros dois podem ser baixos ou zero mas
nunca alto
//quando for identificar o transistor todos os resistores devem ter a msm resistencia
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,12,13);
#define resesq1 220.0
#define resesq2 100000.0
#define resme1 220.0
#define resme2 99900.0
#define resdi1 220.0
#define resdi2 100000.0
byte t,t0;
int ADC1,ADC0=1000,ADC2,tmax,V220=1023;
char passo=0,conta=1,k;
float Y,X,R=50.7;
double t1=0;
void descarregar();
void medir();
void desligarinterrupcoes();
void desligarportas();
void carregar();
void esperar();
ISR(TIMER2_OVF_vect);
ISR(TIMER1_OVF_vect);
ISR(TIMER1_CAPT_vect);
int main(void){
    Serial.begin(9600);
    desligarportas();
    descarregar();
    desligarportas();
    DDRC= 0B00000001;//porta ADC0 (esquerda 0ohm) output o resto input
    DDRB= 0B00001100;//portas 8(meio 220 ohm) e 10(direita 100000 ohm) output,
o resto input
    conta=2;
    medir();
    //PORTC= 0B00000001;
    esperar();

```

```

t1=0;
TCNT1=0;
ICR1=0;
PORTC= 0B00000001;
while(passo<1){
    Serial.println(t1);
}
desligarinterrupcoes();
ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
ADCSRA=0B10000011;//começa a conversão, prescaler do ADC é 32
ADCSRA |= 0B01000000;//ativo a conversão
while (ADCSRA == 0B11000011);
ADC1=ADC;//leio a porta A1(direita)
Serial.println(ADC1);
ADC1=analogRead(A1);
Serial.println(ADC1);
Serial.println(t1);
Serial.println(ICR1);
if(passo==1){
    desligarinterrupcoes();
    t1=0;
    conta=1;
    desligarportas();
    descarregar();
    desligarportas();
    DDRC= 0B00000001;//porta ADC0(esquerda 0ohm) output o resto input
    DDRD= 0B10000000;//porta 7(direita 220 ohm) output, o resto input
    medir();
    esperar();
    t1=0;
    TCNT1=0;
    ICR1=0;
    PORTC= 0B00000001;
}

while(passo<2){
    Serial.println(t1);
}
if(passo==2){
    desligarinterrupcoes();
    conta=1;
    desligarportas();
    DDRC= 0B00000001; // porta ADC0 (esquerda 0 ohm) output
    DDRD= 0B10000000; //porta 7 (direita 220 ohm) output
    carregar();
    medir();
    esperar();
    t1=0;
    TCNT1=0;
    ICR1=0;

```

```

PORTC= 0B00000000;//porta ADC0 (esquerda 0 ohm) desligada
}
while(passo<3){
    Serial.println(t1);
}
desligarinterrupcoes();
ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
ADCSRA=0B10000011;//começa a conversão, prescaler do ADC é 32
ADCSRA |= 0B01000000;//ativo a conversão
while (ADCSRA == 0B11000011);
ADC1=ADC;//leio a porta A1(direita)
Serial.println(ADC1);
ADC1=analogRead(A1);
Serial.println(ADC1);
desligarportas();
DDRB= 0B00001110;//portas 9,10 e 11( 100000 ohm) output
PORTB= 0B00000010;//porta 9(esquerda 100000 ohm) energizadaa
ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
ADCSRA=0B10000011;//começa a conversão, prescaler do ADC é 128
ADCSRA |= 0B01000000;//ativo a conversão
while (ADCSRA == 0B11000011);
ADC1=ADC;//leio a porta A1(direita)
Serial.println(ADC1);
ADC1=analogRead(A1);
Serial.println(ADC1);
if(ADC1<50){
    //pode ser diodo ou transistor NPN (- - B) ou (- B -)
    //ou transistor PNP (B - -)
    PORTB= 0B00001010;//coloco porta 11 e 9 em HIGH (meio e esquerda 100000
ohm)
    ADCSRA |= 0B01000000;//ativo a conversão
    while (ADCSRA == 0B11000011);
    ADC1=ADC;// leio a porta A1 (direita)
    Serial.println(ADC1);
    ADC1=analogRead(A1);
    Serial.println(ADC1);
    if(ADC1>150){
        //transistor NPN (- B -)
        desligarportas();
        DDRD=0B11000000;//portas 6 e 7(esqueda, direita 220ohm) OUTPUT
        PORTD=0B01000000;//porta 6(esquerda 220 ohm) high
        DDRB=0B00001000;//porta 11(meio 100kohm) OUTPUT
        PORTB=0B00001000;//porta 11(meio 100kohm) high
        ADMUX=0B01000001;//porta A1(direita)
        ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A1(direita)
        while (ADCSRA == 0B11000011);
        ADC1=ADC;//ler porta A1(direita)
        Serial.println(ADC1);
        ADC1=analogRead(A1);
        Serial.println(ADC1);
    }
}

```

```

if(ADC1<150){
  //NPN (E B C)
  PORTD=0B10000000;//porta 7(direita 220 ohm) output high e porta
6(esquerda 220ohm)output low
  PORTB=0B00001000;//porta 11(meio 100000 ohm) output high
  ADMUX= 0B01000010;//porta A2(meio)
  ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A2(meio)
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC2=ADC;//ler porta A2(meio)
  Serial.println(ADC2);
  ADC2=analogRead(A2);
  Serial.println(ADC2);
  ADMUX= 0B01000001;//porta A1(direita)
  ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A1(direita)
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC1=ADC;//ler porta A1(direita)
  Serial.println(ADC1);
  ADC1=analogRead(A1);
  Serial.println(ADC1);
  Y=(ADC1/resdi1)/(ADC2/resme2);
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("NPN E B C");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Hfe= ");
  lcd.print(Y);
  Serial.println("NPN E B C");
  Serial.print("Hfe = ");
  Serial.println(Y);
}else{
  //NPN (C B E)
  ADMUX= 0B01000000;//porta A0(esquerda)
  ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A0(esquerda)
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC0=ADC;//ler porta A0(esquerda)
  Serial.println(ADC0);
  ADC0=analogRead(A0);
  Serial.println(ADC0);
  ADMUX= 0B01000010;//porta A2(meio)
  ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A2(meio)
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC2=ADC;//ler porta A2(meio)
  Serial.println(ADC2);
  ADC2=analogRead(A2);
  Serial.println(ADC2);
  Y=(ADC0/resesq1)/(ADC2/resme2);
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("NPN C B E");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Hfe= ");
  lcd.print(Y);
}

```

```

        Serial.println("NPN C B E");
        Serial.print("Hfe = ");
        Serial.println(Y);
    }
} else {
    //pode ser diodo ou transistor NPN (- - B)
    //ou transistor PNP (B - -)
    desligarportas();
    DDRB= 0B00001110;//portas 9, 10 e 11(100Kohm) OUTPUT
    PORTB= 0B00000110;//portas 9 e 10(esquerda e direita 100Kohm) HIGH
    ADMUX= 0B01000010;//porta A2(meio)
    ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A2(meio)
    while (ADCSRA == 0B11000111);
    ADC2=ADC;//ler porta A2(meio)
    Serial.println(ADC2);
    ADC2=analogRead(A2);
    Serial.println(ADC2);
    if(ADC2>150){
        // transistor NPN (- - B)
        desligarportas();
        DDRB=0B00000101;//porta 10(direita 100Kohm) e 8(meio 220 ohm) output
        PORTB=0B00000100;// porta 10(direita 100000 ohm) output high
        DDRD=0B01000000;//porta 6(esquerda 220 ohm) output
        PORTD=0B01000000;//porta 6(esquerda 220 ohm) output high
        ADMUX= 0B01000010;//porta A2(meio)
        ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A2(meio)
        while (ADCSRA == 0B11000111);
        ADC2=ADC;//ler porta A2(meio)
        Serial.println(ADC2);
        ADC2=analogRead(A2);
        Serial.println(ADC2);
        if(ADC2<150){
            //NPN (E C B)
            PORTD=0B00000000;//porta 6(esquerda 220 ohm) output low
            PORTB=0B00000101;//porta 10(direita 100000 ohm) e 8(meio 220 ohm)
output high
            ADMUX= 0B01000010;//porta A2(meio)
            ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A2(meio)
            while (ADCSRA == 0B11000111);
            ADC2=ADC;//ler porta A2(meio)
            Serial.println(ADC2);
            ADC2=analogRead(A2);
            Serial.println(ADC2);
            ADMUX= 0B01000001;//porta A1(direita)
            ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A1(direita)
            while (ADCSRA == 0B11000111);
            ADC1=ADC;//ler porta A1(direita)
            Serial.println(ADC1);
            ADC1=analogRead(A1);
            Serial.println(ADC1);
        }
    }
}

```

```

Y=(ADC2/resme1)/(ADC1/resdi2);
lcd.begin(16,2);
lcd.print("NPN E C B");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Hfe= ");
lcd.print(Y);
Serial.println("NPN E C B");
Serial.print("Hfe = ");
Serial.println(Y);
}else{
  //NPN (C E B)
  ADMUX= 0B01000000;//porta A0(esquerda)
  ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A0(esquerda)
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC0=ADC;//ler porta A0(esquerda)
  Serial.println(ADC0);
  ADC0=analogRead(A0);
  Serial.println(ADC0);
  ADMUX= 0B01000001;//porta A1(direita)
  ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A1(direita)
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC1=ADC;//ler porta A1(direita)
  Serial.println(ADC1);
  ADC1=analogRead(A1);
  Serial.println(ADC1);
  Y=(ADC0/resesq1)/(ADC1/resdi2);
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("NPN C E B");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Hfe= ");
  lcd.print(Y);
  Serial.println("NPN C E B");
  Serial.print("Hfe = ");
  Serial.println(Y);
}

}else{
  //diodo ou transistor PNP (B - -)
  desligarportas();
  DDRB= 0B00001110;
  PORTB=0B00001000;//porta 11(meio 100Kohm) high
  ADMUX= 0B01000001;//porta A1(direita)
  ADCSRA |= 0B01000000;//leio a porta A1(direita)
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC1=ADC;//ler porta A1(direita)
  Serial.println(ADC1);
  ADC1=analogRead(A1);
  Serial.println(ADC1);
  if(ADC1<150){
    desligarportas();
  }
}

```

```

DDRD=0B11000000; //portas 6 e 7 (esquerda e direita 220 ohm) output
PORTD=0B10000000; // porta 7(direita 220 ohm) high
ADMUX= 0B01000000;
ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
ADC0=ADC; // leio a porta esquerda
Serial.println(ADC0);
ADC0=analogRead(A0);
Serial.println(ADC0);
if(ADC0>50 && t1==0){
  Serial.println("diodo (- +)");
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("diodo (- +)");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("V= ");
  lcd.print(Y);
}else{
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("capacitor");
  Serial.println("capacitor");
  if(conta==4){
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C = ");
    lcd.print(Y);
    lcd.print("pF");
    Serial.print("C = ");
    Serial.print(Y);
    Serial.print("pF");
  }else
  if(conta==5){
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C = ");
    lcd.print(Y);
    lcd.print("nF");
    Serial.print("C = ");
    Serial.print(Y);
    Serial.print("nF");
  }else
  {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C = ");
    lcd.print(Y);
    lcd.print("uF");
    Serial.print("C = ");
    Serial.print(Y);
    Serial.print("uF");
  }
}
}else{
  //PNP (B - -)

```

```

desligarportas();
DDRD=0B10000000;//porta 7 (direita 220ohm) output
PORTD=0B00000000;//porta 7 (direita 220ohm) output low
DDRB=0B00000011;//porta 8(meio 220ohm) e porta 9(esquerda
100kohm)output
PORTB=0B00000001;//porta 8(meio 220ohm) high
ADMUX= 0B01000001;//porta A1(direita)
ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
ADC1=ADC;//ler porta A1(direita)
Serial.println(ADC1);
ADC1=analogRead(A1);
Serial.println(ADC1);
if(ADC1<150){
  //PNP (B C E)
  PORTB=0B00000000;//porta 8(meio 220ohm) low
  PORTD=0B10000000;//porta 7(direita 220ohm) high
  ADMUX= 0B01000010;//porta A2(meio)
  ADCSRA |= 0B01000000;
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC2=ADC;//ler porta A2(meio)
  Serial.println(ADC2);
  ADC2=analogRead(A2);
  Serial.println(ADC2);
  ADMUX= 0B01000000;//porta A0(esquerda)
  ADCSRA |= 0B01000000;
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC0=ADC;//ler porta A0(esquerda)
  Serial.println(ADC0);
  ADC0=analogRead(A0);
  Serial.println(ADC0);
  Y=(ADC2/resme1)/(ADC0/resesq2);
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("PNP B C E");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Hfe= ");
  lcd.print(Y);
  Serial.println("PNP B C E");
  Serial.print("Hfe = ");
  Serial.println(Y);
}else{
  //PNP (B E C)
  ADMUX= 0B01000000;//porta A0(esquerda)
  ADCSRA |= 0B01000000;
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC0=ADC;//ler porta A0(esquerda)
  Serial.println(ADC0);
  ADC0=analogRead(A0);
  Serial.println(ADC0);
  Y=(ADC1/resdi1)/(ADC0/resesq2);

```



```

    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("PNP E B C");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Hfe= ");
    lcd.print(Y);
    Serial.println("PNP E B C");
    Serial.print("Hfe = ");
    Serial.println(Y);
}else{
    //PNP(C B E)
    PORTD=0B10000000;//porta 7(direita 220 ohms) em high
    ADMUX= 0B01000000;// referencia o VCC e ler o pino A0
    ADCSRA |= 0B01000000;
    while (ADCSRA == 0B11000111);
    ADC0=ADC;
    Serial.println(ADC0);
    ADC0=analogRead(A0);
    Serial.println(ADC0);
    ADMUX= 0B01000010;// referencia o VCC e ler o pino A2
    ADCSRA |= 0B01000000;
    while (ADCSRA == 0B11000111);
    ADC2=ADC;
    Serial.println(ADC2);
    ADC2=analogRead(A2);
    Serial.println(ADC2);
    Y=(ADC0/resesq1)/(ADC2/resme2);
    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("PNP C B E");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Hfe= ");
    lcd.print(Y);
    Serial.println("PNP C B E");
    Serial.print("Hfe = ");
    Serial.println(Y);
}
}else{
    //diodo(+ -) ou resistor ou NPN(B - -) ou PNP(- - B)
    desligarportas();
    DDRB= 0B00001110;
    PORTB= 0B00001000;//coloco porta 11(meio 100Kohm) em HIGH
    ADMUX=0B01000001;//porta A1(direita)
    ADCSRA |= 0B01000000;
    while (ADCSRA == 0B11000111);
    ADC1=ADC;// leio a porta A1 (direita)
    Serial.println("puts");
    Serial.println(ADC1);
    ADC1=analogRead(A1);
    Serial.println(ADC1);
    if(ADC1>150){
        // transistor PNP (- - B)
    }
}

```

```

PORTB=0B00000000;
DDRB=0B00000101;//porta 8(meio 220ohms) e porta 10(direita
100Kohms) OUTPUT
DDRD=0B01000000;//porta 6(esquerda 220ohms) OUTPUT
PORTD=0B01000000;//porta 6(esquerda 220ohms) em high
ADMUX= 0B01000010;// referencia o VCC e ler o pino A2
ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
ADC2=ADC;
Serial.println(ADC2);
ADC2=analogRead(A2);
Serial.println(ADC2);
if(ADC2>150){
  //PNP(E C B)
  ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1
  ADCSRA |= 0B01000000;
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC1=ADC;
  Serial.println(ADC1);
  ADC1=analogRead(A1);
  Serial.println(ADC1);
  Y=(ADC2/resme1)/(ADC1/resdi2);
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("PNP E C B");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Hfe= ");
  lcd.print(Y);
  Serial.println("PNP E C B");
  Serial.print("Hfe = ");
  Serial.println(Y);
}else{
  //PNP(C E B)
  PORTD=0B00000000;
  PORTB=0B00000001;//porta 8(meio 220ohms) em high
  ADMUX= 0B01000000;// referencia o VCC e ler o pino A0
  ADCSRA |= 0B01000000;
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC0=ADC;
  Serial.println(ADC0);
  ADC0=analogRead(A0);
  Serial.println(ADC0);
  ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1
  ADCSRA |= 0B01000000;
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC1=ADC;
  Serial.println(ADC1);
  ADC1=analogRead(A1);
  Serial.println(ADC1);
  Y=(ADC0/resesq1)/(ADC1/resdi2);
  lcd.begin(16,2);

```



```

ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
ADC1=ADC;//ler porta A1(direita)
Serial.println(ADC1);
ADC1=analogRead(A1);
Serial.println(ADC1);
Y=(ADC1/resdi1)/(ADC0/resesq2);
lcd.begin(16,2);
lcd.print("NPN B E C");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Hfe= ");
lcd.print(Y);
Serial.println("NPN B E C");
Serial.print("Hfe = ");
Serial.println(Y);
}else{
//NPN (B C E)
ADMUX= 0B01000000;//porta A0(esquerda)
ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
ADC0=ADC;//ler porta A0(esquerda)
Serial.println(ADC0);
ADC0=analogRead(A0);
Serial.println(ADC0);
ADMUX= 0B01000010;//porta A2(meio)
ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
ADC2=ADC;//ler porta A2(meio)
Serial.println(ADC2);
ADC2=analogRead(A2);
Serial.println(ADC2);
Y=(ADC2/resme1)/(ADC0/resesq2);
lcd.begin(16,2);
lcd.print("NPN B C E");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Hfe= ");
lcd.print(Y);
Serial.println("NPN B C E");
Serial.print("Hfe = ");
Serial.println(Y);
}
}else{
//diodo(+ -) ou resistor
desligarportas();
DDRB= 0B00001110;
PORTB=0B00000100;// porta 10(direita 100Kohm) em HIGH
ADMUX= 0B01000000;// referencia o VCC e ler o pino A0
ADCSRA|=0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
ADC0=ADC;

```

```

Serial.println(ADC0);
ADC0=analogRead(A0);
Serial.println(ADC0);
ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1
ADCSRA|=0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
ADC1=ADC;
Serial.println(ADC1);
ADC1=analogRead(A1);
Serial.println(ADC1);
if(ADC0>150){
    //resistor usar ADC0 e ADC1 para medir a resistencia
    PORTB=0B00000000;
    DDRB=0B00000000;
    DDRD=0B11000000;//porta 6(esquerda 220ohms) e porta 7(direita
220ohms) em OUTPUT
    PORTD=0B01000000;//porta 6(esquerda 220ohms) em high
    ADMUX= 0B01000000;// referencia o VCC e ler o pino A0
    ADCSRA |=0B01000000;//ativo a conversão
    while (ADCSRA == 0B11000111);
    ADC0=ADC;
    Serial.println(ADC0);
    ADC0=analogRead(A0);
    Serial.println(ADC0);
    ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1
    ADCSRA |=0B01000000;
    while (ADCSRA == 0B11000111);
    ADC1=ADC;
    Serial.println(ADC1);
    ADC1=analogRead(A1);
    Serial.println(ADC1);
    if(conta==6 ||conta==7){
        lcd.begin(16,2);
        lcd.print("capacitor");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("C = ");
        lcd.print(Y);
        lcd.print(" uF ");
        Serial.println("capacitor");
        Serial.print("C =");
        Serial.print(Y);
        Serial.println("uF");
        Serial.println(tmax);
    }else
    if(conta==5){
        lcd.begin(16,2);
        lcd.print("capacitor");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("C = ");
        lcd.print(Y);

```

```

    lcd.print(" nF ");
    Serial.println("capacitor");
    Serial.print("C =");
    Serial.print(Y);
    Serial.println(" nF");
    Serial.println(tmax);
} else
if(conta==4){
    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("capacitor");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C = ");
    lcd.print(Y);
    lcd.print(" pF ");
    Serial.println("capacitor");
    Serial.print("C =");
    Serial.print(Y);
    Serial.println(" pF");
    Serial.println(tmax);
}
else{
    X=(ADC0-ADC1)*5.0/1023.0/(((1023-
ADC0)*5.0/1023.0)/(resesq1+R));
    Serial.println(X);
    if(X<20 && Y>0){
        lcd.begin(16,2);
        lcd.print("indutor");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("L = ");
        lcd.print(Y);
        lcd.print(" uH ");
        Serial.println("indutor");
        Serial.print("L = ");
        Serial.print(Y);
        Serial.print("uH");
    } else
    if(X>6900){
        desligarportas();
        DDRC=0B00000001;
        DDRB= 0B00000100;
        PORTC= 0B00000001;
        ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1
        ADCSRA |=0B01000000;
        Serial.println(ADC1);
        while (ADCSRA == 0B11000111);
        ADC1=ADC;
        Serial.println(ADC1);
        ADC1=analogRead(A1);
        Serial.println(ADC1);
        X=(1023-ADC1)*5.0/1023.0/((ADC1*5.0/1023.0)/(resesq2+R));
    }
}

```

```

    Serial.println("resistor 1");
    Serial.print("R = ");
    Serial.print(X);
    Serial.print("ohms");
    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("resistor");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("R = ");
    lcd.print(X);
    lcd.print("ohms ");
  }else{
    Serial.println("resistor 2");
    Serial.print("R = ");
    Serial.print(X);
    Serial.print("ohms");
    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("resistor");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("R = ");
    lcd.print(X);
    lcd.print(" ohms ");
  }
}
}else{
  //diodo(+ -)
  desligarportas();
  DDRB= 0B00000100;
  DDRC= 0B00000001;
  PORTC=0B00000001;// porta ADC0(esquerda 0 ohm) em HIGH
  ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1
  ADCSRA|=0B01000000;
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC1=ADC;
  Serial.println(ADC1);
  ADC1=analogRead(A1);
  Serial.println(ADC1);
  if(conta==6 ||conta==7){
    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("capacitor");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C = ");
    lcd.print(Y);
    lcd.print("uF");
    Serial.println("capacitor");
    Serial.print("C =");
    Serial.print(Y);
    Serial.println("uF");
    Serial.println(tmax);
  }else
  if(conta==5){

```



```

    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("capacitor");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C = ");
    lcd.print(Y);
    lcd.print("nF");
    Serial.println("capacitor");
    Serial.print("C =");
    Serial.print(Y);
    Serial.println("nF");
    Serial.println(tmax);
} else
if(conta==4){
    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("capacitor");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C = ");
    lcd.print(Y);
    lcd.print(" pF ");
    Serial.println("capacitor");
    Serial.print("C =");
    Serial.print(Y);
    Serial.println(" pF");
    Serial.println(tmax);
}
if(ADC1<500){
    X=(1023-ADC1)*5.0/1023.0/((ADC1*5.0/1023.0)/(resesq2+R));
    Serial.println("resistor 2.2");
    Serial.print("R = ");
    Serial.print(X);
    Serial.print("ohms");
    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("Resistor");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("R = ");
    lcd.print(X);
    lcd.print(" ohms ");
} else{
    desligarportas();
    DDRD= 0B11000000;
    PORTD=0B01000000;// porta 6(esquerda 220 ohm) em HIGH
    ADMUX= 0B01000000;// referencia o VCC e ler o pino A0
    ADCSRA|=0B01000000;
    while (ADCSRA == 0B11000111);
    ADC0=ADC;
    Serial.println(ADC0);
    ADC0=analogRead(A0);
    Serial.println(ADC0);
    ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1
    ADCSRA|=0B01000000;

```

```

        while (ADCSRA == 0B11000111);
        ADC1=ADC;
        Serial.println(ADC1);
        ADC1=analogRead(A1);
        Serial.println(ADC1);
        Y=(ADC0-ADC1)*5.0/1023.0;
        lcd.begin(16,2);
        lcd.print("diodo (+ -)");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("V = ");
        lcd.print(Y);
        lcd.print(" V ");
        Serial.println("diodo(+ -)");
    }
}
}

    }
}
}
desligarportas();
while(1);
}

```

```

ISR(TIMER2_OVF_vect){
    t0++;
}
ISR(TIMER1_OVF_vect)
{
    t1++;
    if(t1==740 && passo==0){
        passo=1;
    }else
    if(t1==400 && passo==1){
        passo=2;
    }else
    if(t1==100 && passo==2){
        passo=3;
    }
}
ISR(TIMER1_CAPT_vect){
    if(conta==1){
        conta=2;
    }else
    if(passo==0){
        desligarinterrupcoes();
        //capacitor
        X=ICR1;
        if(t1==0 && X<2401){

```

```

    Y=(-(X-28)/0.000016)/(100000.0*log(1.0/5.0));
    conta=4;
  }else
  if(t1<37){
    Y=(-t1*4096000.0-(X)/0.016)/(105000*log(1.0/5.0));
    conta=5;
  }else{
    Y=(-t1*4096.0-(X-28)/16.0)/((resdi2+R)*log(1.0/5.0));
    conta=6;
  }
  Serial.println("capacitor 1");
  passo=3;
}else
  if(passo==1){
    conta=7;
    desligarinterrupcoes();
    Serial.println(t1);
    Serial.println("capacitor 2");
    X=ICR1;
    Y=(-t1*4096.0-(X-11)/16.0)/((resdi1+R)*log(1.1/4.497));
    passo=3;
  }else
    if(passo==2){
      desligarinterrupcoes();
      Serial.println(t1);
      X=ICR1;
      Y=((-t1*4096.0-(X-11)/16.0)*(resdi1+R))/(log(1.1/4.497));
      Serial.println("indutor");
      passo=3;
    }
  }
}

void descarregar(){
  DDRD= 0B11000000;//porta 6(esquerda 220ohm) e 7 (direita 220ohm) output o
resto input
  PORTD= 0B00000000;
  ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
  ADCSRA=0B10000111;//começa a conversão, prescaler do ADC é 128
  ADCSRA |= 0B01000000;
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC1=ADC;//leio a porta A1(direita)
  Serial.println(ADC1);
  ADMUX= 0B01000000;
  ADCSRA |= 0B01000000;//ativo a conversão
  while (ADCSRA == 0B11000111);
  ADC0=ADC;//leio a porta A0(esquerda)
  Serial.println(ADC0);
  while(ADC1>0||ADC0>0){
    ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
    ADCSRA |= 0B01000000;
    while (ADCSRA == 0B11000111);

```

```

        ADC1=ADC;//leio a porta A1(direita)
        Serial.println(ADC1);
        ADMUX= 0B01000000;
        ADCSRA |= 0B01000000;//ativo a conversão
        while (ADCSRA == 0B11000111);
        ADC0=ADC;//leio a porta A1(direita)
        Serial.println(ADC0);//leio o pino A0
    }
}

void medir(){
    //verificar bit 3 ACSR
    ACSR= 0B01000110;// retirei o comparador analogico normal
    ADCSRB= 0B01000111;//configura para input capture
    ADCSRA= 0B01100011;//começa a conversão, prescaler do ADC é 8
    TIMSK1= 0B00100001;// ativado interrupção por input capture e por overflow
    TCCR1B= 0B01000001;//timer sem prescaler, tempo maximo 4 ms
    ADMUX= 0B01000001;// referencia VCC e pino A1
    TCNT1=0;// a partir de que valor começa a contar
    sei();
}

void desligarinterrupcoes(){
    //TIMSK2=0B00000000;
    TIMSK1=0B00000000;
    ACSR= 0B00000000;
    TIMSK0= 0B00000000;// desligo a interrupção do timer 0
    ADCSRB=0B00000000;// retiro a configuração de input capture
    TCCR1B= 0B00000000;
    ADMUX= 0B00000000;
}

void desligarportas(){
    PORTB= 0B00000000;
    PORTD= 0B00000000;
    PORTC= 0B00000000;
    DDRD= 0B00000000;
    DDRB= 0B00000000;
    DDRC= 0B00000000;
}

void carregar(){
    ADC0=0;
    k=0;
    PORTC=0B00000001;
    ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
    ADCSRA=0B11000111;//começa a conversão, prescaler do ADC é 32
    while (ADCSRA == 0B11000111);
    ADC1=ADC;
    while(k<100){
        ADC0=ADC1;
        ADCSRA |= 0B01000000;//ativo a conversão
    }
}

```

```

    while (ADCSRA == 0B11000111);
    ADC1=ADC;
    if(ADC1==ADC0){
        k++;
    }
}
}
void esperar(){
    //os tres primeiros bits definem o prescaler, nesse caso foi 101, que define 1024
    TCCR2B= 0B00000101;
    //o primeiro bit em 1 ativa a flag durante o overflow do timer
    TIMSK2= 0B00000001;
    t0=0;
    sei();
    while(t0<50){
        Serial.println(t0);
    }
    TCCR2B= 0B00000000;
    TIMSK2= 0B00000000;
}

```

ANEXO B -CODIGO DE CALIBRAÇÃO DO IDENTIFICADOR

```

int V40,V220,G40,G220;
void desligarportas(){
    PORTB= 0B00000000;
    PORTD= 0B00000000;
    PORTC= 0B00000000;
    DDRD= 0B00000000;
    DDRB= 0B00000000;
    DDRC= 0B00000000;
}
void setup() {
    desligarportas();
    Serial.begin(9600);
    // put your setup code here, to run once:
    DDRC= 0B00000001;//porta 6(esquerda 0ohm) output o resto input
    DDRD= 0B10000000;//portas 8(meio 220 ohm) e 10(direita 40000 ohm) output, o
resto input
    PORTC= 0B00000001;
    ADMUX= 0B01000001;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
    ADCSRA=0B10000111;//começa a conversão, prescaler do ADC é 32
    ADCSRA |= 0B01000000;
    while (ADCSRA == 0B11000111);
    V220=ADC;
    Serial.println(V220);
    ADCSRA |= 0B01000000;
}

```

```

while (ADCSRA == 0B11000111);
V220=ADC;
Serial.println(V220);
desligarportas();
DDRC= 0B00000001;//porta 6(esquerda 0ohm) output o resto input
DDRB= 0B00000100;//porta 10(direita 40000 ohm) output, o resto input
PORTC= 0B00000001;
ADMUX= 0B00000001;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
V40=ADC;
Serial.println(V40);
desligarportas();
DDRD= 0B01000000;
DDRC= 0B00000010;
PORTD= 0B01000000;
ADMUX= 0B01000000;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
G220=ADC;
desligarportas();
DDRB= 0B00000010;
DDRC= 0B00000010;
PORTB= 0B00000010;
ADMUX= 0B01000000;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
G40=ADC;
Serial.println(G220);
Serial.println(G40);
desligarportas();
DDRB= 0B00000100;
DDRD= 0B01000000;
PORTD= 0B01000000;
ADMUX= 0B01000000;// referencia o VCC e ler o pino A1(direita)
ADCSRA |= 0B01000000;
while (ADCSRA == 0B11000111);
G40=ADC;
Serial.println(G40);
desligarportas();

}

void loop() {
  // put your main code here, to r+ un repeatedly:

}

```