

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UFAM/IFAM
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
CURSO DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**INTEGRAÇÃO ENTRE ATIVIDADES COMPUTACIONAIS E EXPERIMENTAIS
COMO ESTRATÉGIA PEDAGÓGICA NO ESTUDO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS
NO ENSINO MÉDIO**

Glauco Denes Galvão Maia

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação Polo4 IFAM/UFAM no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Wagner Antônio da Silva Nunes

Apêndice E - Guia de Atividades Práticas

Sumário

1 Introdução

2 Organização da Sequência Didática

3 O Software Multisim

4 Roteiro de Atividades

4.1 Aula 1 – Software Multisim e Circuito Simples

4.2 Aula 2 – Experimento: Multímetro

4.3 Aula 3 – Experimento: Lei de OHM

4.4 Aula 4 – Software Multisim e Circuito Série

4.5 Aula 5 – Software Multisim e Circuito Paralelo

4.6 Aula 6 – Experimento: Circuito série e Circuito paralelo

4.7 Aula 7 – Software Multisim e Circuito Misto

4.8 Aula 8 – Experimento: Circuito Misto

4.9 Aula 9 – Experimento: Potência elétrica

1 Introdução

Este Guia Prático apresenta uma Sequência Didática e um Roteiro de Atividades Práticas, é dirigido principalmente aos professores do Ensino Médio. O roteiro foi elaborado para criar momentos de aprendizagem de temas selecionados de Eletrodinâmica, no qual integramos simulações computacionais com atividades experimentais, com o intuito de elevar a experiência de aprendizagem no ensino de circuitos elétricos.

O guia prático apresenta uma proposta de Sequência Didática (SD) que é um conjunto de atividades ligadas entre si, planejadas para ensinar um conteúdo, etapa por etapa. Organizada de acordo com os objetivos que o professor quer alcançar para a aprendizagem dos estudantes, envolve atividades de aprendizagem e avaliação. Tem o intuito de tornar mais eficiente o processo de aprendizagem.

A SD é um instrumento de fortalecimento das práticas desenvolvidas em sala de aula onde o professor desempenha importante papel ao elaborar atividades de ensino, que podem ser instrumentos mediadores, por meio do qual o aluno consegue estabelecer relações entre teoria e prática, através de problematizações para o ensino e para a aprendizagem. As sequências ainda oportunizam a produção personalizada, adequada à realidade, à prática e à vivência do aluno auxiliando no aprendizado. Com base em Leal (2013, p.7):

A sequência didática é um conjunto de atividades, estratégias e intervenções planejadas etapa por etapa pelo docente para que o entendimento do conteúdo ou tema proposto seja alcançado pelos discentes. Lembra um plano de aula, entretanto é mais amplo que este por abordar várias estratégias de ensino e aprendizagem e por ser uma sequência de vários dias (LEAL, 2013, p. 7).

Nosso trabalho apresenta uma proposta de SD que é um conjunto de atividades interligadas entre si, planejadas para ensinar um conteúdo, etapa por etapa, organizada de acordo com os objetivos que o professor deseja alcançar para a aprendizagem dos estudantes. Envolve atividades de aprendizagem e avaliação e tem a finalidade de tornar mais eficiente o processo de aprendizagem.

Assim, esperamos que nosso Guia Prático possa contribuir para o planejamento de aulas envolvendo o conteúdo de circuitos elétricos. As simulações e as práticas constantes neste Guia Prático pretendem possibilitar uma análise criteriosa, motivacional e desafiadora de diversos conceitos de Eletrodinâmica, sendo possível explorar, por exemplo, várias características dos circuitos elétricos (estabelecimento de corrente elétrica, resistência elétrica, diferença de potencial, medições, etc.) e intervir quando necessário, estimulando debates, confrontos com concepções alternativas dos alunos, além de ampliar a socialização na sala de aula, através da inter-relação entre alunos/alunos e/ou alunos/professores etc... As atividades foram propostas de modo a promover no aluno uma percepção em relação às implicações do desenvolvimento científico e tecnológico.

Segue abaixo os possíveis conteúdos que deverão ser abordados neste Guia Prático.

- ✓ Resistores;
- ✓ Medidas elétricas;
- ✓ Corrente Elétrica;
- ✓ Resistência elétrica;
- ✓ Diferença de potencial;
- ✓ Potência elétrica;
- ✓ Associação de resistores em série;
- ✓ Associação de resistores em paralelo;
- ✓ Associação mista de resistores;

2 Organização da Sequência Didática

A SD proposta foi organizada em um conjunto de aulas agrupadas em módulos. A concepção de cada módulo levou em consideração além dos conteúdos de Eletrodinâmica, as ferramentas de atividades computacionais (software Multisim) e experimentais (instrumentos e componentes reais). A ideia central é que as ferramentas se complementem com o ambiente virtual se misturando ao ambiente real e proporcionando ao aluno visões diferentes de um mesmo assunto. Os módulos propostos foram concebidos temporalmente de modo a contemplar uma ou duas horas aulas.

Além das atividades de ensino próprias de cada módulo, realizaremos um pré-teste (concepções alternativas), um pós-teste e ainda uma avaliação ao final de cada aula. Estas atividades nos proporcionarão feedback sobre a aprendizagem dos alunos e nos ajudarão a compor os resultados da intervenção pedagógica. Desta forma, SD ficou organizada conforme está descrito no Quadro 5.

Quadro 5 – Organização da Sequência Didática

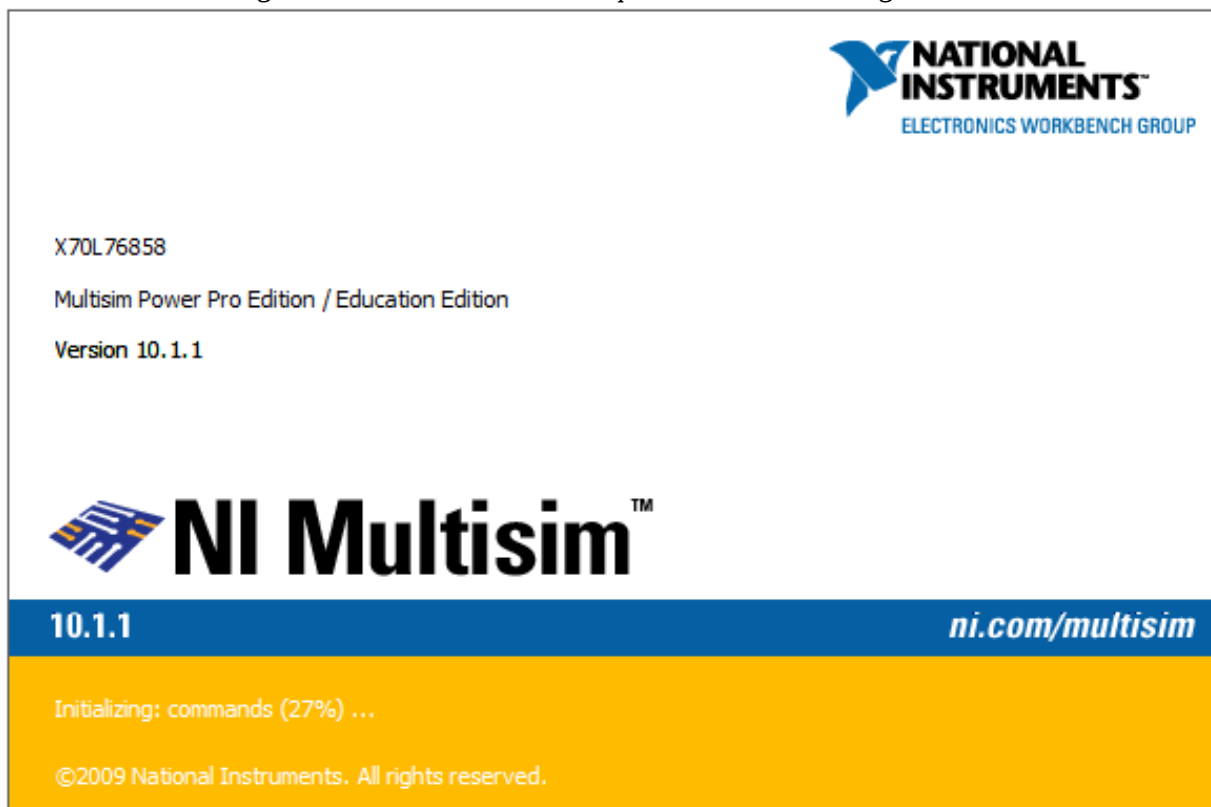
MÓDULO – I		CARGA HORÁRIA: 05h.
AULA 1	PÚBLICO ALVO: alunos do 3º Ano do Ensino Médio. TEMA: Software Multisim e Circuito Simples. DURAÇÃO: 2 horas/aula. OBJETIVOS: ✓ Apresentar uma pequena introdução passo a passo do Software Multisim; ✓ Simular o funcionamento de um circuito elétrico simples utilizando o Software Multisim; ✓ Perceber a corrente elétrica como consequência da diferença de potencial e da resistência elétrica; ✓ Relacionar o aumento da corrente elétrica no circuito à diminuição da resistência elétrica equivalente; ✓ Verificar de que forma as grandezas físicas resistência elétrica, diferença de potencial e corrente elétrica se relacionam. RECURSOS DIDÁTICOS: ✓ Computador; ✓ Projetor multimídia. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: Estudo prático dirigido em laboratório de Informática. AVALIAÇÃO: Verificar se os alunos desenvolveram cada item do tema proposto.	
AULA 2	PÚBLICO ALVO: alunos do 3º Ano do Ensino Médio. TEMA: Experimento: Multímetro. DURAÇÃO: 2 horas/aula. OBJETIVOS: ✓ Utilizar o Multímetro para medidas de resistência elétrica, corrente elétrica e tensão elétrica; ✓ Familiarizar com o instrumento e suas escalas. RECURSOS DIDÁTICOS: ✓ Multímetro, protobord; ✓ Pilhas: 1,5 V (quatro); ✓ Resistores: 4,7 Ω, 47 Ω, 56 Ω, 100 Ω, 220 Ω, 330 Ω, 680 Ω, 1k Ω, 2,2k Ω, 8,2k Ω, 18k Ω, 68k Ω, 270k Ω, 390k Ω e 1,2M Ω; PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: Aula prática experimental em laboratório de Física, fazendo medidas de resistência elétrica, tensão elétrica e corrente elétrica. AVALIAÇÃO: Verificar se os alunos desenvolveram cada item do tema proposto.	
AULA 3	PÚBLICO ALVO: alunos do 3º Ano do Ensino Médio. TEMA: Experimento: Lei de Ohm. DURAÇÃO: 1 hora/aula. OBJETIVOS: ✓ Verificar a lei de Ohm; ✓ Determinar a resistência elétrica através dos valores de tensão elétrica e corrente elétrica. RECURSOS DIDÁTICOS: ✓ Multímetro, protobord; ✓ Resistores: 470 Ω, 1k Ω, 2,2k e 3,9k Ω; ✓ Fonte Variável: (faixa utilizada: 0 – 12 V). PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: Aula prática experimental em laboratório de Física, montando um circuito simples e fazendo medidas de resistência elétrica. AVALIAÇÃO: Verificar se os alunos desenvolveram cada item do tema proposto.	

MÓDULO – II		CARGA HORÁRIA: 04h.
AULA 4	PÚBLICO ALVO: alunos do 3º Ano do Ensino Médio. TEMA: Software Multisim e Circuito Série. DURAÇÃO: 1 hora/aula. OBJETIVOS: ✓ Construir um circuito série utilizando o Software Multisim; ✓ Simular o funcionamento de um circuito série utilizando o Software Multisim; ✓ Analisar, utilizando o simulador, as medidas tais como: resistência elétrica, tensão elétrica e corrente elétrica do circuito série; ✓ Perceber que a corrente que circular pelos resistores é a mesma; ✓ Perceber que a resistência equivalente aumenta quando mais um resistor é associado em série. RECURSOS DIDÁTICOS: ✓ Computador; ✓ Projetor multimídia. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: Estudo prático dirigido em laboratório de Informática. AValiação: Verificar se os alunos desenvolveram cada item do tema proposto.	
AULA 5	PÚBLICO ALVO: alunos do 3º Ano do Ensino Médio. TEMA: Software Multisim e Circuito Paralelo. DURAÇÃO: 1 hora/aula. OBJETIVOS: ✓ Construir um circuito paralelo utilizando o Software Multisim; ✓ Simular o funcionamento de um circuito Paralelo utilizando o Software Multisim; ✓ Analisar, utilizando o simulador, as medidas tais como: resistência elétrica, tensão elétrica e corrente elétrica do circuito paralelo; ✓ Perceber que a diferença de potencial entre os extremos dos resistores é a mesma; ✓ Perceber que a resistência equivalente diminui quando mais um resistor é associado em paralelo. RECURSOS DIDÁTICOS: ✓ Computador; ✓ Projetor multimídia. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: Estudo prático dirigido em laboratório de Informática. AValiação: Verificar se os alunos desenvolveram cada item do tema proposto.	
AULA 6	PÚBLICO ALVO: alunos do 3º Ano do Ensino Médio. TEMA: Experimento: Circuito Série e Circuito Paralelo. DURAÇÃO: 2 horas/aula. OBJETIVOS: ✓ Determinar a resistência equivalente de um circuito série e de um circuito paralelo; ✓ Constatar, experimentalmente, as propriedades relativas à tensão elétrica e corrente elétrica de cada circuito; ✓ Perceber que é necessário tratar os circuitos elétricos como um sistema. RECURSOS DIDÁTICOS: ✓ Multímetro, protobord. ✓ Resistores: 200 Ω, 470 Ω, 820 Ω e 1,2k Ω; ✓ Fonte Variável: (faixa utilizada: 0 – 12 V). PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: Aula prática experimental em laboratório de Física, montando circuitos série e paralelo e fazendo medições das grandezas físicas. AValiação: Verificar se os alunos desenvolveram cada item do tema proposto.	

MÓDULO – III		CARGA HORÁRIA: 03h.
AULA 7	PÚBLICO ALVO: alunos do 3º Ano do Ensino Médio. TEMA: Software Multisim e Circuito Misto. DURAÇÃO: 1 hora/aula. OBJETIVOS: ✓ Construir um circuito misto utilizando o Software Multisim; ✓ Simular o funcionamento de um circuito misto utilizando o Software Multisim; ✓ Analisar, utilizando o simulador, as medidas tais como: resistência elétrica, tensão elétrica e corrente elétrica do circuito misto; ✓ Identificar o comportamento da diferença de potencial nas extremidades dos resistores; ✓ Identificar qual é a corrente elétrica que passa em cada resistor. RECURSOS DIDÁTICOS: ✓ Computador; ✓ Projetor multimídia. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: Estudo prático dirigido em laboratório de Informática. AValiação: Verificar se os alunos desenvolveram cada item do tema proposto.	
AULA 8	PÚBLICO ALVO: alunos do 3º Ano do Ensino Médio. TEMA: Experimento: Circuito Misto. DURAÇÃO: 1 hora/aula. OBJETIVOS: ✓ Identificar em um circuito as associações série e paralelo; ✓ Determinar a resistência equivalente de um circuito misto; ✓ Identificar o comportamento da diferença de potencial nas extremidades dos resistores; ✓ Identificar qual é a corrente elétrica que passa em cada resistor; ✓ Tratar o circuito como um sistema. RECURSOS DIDÁTICOS: ✓ Multímetro, protobord. ✓ Resistores: 120 Ω, 330 Ω, 390 Ω, 470 Ω, 680 Ω e 1,2k Ω; ✓ Fonte Variável: (faixa utilizada: 0 – 12 V). PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: Aula prática experimental em laboratório de Física, montando um circuito misto e fazendo as medições das grandezas físicas. AValiação: Verificar se os alunos desenvolveram cada item do tema proposto.	
AULA 9	PÚBLICO ALVO: alunos do 3º Ano do Ensino Médio. TEMA: Experimento: Potência Elétrica. DURAÇÃO: 1 hora/aula. OBJETIVOS: ✓ Plotar a curva da potência elétrica em função da corrente elétrica de um resistor; ✓ Observar o Efeito Joule. RECURSOS DIDÁTICOS: ✓ Multímetro, protobord; ✓ Resistores: 100 Ω / 1, 15 W e 100 Ω / 5 W; ✓ Fonte Variável: (faixa utilizada: 0 – 10 V). PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: Aula prática experimental em laboratório de Física, montando um circuito e plotando a curva da potência elétrica em função da corrente elétrica de um resistor. AValiação: Verificar se os alunos desenvolveram cada item do tema proposto.	

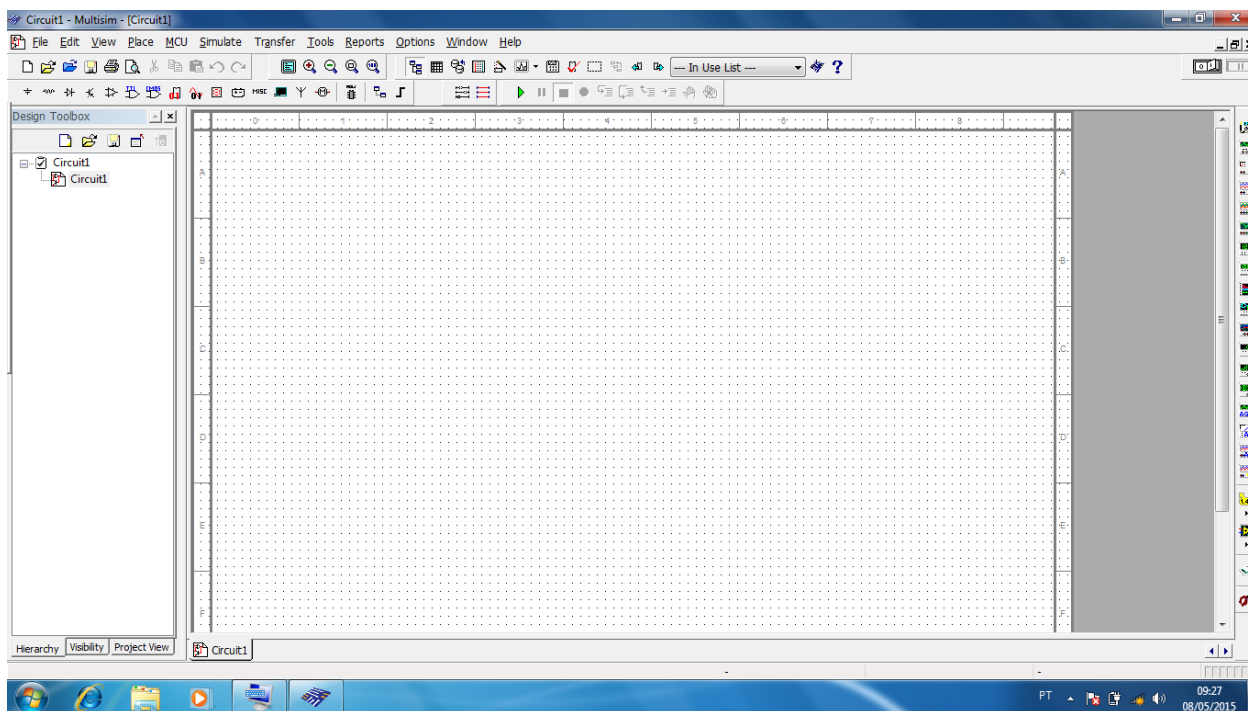
3 O Software Multisim

Figura 22 - Versão do *Multisim* que utilizaremos neste guia



Fonte: Produção própria

Figura 23 - Tela inicial do ambiente do *Multisim*



Fonte: Produção própria

O Multisim é um software para captura de esquemas, simulação e análise de circuitos eletrônicos. Com enfoque integrado para projetos eletrônicos de controle e potência, foi criado pela National Instruments para ajudar o profissional da área técnica a desenvolver de maneira rápida, simples e com menor custo projetos que englobam principalmente a eletrônica e o controle de automação.

O Multisim é o melhor ambiente avançado de simulação SPICE padrão da indústria. Em todo o mundo, educadores usam o Multisim para ensinar teoria eletrônica, e engenheiros o utilizam em vários segmentos da indústria para projetar e prototipar circuitos. Baixe gratuitamente uma versão de avaliação específica para sua área de conhecimento. <http://www.ni.com/multisim/pt/>

Dentro do ambiente de trabalho, a preparação para montagem e simulação dos circuitos é simples e fácil.

O Multisim é o primeiro simulador de circuitos interativo do mundo. Não é preciso ser um especialista em SPICE para poder usá-lo.

As netlists e comandos SPICE são utilizadas automaticamente sem que o operador precise conhecê-las, como ocorre com outros programas mais antigos de simulação.

Uma outra característica muito importante é que o circuito pode ser modificado durante a simulação, de modo a permitir que o projetista veja o que acontece quando isso é feito.

A simulação é interativa e animada, o que possibilita a melhor interpretação dos resultados obtidos e conseqüentemente uma aplicabilidade mais concisa do projeto.

Os instrumentos são virtuais, possibilitando a análise de gráficos e medidas de maneira fácil, barata e rápida.

O Multisim se apresenta como uma ferramenta de análise comportamental de circuitos eletrônicos, combinando recursos intuitivos e facilidades de utilização com o padrão industrial de simulação SPICE em um único ambiente integrado, abstraindo as complexidades e dificuldades de simulação tradicional. (MULTISIM, 2011).

Segundo Braga (2011, p. 10) “o MULTISIM é capaz de verificar erros antes que eles se propaguem pelo projeto, essa verificação é feita através de um conjunto amplo de instrumentos virtuais que indicam formas de ondas, sinais, tensões e correntes, além da própria posta de frequência de um circuito”.

Os circuitos elétricos criados no Multisim podem ser confeccionados pelos próprios alunos, numa perspectiva expressiva, quanto também os alunos podem usar os circuitos feitos pelo professor, numa perspectiva exploratória.

4 Roteiro de Atividades

4.1 Atividade 1 – Software Multisim e Circuito Simples

Atividade com utilização de software – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o software Multisim. Ele se encontra instalado para uso em todos os computadores do Laboratório de Informática.

4.1.1 Objetivos:

- ✓ Apresentar uma pequena introdução passo a passo do Software Multisim;
- ✓ Simular o funcionamento de um circuito elétrico simples utilizando o Software Multisim;
- ✓ Perceber a corrente elétrica como consequência da diferença de potencial e da resistência elétrica;
- ✓ Relacionar o aumento da corrente elétrica no circuito à diminuição da resistência elétrica equivalente.
- ✓ Verificar de que forma as grandezas físicas resistência elétrica, diferença de potencial e corrente elétrica se relacionam.

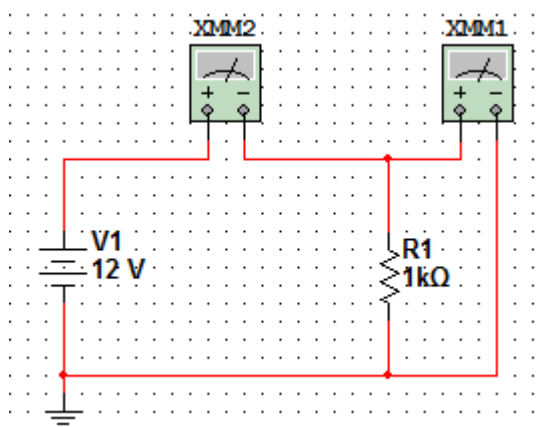
4.1.2 Material Utilizado:

- ✓ Computador;
- ✓ Projetor Multimídia.

4.1.3 Procedimento Prático:

1. Para essa atividade de introdução, será montado o circuito simples (mostrado na Figura 24).

Figura 24 - Circuito simples



Fonte: Produção própria

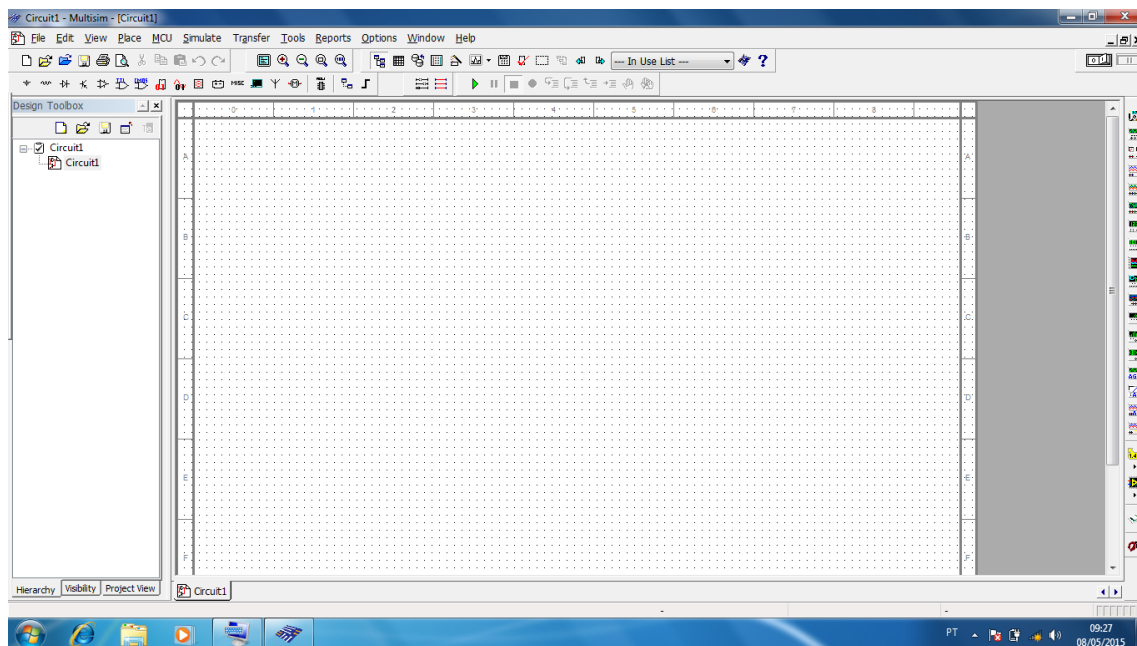
2. **Passo 1:** Abrir o Multisim.

Comece desenhando o esquemático no ambiente Multisim.

1. Selecione Iniciar » Todos os Programas » National Instruments » Circuit Design Suite 10.1.1 » Multisim 10.1.1 para abrir o Multisim.

2. Multisim abre mostrando o ambiente de criação e simulação padrão.

Figura 25 - O ambiente Multisim

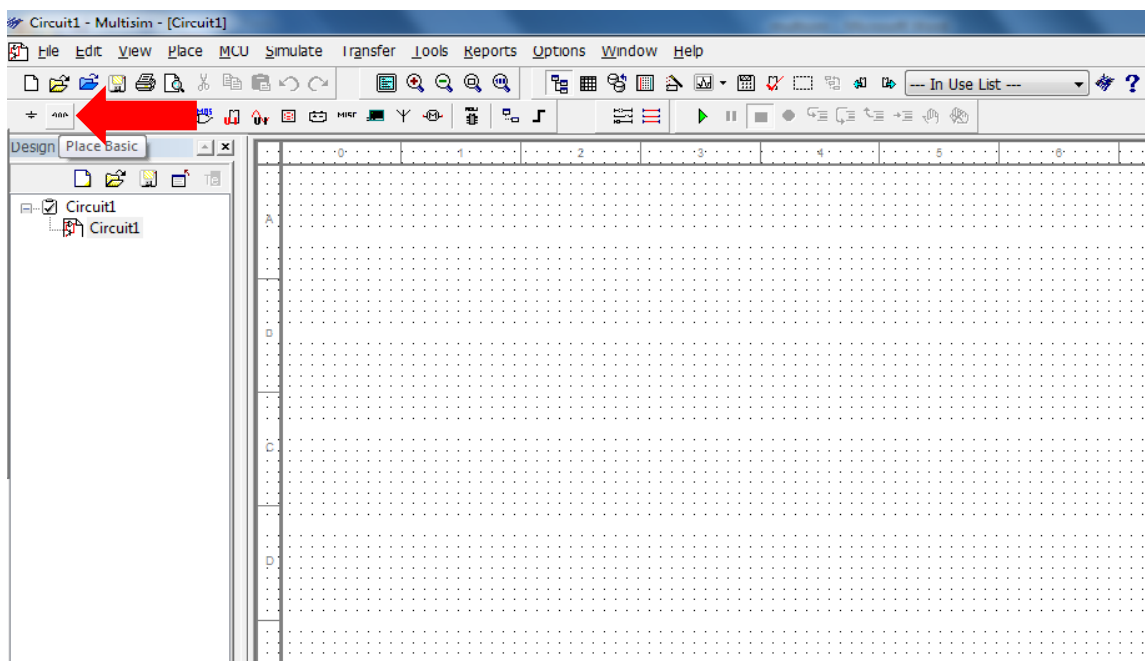


Fonte: Produção própria

Há duas tarefas fundamentais no projeto de um circuito: a inserção de componentes e a conexão destes componentes para criar um projeto completo.

3. Para selecionar um componente, clique no ícone **Place Basic** (como mostrado na Figura 26).

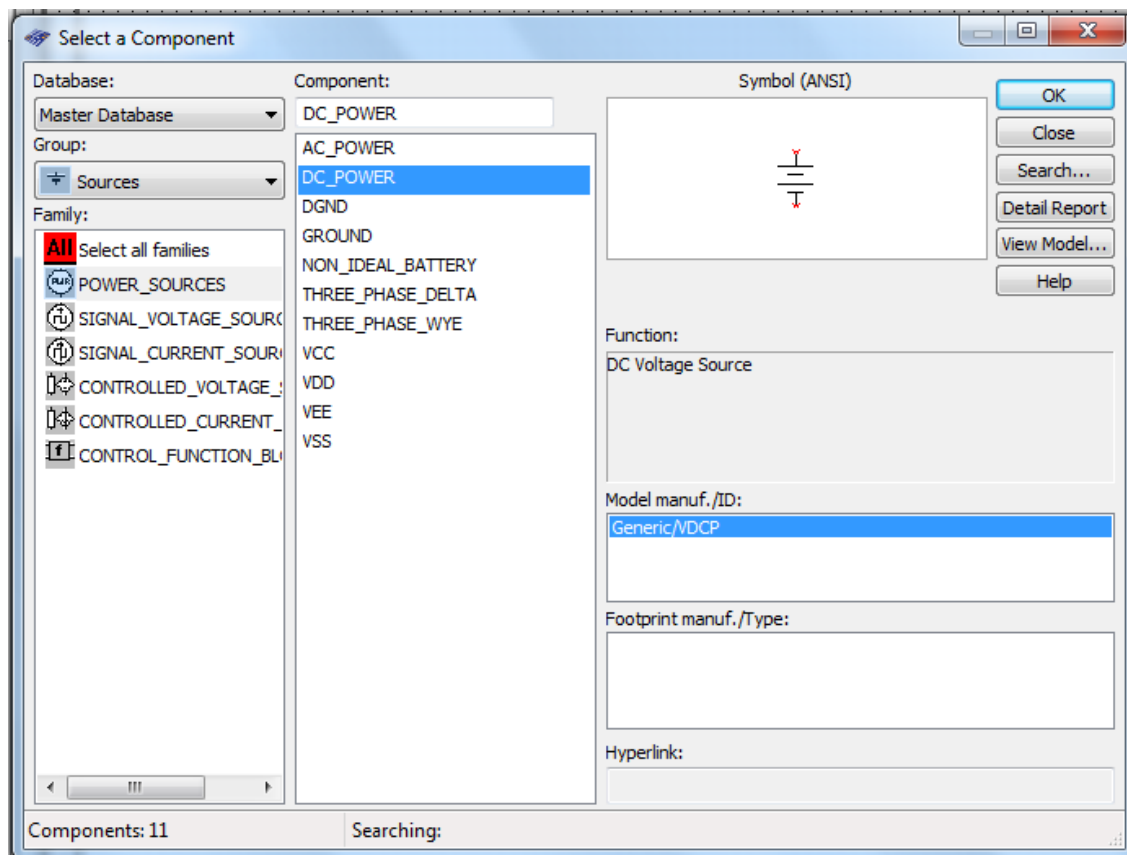
Figura 26 - Ambiente do Multisim. "Place Basic"



Fonte: Produção própria.

4. A caixa de diálogo "**Selecione um Componente**" aparece como mostrado na Figura 27.

Figura 27 - Caixa de diálogo "Selecione um Componente"



Fonte: Produção própria

A caixa de diálogo "Selecione um Componente" organiza o banco de dados dos componentes em três níveis lógicos. O "Banco de Dados Principal" contém todos os componentes integrados em um formato de apenas leitura. O "Banco de Dados Corporativo" é o lugar onde se salva os componentes personalizados para ser compartilhado com outros projetistas (através de uma coleção na rede e assim por diante). Finalmente, o "Banco de Dados do Usuário" é onde estão salvos os componentes personalizados que podem ser usados apenas por um projetista específico.

Pontos adicionais

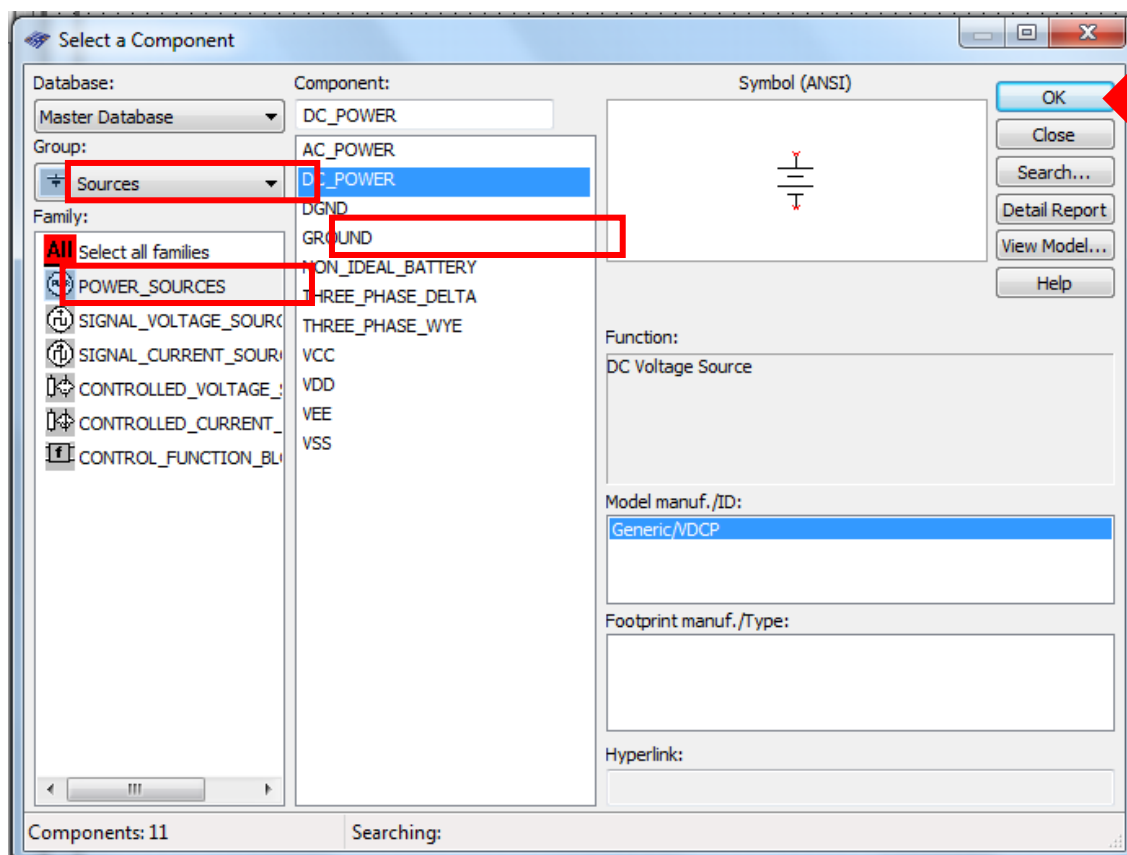
- ✓ Os componentes (ou partes) estão organizados em Grupos e Famílias para intuitiva e logicamente agrupar componentes e tornar a procura mais fácil e efetiva.
- ✓ A caixa de diálogo de seleção de componentes exibe o nome do componente, símbolo, descrição funcional, modelo e o Footprint, tudo em uma única tela de informação.

3. Passo 2: Insira os componentes

Para realizar uma simulação, será necessária uma fonte de alimentação e um terra em algum lugar do seu circuito para ter as devidas referências de tensão e corrente na simulação do circuito.

5. Para inserir um Terra (Ground), selecione o grupo Sources e destaque a família POWER_SOURCES.
6. Selecione o componente GROUND (como mostrado na Figura 28).
7. Clique **OK**.
8. A janela de seleção de componente fecha temporariamente e o símbolo do terra é atrelado ao ponteiro do mouse.
9. Mova o mouse para o local apropriado no esquemático e clique com o botão esquerdo para colocar o componente.

Figura 28 - Colocando um símbolo de Terra (Ground)



Fonte: Produção própria

Para inserir uma fonte de alimentação CC (DC power supply):

10. Selecione o grupo Sources novamente e destaque a família POWER_SOURCES (caso não esteja destacado da seleção anterior).
11. Selecione o símbolo chamado DC_POWER.
12. Insira uma fonte de alimentação CC (DC power supply) no esquemático.

Pontos adicionais

- ✓ Sem uma alimentação e um terra a simulação não pode executar.
- ✓ Se necessitar múltiplos componentes pode-se repetir os passos de colocação como mostrado acima ou usar a técnica de copiar (Ctrl-C) e colar (Ctrl-V) para colocar componentes adicionais conforme a necessidade.

- ✓ Por padrão, a caixa de seleção de componentes fica surgindo na tela até que a tarefa de colocação de componentes tenha sido terminada. Feche a janela para retornar para a janela do esquemático. Pode-se mudar esta configuração na caixa de diálogo global preferences.

Agora insira o resistor do circuito usando as técnicas vistas nos passos anteriores.

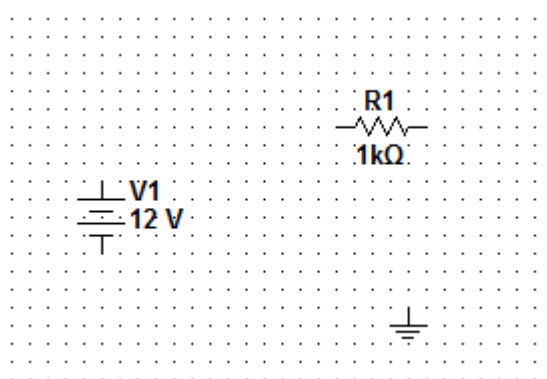
13. Selecione o grupo Basic e a família Resistor.

14. No campo Componente, digite 1k para selecionar um resistor de 1 kΩ.

15. Pode-se rotacionar o componente antes de inserir usando a tecla de atalho <Ctrl-R> no teclado quando o componente é atrelado ao mouse. Uma vez rotacionado, insira o componente

Neste ponto, o esquemático deve parecer com algo parecido à Figura 29:

Figura 29 - Projeto até o momento



Fonte: Produção própria

4. **Passo 3:** Conecte os componentes

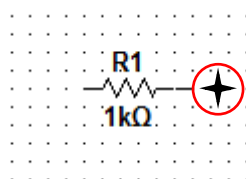
O Multisim é um ambiente de conexão modal. Isto significa que o Multisim determina a funcionalidade da ferramenta no mouse pela posição deste. Não há necessidade de retornar para o menu para selecionar entre inserção, conexão e ferramentas de edição.

16. Para começar a conexão, mova o mouse próximo a um pino do componente.

17. O mouse aparece como uma cruz em vez do ponteiro padrão do Windows, como mostrada na Figura 30.

18. Insira a junção inicial do fio clicando no terminal do componente (neste caso, no terminal do resistor).

Figura 30 - Conecte um resistor

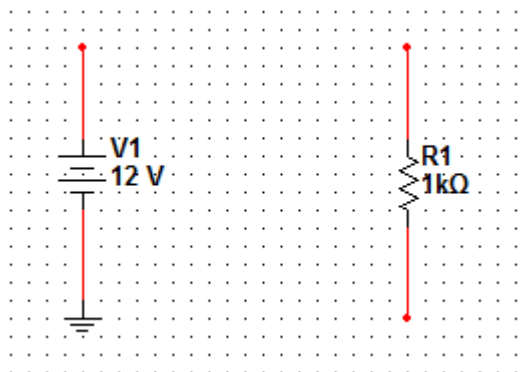


Fonte: Produção própria

19. Complete as conexões movendo o mouse para o outro terminal ou apenas de um duplo clique para fixar o ponto de terminação do fio de forma flutuante em um local qualquer na janela esquemática.

20. Complete a fiação como mostrada na Figura 31. Não se preocupe com os rótulos de números nos fios (também chamado de nets).

Figura 31 - Conecte os componentes

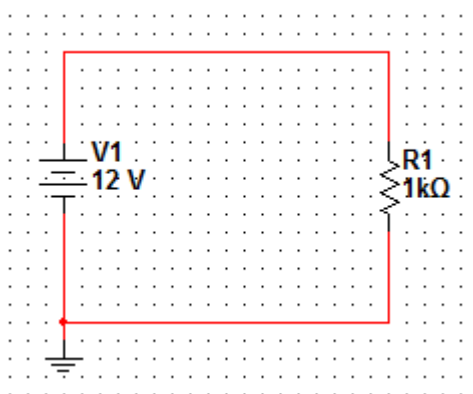


Fonte: Produção própria

21. O último passo chave é conectar os fios (nets) para os terminais da fonte de alimentação (DC Power Sources) para os trilhos positivo e negativo através de conexão virtual.

O circuito deve parecer com a Figura 32.

Figura 32 - Complete o esquemático



Fonte: Produção própria

5. **Passo 4:** Insira instrumentos de medição

Uma simulação interativa do Multisim está pronta para executar; no entanto, é necessária uma forma de visualizar os dados. O Multisim fornece instrumentos para visualizar as medidas simuladas.

Os instrumentos podem ser encontrados na barra de ferramentas à **direita** e são indicados pelos ícones da Figura 33.

Figura 33 - Barra de ferramentas de Instrumentos



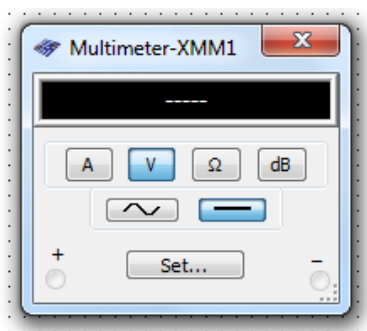
Fonte: Produção própria

22. Selecione o instrumento multímetro (instrumento com múltipla funções) do menu (primeiro ícone na esquerda) e insira este no esquemático da mesma forma que faria com qualquer outro componente do Multisim.

A simulação de um circuito consiste em medir correntes, tensões, potências, ver formas de onda e outras propriedades de um circuito. No caso do nosso circuito, vamos medir a corrente e a tensão no resistor, para isso devemos inserir instrumentos adequados. Os principais instrumentos usados em CC são: voltímetro, amperímetro, ohmímetro e wattímetro. Para medir corrente inserimos um amperímetro em série com o circuito. Para medir tensão inserimos um voltímetro em paralelo com a resistência ou os pontos de medida.

A sua função default é como voltímetro. Para usar como amperímetro, ohmímetro ou decibelímetro devemos fazer a seleção de função como na Figura 34.

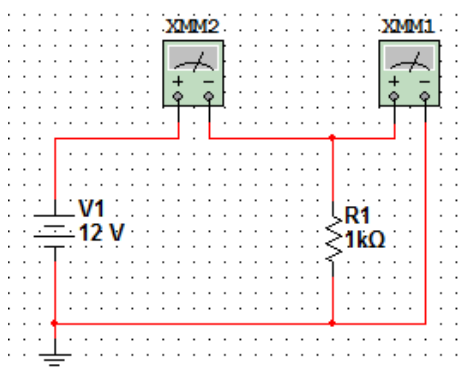
Figura 34 - Multímetro configurado como voltímetro



Fonte: Produção própria

23. Insira um multímetro com a função amperímetro no esquemático.
 24. Insira um multímetro com a função voltímetro no esquemático.
 25. Conecte o amperímetro em série com o circuito.
 26. Conecte o voltímetro em paralelo com o resistor.
- O circuito deve parecer com a Figura 35.

Figura 35 - Pronto para simular



Fonte: Produção própria

6. **Passo 5:** Execute a simulação

É simples começar a execução e visualizar a simulação interativa no Multisim.

27. Pressione o botão verde de execução na barra de ferramentas de simulação como mostrado na Figura 36.

28. Dê um duplo clique nos multímetros no esquemático. Assim é possível visualizar as medidas de simulação na interface dos multímetros (Figura 37).

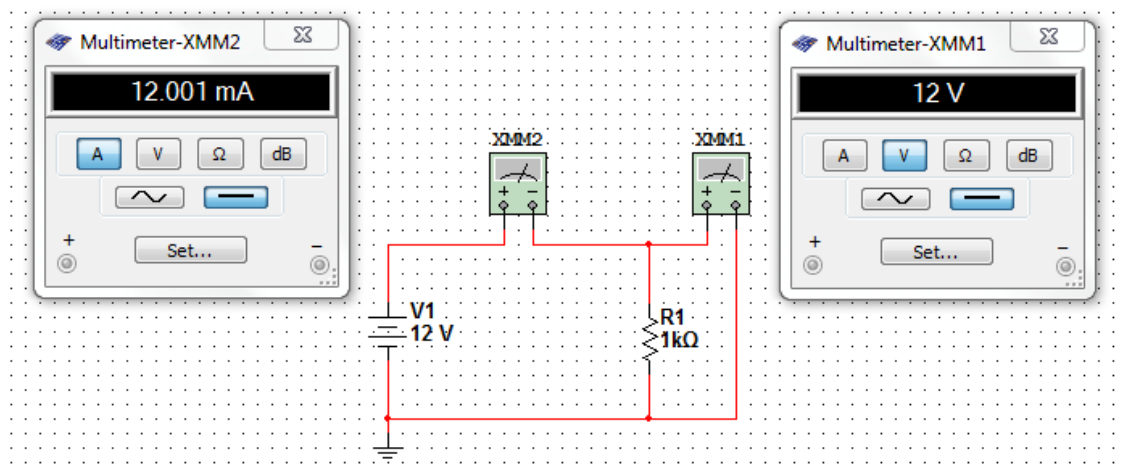
26. Para parar a simulação, pressione o botão vermelho na barra de ferramentas de simulação (Figura 36).

Figura 36 - Barra de ferramentas de Simulação



Fonte: Produção própria

Figura 37 - Visualizando a simulação no multímetro



Fonte: Produção própria

Você acaba de construir, simular e analisar com sucesso um circuito usando Multisim.

4.2 Atividade 2 – Multímetro

Atividade Experimental – Eletrodinâmica

4.2.1 Objetivos:

- ✓ Utilizar o Multímetro para medidas de resistência elétrica, corrente elétrica e tensão elétrica;
- ✓ Familiarizar com o instrumento e suas escalas.

4.2.2 Fundamentação Teórica:

Como o próprio nome sugere, o MULTÍMETRO é o equipamento utilizado para fazer a medição de várias grandezas elétricas. Desta forma este equipamento realiza, no mínimo, a medição das três grandezas básicas de eletricidade - tensão, corrente e resistência elétrica.

A parte responsável pela medição da resistência elétrica é chamada de OHMÍMETRO. A parte responsável pela medição da corrente elétrica é chamada de AMPERÍMETRO. Já a parte responsável pela medição da tensão elétrica é chamada de VOLTÍMETRO.

A Figura 38 mostra o multímetro digital disponível em nosso laboratório.

Figura 38 - Multímetro

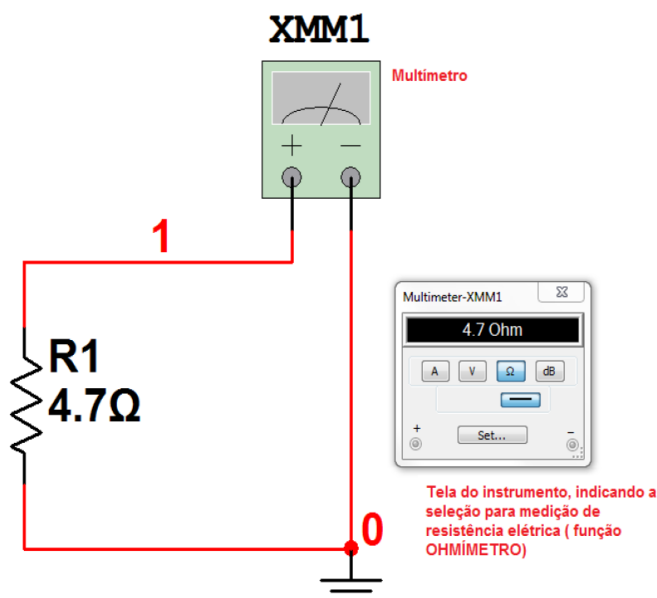


Fonte: Produção própria

Ao ligar o equipamento, deve-se selecionar primeiramente qual das funções deseja-se utilizar, de acordo com a grandeza a ser medida. Deve-se também escolher a escala de medição correta para realização das medições.

Para a medição da resistência elétrica em um circuito, o mesmo deve estar desenergizado (desconectado da fonte de tensão). Assim, seus terminais devem ser ligados entre os pontos onde se deseja medir a resistência. A Figura 39 mostra um multímetro operando na função ohmímetro.

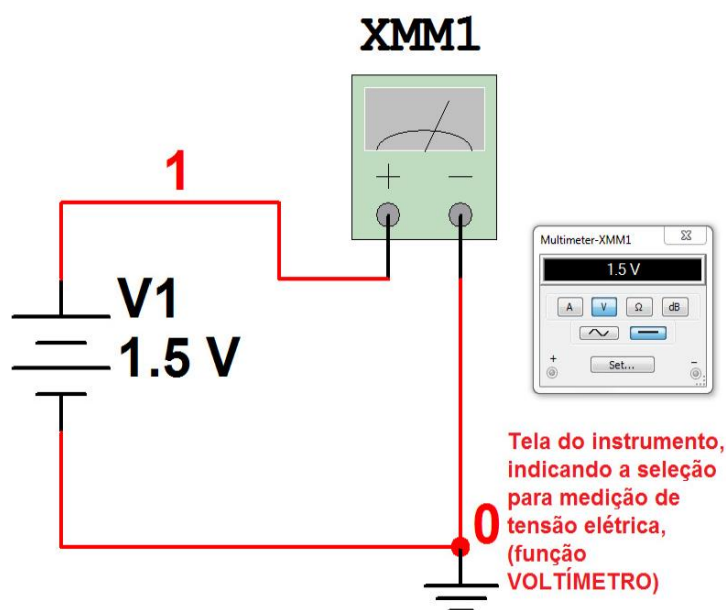
Figura 39 - Ohmímetro



Fonte: Produção própria

Para a medição da tensão elétrica em um circuito, deve-se conectar os terminais do voltímetro diretamente sobre os pontos onde se deseja saber a tensão a ser medida. O voltímetro ideal é aquele que possui resistência interna infinita. Na prática, a resistência interna de um voltímetro possui um valor alto, não interferindo na medição do circuito onde está conectado. A Figura 40 mostra um multímetro operando na função voltímetro.

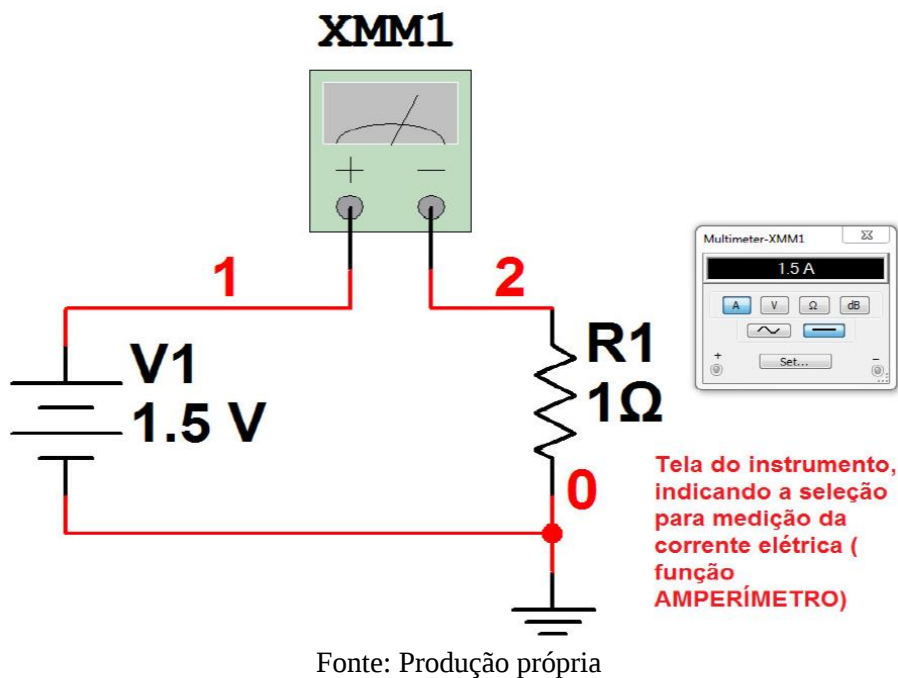
Figura 40 - Voltímetro



Fonte: Produção própria

Para a medição da corrente elétrica, deve-se compreender que a mesma deve circular pelo interior do instrumento. Para tanto é preciso interromper o circuito, no ponto onde se deseja medir a corrente, intercalando o amperímetro, observando a polaridade correta. O amperímetro ideal é aquele que possui resistência interna nula, não influenciando no circuito a ser medido. Na prática, a sua resistência interna possui um valor baixo. A Figura 41 mostra um multímetro operando na função amperímetro.

Figura 41 - Amperímetro



4.2.3 Material Utilizado:

- ✓ Multímetro;
- ✓ Protobord;
- ✓ Resistores: 4,7 Ω, 47 Ω, 56 Ω, 100 Ω, 220 Ω, 330 Ω, 680 Ω, 1k Ω, 2,2k Ω, 8,2k Ω, 18k Ω, 68k Ω, 270k Ω, 390k Ω e 1,2M Ω;
- ✓ Pilhas: 1,5 V (quatro).

4.2.4 Procedimento Prático:

1. Meça cada resistor e anote os valores na Tabela 2. Em cada medida, coloque a chave seletora em todas as posições, escolhendo uma de melhor conveniência para leitura, não se esquecendo de ajustar o zero.
2. Leia e anote para cada resistor sua tolerância.
3. Compare os valores medidos com os valores nominais. Calcule o desvio percentual e anote no quadro.

$$\Delta R\% = \frac{|V_n - V_m|}{V_n} \cdot 100$$

Tabela 2 - Tabela de leitura de valores das resistências

VALOR NOMINAL (Vn)	TOLERÂNCIA	VALOR MEDIDO (Vm)	POSIÇÃO DA ESCALA	$\Delta R\%$
4,7 Ω				
56 Ω				
330 Ω				
2,2k Ω				
8,2k Ω				
18k Ω				
68k Ω				
270k Ω				
390k Ω				
1,2M Ω				

Fonte: Produção própria

4. Meça a tensão de cada pilha e anote seu valor na Tabela 3. Anote também a posição da chave seletora, utilizada na leitura.

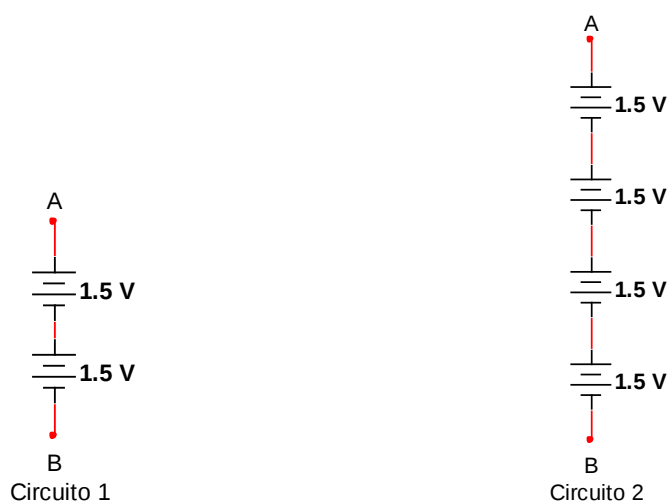
Tabela 3 - Tabela de leitura de valores das tensões

	VALOR MEDIDO	POSIÇÃO DA CHAVE SELETORA
PILHA 1		
PILHA 2		
PILHA 3		
PILHA 4		

Fonte: Produção própria

5. Associe as pilhas, conforme a Figura 42.

Figura 42 - Circuitos



Fonte: Produção própria

6. Meça a tensão entre os pontos A e B, anotando os resultados na Tabela 4.

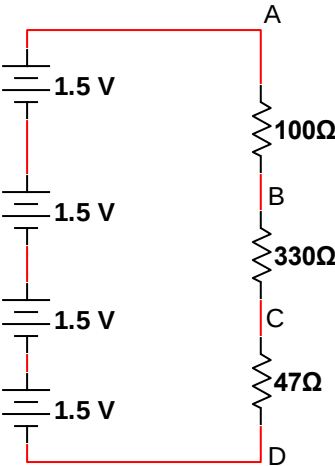
Tabela 4 - Tabela de leitura de valores das tensões nos circuitos

	VAB MEDIDO	POSIÇÃO DA CHAVE SELETORA
CIRCUITO 1		
CIRCUITO 2		

Fonte: Produção própria

7. Monte o circuito da Figura 43.

Figura 43 - Circuitos



Fonte: Produção própria

8. Meça e anote as tensões entre os pontos, conforme a Tabela 5. Anote a posição da chave seletora.

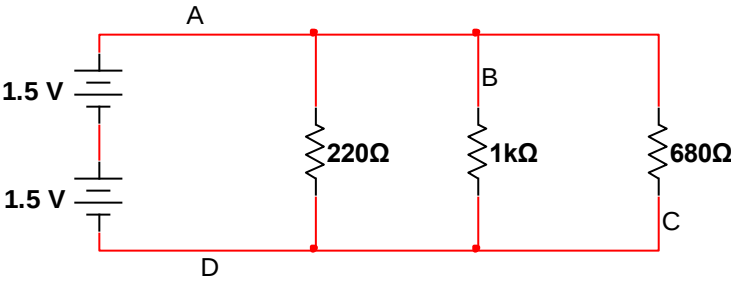
Tabela 5 - Tabela de leitura de valores das tensões no circuito

VALORES DE TENSÃO	VALOR MEDIDO	POSIÇÃO DA CHAVE SELETORA
VAB		
VBC		
VCD		
VAD		

Fonte: Produção própria

9. Monte o circuito da Figura 44. Meça e anote as correntes nos pontos indicados, conforme a Tabela 6. Anote a posição da chave seletora.

Figura 44 - Circuito



Fonte: Produção própria

10. Meça e anote as correntes nos pontos indicados, conforme a Tabela 6. Anote a posição da chave seletora.

Tabela 6 - Tabela de leitura de valores das correntes no circuito

	VALOR MEDIDO	POSIÇÃO DA CHAVE SELETORA
PONTO A		
PONTO B		
PONTO C		

Fonte: Produção própria

4.3 Atividade 3 – Lei de Ohm

Atividade Experimental – Eletrodinâmica

4.3.1 Objetivos:

- ✓ Verificar a lei de Ohm;
- ✓ Determinar a resistência elétrica através dos valores de tensão elétrica e corrente elétrica.

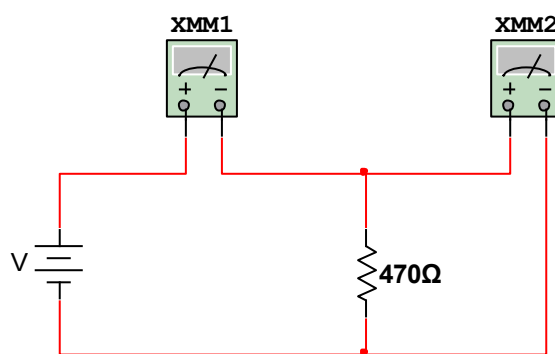
4.3.2 Material Utilizado:

- ✓ Multímetro;
- ✓ Protobord;
- ✓ Resistores: 470 Ω , 1k Ω , 2,2k e 3,9k Ω ;
- ✓ Fonte Variável: (faixa utilizada: 0 – 12 V).

4.3.3 Procedimento Prático:

1. Monte o circuito da Figura 45.

Figura 45 - Circuito



Fonte: Produção própria

2. Varie a tensão da fonte, conforme a Tabela 7. Para cada valor de tensão ajustada, meça e anote o valor da corrente.

Tabela 7 - Tabela de leitura de valores das correntes no circuito

	R = 470 Ω	R = 1k Ω	R = 2,2k Ω	R = 3,9k Ω
V (V)	I (mA)	I (mA)	I (mA)	I (mA)
0				
2				
4				
6				
8				
10				
12				

Fonte: Produção própria

3. Repita os itens 1 e 2 para os outros valores de resistência, anotadas na Tabela 7.

4.4 Atividade 4 – Software Multisim e Circuito Série

Atividade com Utilização de Software – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o software Multisim. Ele se encontra instalado para uso em todos os computadores do Laboratório de Informática.

4.4.1. Objetivos:

- ✓ Construir um circuito série utilizando o Software Multisim;
- ✓ Simular o funcionamento de um circuito série utilizando o Software Multisim;
- ✓ Analisar, utilizando o simulador, as medidas tais como: resistência elétrica, tensão elétrica e corrente elétrica do circuito série;
- ✓ Perceber que a corrente que circular pelos resistores é a mesma;
- ✓ Perceber que a resistência equivalente aumenta quando mais um resistor é associado em série.

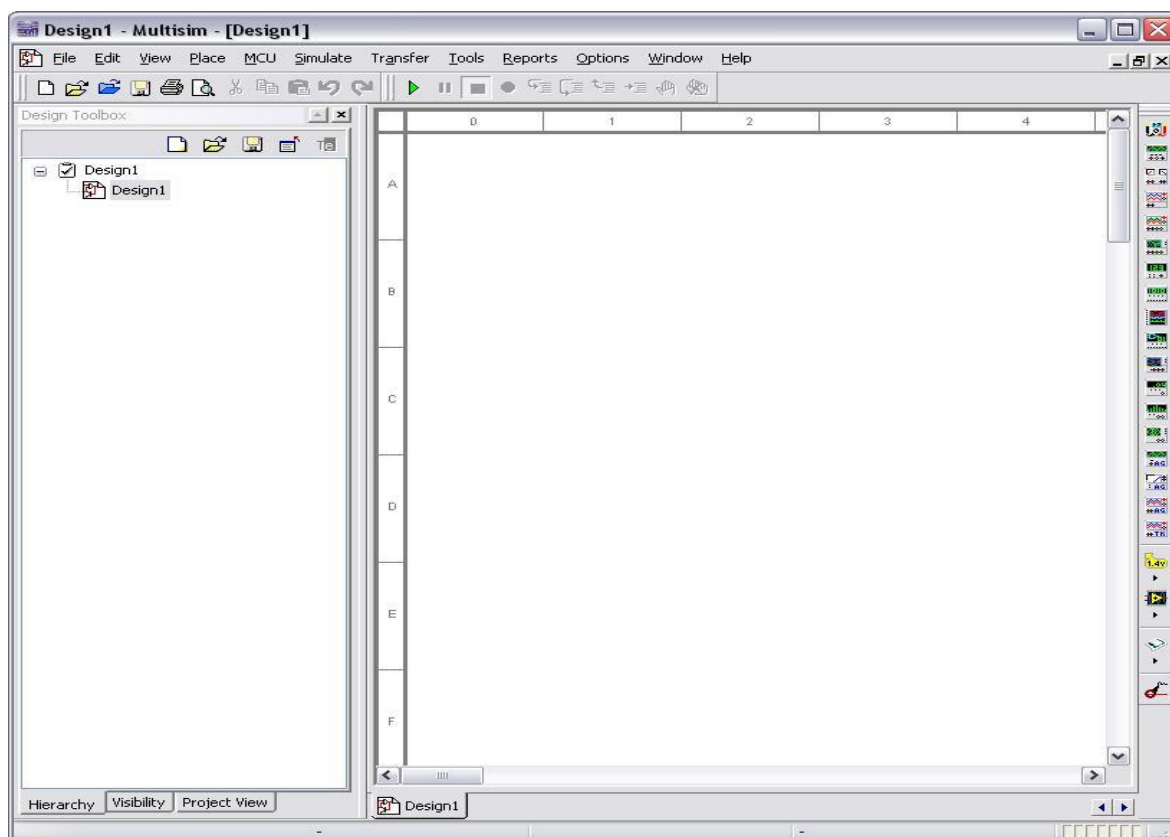
4.4.2 Material Utilizado:

- ✓ Computador;
- ✓ Projetor Multimídia.

4.4.3 Procedimento Prático:

1. Abra o Software Multisim.

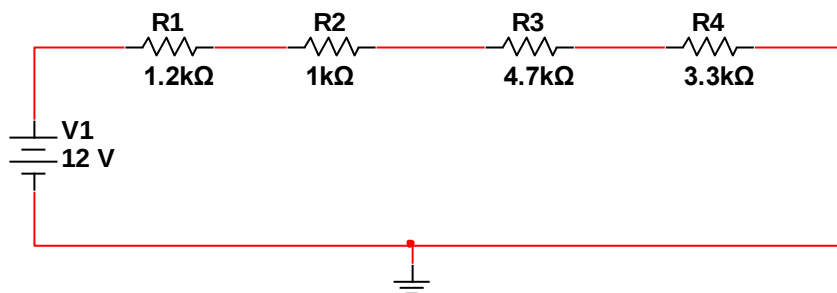
Figura 46 - O ambiente Multisim



Fonte: Produção própria

2. O circuito montado será o mostrado na Figura 47.

Figura 47 - Circuito série



Fonte: Produção própria

3. Insira os componentes do circuito série.

4. Conecte os componentes.

5. Insira a fonte de tensão do circuito série.

6. Insira um multímetro com a função voltímetro em cada resistor do circuito série.

Obs.: Conecte o voltímetro em paralelo com o resistor.

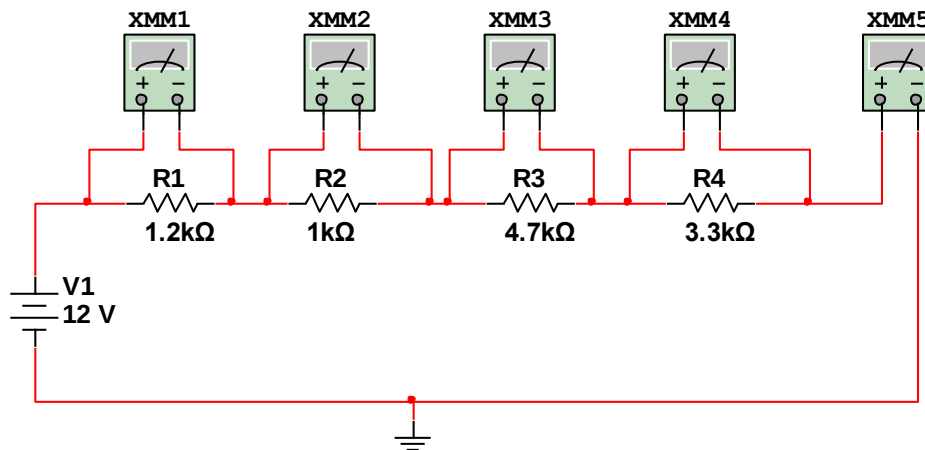
7. Insira um multímetro com a função amperímetro no circuito série.

Obs.: Conecte o amperímetro em série com o circuito.

8. Insira o terra no circuito série.

O circuito deve parecer com a Figura 48.

Figura 48 - Pronto para simular



Fonte: Produção própria

9. Execute e visualize a simulação interativa no Multisim.

10. Simule o circuito série e observe os resultados.

11. Dê um duplo clique nos multímetros no circuito série. Assim é possível visualizar as medidas de simulação na interface dos multímetros.

12. Para parar a simulação, pressione o botão vermelho na barra de ferramentas de simulação.

4.5 Atividade 5 – Software Multisim e Circuito Paralelo

Atividade com Utilização de Software – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o software Multisim. Ele se encontra instalado para uso em todos os computadores do Laboratório de Informática.

4.5.1 Objetivos:

- ✓ Construir um circuito paralelo utilizando o Software Multisim;
- ✓ Simular o funcionamento de um circuito Paralelo utilizando o Software Multisim;
- ✓ Analisar, utilizando o simulador, as medidas tais como: resistência elétrica, tensão elétrica e corrente elétrica do circuito paralelo;
- ✓ Perceber que a diferença de potencial entre os extremos dos resistores é a mesma;
- ✓ Perceber que a resistência equivalente diminui quando mais um resistor é associado em paralelo.

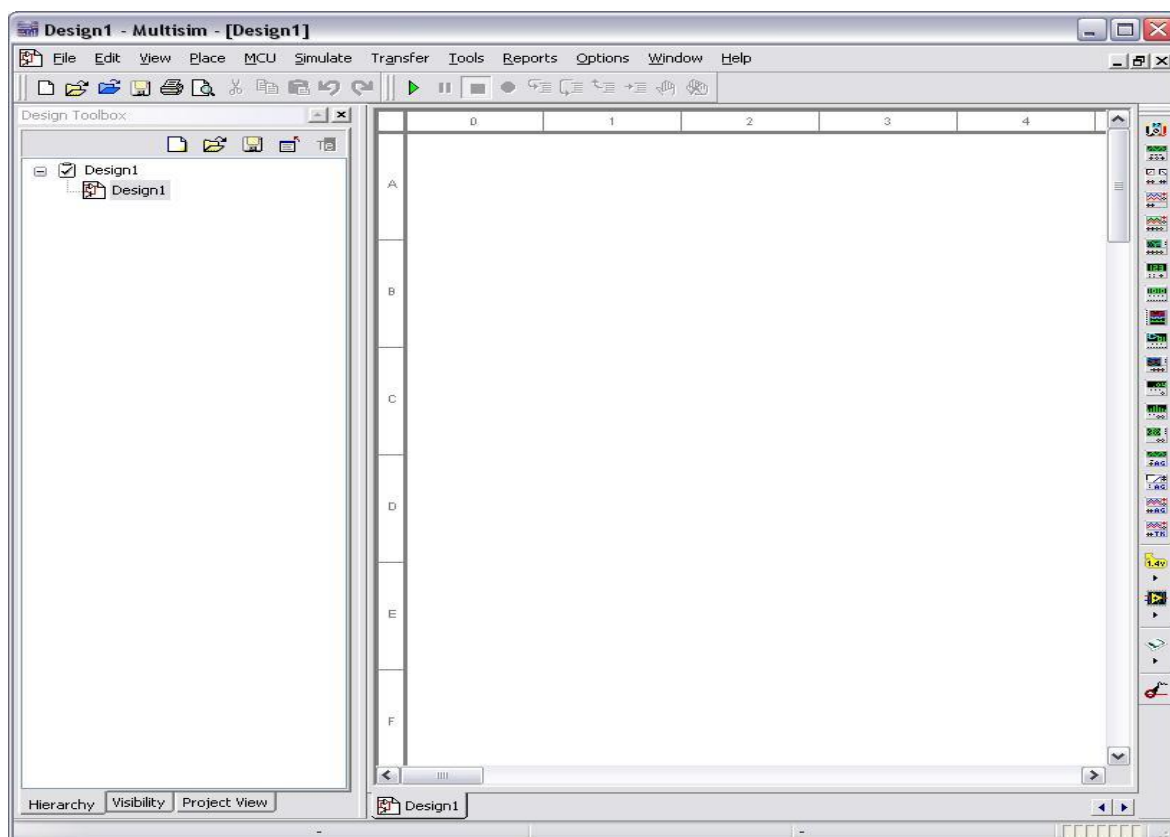
4.5.2 Material Utilizado:

- ✓ Computador;
- ✓ Projetor Multimídia.

4.5.3 Procedimento Prático:

1. Abra o Software Multisim.

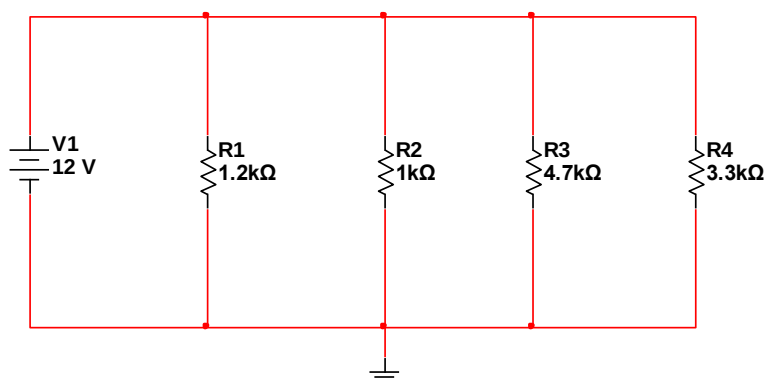
Figura 49 - O ambiente Multisim



Fonte: Produção própria

2. O circuito montado será o mostrado na Figura 50.

Figura 50 - Circuito paralelo



Fonte: Produção própria

3. Insira os componentes do circuito paralelo.

4. Conecte os componentes.

5. Insira a fonte de tensão do circuito paralelo.

6. Insira um multímetro com a função voltímetro no resistor de 1 kΩ do circuito paralelo.

Obs.: Conecte o voltímetro em paralelo com o resistor.

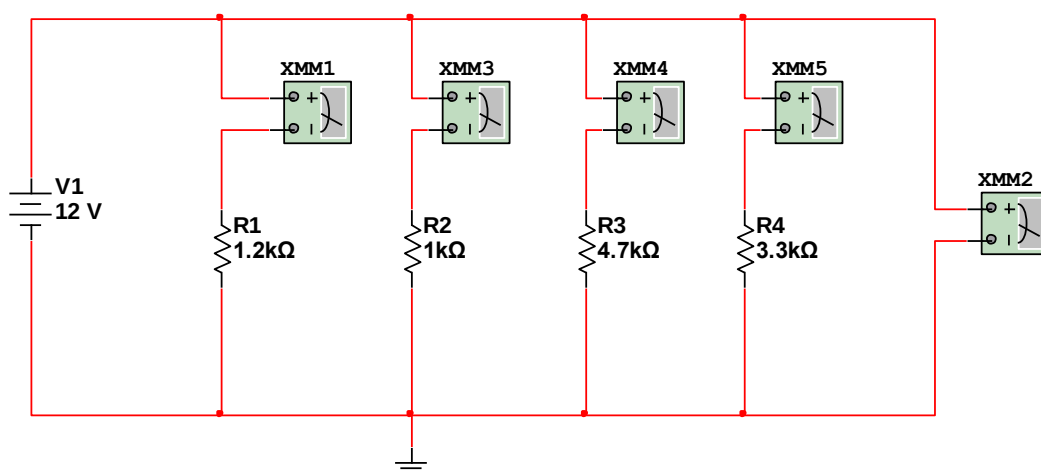
7. Insira um multímetro com a função amperímetro em cada resistor do circuito paralelo.

Obs.: Conecte o amperímetro em série com o resistor.

8. Insira o terra no circuito paralelo.

O circuito deve parecer com a Figura 51.

Figura 51 - Pronto para simular



Fonte: Produção própria

9. Execute e visualize a simulação interativa no Multisim.

10. Simule o circuito paralelo e observe os resultados.

11. Dê um duplo clique nos multímetros no circuito paralelo. Assim é possível visualizar as medidas de simulação na interface dos multímetros.

12. Para parar a simulação, pressione o botão vermelho na barra de ferramentas de simulação.

4.6 Atividade 6 – Circuito Série e Circuito Paralelo

Atividade Experimental – Eletrodinâmica

4.6.1 Objetivos:

- ✓ Determinar a resistência equivalente de um circuito série e de um circuito paralelo;
- ✓ Constatar, experimentalmente, as propriedades relativas à tensão elétrica e corrente elétrica de cada circuito;
- ✓ Perceber que é necessário tratar os circuitos elétricos como um sistema.

4.6.2 Material Utilizado:

- ✓ Multímetro;
- ✓ Protoborb;
- ✓ Resistores: $200\ \Omega$, $470\ \Omega$, $820\ \Omega$ e $1,2\text{k}\ \Omega$;
- ✓ Fonte Variável: (faixa utilizada: $0 - 12\text{ V}$).

4.6.3 Procedimento Prático:

1. Monte o circuito da Figura 52.

Figura 52 - Circuito



Fonte: Produção própria

2. Meça e anote na Tabela 8, a resistência equivalente entre os pontos A e E.

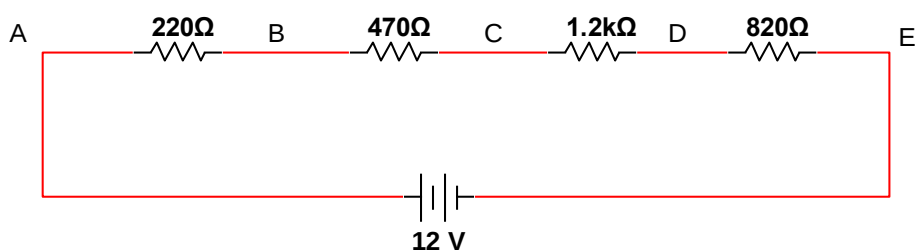
Tabela 8 - Tabela de leitura de valores da resistência no circuito

RESISTÊNCIA EQUIVALENTE AE MEDIDO	RESISTÊNCIA EQUIVALENTE AE CALCULADO

Fonte: Produção própria

3. Ajuste a fonte variável para 12 V e alimente o circuito, conforme a Figura 53.

Figura 53 - Circuito



Fonte: Produção própria

4. Meça as correntes em cada ponto do circuito, a tensão em cada resistor e anote os resultados nas Tabelas 9e 10, respectivamente.

Tabela 9 - Tabela de leitura de valores de correntes no circuito

IA	IB	IC	ID	IE

Fonte: Produção própria

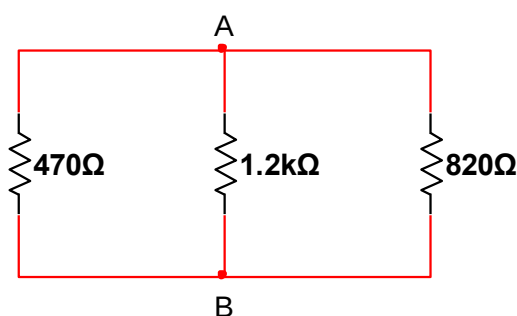
Tabela 10 - Tabela de leitura de valores de tensões no circuito

R (Ω)	220	470	1,2k	820
V (V)				

Fonte: Produção própria

5. Monte o circuito da Figura 54.

Figura 54 - Circuito



Fonte: Produção própria

6. Meça e anote na Tabela 11, a resistência equivalente entre os pontos A e B.

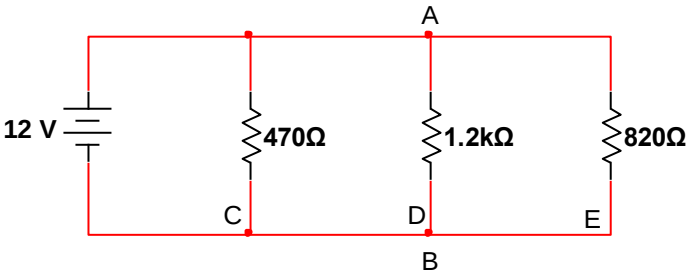
Tabela 11 - Tabela de leitura de valores da resistência no circuito

RESISTÊNCIA EQUIVALENTE AB MEDIDO	RESISTÊNCIA EQUIVALENTE AB CALCULADO

Fonte: Produção própria.

7. Ajuste a fonte variável para 12 V e alimente o circuito, conforme da Figura 55.

Figura 55 - Circuito



Fonte: Produção própria

8. Meça as correntes em cada ponto do circuito, a tensão em cada resistor e anote os resultados nas Tabelas 12 e 13, respectivamente.

Tabela 12 - Tabela de leitura de valores de correntes no circuito

IA	IB	IC	ID	IE

Fonte: Produção própria

Tabela 13 - Tabela de leitura de valores de tensões no circuito

R (Ω)	470	1,2k	820
V (V)			

Fonte: Produção própria

4.7 Atividade 7 – Software Multisim e Circuito Misto

Atividade com Utilização de Software – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o software Multisim. Ele se encontra instalado para uso em todos os computadores do Laboratório de Informática.

4.7.1 Objetivos:

- ✓ Construir um circuito misto utilizando o Software Multisim;
- ✓ Simular o funcionamento de um circuito misto utilizando o Software Multisim;
- ✓ Analisar, utilizando o simulador, as medidas tais como: resistência elétrica, tensão elétrica e corrente elétrica do circuito misto;
- ✓ Identificar o comportamento da diferença de potencial nas extremidades dos resistores;
- ✓ Identificar qual é a corrente elétrica que passa em cada resistor.

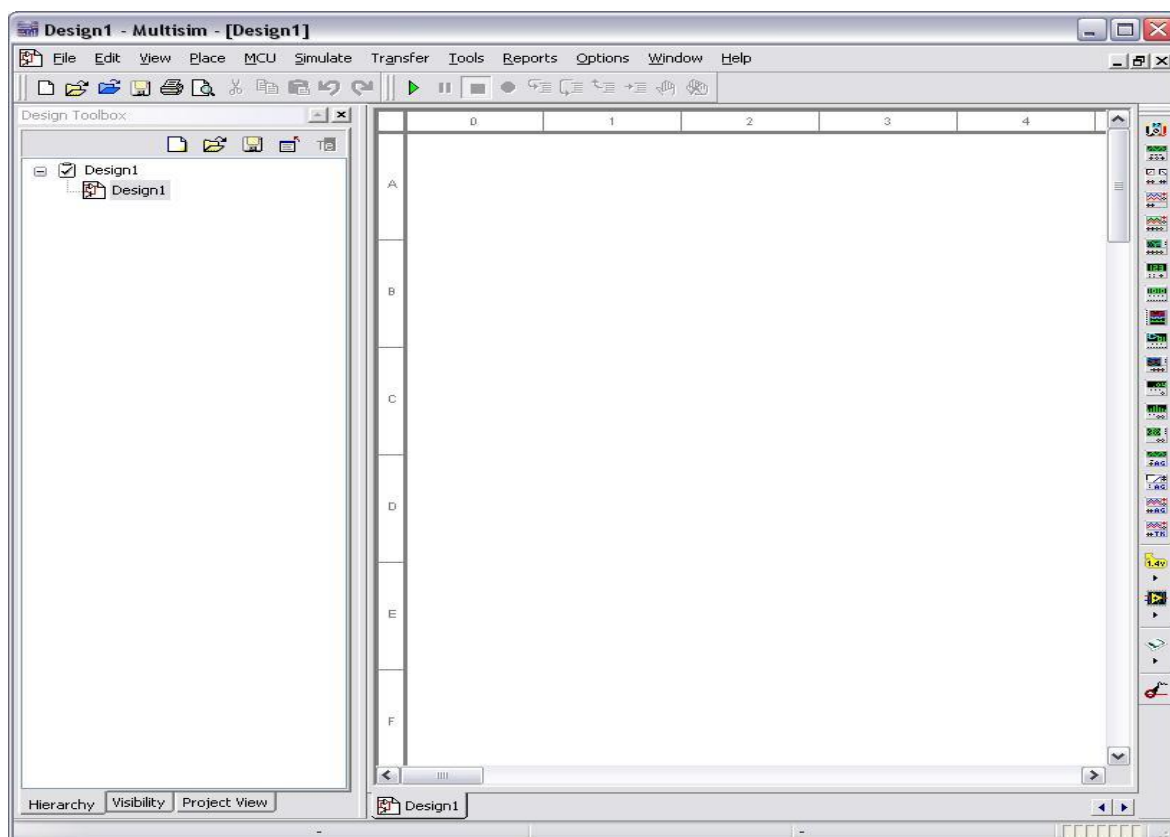
4.7.2 Material Utilizado:

- ✓ Computador;
- ✓ Projetor Multimídia.

4.7.3 Procedimento Prático:

1. Abra o Software Multisim.

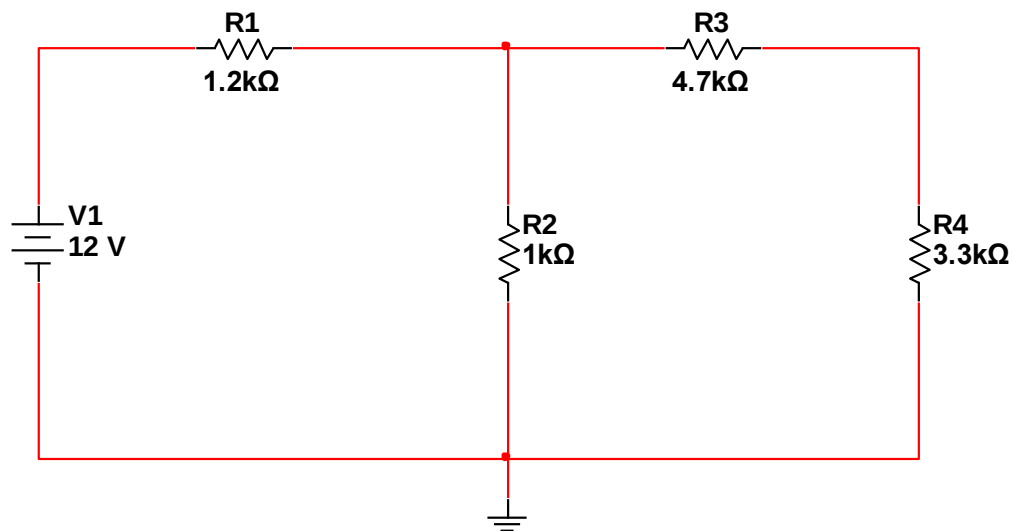
Figura 56 - O ambiente Multisim



Fonte: Produção própria

2. O circuito montado será o mostrado na figura 57.

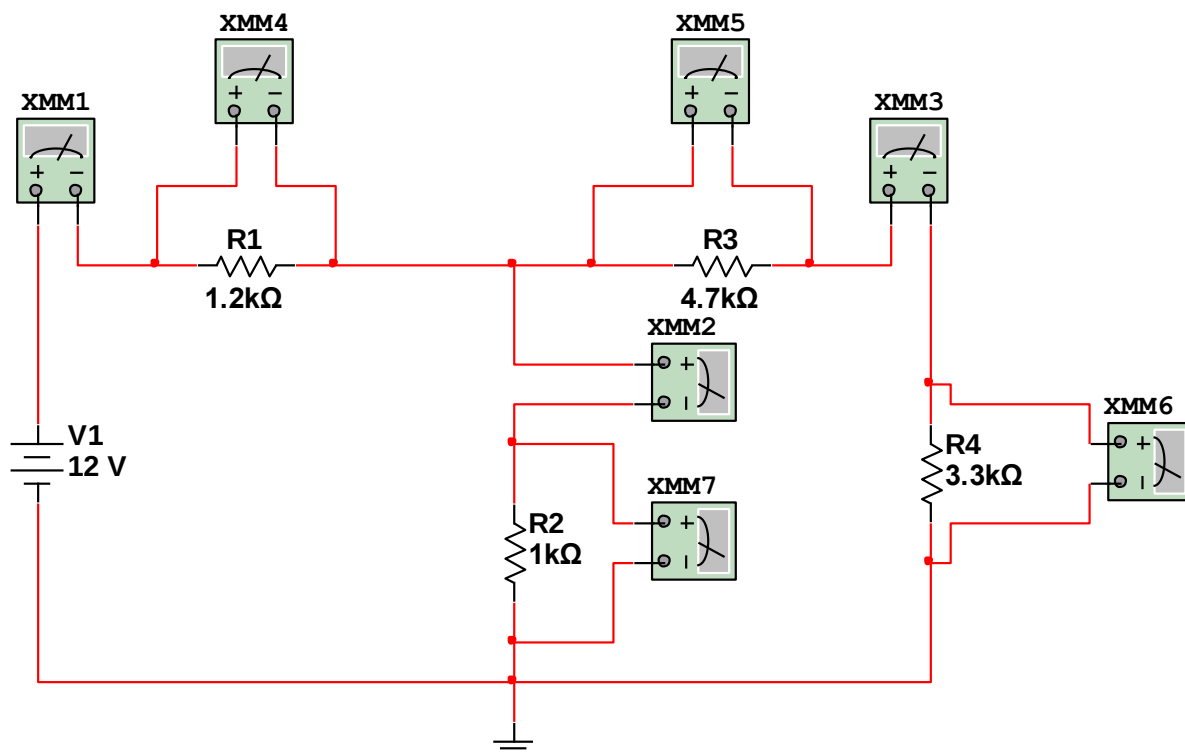
Figura 57 - Circuito misto



Fonte: Produção própria

3. Insira os componentes do circuito misto.
 4. Conecte os componentes.
 5. Insira a fonte de tensão do circuito misto.
 6. Insira um multímetro com a função voltímetro em cada resistor do circuito misto.
Obs.: Conecte o voltímetro em paralelo com o resistor.
 7. Insira um multímetro com a função amperímetro em cada ramo do circuito misto.
Obs.: Conecte o amperímetro em série com o resistor.
 8. Insira o terra no circuito misto.
- O circuito deve parecer com a Figura 58.

Figura 58 - Pronto para simular



Fonte: Produção própria

9. Execute e visualize a simulação interativa no Multisim.
10. Simule o circuito misto e observe os resultados.
11. Dê um duplo clique nos multímetros no circuito misto. Assim é possível visualizar as medidas de simulação na interface dos multímetros.
12. Para parar a simulação, pressione o botão vermelho na barra de ferramentas de simulação.

4.8 Atividade 8 – Circuito Misto

Atividade Experimental – Eletrodinâmica

4.8.1 Objetivos:

- ✓ Identificar em um circuito as associações série e paralelo;
- ✓ Determinar a resistência equivalente de um circuito misto;
- ✓ Identificar o comportamento da diferença de potencial nas extremidades dos resistores;
- ✓ Identificar qual é a corrente elétrica que passa em cada resistor;
- ✓ Tratar o circuito como um sistema.

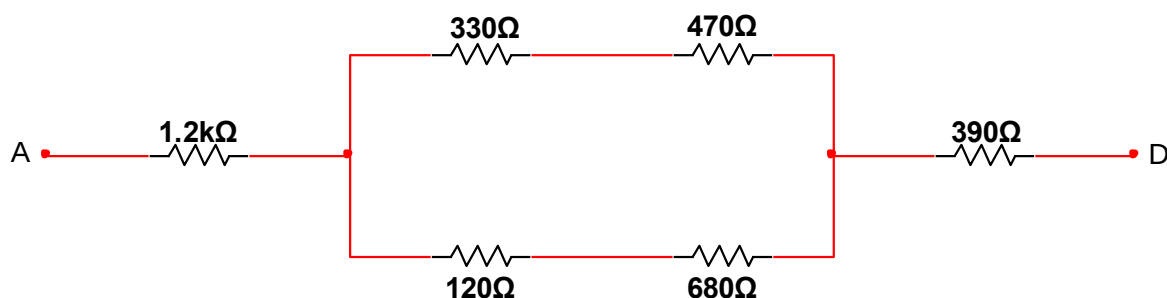
4.8.2 Material Utilizado:

- ✓ Multímetro;
- ✓ Protobord;
- ✓ Resistores: $120\ \Omega$, $330\ \Omega$, $390\ \Omega$, $470\ \Omega$, $680\ \Omega$ e $1,2k\ \Omega$;
- ✓ Fonte Variável: (faixa utilizada: $0 - 12\ V$).

4.8.3 Procedimento Prático:

1. Monte o circuito da Figura 59.

Figura 59 - Circuito



Fonte: Produção própria

2. Meça e anote na Tabela 14, a resistência equivalente entre os pontos A e D.

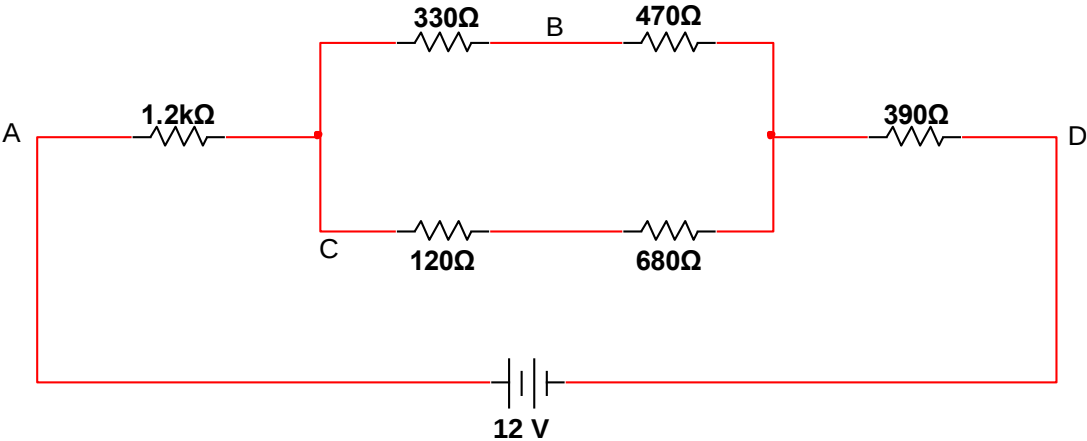
Tabela 14 - Tabela de leitura de valores da resistência no circuito

RESISTÊNCIA EQUIVALENTE AD MEDIDO	RESISTÊNCIA EQUIVALENTE AD CALCULADO

Fonte: Produção própria

3. Ajuste a fonte variável para $12\ V$ e alimente o circuito, conforme a Figura 60.

Figura 60 - Circuito



Fonte: Produção própria

4. Meça as correntes em cada ponto do circuito, a tensão em cada resistor e anote os resultados nas Tabelas 15 e 16, respectivamente.

Tabela 15 - Tabela de leitura de valores de correntes no circuito

IA	IB	IC	ID

Fonte: Produção própria

Tabela 16 - Tabela de leitura de valores de tensões no circuito

R (Ω)	120	470	1,2k	330	680	390
V (V)						

Fonte: Produção própria

4.9 Atividade 9 – Potência Elétrica

Atividade Experimental – Eletrodinâmica

4.9.1 Objetivos:

- ✓ Plotar a curva da potência elétrica em função da corrente elétrica de um resistor;
- ✓ Observar o Efeito Joule.

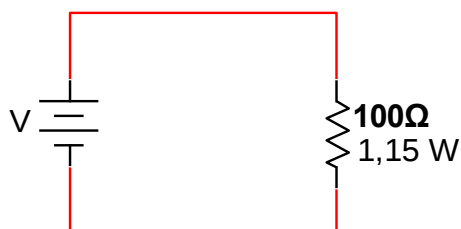
4.9.2 Material Utilizado:

- ✓ Multímetro;
- ✓ Protobord;
- ✓ Resistores: $100\ \Omega$ / 1, 15 W e $100\ \Omega$ / 5 W;
- ✓ Fonte Variável: (faixa utilizada: 0 – 10 V).

4.9.3 Procedimento Prático:

1. Monte o circuito da Figura 61.

Figura 61 - Circuito



Fonte: Produção própria

2. Varie a tensão da fonte, conforme a Tabela 17. Meça e anote as respectivas correntes.

Tabela 17 - Tabela de leitura de valores das correntes no circuito

V(V)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I(mA)											
P(mW)											

Fonte: Produção própria

3. Troque o resistor por $100\ \Omega$ / 5 w. Repita o item 2, preenchendo a Tabela 18.

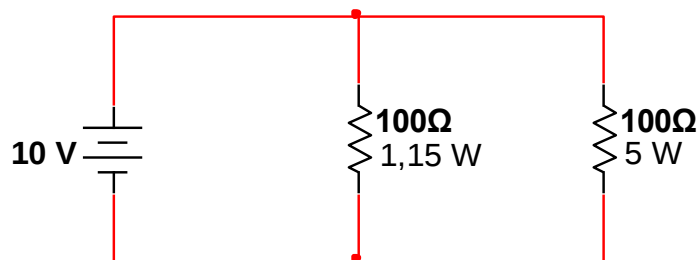
Tabela 18 - Tabela de leitura de valores das correntes no circuito

V(V)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I(mA)											
P(mW)											

Fonte: Produção própria.

4. Monte o circuito da Figura 62.

Figura 62 - Circuito



Fonte: Produção própria

5. Meça a tensão e a corrente em cada resistor, anotando na Tabela 19.

Tabela 19 - Tabela de leitura de valores das correntes e tensões no circuito

R (Ω)	V(V)	I(mA)	P(W)
100 / 1,15W			
100 / 5W			

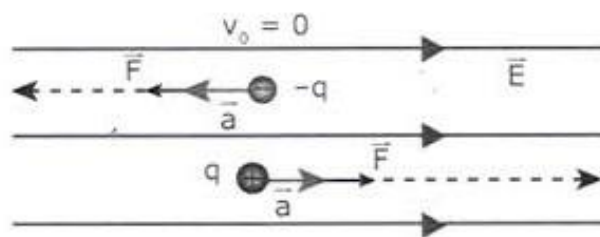
Fonte: Produção própria

Apêndice F – Carga Elétrica, Corrente Elétrica e Diferença de Potencial Elétrico

1 Carga Elétrica e Corrente Elétrica

A carga elétrica, assim como a massa, é uma propriedade que as partículas podem ou não apresentar. Apresentando essa propriedade as partículas se tornam sensíveis à presença de campos elétrico e magnético. A experiência mostra que a propriedade carga elétrica pode ser de dois tipos, chamados de positivo e negativo. Cargas positivas movem-se na direção e sentido do campo elétrico $\vec{E}$ e cargas negativas movem-se na direção e sentido contrário ao campo quando abandonadas (Figura 63). Isso decorre da interação entre corpos carregados (com presença de carga elétrica) e o campo E , manifestada pela lei da força: $\vec{F} = q\vec{E}$, onde, $\vec{F}$ e $\vec{E}$ são a força e o campo elétrico e q a quantidade de carga presente na partícula.

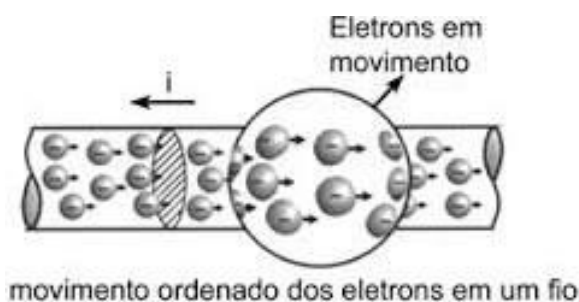
Figura 63 – Movimento de Cargas



Fonte: <http://www.infoescola.com/electricidade/diferenca-de-potencial/>

Cargas de um mesmo tipo se moverão, em média, num mesmo sentido imposto pelo campo. O campo elétrico é o ente físico fundamental responsável pela existência de corrente elétrica. Esse movimento coletivo de um turbilhão de partículas (como o movimento das partículas das águas de um rio) orientadas pelo campo é o que chamamos de corrente elétrica.

Figura 64 – Movimento ordenado dos elétrons em um fio



Fonte: <http://www.infoescola.com/electricidade/diferenca-de-potencial/>

A intensidade i de corrente elétrica que flui num fio condutor é definida como a quantidade de carga que atravessa uma seção do fio na unidade de tempo (Figura 64).

2 Diferença de Potencial Elétrico

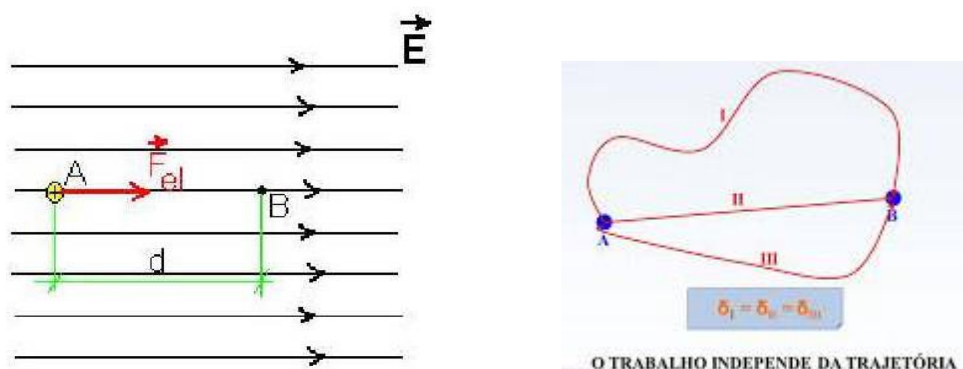
Quando as cargas elétricas se movimentam em decorrência do campo eletrostático (campo elétrico independente do tempo, variando apenas quando variam as coordenadas espaciais), a força elétrica realiza trabalho sobre as mesmas para produzir deslocamentos ao longo das linhas do campo. A característica principal do campo eletrostático é o fato que esse trabalho é independente do caminho que liga dois pontos e proporcional à carga transportada. Considere dois pontos, tais como os pontos A e B da Figura 65, separados por uma distância d ao longo de uma das linhas do campo. Para todos os caminhos que ligam esses dois pontos o trabalho da força elétrica é sempre o mesmo ao deslocarmos uma mesma carga q por qualquer um deles. Ele depende apenas das coordenadas espaciais que localizam esses pontos definindo uma função escalar dessas coordenadas chamada de potencial elétrico V . Define-se então a diferença de potencial elétrico ΔV entre dois pontos separados por uma distância d ao longo da linha do campo como o trabalho realizado pela força elétrica para mover a carga desta distância dividido pela carga. Ao dividirmos pela carga encontramos uma grandeza escalar independente da carga transportada, e que depende exclusivamente do campo eletrostático e das coordenadas dos pontos no interior do campo.

Essas grandezas, campo eletrostático e potencial eletrostático são estreitamente relacionadas, pois a existência de campo eletrostático implica na existência de diferença de potencial ao deslocarmos uma partícula carregada de um ponto a outro sobre as linhas do campo. Se existe campo existe força sobre a carga, que se moverá em consequência, com o campo realizando trabalho e gerando diferença de potencial. A existência de diferença de potencial elétrico entre dois pontos implica que essa região do espaço é preenchida pelo campo eletrostático E , já que foi feito trabalho sobre a carga ao movê-la entre esses dois pontos.

Se a carga é movida entre dois pontos no interior do campo eletrostático e nenhum trabalho decorrente da força elétrica é efetuado, não pode haver diferença de potencial entre esses pontos e, a superfície que os contém será uma superfície de mesmo potencial em todos os seus pontos, chamada de superfície equipotencial. A característica fundamental dessas superfícies (Figura 66) é de serem perpendiculares, em cada ponto,

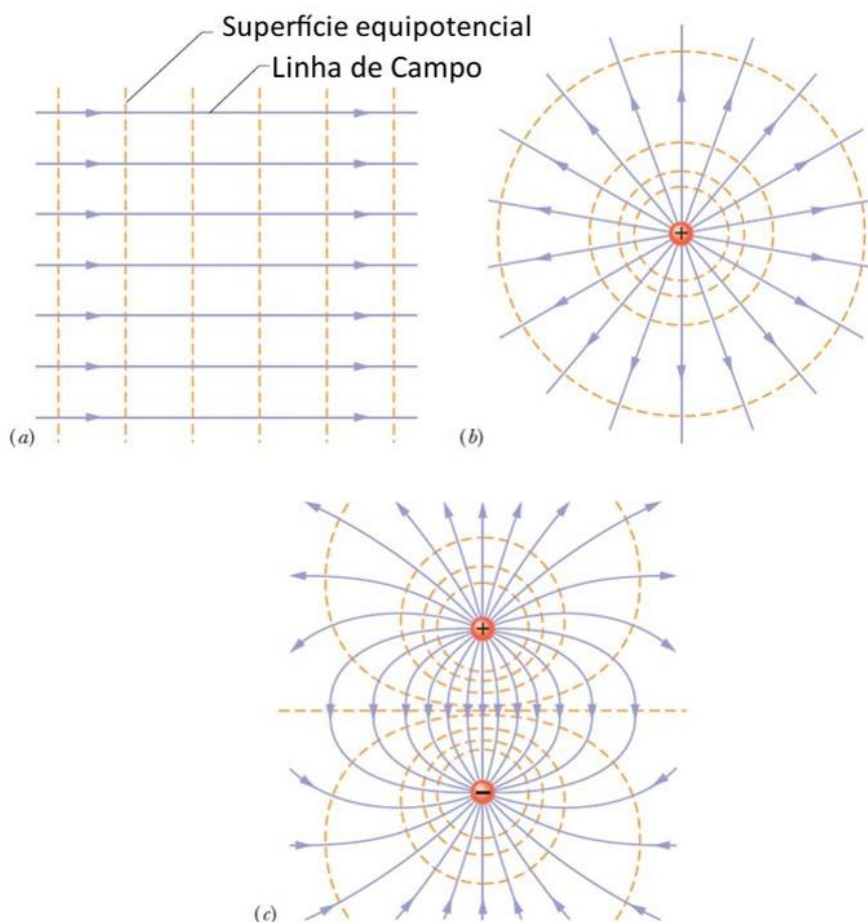
às linhas de campo, e só quando passamos de uma dessas superfícies para outra e, portanto, seguimos alguma linha do campo, é que haverá diferença de potencial entre dois pontos.

Figura 65 – Trabalho da Força Elétrica



Fonte: <https://sala23a.wordpress.com/aulas-2/fisica/eletrostatica/>

Figura 66 – Linhas de campo elétrico (linhas cheias) e seções retas de superfícies equipotenciais (linhas tracejadas) (a) para um campo elétrico uniforme (b) para uma carga pontual (c) para um dipolo elétrico



Fonte: <http://www.fotoacustica.fis.ufba.br/daniele/FIS3/roteiro%204%20superf%C3%ADciesEquipotenciais.pdf>