

**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**

**PRÓ-REITORIA ACADÊMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE  
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**



**LUÍS PAULO BASGALUPE MOREIRA**

**LABORATÓRIOS REAIS E VIRTUAIS NO APRENDIZADO DE CIRCUITOS  
ELÉTRICOS: Uma investigação dos diferentes mecanismos externos de  
cognição por meio da análise dos discursos verbal e gestual**

Canoas, 2020

**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**

**PRÓ-REITORIA ACADÊMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE  
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**



**LABORATÓRIOS REAIS E VIRTUAIS NO APRENDIZADO DE CIRCUITOS  
ELÉTRICOS: Uma investigação dos diferentes mecanismos externos de  
cognição por meio da análise dos discursos verbal e gestual**

Tese de Doutorado realizada sob a orientação do Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil, Campus Canoas em preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto

Canoas, 2020

LUÍS PAULO BASGALUPE MOREIRA

**LABORATÓRIOS REAIS E VIRTUAIS NO APRENDIZADO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS: Uma investigação dos diferentes mecanismos externos de cognição por meio da análise dos discursos verbal e gestual**

Tese de Doutorado realizada sob a orientação do Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil, Campus Canoas em preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências e Matemática.

Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto – Orientador

---

Prof. Dr. Marlise Geller

---

Prof. Dr. Rossano André Dal-Farra

---

Prof. Dr. Jeferson Fernando de Souza Wolff

---

Prof. Dr. Maria Sônia Silva Oliveira Veloso

Canoas

2020

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a construção deste trabalho. Em especial, agradeço:

ao meu orientador, professor Agostinho, ao qual tenho profunda admiração por toda a competência e empenho que dedicou a seus estudantes. Agradeço a prontidão, apoio e dedicação que sempre teve, o que contribuiu significativamente para meu crescimento acadêmico;

a meus pais, pelo apoio e por ter me ensinado a valorizar a educação;

à minha esposa, minha amiga e companheira, pelas palavras de incentivo nos momentos mais difíceis, por confiar no meu potencial e pela compreensão nos momentos de ausência;

a meus filhos Caio e Rafaela e minha neta Maria Luísa que foram sempre inspirações a quem eu dedico esta vitória alcançada;

aos meus amigos Adriana, Jeferson e Sônia pelo incentivo e palavras de apoio ao compartilharmos nossas angústias, e pelas diversas contribuições ao meu trabalho;

aos meus colegas e coordenadores de ensino do IFSul (Campus Pelotas) que estiveram sempre dispostos a contribuir e me auxiliar nas minhas necessidades acadêmicas;

aos meus alunos que colaboraram como participantes da pesquisa.

## RESUMO

A discussão sobre o uso de laboratórios virtuais no aprendizado de conceitos físicos frente ou *versus* o uso de laboratórios reais é perene na área de ensino de Física. As atividades práticas, sejam elas reais ou virtuais, aumentam o envolvimento dos estudantes com os conteúdos abordados. Buscou-se comparar a utilização de quatro tipos diferentes de ferramentas de processamento externo – culturais (lápiz e papel e *protoboards*) e hiperculturais (simulações e modelagem computacionais) –, identificando de que forma diferenciada cada uma pode contribuir na geração de imagens mentais em estudantes no conteúdo de circuitos elétricos. Para tanto, aplicamos atividades envolvendo estes tipos diferentes de ferramentas de processamento externo em estudantes de cursos técnico e de ensino superior de um Instituto de Ensino Superior do Rio Grande do Sul. Por meio de testes e entrevistas com estudantes, foram identificadas imagens mentais para circuito elétrico, corrente elétrica, diferença de potencial e resistência elétrica. À luz do referencial teórico da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), observou-se a mudança cognitiva e o diálogo entre as diferentes ferramentas na composição do discurso gestual/imagístico do estudante. Os resultados apontam para uma real aquisição de conceitos dentro do estudo proposto em circuitos elétricos. Concluiu-se que, dentro da perspectiva teórica e metodológica utilizada, as imagens mentais foram mais ricas, com as explanações dos estudantes, para a modelagem computacional.

**Palavras-chave:** circuitos elétricos, experimentos reais, experimentos virtuais, teoria da mediação cognitiva, ensino de física.

## ABSTRACT

The discussion about the use of virtual labs in learning the physical concepts for or against the use of real laboratories belongs in Physics teaching. The activities practiced, them being real or virtual, increase the involvement of the students with the content in question. It was sought comparing the use of 4 different tool of external processing – cultural (pencil and paper and protoboards) and Hipercultural (computer simulation and modeling) -, identifying in each different manner can contribute in the generation of mental images in students in the content of electric circuits. To this end, we apply activities involving these different types of external processing tools to students in technical and higher education courses at a higher education institute in Rio Grande do Sul. To the light of the theoretical frame of reference of Cognitive Mediation Theory (CMT), it was observed a cognitive change and the dialogue between the different tools in composing the gestural/imagistic discourse of the student. The results indicate to a real acquisition of concepts within the study proposed in electric circuits. It is concluded that, from the theoretical and methodological perspective used, in a surprisingly manner, the mental images were richer, with the explanations of the students, for the computer modelling.

**Keywords:** electric circuits, real experiments, virtual experiments, Cognitive mediation theory, physics teaching.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: LISTA DE PERIÓDICOS PESQUISADOS, CLASSIFICADOS COMO A1, A2 E B1 NO QUALIS 2014 DA CAPES NA ÁREA DE ENSINO. .....	21
TABELA 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES .....	48
TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO POR CATEGORIA .....	51
TABELA 4 – CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ENSINO .....	52
TABELA 5 – CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ENSINO .....	54
TABELA 6 – GESTOS GERADOS COM AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS COM O <i>SOFTWARE</i> PHET .....	113
TABELA 7 – GESTOS GERADOS COM AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS COM O <i>SOFTWARE</i> MODELLUS .....	121
TABELA 8 - GESTOS GERADOS COM AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS COM O PAINEL DE COMPONENTES .....	123
TABELA 9 – GESTOS GERADOS COM AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS COM LÁPIS E PAPEL.....	129

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O processo de mediação .....	83
Figura 2 - A mediação social entre dois sujeitos A e C. ....	84
Figura 3 - Exemplo de interação indireta via mediação social .....	85
Figura 4 – Entrevistado 1 .....	104
Figura 5 – Representação do movimento no vídeo .....	104
Figura 6 – Entrevistado 2 .....	105
Figura 7 – Representação do movimento no vídeo .....	105
Figura 8 – Entrevistado 3 .....	106
Figura 9 – Entrevistado 4 .....	106
Figura 10 – Tela do Modellus com a simulação do circuito série .....	89
Figura 11 – Circuito montado por alunos no PhET.....	90
Figura 12 – Manuseio do PhET pelos alunos.....	91
Figura 13 – Painel de Componentes .....	92
Figura 14 – Circuito montado por alunos no painel.....	92
Figura 15 – Manuseio do painel pelos estudantes .....	93
Figura 16 - Manuseio do painel pelos estudantes.....	93
Figura 18 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar circuito elétrico .....	114
Figura 19 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar corrente elétrica .....	116

Figura 20 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar diferença de potencial.....	118
Figura 21 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar resistência elétrica .....	119
Figura 22 – Gesto produzido pelo estudante para representar circuito elétrico .....	122
Figura 23 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar circuito elétrico .....	124
Figura 24 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar corrente elétrica .....	126
Figura 25 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar diferença de potencial.....	127
Figura 26 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar resistência elétrica .....	128
Figura 27 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar circuito elétrico .....	130
Figura 28 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar corrente elétrica .....	132
Figura 29 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar diferença de potencial.....	133
Figura 30 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar resistência elétrica .....	133

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	17
1.3 OBJETIVOS .....	17
1.3.1 Objetivo Geral .....	18
1.3.2. Objetivos Específicos .....	18
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>20</b>
2.1 Metodologia na seleção de artigos .....	20
2.2 Seleção de artigos segundo metodologia adotada .....	22
2.3 Qual o perfil da produção acadêmica que aborda experimentos envolvendo circuitos elétricos no ensino de Física no período de 2011 a 2019? .....	47
2.4 O que a literatura considera como “experimentos reais e virtuais envolvendo circuitos elétricos” e quais os referenciais teóricos adotados nos trabalhos que tratam este assunto no ensino de Física? .....	56
2.5 Quais os recursos utilizados envolvendo as atividades experimentais no estudo de circuitos elétricos? .....	58
2.6 Quais as principais dificuldades e atitudes dos estudantes em relação à experimentos reais x experimentos virtuais no estudo de circuitos elétricos? .....	61
2.7 Como a literatura propõe a discussão e análise de experimentos reais x experimentos virtuais?.....	62
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICO</b>	<b>63</b>
3.1 LARRY LAUDAN.....	63
3.2 A NATUREZA DOS PROBLEMAS CIENTÍFICOS .....	63
3.3 PROBLEMAS EMPÍRICOS E CONCEITUAIS.....	65

<b>3.4 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA (TMC).....</b>	<b>69</b>
<b>3.5 REVOLUÇÃO DIGITAL .....</b>	<b>71</b>
<b>3.6 A MEDIAÇÃO COGNITIVA TEORIA DE REDES .....</b>	<b>73</b>
3.6.1 Princípios Básicos .....	73
3.6.2 Cognição extra cerebral e mediação .....	74
3.6.3 Evolução Cognitiva.....	77
3.6.4 A emergência da hipercultura .....	78
3.6.5 Evidências existentes para a TMC.....	79
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>87</b>
<b>4.1 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA.....</b>	<b>87</b>
<b>4.2 PROCEDIMENTOS DA REALIZAÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO DIDÁTICA.....</b>	<b>96</b>
<b>4.3 ETAPAS DA CONSTRUÇÃO DA METODOLOGIA .....</b>	<b>97</b>
<b>5 EXPERIMENTOS DEFINITIVOS .....</b>	<b>103</b>
<b>5.1 REPRESENTAÇÕES MENTAIS DESTACADAS DURANTE AS ENTREVISTAS REALIZADAS COM OS ALUNOS.....</b>	<b>103</b>
<b>5.2 DESCRIÇÃO DO PRIMEIRO EXPERIMENTO DEFINITIVO .....</b>	<b>107</b>
<b>5.3 DESCRIÇÃO DA ETAPA DE TOMADA DE DADOS .....</b>	<b>110</b>
<b>5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>112</b>
5.4.1 Classificação dos gestos a partir da utilização do software PhET .....	112
5.4.1.1 Classificação dos gestos, a partir da utilização do <i>software</i> PhET, que identificam circuito elétrico .....	113
<b>Figura 18 – Gestos produzidos pelos estudantes para representar circuito elétrico.....</b>	<b>114</b>
5.4.1.2 Classificação dos gestos, a partir da utilização do software PhET, que identificam corrente elétrica .....	116
5.4.1.3 Classificação dos gestos, a partir da utilização do <i>software</i> PhET, que identificam diferença de potencial .....	118
5.4.1.4 Classificação dos gestos, a partir da utilização do <i>software</i> PhET, que identificam resistência elétrica .....	119
5.4.2 Classificação dos gestos a partir da utilização do <i>software</i> Modellus .....	121
5.4.3 Classificação dos gestos a partir da utilização do painel de componentes .....	123

5.4.3.1 Classificação dos gestos a partir da utilização do painel de componentes que identificam circuito elétrico.....	124
5.4.3.2 Classificação dos gestos, a partir da utilização do painel de componentes, que identificam corrente elétrica.....	126
5.4.3.3 Classificação dos gestos, a partir da utilização do painel de componentes, que identificam diferença de potencial .....	127
5.4.3.4 Classificação dos gestos, a partir da utilização do painel de componentes, que identificam resistência elétrica.....	128
5.4.4 Classificação dos gestos a partir da utilização de lápis e papel.....	129
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>135</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>137</b>
<b>APÊNDICE A – MODELLUS – ATIVIDADE I – CIRCUITO SIMPLES</b>	<b>146</b>
<b>APÊNDICE B – MODELLUS – ATIVIDADE II – CIRCUITO SÉRIE</b>	<b>148</b>
<b>APÊNDICE C – PHET – ATIVIDADE III – CIRCUITO SÉRIE</b>	<b>151</b>
	<b>151</b>
<b>APÊNDICE D – MODELLUS – ATIVIDADE IV – CIRCUITO PARALELO</b>	<b>154</b>
<b>APÊNDICE E – PHET – ATIVIDADE V – CIRCUITO PARALELO</b>	<b>157</b>
	<b>157</b>
<b>APÊNDICE F – PAINEL – ATIVIDADE VI – CIRCUITO PARALELO</b>	<b>159</b>
<b>APÊNDICE G – MODELLUS – ATIVIDADE VII – CIRCUITO MISTO</b>	<b>161</b>
<b>APÊNDICE H – MODELLUS – ATIVIDADE VIII – CIRCUITO MISTO</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE I – PHET – ATIVIDADE IX – CIRCUITO MISTO</b>	<b>168</b>
<b>ATIVIDADE COM UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE – ELETRODINÂMICA</b>	<b>168</b>

<b>APÊNDICE J – PAINEL – ATIVIDADE X – CIRCUITO MISTO</b>	<b>171</b>
<b>APÊNDICE K – PHET – ATIVIDADE XI – CIRCUITO SÉRIE</b>	<b>174</b>
	<b>174</b>
<b>APÊNDICE L – PHET – ATIVIDADE XII – CIRCUITO PARALELO</b>	<b>176</b>
<hr/>	
<hr/>	
<hr/>	<b>178</b>
<b>APÊNDICE M – PAINEL REAL – ATIVIDADE XIII – CIRCUITO MISTO</b>	<b>179</b>
	<b>179</b>
<b>APÊNDICE N – ATIVIDADE FINAL</b>	<b>180</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Inicialmente se faz necessário falar um pouco de minha trajetória pessoal. Minha experiência em sala de aula sempre foi inclinada para aulas experimentais. Em aulas experimentais sempre é possível, presumo, que o estudante tenha uma atenção maior e com isto consiga uma maior apropriação do conteúdo. Aulas puramente teóricas e com questões resolvidas, como há em muitas situações, podem acabar criando uma ideia errada de aprendizagem, pois saber resolver problemas mecanicamente não é sinônimo de aprendizagem de conceitos. Muitos estudantes decoram fórmulas para resolver alguns tipos de situações, o que se mostra eficiente, mas isto não comprova que compreenderam os conceitos físicos.

Sempre observei que alguns colegas da área, que também ministravam aulas de física, tinham uma opinião contrária à utilização de aulas experimentais, pois achavam que nem sempre os experimentos exprimiam os resultados que deveriam. Mesmo tendo consciência desta possibilidade, também percebi que é possível tirar proveito desta situação em que o estudante pode aprender com o erro. Podemos justificar com conceitos os motivos de resultados contrários aos esperados. Pelo que observo, contudo, esta situação tem mudado gradativamente nos últimos anos. Professores que tiveram sua formação recentemente têm demonstrado que este receio diminuiu. Provavelmente esta situação tenha sido trabalhada em sua jornada acadêmica.

Nas diversas situações presenciadas em sala de aula com os estudantes, na maioria das vezes foi possível observar que a preferência se dá por aulas de física em que esteja presente algum tipo de experimento, inserido nestas aulas experimentais demonstrativas, ou seja, realmente uma aula prática, de laboratório, em que o aluno interage com o conhecimento. É evidente que a melhor lição é aquela em que o aluno desenvolve os experimentos, mas, na falta desta, é possível que aconteça ganho cognitivo apenas com aulas demonstrativas. Começar uma aula expositiva com um experimento montado sobre a mesa do professor no mínimo já aguça a curiosidade do estudante.

Com a entrada dos computadores no ensino de física foi possível vislumbrar uma nova maneira de ensinar e fazer com que nossos estudantes pudessem entender melhor os conceitos. No meu entender, decorreu um grande tempo entre a

entrada dos computadores e eficientes *softwares* de simulação. Hoje podemos afirmar que temos ferramentas eficientes.

No início deste estudo, pela minha trajetória pessoal, eu tinha convicções de que o painel de componentes deveria ser a ferramenta que mais resultado apresentaria, no entanto, foi possível verificar que os resultados caminharam para situações não esperadas.

Trabalhando circuitos elétricos em sala de aula é possível perceber as dificuldades que os estudantes encontram em entender e articular os conceitos envolvidos nesse conteúdo disciplinar. A confusão na percepção de diferenças principalmente entre os conceitos de tensão e corrente elétrica é muito grande. As concepções que os alunos trazem dificultam novos entendimentos e eles acabam percebendo o que pensam e não o que deve ser compreendido (Moreira, 2012). Segundo Pacca *et al* (2003), muitos dos termos utilizados para conceituar os elementos envolvidos nos fenômenos elétricos são conhecidos pelos alunos e utilizados na linguagem livre do senso comum, associados às suas concepções sobre átomo e corrente elétrica construídas na vivência do cotidiano. Podemos afirmar então que a linguagem do dia a dia não colabora para a aquisição de novos conceitos científicos, uma vez que estes conceitos trazidos tornam-se justificativa para as respostas dos estudantes (Moreira e Serrano, 2012).

Os professores, de modo geral, declaram que os estudantes expressam dificuldades na aprendizagem de fenômenos, leis e conceitos. Por sua vez, alguns estudantes afirmam em sala de aula que a física é apenas uma extensão da matemática. Para minimizar essas dificuldades, é possível desenvolver métodos que auxiliem a aprendizagem dos estudantes. E nem colocamos na discussão a progressiva diminuição da carga horária que necessariamente leva a um menor tempo para que o professor exponha e desenvolva o conteúdo de uma disciplina típica de física. Assim, a qualidade dos conteúdos ministrados passa a ser insatisfatória. A escolha de qual assunto deve ser ministrado torna-se uma responsabilidade do professor, nem sempre sendo a ideal para que os estudantes tenham progresso cognitivo.

Evans (1978) descreve um método essencialmente experimental com materiais simples para abordar equívocos bastante comuns que os estudantes

cometem com tensão elétrica e corrente elétrica. Osborne e Gilbert (1980) propõem e ilustram um método de entrevista sobre instâncias envolvendo os conceitos de trabalho e corrente elétrica.

Com o considerável aumento no uso de computadores pelos alunos nos últimos anos é possível argumentar que existe grande possibilidade de se associar esta ferramenta à aprendizagem de conteúdos de Física. Em nosso caso, especialmente, estamos trabalhando em como associar essa ferramenta ao ensino de eletricidade. São estratégias pedagógicas que podem se adequar perfeitamente ao aluno de hoje, pois o computador passou a ser de uso diário, envolvendo o estudante nas diferentes plataformas que estão à sua disposição. Nossos estudantes de dez anos atrás dificilmente tinham acesso a um computador pessoal. Hodiernamente os estudantes utilizam *tablets* ou *smartphones* dentro da sala de aula, isso sem deixar de citar, também, que o acesso à Internet se tornou ainda mais abrangente. Com o uso correto de plataformas virtuais podemos supor a possibilidade de um ganho cognitivo acentuado, uma vez que já é um ambiente em que existe domínio por parte dos estudantes. A utilização destas plataformas em sala de aula ainda não é consenso entre professores ou entre as escolas. Em muitos casos não é permitido o uso de celular pelos estudantes. Enquanto alguns ainda discutem essa possibilidade, há outros que já tiram proveito disso. É tudo uma questão de fazer o estudante se engajar na filosofia de aula proposta pelo professor. São estratégias pedagógicas que podem se adequar perfeitamente ao aluno de hoje, pois a tecnologia passou a ser de uso diário, envolvendo o estudante nas diferentes plataformas que estão à sua disposição. São as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), sendo utilizadas a favor do professor e do próprio estudante. Com a utilização de todas as ferramentas a nossa disposição, devemos saber como nos beneficiar ao máximo de cada uma delas e identificar de que forma o estudante também tira proveito, adquirindo uma melhor aprendizagem. Com a Internet se difundindo pelo país e com o aumento do emprego de ferramentas que a utilizam, temos uma área a ser estudada. Podemos verificar como estes estudantes, que têm acesso às novas ferramentas, obtêm imagens e aumentam o seu aprendizado no estudo de circuitos elétricos.

Uma nova forma de trabalhar conceitos físicos aconteceu com o surgimento dos computadores. O fato de laboratórios de física serem de difícil acesso em muitas

escolas, os computadores trouxeram a possibilidade de cumprir tal papel. Neste caso, passamos a ter dois modos distintos de mostrar conceitos físicos. Podemos dizer que um é real e o outro é virtual. É possível abrir a discussão sobre forma como os dois podem atuar no ensino dos conceitos físicos.

Pode-se notar também que, no ensino de Física, encontra-se um discurso no uso de atividades práticas que, na realidade, não tem evoluído, pois o professor acaba utilizando “quadro-negro e giz” (MOREIRA, 2014), seja por não ter tempo disponível para preparar tais atividades, seja por não ter laboratório em condições para elaboração. Segundo Moreira (2005), o uso de distintas estratégias instrucionais que impliquem participação ativa do estudante e, de fato, promovam um ensino centralizado no aluno é fundamental para facilitar uma aprendizagem significativa crítica. Pretende-se investigar se o aprendizado pode ser obtido por meio de uma abordagem que compreender de que forma é alterada a estrutura cognitiva dos estudantes após a utilização das ferramentas culturais e hiperculturais utilizadas no ensino de física como resolução de problemas em circuitos elétricos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Para Papert (1980), deverão ser disponibilizadas aos alunos “ferramentas que viabilizem a exploração dos nutrientes cognitivos ou seja os elementos que compõem o conhecimento”. Tornou-se consensual que é “a partir dos contributos da psicologia do desenvolvimento e da psicologia da aprendizagem que é preciso partir para um entendimento com o computador, tornando-o um parceiro que providencia oportunidades de aprendizagem” (PAPERT, 1980). Assim que os computadores se tornaram acessíveis em sala de aula, os profissionais da área procuram meios de se valerem desta ferramenta poderosíssima. Quer seja com simulações, que poderemos considerar como mais banais, ou até mesmo com o uso de planilhas, o estudante vem agregando esta ferramenta no seu dia a dia. O tempo passou e os avanços tornaram possível uma aprendizagem com esta ferramenta, que pode possibilitar um ganho cognitivo elevado. Sabemos, contudo, que este recurso ainda não é acessível a todos os estudantes, e podemos citar algumas razões como a falta de poder de aquisição, profissionais despreparados, profissionais que não aceitam

mudanças, dentre outras. Um exemplo deste despreparo se dá com o caso dos *smartphones*, sendo a ferramenta mais comum, em que em algumas situações, os professores proíbem o seu uso em sala de aula. Esta é uma discussão que merece ser feita.

Assim, os computadores em sala de aula trouxeram uma forma nova de apresentar conceitos físicos em detrimento do modelo matemático, muito utilizado e defendido por profissionais na área não apenas nos seus discursos diários, mas na sua prática do dia a dia.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Supondo que os avanços das ferramentas surgidos com as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) no ensino de física trouxeram novas possibilidades de aula para nossos estudantes, é possível aceitar uma simulação como um laboratório virtual, o que muitas vezes é a única opção para muitos estudantes, podendo presumir que existe impacto na estrutura cognitiva.

Sendo assim, nossa pesquisa é justamente estudar como os estudantes aprendem quando utilizam, por mediação, ferramentas culturais e hiperculturais.

Diante da situação, formulamos a pergunta de pesquisa a seguir:

Como são utilizados, comparativamente, mecanismos externos de cognição sob a forma das ferramentas culturais de lápis e papel e *protoboard* e as hiperculturais de simulação *modellus* e modelagem “PhET”, por meio da análise dos discursos verbal e gestual, por estudantes de tecnologia em sistemas de Internet e de cursos técnicos integrados do Instituto Federal Sul-rio-grandense *Campus Pelotas* na resolução de problemas de circuitos elétricos?

## 1.3 OBJETIVOS

Percebendo a importância do uso das TICs no ensino de física, principalmente no estudo de circuitos elétricos, como forma a complementar as

atividades de sala de aula buscamos o modo como as ferramentas culturais e hiperculturais ajudam na internalização destes conteúdos, possibilitando o aprendizado. Sendo assim, apresentamos alguns objetivos seguidos na pesquisa.

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Compreender de que forma é alterada a estrutura cognitiva dos estudantes após a utilização das ferramentas culturais e hiperculturais utilizadas no ensino de física como resolução de problemas em circuitos elétricos por parte de estudantes do ensino técnico integrado e superior, quando esses são submetidos à utilização de ferramentas culturais e hiperculturais.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Investigar a eficiência da metodologia de Análise Gestual de uma entrevista do tipo *Report Aloud* na identificação de conhecimentos tácitos e assimilados depois de submetidos a ferramentas hiperculturais;
- Investigar, no contexto de mediação por computador, o papel das habilidades visuoespaciais no processo de criação de novos *drivers*;
- Identificar e compreender o papel das diferentes ferramentas utilizadas em atividades práticas, culturais e hiperculturais no processo de aprendizagem dos conceitos contidos em circuitos elétricos;
- Inquirir modos de incorporar as ferramentas de simulação ao estudo dos circuitos elétricos no ensino técnico integrado e superior;
- Comparar a utilização de experimentos com circuitos elétricos utilizando simulação com experimentos utilizando componentes reais.

Para isso, apresenta-se primeiramente uma revisão de literatura. Nessa revisão, foi realizado um levantamento da produção acadêmica a respeito do ensino de Física, particularmente da parte de Eletricidade, que se constitui objeto desta pesquisa, aliado ao uso de computadores como ferramentas nesse processo. Foi analisado o período compreendido entre 1979 e 2010, envolvendo periódicos nacionais e internacionais, encontrados a partir das bases de pesquisa como o Eric (ERIC – Education Resources Information Center) em [www.eric.ed.gov](http://www.eric.ed.gov), EBSCOhost

Academic Search Premier em <http://www.ebscohost.com/academic/academic-search-premier>, Springer Complete Collection em <http://www.springer.com/>, plataforma Scopus (Elsevier) e outros acessados em <http://periodicos.capes.gov.br/> e <http://scholar.google.com.br/>.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

O objetivo desta revisão é verificar a existência de artigos que abordem experimentos virtuais e reais, em um mesmo trabalho, dentro do conteúdo de Circuitos Elétricos. Tal objetivo pode ser expresso por meio das seguintes questões norteadoras:

- Qual o perfil da produção acadêmica que aborda experimentos envolvendo circuitos elétricos no ensino de Física, no período de 2011 a 2019?
- O que a literatura considera como “experimentos reais e virtuais, envolvendo circuitos elétricos” e quais os referenciais teóricos adotados nos trabalhos, que tratam este assunto no ensino de Física?
- Quais os recursos utilizados envolvendo as atividades experimentais no estudo de circuitos elétricos?
- Quais as principais dificuldades e atitudes dos estudantes em relação aos experimentos reais x experimentos virtuais no estudo de circuitos elétricos?
- Como a literatura propõe a discussão e análise de experimentos reais x experimentos virtuais?

### 2.1 Metodologia na seleção de artigos

**1ª etapa:** para revisão da literatura sobre atividades envolvendo circuitos elétricos no Ensino de Física, inicialmente, realizamos uma pesquisa na plataforma de dados ERIC (*Education Resources Information Center*), usando a combinação das seguintes palavras-chave (descritores): “*electrical circuits*”, “*simulation*”, “*physics*”

*education*”, “*real and virtual experiments*” e “*physics*”. Uma busca semelhante foi realizada utilizando a plataforma Scopus (Elsevier). As buscas, limitadas aos resumos (*abstracts*) de revistas científicas que adotam a política de revisão por pares (*peer reviewed*), nos artigos entre janeiro de 2011 a janeiro de 2019.

Posteriormente, ampliamos a busca por artigos a outras plataformas de dados (*Springer*) e periódicos nacionais e internacionais, de língua portuguesa, inglesa e espanhola, classificados como A1, A2 e B1 no Qualis 2014 da Capes na área de Ensino, apresentados na Tabela 1.

Além, dos periódicos classificados no Qualis 2014, consultamos os seguintes periódicos internacionais, pois na busca feita nas plataformas de dados foram localizadas publicações nas seguintes revistas: *American Journal of Physics*, *Cognition and Instruction*, *Computers & Education*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Journal of Computer Assisted Learning*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Research in Science Education*, *Science Education*, *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, *Educational Technology Research and Development*, *International Journal of Science and Mathematics Education*, *Creative Research Journal*, *Journal of STEM Education*, *Journal of College Science Teaching*, *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*.

**Tabela 1: Lista de periódicos pesquisados, classificados como A1, A2 e B1 no Qualis 2014 da Capes na área de Ensino.**

A1	Ciência & Educação
	Revista Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação
	<i>International Journal of Science Education</i>
	<i>Physics Education</i>
	Revista Brasileira de Ensino de Física
	<i>Journal of Science Education</i>
	<i>Science &amp; Education</i>
A2	<i>Teaching and Teacher Education</i>
	Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências
	Investigações em Ensino de Ciências
	Revista Electronica de Ensenanza de las Ciencias
	Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos
	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
<i>Revista Electrónica de Investigación en Educación em Ciencias</i>	

<b>B1</b>	<i>Acta Scientiae</i>
	Alexandria
	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
	Experiências em Ensino de Ciências
	<i>Latin American Journal of Physics Education</i>
	Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia
	<i>Revista de Enseñanza de la Física</i>
	<i>Science Education International</i>

**2ª etapa:** para identificar os estudos, mais alinhados ao nosso objetivo da revisão, fizemos uma leitura criteriosa de todos os títulos, resumos e palavras-chave de todos os artigos encontrados. Em alguns momentos, suprimimos algum termo de pesquisa para que fosse possível encontrar alguma produção.

Mantivemos alguns artigos que, embora não apresentassem a combinação exata dos descritores que adotamos, estavam fortemente alinhados aos temas da nossa pesquisa. Procuramos manter, predominantemente, produções que estivessem alinhadas com o ensino de Física. Em algumas situações, interpretamos a possibilidade de o artigo contribuir, mesmo não estando perfeitamente alinhado com a busca. Durante o processo não contabilizamos os artigos que foram analisados, porém excluídos, por não estarem de acordo com os nossos critérios ou não contribuírem, de alguma forma na nossa revisão. Foram selecionados 43 artigos.

## 2.2 Seleção de artigos segundo metodologia adotada

A primeira busca por produções na plataforma ERIC , nos últimos 10 anos, utilizamos as expressões *electrical circuits, phisical, real and virtual experiments*, que resultou em dois trabalhos, *Augmenting Kirchhoff's Laws: Using Augmented Reality and Smartglasses to Enhance Conceptual Electrical Experiments for High School Students* (KAPP, 2019) e *Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles with MATLAB/Simulink Real-Time Windows Target* (ENIKOV, CAMPA, 2012).

No primeiro encontramos uma revisão de literatura, pesquisando durante a última década o desenvolvimento de mídias digitais modernas, como smartphones e tablets, abrindo novas possibilidades experimentais na educação STEM. Além desses dispositivos, agora quase onipresentes, os campos da realidade virtual (RV) e da realidade aumentada (RA) também fizeram um enorme progresso e alcançaram a educação. Neste artigo, foi apresentado um experimento onde os alunos do ensino médio usam óculos inteligentes e dados de medição, em tempo real, para estudar as leis dos circuitos de Kirchhoff em circuitos elétricos de corrente contínua.

No segundo temos um artigo apresentando um experimento prático de baixo custo para um curso clássico de controles de graduação para cursos de engenharia não elétrica. A configuração consiste em um pequeno motor elétrico (CC) conectado a uma das extremidades de uma haste de luz. O motor aciona uma hélice de 2 pol. e permite que a haste gire. A posição angular é medida por um potenciômetro conectado ao ponto de articulação. Uma placa de circuito personalizada produz a entrada de tensão controlada para o motor. A placa de destino é alimentada e se comunica com o PC, através de sua porta USB, usando uma porta RS-232 virtual. Um simples módulo MATLAB/*Simulink* foi criado para ler o ângulo do pêndulo e enviar um sinal de comando ao motor. O módulo é baseado no *software Windows Target* em tempo real, que permite uma taxa de amostragem de até 200 Hz. Os alunos são capazes de projetar e testar controladores clássicos de PID e fase *lead-lag*, bem como controladores modernos, incluindo o *design* do controlador de espaço de estado combinado com a linearização de *feedback*. Ainda é descrita uma série de tarefas de um semestre, que pode ser realizada sem a necessidade de um laboratório especializado ou de assistentes de ensino. O projeto foi testado em uma classe clássica de *design* de sistemas de controle de estudantes de engenharia mecânica de nível sênior. Também são apresentados os comentários dos alunos e os dados da pesquisa sobre a eficácia dos módulos.

Como encontramos um número muito limitado, utilizando as expressões escolhidas, efetuamos mudanças nas palavras-chaves para uma nova busca. Utilizamos então: *electrical circuits, physical, experiments, simulations*. Com esta mudança retornaram, além dos 2 já citados, 12 títulos. No primeiro, *Efficacy of a Virtual Teaching Assistant in an Open Laboratory Environment for Electric Circuits* (SALEHEEN et al., 2018), com o objetivo de fornecer um laboratório aberto, de

engenharia elétrica sob demanda, foi desenvolvido um Assistente virtual de ensino de laboratório inovador aberto (VOLTA) baseado em *software*. Esse assistente virtual baseado na *Web* fornece instruções de laboratório, vídeos de uso de equipamentos, assistência na simulação de circuitos e diagnóstico de implementação de *hardware*. O VOLTA permite que os alunos realizem experimentos de laboratório em qualquer lugar, conforme sua conveniência. Uma série de estudos foi realizada em uma seção experimental, de um tradicional laboratório de circuitos elétricos de nível básico, para responder à hipótese: os alunos ensinados com o VOLTA aprenderão tanto quanto os alunos que foram ensinados por um assistente de ensino humano? Os experimentos foram conduzidos usando um *design* pré-teste/pós-teste, e o desempenho do aluno foi avaliado usando ANOVA nas pontuações de ganho. A análise estatística revelou que o desempenho do aluno aumentou significativamente quando o VOLTA foi integrado em um laboratório fechado. O artigo conclui que o VOLTA pode apoiar os alunos em laboratórios abertos e fechados tão eficazmente quanto um assistente de ensino humano.

No segundo resultado da busca surge *An Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite Assisted Experiment for Studying Fundamentals of Series Resistance-Inductance-Capacitance Circuit* (RANA, KUMAR; 2017). O artigo apresenta um dos conceitos mais elementares para calouros da Engenharia Elétrica, que compreende os fundamentos do circuito Resistência-Indutância-Capacitância (RLC), ou seja, suas respostas no domínio do tempo e da frequência. Para um iniciante, geralmente, é difícil entender e apreciar o passo e as respostas de frequência, particularmente a ressonância. Este artigo propõe uma abordagem de ensino e aprendizagem amigável ao aluno, inculcando o versátil *software* multifacetado LabVIEW™ junto com o *hardware* do conjunto de instrumentação virtual do laboratório educacional, para estudar as respostas no domínio do tempo e frequência do circuito RLC. A abordagem proposta ofereceu um experimento interativo em laboratório, no qual os alunos podem modelar circuitos em circuitos de simulação e *hardware* na placa protótipo e comparar seus desempenhos. As simulações teóricas e os dados experimentais obtidos estão em concordância muito próxima, aumentando assim a convicção dos alunos. Finalmente, a metodologia proposta também foi submetida à avaliação dos resultados da aprendizagem com

base no *feedback* dos alunos, e uma pontuação média de 8,05 em 10, com um desvio padrão de 0,471 foi recebida, indicando a satisfação geral dos alunos. Publicado em 2017, no *European Journal of Engineering Education*.

Outro artigo encontrado com o título *Learning the Ropes with Electricity* (CARRIER, REX, 2013) apresenta um plano de aula que utiliza materiais como corda, água potável e canudos em uma atividade, em sala de aula, para ensinar aos alunos, do ensino fundamental, sobre circuitos elétricos, de uma maneira "prática/prática". Os alunos experimentam primeiro lâmpadas, fios e interruptores, depois realizam uma atividade simulando eletricidade, através de um circuito com uma corda e, finalmente, usam canudos e água para simular circuitos. Essas atividades ajudam aos alunos no aprendizado sobre modelos e imagens, na ciência, e abordam o corte transversal de energia e matéria: fluxos, ciclos e conservação.

Com o título *Introducing Creativity in a Design Laboratory for a Freshman Level Electrical and Computer Engineering Course Dunlap* (BURKETT et al., 2014) produzido na Universidade do Alabama, no currículo de Engenharia Elétrica e de Computação (ECE) desta mesma Universidade, os calouros são apresentados a conceitos e unidades elétricas fundamentais, técnicas de análise de circuitos CC, amplificadores operacionais, simulação de circuitos, *design* e ética profissional. O curso de dois créditos possui componentes de palestras e de laboratório que abordam esses tópicos. O laboratório foi usado, neste projeto, para proporcionar aos alunos uma experiência em *design*. Em uma das tarefas de laboratório, os alunos trabalham em equipes para projetar e construir produtos, dando atenção tanto à função quanto à estética. A criatividade é um atributo importante para os engenheiros que praticam sua profissão em uma sociedade global. O processo criativo foi exercido no laboratório de *design*, envolvendo progressivamente os alunos em várias etapas, incluindo: *brainstorming*, formação de um plano de construção, produção de representações esquemáticas e implementação do *design*. Em um período de dois anos, quatro exercícios de laboratório foram desenvolvidos para fornecer experiências de *design* em nosso curso introdutório de ECE. Os resultados da avaliação mostram que a maioria dos estudantes desfruta de vários aspectos do laboratório sobre *design* e criatividade. Ao mesmo tempo, eles consideram este laboratório um dos mais difíceis, devido à sua natureza aberta. Os alunos que experimentaram o laboratório de criação eram um pouco mais propensos

a declarar que continuariam na faculdade. No geral, a equipe do projeto concluiu que o laboratório criativo era valioso e aumentou a conscientização sobre o processo criativo.

*Electromagnetic Levitation of a Disc* (VALLE et al., 2012), um artigo que apresenta um experimento que explora a levitação de um disco de material ferromagnético na presença do campo magnético, produzido por um único eletroímã. Em comparação com o experimento clássico da levitação de uma esfera, a principal vantagem da bancada de laboratório proposta é que a distribuição uniforme do campo magnético no espaço de ar permite que cálculos analíticos sejam realizados. Este artigo ilustra a importante conexão entre teoria, modelagem matemática, *design*, simulação e verificação experimental, enfatizando as oportunidades educacionais que esse experimento traz para assuntos como controle, circuitos magnéticos, eletrônica de potência e conversão de energia eletromecânica. A proposta pode ser vista como uma introdução aos principais problemas da mecatrônica e está sendo usada como exemplo para despertar o interesse dos estudantes de graduação em engenharia elétrica.

*Teaching Behavioral Modeling and Simulation Techniques for Power Electronics Courses* (ABRAMOVITZ, 2011) sugere uma abordagem pedagógica para o ensino da modelagem comportamental de sistemas eletrônicos de potência de modo comutado, através de uma simulação por simuladores de circuito eletrônico de uso geral. A metodologia é orientada para estudantes de Engenharia Elétrica (EE) em nível de graduação, matriculados em cursos como "Eletrônica de Potência", "Eletrônica Industrial" ou similar. A abordagem proposta é demonstrada pelo exemplo de simulação de um sistema realista de correção de fator de potência ativo (APFC). O artigo discute a derivação de modelos comportamentais compatíveis com PSPICE/ORCAD, sua implementação de *software* e técnicas de simulação de análise de estabilidade, domínio do tempo rápido e domínio da frequência e estabilidade adequadas para o estudo virtual de sistemas de *feedback* não lineares complexos. Alguns "truques do comércio" também são sugeridos. O documento pode ser útil para instrutores de um curso denominado "*Virtual Power Electronics Laboratory*", que objetivam realizar um experimento de *software* em um sistema PFC.

Na revista brasileira de ensino em Física utilizando as expressões, circuitos elétricos, simulação e experimentos, não utilizamos o termo “física” como anteriormente, por se tratar de um periódico exclusivo, não obtivemos resultados. Então mudando a pesquisa dos termos, excluindo experimentos, encontramos 4 títulos, no período selecionado.

O primeiro título pesquisado: Dimensionalidade fractal e invariância de escala em circuitos elétricos AC e linhas de transmissão (SANTOS et al., 2019) trata da geometria fractal que fascina pela capacidade de descrever formas geométricas complexas e que usualmente estão presentes no mundo real. A dimensão fractal ou de *Hausdorff* é utilizada para descrever leis de invariância de escala, em que as funções autos similares seguem uma lei da forma  $f(sx) = s^d f(x)$ , sendo  $s$  o fator de escala. Intimamente relacionado ao problema da invariância de escala está o problema da determinação dos pontos fixos de um sistema, que matematicamente correspondem aos pontos que mapeiam o domínio de uma função para ele mesmo. Em sistemas dinâmicos correspondem ao valor para o qual a resposta do sistema, usualmente, converge e permanece estável. Na presente contribuição são apresentados os conceitos gerais associados à invariância de escala e ponto fixo, para prontamente empregá-los no problema de associação de impedâncias complexas em série e em topologia de escada. São discutidos, em detalhes, o problema da função de transferência de linhas de transmissão e o estudo de alguns gráficos de fluxo (*flow graphs*) de convergência das equações de recursividade.

O segundo título é uma introdução ao cálculo fracionário e suas aplicações em circuitos elétricos (ANDRADE, LIMA, 2018). Esta produção trata da extensão natural do cálculo diferencial, proposta inicialmente em uma troca de correspondências entre *l'Hôpital* e *Leibniz*, levando ao conceito da derivada de ordem fracionária. A aplicação da derivada fracionária permite uma melhor descrição da dinâmica de muitos sistemas reais, indo desde biosistemas até mercados financeiros, que apresentam efeitos de memória, dissipação e dimensionalidade fractal. No presente trabalho, os objetivos principais são a apresentação conceitual da derivada fracionária, algumas de suas definições, tanto na forma de diferenças finitas de *Grünwald-Letnikov*, quanto nas formas integrais de *Riemann-Liouville*, para posteriormente aplicá-las a problemas usuais da teoria de circuitos elétricos em circuitos do tipo RC e RL de ordem fracionária.

Como terceiro título, temos: Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples (ANDRADE, BARBOSA & SILVEIRA, 2018). O trabalho descreve resultados recentes (2018), obtidos com 32 alunos do ensino médio a respeito de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Utilizou-se um teste de 14 itens elaborado no IF-UFRGS e validado, após aplicação a alunos de engenharia da mesma universidade, em 1989. No presente experimento, 7 alunos foram selecionados para entrevistas clínicas, a partir do padrão de respostas no teste escrito. Os resultados do teste escrito foram comparados àqueles obtidos na UFRGS e analisados no contexto da literatura internacional pertinente ao tema. Confirmou-se a recorrência de concepções alternativas, já amplamente relatada por autores de diversos países em diferentes continentes. As entrevistas clínicas permitiram uma investigação mais detalhada deste fenômeno e sinalizaram a necessidade de novas abordagens didáticas no ensino de circuitos elétricos.

O quarto título: Uma associação do método *Peer Instruction* com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa (ARAUJO, SILVA, JESUS, 2017). Os autores, neste trabalho, discutem os resultados de uma sequência didática baseada no método *Peer Instruction* para o ensino de circuitos elétricos, aplicada em sete turmas de ensino médio integrado a cursos técnicos. Os dados obtidos, em dois testes iguais, antes e depois da aplicação do método, foram analisados a partir do ganho normalizado ou ganho de *Hake*, e comparados a trabalhos na literatura nacional e internacional. Os resultados revelam que seis delas apresentaram ganhos compatíveis com aqueles esperados para turmas submetidas a estratégias de aprendizagem ativa, de acordo com a literatura nacional. Por outro lado, somente os resultados apresentados por três turmas permitiriam classificá-las como turmas em que ocorreu aprendizagem ativa, considerando valores estabelecidos na literatura internacional. Nossos resultados corroboram à ideia de que a sequência didática pode ser utilizada como mediadora da relação ensino-aprendizagem para a discussão de circuitos elétricos.

Mais um título, Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de Eletricidade (MACÊDO, DICKMAN, 2012). Neste trabalho é relatado o processo de elaboração e aplicação de um Roteiro de Atividades, dirigido a professores do ensino médio, no qual são utilizadas simulações computacionais

para o ensino de temas selecionados de eletromagnetismo. As atividades foram desenvolvidas com base nos pensamentos pedagógicos de *Delizoicov*: Problematização inicial, Organização do conhecimento e Aplicação do conhecimento. O Roteiro de Atividades é constituído por treze atividades sobre circuitos simples e oito atividades sobre ímãs, corrente elétrica e indução eletromagnética. As atividades utilizam nas simulações Kit para Construção de Circuitos (KCC) e Laboratório de Eletromagnetismo, ambas desenvolvidas pelo projeto Tecnologia no Ensino de Física (PhET) da Universidade do Colorado e disponíveis gratuitamente *online*. O roteiro desenvolvido para introduzir o tópico “Condutores e isolantes” foi aplicado em uma turma do terceiro ano do ensino médio. A partir da análise dos dados, obtidos por meio da aplicação de um questionário pré e pós-teste, conclui-se que a aula baseada no simulador computacional promoveu uma mudança conceitual nos alunos, permitindo a assimilação das diferenças básicas entre materiais que são condutores ou isolantes. Publicado em 2012.

O título: Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral (DORNELES, ARAUJO & VEIT, 2012), mostra que os autores investigam formas de integração entre atividades computacionais e experimentais de modo a torná-las complementares, auxiliando os alunos a atingirem uma aprendizagem significativa de conceitos de física e compreenderem algumas ideias sobre modelos científicos. A proposta didática, fundamentada na teoria de Ausubel (1968) sobre aprendizagem significativa, na visão epistemológica de Bunge (1974) a respeito de modelos teóricos, e na teoria sociointeracionista de Vygotsky, foi aplicada a uma turma de licenciatura em Física da UFRGS, abrangendo todo o conteúdo de Eletromagnetismo em nível de Física Geral. Os resultados mostram que a integração proposta pode proporcionar aos alunos uma visão epistemológica mais adequada sobre o papel dos modelos teóricos em Física e das atividades computacionais e experimentais nos processos de aprendizagem, promovendo a interatividade e seu engajamento no próprio aprendizado, transformando a sala de aula em um ambiente propício para uma aprendizagem significativa. Publicado em 2012.

Reflexão sobre a eficácia do uso de um ambiente virtual no ensino de Física (ZARA, 2011). Segundo o autor, o processo de ensino aprendizagem de conceitos

físicos pode ser facilitado através do uso de experiências virtuais, uma vez que as simulações permitem ao estudante concentrar-se nos aspectos qualitativos do problema em contraste com a excessiva matematização da realidade física. Neste artigo é apresentado o relato de uma experiência de uso do pacote de simulações PhET (*Physics Educational Technology*) para o estudo das propriedades físicas de associações de capacitores submetidos a tensões elétricas. O estudo foi desenvolvido junto aos alunos da disciplina de Física do Curso de Ciência da Computação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Campus de Cascavel. O desempenho de dois grupos de estudantes na resolução de problemas de análise de circuitos foi acompanhado: um grupo fez uso de simuladores para execução de experiências virtuais, enquanto outro grupo concentrou-se nos métodos tradicionais de análise. Os resultados indicam que o grupo de alunos que não utilizou as experiências virtuais teve desempenho levemente superior.

O Uso de Simulações Computacionais como Ferramenta de Ensino e Aprendizagem dos Conceitos de Circuitos Elétricos (OLIVEIRA & FREIRE, 2011) é outro título utilizado. Segundo os autores o ensino de Ciências é um mecanismo importante na preparação dos estudantes que estão no ensino médio e que vão se submeter ao ENEM, em particular, o ensino de Física. É descrito neste artigo uma experiência pedagógica, em que foi colocada em prática uma proposta metodológica para o ensino de Física, na educação básica. A proposta é embasada nos pressupostos teóricos de David Ausubel e foi desenvolvida com uma turma de terceiro ano do ensino médio em uma escola pública na cidade de Santa Luzia/PB. A proposta consiste na utilização de simulações computacionais para o ensino de circuitos elétricos, cuja finalidade maior foi tornar as aulas interativas e mais atraentes, através da exploração de simulações computacionais. Sabemos que existem muitas dificuldades na aprendizagem dos conceitos relacionados a esta parte da Física e que a utilização de simulações no ensino já vem sendo indicada por muitos autores. As simulações permitem ao estudante centrar-se na essência do problema, tornando mais eficiente o entendimento dos conteúdos propostos em cada situação. Além disso, a utilização de simuladores permite o estudo de situações que, na prática, seriam difíceis ou até mesmo inviáveis de serem realizadas, permitindo, desta forma, uma melhor compreensão dos fenômenos. Propomos a realização por meio da utilização de um “kit” virtual, que permite a

simulação e construção de circuitos elétricos, desenvolvido pelo projeto Tecnologia no ensino de Física (PhET), da Universidade do Colorado. Publicado em 2011.

No título Construção de conceitos de eletricidade nos anos iniciais do ensino fundamental com uso de experimentação virtual (LIMA & TAKAHASHI, 2013), os autores desenvolvem e aplicam uma metodologia de ensino para crianças do quarto ano do ensino fundamental, com o objetivo de viabilizar o início da construção de alguns conceitos de eletricidade a partir do uso de um experimento virtual. A análise do desenvolvimento das concepções dos estudantes, durante as atividades realizadas, mostrou que a experimentação virtual propiciou o desenvolvimento de algumas capacidades cognitivas e exibiu indícios de formação dos conceitos em nível formal. Publicado em 2013.

Caracterização dos focos de estudo da produção acadêmico-científica brasileira sobre experimentação no ensino de Física (WESENDONK & TERRAZZAN, 2016). Neste artigo, os autores apresentam uma caracterização da produção acadêmico-científica recente sobre a pesquisa, bem como de resultados construídos no âmbito dessas investigações. Para isso, utilizaram como fontes de informações 10 periódicos Acadêmico-Científicos nacionais, com publicações disponíveis em *websites*. Identificaram, mediante consulta nesses periódicos, 147 trabalhos publicados no período de 2009 a 2013, que apresentavam como foco principal de investigação a experimentação. Classificaram os trabalhos identificados em categorias estabelecidas *a priori* e em subcategorias estabelecidas *a posteriori*. Ao final, ficou constatado que a frequência relativa de artigos que tratam sobre essa temática é baixa (9%). Além disso, na maior parte das produções não há um debate aprofundado de aportes teóricos referentes à utilização da experimentação no ensino. Isso faz com que a contribuição dessas produções para o desenvolvimento de discussões conceituais a respeito das potencialidades e das limitações de uso da experimentação no ensino de Física seja relativamente pequena. Produzido em 2016.

Práticas experimentais de Física a distância: Desenvolvimento de uma aplicação com Arduino para a realização do Experimento de Millikan remotamente (BARROS & DIAS, 2019). Os autores apresentam a elaboração de um sistema que permite o acesso remoto e controle didático de um experimento de física através da

*internet*. Mais especificamente, descrevem um sistema de instrumentação remota para determinação do valor da carga elementar através do método de Millikan. O sistema é constituído de elementos físicos (*hardware*) e lógicos (*software*) integrados à uma plataforma Arduino para o controle e interfaceamento com o computador. A avaliação do protótipo foi realizada em dois testes, envolvendo um professor da rede pública de ensino médio e 14 alunos também da rede pública de ensino médio. Os resultados quantitativos e qualitativos apontam para a viabilidade de implementação do recurso didático. Publicado em 2019.

Estudo comparativo de um experimento de eletrodinâmica: Laboratório Tradicional x Laboratório Remoto (VILELA, GERMANO & MONTEIRO, 2019). Este artigo apresenta um estudo comparativo da aplicação de um experimento de física de eletrodinâmica básica, quando realizado num Laboratório Tradicional (LT) e num Laboratório Remoto (LR) via *internet*. Para analisar e validar os resultados, os autores realizaram uma análise estatística do ganho de aprendizagem, tamanho do efeito da metodologia aplicada, confiabilidade do questionário de pré-teste e pós-teste e análise da variância das respostas dos estudantes. A pesquisa foi realizada com uma amostra de 304 alunos, de cinco escolas distintas, de ensino médio, da cidade de Guaratinguetá do estado de São Paulo – Brasil. Para manter a fidelidade do estudo, a construção do experimento de eletrodinâmica foi a mesma, tanto no formato tradicional quanto no formato remoto. Os alunos de cada uma das cinco escolas, foram separados em turmas A e B e submetidos a um pré-teste, contendo 10 questões para verificação do conhecimento inicial sobre o tema. Em sequência, os alunos da turma A tiveram acesso ao LT, enquanto os da turma B ao LR, para realização do experimento. Ao final do processo, foi aplicado um pós-teste contendo 10 questões para verificação do conhecimento após o estudo experimental. A estatística dos resultados mostrou implicações equivalentes entre as turmas A e B no processo de aprendizagem em todas as escolas analisadas. Publicado em 2019.

Transistores de alta mobilidade eletrônica (HEMTs): Princípios de operação e características eletrônicas (ROMERO, RAGI & MANZOLI, 2015). Segundo os autores, neste título, o ensino de Física dos dispositivos semicondutores é absolutamente fundamental para o desenvolvimento da microeletrônica. Contudo, cursos introdutórios nesta área muitas vezes se limitam a apresentar modelos analíticos excessivamente simplificados, que possibilitam uma compreensão

intuitiva, mas incapazes de captar toda a complexidade dos dispositivos atuais. De outro lado, em cursos mais avançados, modelos numéricos rigorosos são desenvolvidos, mas a visão mais intuitiva é por vezes perdida. Neste trabalho, os autores buscam contribuir para que o iniciante seja capaz de realizar a conexão entre as duas abordagens (modelagem analítica vs. numérica). Para tal, desenvolvem, do ponto de vista didático, um estudo relativo às características eletrônicas de Transistores de Alta Mobilidade Eletrônica (HEMTs), comparando resultados obtidos com modelos analíticos simplificados, como aqueles fornecidos por uma modelagem numérica rigorosa, baseada no método das diferenças finitas. Os resultados são confrontados com resultados experimentais disponíveis, e são estabelecidas as condições de validade do modelo analítico. Publicado em 2015.

Uma busca com os mesmos termos utilizados na base Eric, serviu também de pesquisa na base Scopus.

Apresentamos, a seguir, os artigos que consideramos estarem, de certa forma, alinhados com nossa pesquisa.

No título *Multiphysics Modeling and Simulation of 3-D Cu-Graphene Hybrid Nanointerconnects* (SUN & JIAO, 2019), segundo os autores, as nanointerconexões híbridas de Cu-grafeno (Cu-G) são soluções alternativas de interconexão promissoras para o desenvolvimento da futura tecnologia de circuitos integrados. No entanto, a modelagem e simulação de seu desempenho elétrico de alta frequência continua sendo um problema desafiador. Para permitir o projeto de interconexões complicadas de Cu-G, propomos um algoritmo de modelagem e simulação multifísica para estimular as equações de Maxwell, a relação de dispersão do grafeno e a equação de Boltzmann. Também desenvolvemos um esquema de marcha, no tempo incondicionalmente estável, para remover a dependência do tempo no espaço, para uma simulação eficiente do sistema *multiscaled* e multifísico. Experimentos numéricos extensos e comparações com medições validaram a precisão e a eficiência do trabalho proposto. Este artigo também foi aplicado para prever o efeito de diafonia e atraso de propagação de nanointerconexões de cobre encapsuladas em grafeno. Publicado em 2019. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*.

Próximo título: *Using a computer game to teach circuit concepts* (KORTEMAYER et al., 2019). Descrevemos o desenvolvimento e o uso de *Kirchhoff's Revenge*, um jogo de computador disponível gratuitamente, projetado para ensinar leis de circuito em cursos introdutórios de Física nos níveis de ensino médio e de graduação. Neste estudo de caso, descrevemos os princípios de *design*, o esforço envolvido no desenvolvimento do jogo, bem como as experiências e o *feedback* dos jogadores. Também relatamos resultados de testes de conceito para cenários independentes do tempo (baterias, fios e lâmpadas), onde descobrimos que os ganhos de aprendizado conceitual ao jogar o jogo sozinhos são semelhantes aos da instrução tradicional, mas inferiores a uma combinação de instrução com experimentos laboratoriais físicos investigativos. Publicado em 2019. *European Physical Society*.

*Work in progress: LABSIM: An ancillary simulation environment for teaching power electronics fundamentals* (ELSHAZLY & TIMORABADI, 2019), esse título trata da conversão de energia no modo de comutação como um dos tópicos mais cruciais em um currículo moderno de sistemas de energia elétrica de graduação. A importância e a onipresença dos conversores de energia no modo comutador, no entanto, são comparadas à sua complexidade. Espera-se que os alunos tenham desenvolvido uma compreensão rigorosa de circuitos elétricos, física de semicondutores, processamento de sinais, teoria de controle, lógica digital e matemática das ondas, antes de serem introduzidos na eletrônica de potência. Os alunos de nossa instituição são apresentados a conceitos fundamentais em palestras e depois os colocam em exercício em laboratórios práticos, limitados a experimentos de três horas de duração, realizados em um ambiente estritamente controlado devido a questões de segurança. Isso deixa pouco espaço para a exploração tentativa e erro independente. Desenvolvemos o LabSim, uma implementação de *software* funcional pronta para uso dos conversores de modo comutado estudados em sala de aula, a fim de proporcionar aos alunos a oportunidade de explorar praticamente os fundamentos da eletrônica de potência e experimentar no seu próprio ritmo. O LabSim é implementado no Simulink usando blocos visuais do PLECS, uma abordagem que garante que os alunos não precisam gastar tempo significativo, aprendendo novos *softwares* ou navegando em modelos matemáticos complexos. Uma execução piloto do LabSim foi realizada ao longo de

um semestre, com os alunos recebendo os modelos no ritmo da aula e do material de laboratório relevantes. Apresentamos uma descrição detalhada da implementação do LabSim e as deficiências específicas que ele visa solucionar em nosso curso introdutório de eletrônica de potência. Também apresentamos e analisamos os resultados positivos do projeto piloto do LabSim, conforme indicado por uma pesquisa de alunos, enfatizando o impacto do aprendizado e o gerenciamento da carga de trabalho. Publicado em 2019. *American Society for Engineering Education*.

*Multiphysics vibration FE model of piezoelectric macro fibre composite on carbon fibre composite structures* (JIA et al., 2018). Neste artigo é apresentado um modelo de elemento finito (FE) desenvolvido utilizando o *software* comercial FE COMSOL para simular o processo multifísico de coleta de energia de vibração piezoelétrica (PVEH), envolvendo os comportamentos mecânicos e elétricos dinâmicos do compósito de macrofibra piezoelétrico (MFC) em estruturas compósitas de fibra de carbono. A integração do MFC permite recursos de captação, detecção e atuação de energia, com aplicações encontradas em energia aeroespacial, automotiva e renovável. Há uma lacuna existente na literatura sobre modelagem da resposta dinâmica da PVEH em relação aos dados de vibração do mundo real. A maioria das simulações foram modelos semianalíticos do MATLAB, que não são específicos da geometria ou simulações básicas de FE limitadas à análise senoidal. No entanto, o uso de dados representativos de vibração do ambiente é crucial para prever o comportamento prático para o desenvolvimento industrial. A física de dispositivos piezoelétricos, envolvendo mecânica dos sólidos e eletrostática, foi combinada com o circuito elétrico definido neste modelo de FE. A estrutura foi dinamicamente excitada por arquivos de dados de vibração interpolados, enquanto as propriedades ortotrópicas do material para MFC e compósito de fibra de carbono foram definidas individualmente para precisão. Os resultados da simulação foram validados por experimentos com desvio <10%, proporcionando confiança para o modelo de EF multifísico proposto para projetar e otimizar estruturas de compósitos inteligentes PVEH. Publicado em 2018. Elsevier Ltd.

*Suppressing synchrony in an array of the modified FitzHugh-Nagumo oscillators by filtering the mean field* (ADOMAITIENËA, BUMELIENËB, E

TAMAŠEVIČIUSC, 2019). Neste, os autores descrevem um método de controle para dessincronizar uma matriz de N osciladores *FitzHugh-Nagumo* modificados, acoplados em campo médio. A técnica é baseada na filtragem do campo médio amostrado no nó de acoplamento. O filtro RC ramificado de primeira ordem é composto por N resistores de acoplamento e um único capacitor. A técnica pode ser aplicada a matrizes em uma ampla faixa de força de acoplamento (em geral, força desconhecida) entre os osciladores individuais. Simulações numéricas e experimentos de *hardware* com um circuito elétrico imitando a dinâmica do modelo foram realizados. Publicado em 2019 no *Journal of Applied Physics*.

Neste título, *Development and validation of a multiphysics coupling model of the pulsed electromagnetic inductive valve for planar pulsed inductive plasma thruster* (GUO et al., 2019), os autores descrevem uma válvula indutiva eletromagnética pulsada, que foi desenvolvida para alcançar a deposição inicial correta do sopro de gás propulsor para o propulsor de plasma indutivo pulsado planar. O artigo tem como objetivo descrever o método de modelagem da válvula. Os efeitos físicos mais significativos envolvidos no processo de operação da válvula são descritos pelo modelo elétrico, magnético, mecânico e pneumático. Esses modelos físicos são então interligados com base nos acoplamentos entre eles para formar um modelo de acoplamento multifísico completo. Para validar o modelo proposto, simulações e experimentos são implementados para a válvula protótipo em diferentes condições operacionais. As características de resposta e as características de rendimento previstas pelo modelo, concordam com os dados experimentais. Os resultados demonstram que o modelo proposto pode ser aplicado com sucesso para capturar, com precisão, o desempenho principal da válvula. O princípio do procedimento de análise é aplicável a outras válvulas eletromagnéticas deste tipo. Publicado em 2018. *IEEE Transactions on Plasma Science*.

*Circuit level model of miniature circuit breakers* (BIZZARRI et al., 2018). A proposta dos autores, neste título, foi apresentar um modelo de caixa preta contendo disjuntores em miniatura com um fundo físico realista. Em conformidade com a física básica, o *know-how* de engenharia e as simulações de arco magneto-hidrodinâmico, dois conjuntos de equações algébricas diferenciais são derivados para modelar a dinâmica química do plasma do ar e sua interação com o ambiente físico do disjuntor (formato da câmara, placas divisórias e deslocamento do arco). É proposto

um modelo elétrico numericamente eficiente e preciso, nos terminais do disjuntor. Seu comportamento é mostrado comparando simulações com experimentos de curto-circuito. As aplicações estão no nível do sistema, incluindo simulação de redes com vários disjuntores, como transientes de comutação multifásicos, seletividade e coordenação com fusíveis, outros disjuntores e dispositivos de proteção contra surtos. Publicado em 2018. *IEEE Transactions on Power Delivery*.

*Influence of Temperature on the Pressure Distribution Within Press Pack IGBTs* (DENG, 2018), este artigo começa descrevendo que a tecnologia de embalagem *press pack* (PP) foi aplicada a transistores bipolares de porta isolada (IGBTs) para aplicações de alta tensão e alta densidade de potência nos últimos anos. A distribuição de pressão nos IGBTs PP é muito importante porque afeta as resistências de contato elétrica e térmica, a capacidade de ciclo térmico e a classificação de corrente de curto-circuito. Ainda é descrito que muita pressão danifica mecanicamente o *chip* e pouca pressão aumenta a resistência de contato térmico, o que eventualmente leva a danos térmicos no *chip*. O artigo ainda propõe um modelo multifísico de elementos finitos acoplado a um campo elétrico, campo térmico e campo mecânico para analisar a distribuição de corrente do coletor, distribuição da pressão e distribuição da temperatura da junção nos IGBTs PP. As variáveis de acoplamento mais importantes, como resistências de contato elétricas e térmicas, para este modelo multifísico acoplado são calculadas ou medidas por experimento através de um único submódulo de *chip* de diodo IGBT/recuperação rápida. Com base nesse modelo multifísico, é discutida a influência da alta temperatura gerada pela dissipação de energia do *chip* na distribuição de pressão nos IGBTs de PP (na fase de aquecimento) e, em seguida, comparada com a distribuição de pressão na fase de fixação. Os resultados mostram que a distribuição da pressão dentro dos IGBTs PP na fase de aquecimento é extremamente desigual e diferente do valor na fase de fixação. Além disso, o modelo mecânico e suas condições de contorno são verificados através dos resultados experimentais da distribuição de pressão na fase de fixação, que é medida com base no filme de pré-escala Fuji e no banco de ensaios de fixação. Com base nos resultados da simulação e experimental, é proposto uma otimização do eletrodo coletor e do pedestal para melhorar a distribuição da pressão nos IGBTs PP na fase de aquecimento. Publicado em 2018. *IEEE Transactions on Power Electronics*.

*Using analog instruments in Tracker video-based experiments to understand the phenomena of electricity and magnetism in physics education.* (MARÍN, BACILIO & ROSAS, 2018). Os autores deste título escolhem o *Tracker* que é um *software freeware*, projetado para usar imagens gravadas em vídeo do movimento de objetos, como dados de entrada, e tem sido aplicado principalmente no ensino de física para analisar e simular fenômenos físicos em mecânica. Neste trabalho, foi relatado a aplicação do *Tracker* no estudo de experimentos em eletricidade e magnetismo usando instrumentos analógicos para medições de sinais elétricos. Como somos incapazes de rastrear diretamente o movimento dos elétrons em circuitos elétricos, os desvios angulares dos ponteiros dos instrumentos foram capturados em vez disso. As variáveis cinemáticas (posição angular em função do tempo) tiveram que estar relacionadas às elétricas (tensões e correntes em função do tempo). Dois experimentos bem conhecidos no ensino de Física, o circuito RC para carregar e descarregar um capacitor e a indução eletromagnética de Faraday, foram escolhidos para ilustrar os procedimentos. O terceiro experimento analisado e modelado com o *Tracker* foi o conhecido retardo eletromagnético de ímãs em forma de disco ou cilindro que caem dentro de tubos metálicos não magnéticos. Em vez de tubos metálicos, usamos uma placa de alumínio com um arranjo de dois ímãs, em forma de paralelepípedo, caindo paralelos à placa. Nos três casos estudados, os resultados da simulação experimental e do *Tracker* concordaram muito bem. Esses resultados mostram que é possível explorar o potencial do *software Tracker* em outras áreas que não a mecânica, onde há sinais elétricos. Os experimentos são baratos e simples de realizar, e são adequados para o ensino médio e os cursos de graduação introdutórios em eletricidade, magnetismo e eletrônica. Propomos o uso do *Tracker* combinado com dispositivos de medição analógicos para explorar ainda mais suas aplicações em eletricidade, magnetismo, eletrônica e em outras ciências experimentais em que os sinais elétricos estão envolvidos. Publicado em 2018, *European Physical Society*.

Em *High speed electrical transmission line design and characterization*, os autores desenvolvem um modelo de circuito de linha de transmissão baseado em física do acelerador de potência pulsada Z (BATES et al., 2017). A máquina Z de 33 m de diâmetro gera um pico de energia elétrica de até 85 TW e fornece até 25 MA para uma carga física. O modelo de circuito é usado para projetar e analisar

experimentos conduzidos em Z. O modelo consiste em 36 redes de elementos do circuito da linha de transmissão e resistores que representam cada um dos módulos do Zs 36. O modelo de cada módulo inclui um gerador Marx, capacitor de armazenamento de energia intermediária, comutador de gás acionado por laser, linha de formação de pulso, comutadores de água com quebra automática e linhas de transmissão com três placas. O modelo de circuito também inclui elementos que representam o enrolamento de água Zs, a pilha do isolador de vácuo, quatro linhas de transmissão de vácuo externas isoladas magneticamente (MITLs) paralelas, o enrolamento de vácuo de coluna dupla, o MITL de vácuo interno e a carga física. Dentro do sistema de linha de transmissão a vácuo, o modelo realiza cálculos analíticos de perda de corrente. Para calcular a perda, o modelo simula os seguintes processos: (i) emissão de elétrons das superfícies do cátodo MITL sempre que um limite de campo elétrico for excedido; (ii) perda de elétrons nos MITLs antes do estabelecimento do isolamento magnético; (iii) fluxo de elétrons emitidos pelos cátodos MITL externos após o estabelecimento do isolamento; (iv) fechamento de hiatos MITL ânodo-cátodo (AK) devido à expansão do plasma do cátodo; (v) perda de energia para condutores MITL operados em altas densidades de corrente linear; (vi) aquecimento das superfícies do ânodo MITL devido à corrente de condução e deposição de energia cinética eletrônica; (vii) emissão de íons aprimorada pela carga espacial negativa das superfícies do ânodo MITL sempre que um limite de temperatura da superfície do ânodo tiver sido excedido; e (viii) fechamento de lacunas no MITL AK devido à expansão do plasma do ânodo. Foram realizadas simulações de circuito de 52 experimentos Z com uma variedade de configurações de aceleradores e históricos de tempo de impedância de carga. Para esses experimentos, a aparente perda de corrente fracionária varia de 0% a 2%, experimentos com Física de Alta Energia (HEP) têm requisitos exclusivos para comunicação de dados. Altas velocidades de dados, combinadas com restrições extremas aos materiais permitidos, levam a linhas de transmissão personalizadas. Este artigo apresentará a teoria do projeto de linhas de transmissão, simulação e métodos de teste. Serão estudadas opções de projetos de linhas de transmissão como flexíveis e PCB rígidos, bem como cabos. Os pacotes de *software* de Análise de Elementos Finitos (FEA) simulam a dissipação de energia e a qualidade dos sinais transmitidos. As técnicas de caracterização da reflectometria no domínio do tempo e medidas no domínio da frequência são discutidas e comparadas. O teste da

taxa de erros de bits é apresentado e suas limitações para o *design* discutidas. Métodos para melhorar a qualidade, como três tipos diferentes de equalização, são descritos. Publicado em 2017. *Journal of Instrumentation*.

*Energy consumption analysis of constant voltage and constant current operations in capacitive deionization* (QU et al., 2016). Os autores relatam os estudos para comparar o consumo de energia de uma célula CDI em operações de tensão constante (CV) e corrente constante (CC), com foco na compreensão da física subjacente dos padrões de consumo. A comparação é realizada sob condições em que as operações CV e CC resultam nas mesmas quantidades de carga de entrada e em durações de fase de carga idênticas. Apresentamos dois modelos de circuitos elétricos para simular o consumo de energia na fase de carregamento: um é um modelo de circuito RC simples e o outro é um modelo de circuito de linha de transmissão. Foi construída e testada uma célula CDI para validar o modelo de linha de transmissão e realizada uma série de experimentos para comparar a operação CV *versus* CC sob a condição de carga aplicada igual a duração da carga. As experiências mostram que o modo CC consome energia a 33,8 kJ por mole de íons removidos, o que representa apenas 28% do consumo de energia no modo CV (120,6 kJ/mol), mas atinge níveis semelhantes de remoção de sal. Juntos, os modelos e o experimento sustentam nossa principal conclusão de que o CC é mais eficiente em termos de energia que o CV, com igual carga e duração de carregamento. Os modelos também sugerem que o menor consumo de energia do CC no carregamento é devido à sua menor dissipação resistiva. Publicado em 2016. *Desalination*.

*Experimental Benchmarking of Electrical Methods and  $\mu$ -Raman Spectroscopy for Channel Temperature Detection in AlGaIn/GaN HEMTs* (SODAN et al., 2016). Neste artigo, vários métodos experimentais (elétricos e ópticos) para detecção de temperatura de canal em transistores de alta mobilidade eletrônica de AlGaIn/GaN foram estudados e comparados experimentalmente. Este artigo abrange quatro métodos elétricos (dois métodos de caracterização DC, medição de condutância de saída de baixa RF e técnica de detecção resistiva a portas) e um método óptico (espectroscopia micro-Raman), que tem sido frequentemente usado para detectar temperatura em transistores AlGaIn/GaN. As experiências são realizadas em estruturas de teste idênticas em condições de nível de *wafers*, bem como em matrizes

simples, montadas na placa de circuito impresso para densidades de potência de até 12 W/mm. Devido a uma grande distribuição de temperatura ao longo do canal dos dispositivos e devido à física na qual cada método se baseia, foi demonstrado que as diferenças entre as temperaturas medidas usando os diferentes métodos podem chegar a 50%. Resultados experimentais são discutidos e comparados com TCAD acoplada e simulações de modelagem de elementos finitos, onde acordos significativos foram observados. Publicado em 2016. *IEEE Transactions on Electron Devices*.

Aprendizagem significativa de conceitos de circuitos elétricos utilizando um ambiente virtual de ensino por alunos da educação de jovens e adultos (GONZALES & ROSA, 2016). Neste trabalho é apresentada a elaboração, aplicação e avaliação de uma sequência didática que trabalhou os conceitos fundamentais de eletricidade, como a intensidade da corrente elétrica, a resistência elétrica e a associação de resistores na Educação de Jovens e Adultos (EJA). A elaboração da sequência didática e das ferramentas de coleta de dados foi guiada pela Teoria da Aprendizagem Significativa e pelo Modelo de Mudança Conceitual. O material instrucional utilizado na sequência didática foi um Ambiente Virtual de Ensino (AVE), contendo assuntos relacionados aos circuitos elétricos simples. A metodologia utilizada teve natureza qualitativa e quantitativa, com utilização de grupos de controle (aulas tradicionais) e experimental (grupo que utilizou o AVE). A coleta de dados ocorreu em três etapas: entrevista clínica semiestruturada, teste dissertativo com imagens que representam os objetos reais dos circuitos elétricos simples e teste dissertativo com imagens dos circuitos representadas por símbolos utilizados na física, antes e depois da aplicação da sequência didática proposta. Os resultados, tanto quantitativos quanto qualitativos, apontam uma diferença significativa dos pós-testes do grupo experimental em relação aos pós-testes do grupo controle, mostrando indícios de aprendizagem significativa pelo grupo que utilizou o AVE. Publicado em 2014. *Investigações em Ensino de Ciências*.

*Electrical network reliability and system blackout development simulations* (NEPOMNYASHCHIY, 2015). Neste título, as principais regulamentações do modelo do autor de confiabilidade da rede elétrica e desenvolvimento de blecaute do sistema são declaradas. Este modelo permite determinar, analiticamente, os principais parâmetros técnicos e econômicos indicadores de confiabilidade da

operação da rede elétrica, levando em consideração as deslocções de energia geradas e cargas elétricas, condições de operação e estabilidade dinâmica e estática da operação, enquanto calcula, simultaneamente, as correntes de curto-circuito. O modelo também considera modos de fase aberta em curto-circuito monofásico e permite escolher as condições de operação mais eficientes. Os cálculos são concluídos com uma estimativa das médias anuais de suboferta de energia e perdas econômicas de clientes, devido as interrupções no fornecimento de energia. Publicado em 2015. *Power Engineering Reliability and Security*.

*Selection of efficient control circuits for a tram traction electric drive on the basis of development of a simulation model* (SAFIN, 2013). O autor analisa o desenvolvimento de um modelo de simulação para um acionamento elétrico de tração em bonde, com motores assíncronos usando o programa MATLAB no aplicativo *SimPowerSystems*. Publicado em 2015. *Russian Electrical Engineering*.

*Fundamental solutions to electrical circuits of non-integer order via fractional derivatives with and without singular kernels* (AGUILAR, 2018). Este artigo trata da construção de soluções analíticas de circuitos elétricos RC e RLC de ordem não inteira, envolvendo derivadas de tempo fracionário do tipo Liouville-Caputo, Caputo-Fabrizio-Caputo, Atangana-Baleanu-Caputo, Atangana-Koca-Caputo e derivado conformável fracionário em sentido Liouville-Caputo. Esses derivativos fracionários envolvem lei de potência, decaimento exponencial ou função de Mittag-Leffler. Para cada equação com a ordem  $\alpha \in (0, 1)$ , apresentamos a solução exata usando as propriedades do operador de transformação de Laplace, juntamente com o teorema da convolução. Simulações numéricas são apresentadas para avaliar a diferença entre esses operadores. Com base na lei de potência, decaimento exponencial ou função de Mittag-Leffler, foram obtidos novos comportamentos para a tensão e a carga. Publicado em 2018. *The European Physical Journal Plus*.

*History of Physics as a Tool to Detect the Conceptual Difficulties Experienced by Students: The Case of Simple Electric Circuits in Primary Education* (LEONE, 2014). O presente artigo defende o uso da História da Ciência, no ensino de ciências do ensino fundamental, por meio de um estudo de caso no campo da eletricidade. Neste estudo, que fornece evidências históricas e experimentais, várias dificuldades conceituais enfrentadas pelos físicos do início do século XIX são mostradas como

uma ferramenta útil para detectar as concepções dos alunos do 5º ano, sobre os circuitos elétricos simples. Este resultado foi obtido através da administração de esquemas, mostrando a situação circuital inspirada nos experimentos do início dos anos 1800 sobre os efeitos da corrente elétrica na eletrólise da água e no comportamento das bússolas magnéticas. Também é mostrado que a detecção de ideias alternativas dos alunos sobre corrente elétrica, em um circuito, é altamente dependente da metodologia da pesquisa (perguntas e desenhos em aberto, item de múltipla escolha, trabalho com placas de conexão e histórico de tarefas científicas foram considerados neste estudo) e que o chamado “modelo unipolar” do circuito elétrico é mais difundido do que se reconheceu anteriormente. Finalmente, um modelo híbrido altamente significativo de corrente elétrica é identificado. Publicado em 2014. *Science & Education*.

*Digital model of a vacuum circuit breaker for the analysis of switching waveforms in electrical circuits* (BUDZISZ, WRÓBLEWSKI, 2016). Neste artigo os autores defendem o uso da História da Ciência, no ensino de ciências, no ensino fundamental por meio de um estudo de caso no campo da eletricidade. Neste estudo, que fornece evidências históricas e experimentais, várias dificuldades conceituais enfrentadas pelos físicos, do início do século XIX, mostram-se uma ferramenta útil para detectar as concepções dos alunos do 5º ano sobre o sistema elétrico simples. O artigo apresenta um método para modelar um disjuntor ATP/EMTP, os resultados da verificação da correção da operação do modelo de disjuntor digital desenvolvido e sua utilidade prática para a análise de sobretensões e sobrecorrentes que ocorrem em circuitos elétricos capacitivos comutados, e, também, exemplos de simulações digitais de sobretensões e sobrecorrentes em circuitos elétricos selecionados. Publicado em 2016. *The European Physical Journal*.

*A charge sharing study of silicon microstrip detectors with electrical characterization and SPICE simulation* (QIAO, 2019). Os autores descrevem que os detectores de microfita de silicone com tiras flutuantes têm eficiência de coleta de carga não uniforme. Essa não uniformidade depende da posição e do ângulo do incidente e deve ser corrigida durante a reconstrução da carga. Um novo algoritmo de reconstrução de carga, chamado algoritmo de compartilhamento de carga, é introduzido para corrigir essa não uniformidade. Esse algoritmo pressupõe que a não uniformidade na eficiência da coleta de carga se deva ao compartilhamento de

carga, através dos capacitores e resistores dos detectores de microtira de silicone. Essa suposição de compartilhamento de carga é testada neste documento usando caracterização elétrica e simulação SPICE. Publicado em 2019. *Advances in Space Research*.

*RC models of a constant phase element* (QIAO, 2013). O artigo descreve modelos de um elemento de fase constante que consiste em componentes R e C passivos. Os modelos oferecem qualquer argumento de impedância de entrada (fase) entre  $-90^\circ$  e  $0^\circ$  em uma faixa de frequência selecionável que cobre várias décadas. O procedimento de projeto possibilita escolher valores de fase média, ondulação de fase, largura de banda de frequência e número total de elementos R e C. O modelo pode cobrir três décadas de frequência com apenas cinco resistores e cinco capacitores. Os modelos podem ser utilizados para a realização prática de diferenciadores e integradores analógicos fracionários, osciladores fracionários, redes caóticas ou para simulação analógica de sistemas de controle fracionários. Publicado em 2013. *International Journal of Circuit Theory and Applications*.

A evolução do entendimento dos estudantes sobre o funcionamento do circuito elétrico simples em uma estrutura curricular recursiva (COELHO & BORGES, 2011). Os autores relatam um estudo sobre o entendimento dos estudantes sobre a física envolvida no funcionamento de um circuito elétrico simples. Detiveram-se a investigar: (i) a mudança no entendimento dos estudantes sobre o funcionamento de circuito elétrico simples; (ii) o patamar de entendimento deles, sobre essa temática, ao final do terceiro ano. Os autores desenvolveram um instrumento qualitativo e criaram um sistema categórico hierarquizado constituído de quatro modelos sobre circuito elétrico simples. O mesmo instrumento foi aplicado em duas ocasiões distintas, em um intervalo de 10 meses, dessa forma tiveram acesso ao entendimento dos estudantes, ao iniciar e ao encerrar o ano letivo. Os resultados indicam que os estudantes, ao encerrar o terceiro ano possuíam maior representatividade no modelo que reconhece a diferença de potencial de uma fonte como agente responsável pela corrente elétrica estabelecida no circuito. Destacaram também as evoluções dos estudantes em direção ao modelo mais acurado do que um sistema categórico. Publicado em 2011. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*.

Um jeito de fazer hipermídia para o ensino de Física (SILVA, 2012). Neste trabalho, apresentam-se as bases teóricas e metodológicas do processo de elaboração e de produção de materiais didáticos apoiados em recursos computacionais tais como animações, simulações, jogos e laboratórios virtuais, para uso no ensino de Física. O material foi construído com recursos de hipermídia, que une os conceitos de não linearidade, hipertexto e multimídia (animações, simulações, sons) numa só linguagem. O conceito de hipermídia pode ser também associado ao conceito de objeto de aprendizagem, o que permite a criação de materiais digitais com diferentes granularidades que vão desde uma atividade até um curso completo. Se o material didático for criado com esta preocupação, ele pode ser utilizado em diferentes ambientes de aprendizagem, sob diferentes plataformas, e fornece uma base para que a avaliação de seu uso possa ser feita também em diferentes situações didáticas. Os temas abordados fazem parte de conteúdos discutidos no ensino médio e nas disciplinas de Física básica do ensino superior. O material encontra-se disponível em página aberta na *internet* e alguns deles, também podem ser acessados a partir do banco de objetos educacionais do MEC. Publicado em 2012. Caderno Brasileiro de Ensino de Física.

Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física (HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2016). Segundo os autores, a forma dissociada como teoria e prática são frequentemente tratadas no ensino de Física e contribui para que os estudantes tenham dificuldades para utilizar os conhecimentos científicos na representação de eventos reais, que não são idealizadas como os eventos abordados na maior parte dos problemas propostos nos livros-texto usuais. Entendendo que o domínio do processo de modelagem científica é fundamental para que os estudantes aprendam ciências, aprendam sobre Ciências e aprendam a fazer Ciências, Brandão, Araujo e Veit se amparam na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e na concepção de modelagem científica de Bunge para propor um referencial teórico-metodológico para a modelagem no ensino de Física intitulado de Modelagem Didático-Científica (MDC). Os autores defendem a tese de que o processo de modelagem científica pode ser considerado um campo conceitual subjacente aos campos conceituais específicos da física. Para isso, eles explicitam conhecimentos associados com o enfrentamento de problemas que envolvem o uso, a exploração e a validação de

versões didáticas de modelos científicos. No entanto, segundo os autores, não é objetivo desse referencial esclarecer como conceitos especificamente relacionados com o processo de contrastação empírica se vinculam com os conceitos mais gerais relacionados com a modelagem científica. Para preencher tal lacuna, apresentaram neste artigo uma expansão desse aporte teórico-metodológico em que, com base nas concepções de Bunge sobre a contrastação de ideias científicas, inseriram o trabalho experimental no campo conceitual associado ao processo de modelagem didático-científica e derivaram invariantes operatórios de referência para esse campo conceitual. Por fim, exemplificaram seu uso para amparar o delineamento e a condução de atividades experimentais, com enfoque no processo de modelagem científica, e discutiram implicações para a pesquisa em ensino de Física. Publicado em 2016. Caderno Brasileiro de Ensino de Física.

Fundamentos Pedagógicos para o Uso de Simulações e Laboratórios Virtuais no Ensino de Ciências (FIGUEIREDO, 2017). Os autores discutem a possibilidade de interpretar possíveis contribuições dos aplicativos de computador que contêm animações, simulações e laboratórios virtuais, a partir de uma perspectiva sócio-histórica do ensino e da aprendizagem. Questionam como identificar as potencialidades e as limitações desses aplicativos. Procuram descobrir com quais demandas os estudantes são confrontados durante o trabalho de interpretação de representações complexas, por meio das quais fenômenos e modelos das ciências são apresentados nestes aplicativos. Deixam mais alguns questionamentos, entre eles, quais critérios podem ser usados para distinguir animações, simulações e laboratórios virtuais? Como é possível usar aplicativos que contêm simulações e laboratórios virtuais em uma perspectiva de ensino por investigação e porque vale a pena seguir essa orientação? Essas questões são apresentadas e discutidas ao longo das várias seções que compõem o artigo e nas quais são apresentados e utilizados um conjunto de referenciais teóricos, cujo valor para o enfrentamento das questões nós procuramos sustentar. Como estratégia argumentativa, recorrem à análise de alguns aplicativos disponíveis em *sites* bastante conhecidos por professores e por pesquisadores, que se dedicam ao ensino e à aprendizagem das ciências. Publicado em 2017. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências.

Objetos Digitais de Aprendizagem no Ensino de Física Básica: um estudo de caso com simuladores virtuais em uma escola de ensino público estadual (CARVALHO et al., 2019). Este trabalho discute as dificuldades que os estudantes enfrentam no estudo da Física e investiga a influência do uso de Objetos Digitais de Aprendizagem (ODAs), especificamente os simuladores virtuais, partindo da hipótese que contribuem para o aumento da motivação e interesse dos estudantes. Para isso, realizaram em uma escola pública a aplicação de um questionário, que forneceu informações sobre o contexto escolar e as aspirações deles quanto às metodologias de ensino. Após a aplicação do questionário, foi analisado como os simuladores virtuais disponíveis no portal PhET influenciam os estudantes, em que ficou evidente que os ODAs, do tipo simuladores virtuais, podem contribuir para a aprendizagem dos alunos e não devem ser usados como uma solução única e definitiva para os problemas de aprendizagem em Física. Publicado em 2019. RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação.

### 2.3 Qual o perfil da produção acadêmica que aborda experimentos envolvendo circuitos elétricos no ensino de Física no período de 2011 a 2019?

Embora a revisão da literatura não se proponha a ser quantitativa, alguns dados foram levantados com a intenção de enriquecer as informações e servir de justificativa para respostas às questões que propusemos no início desta. Classificamos então os trabalhos encontrados em nossa pesquisa em duas categorias. A primeira com relação ao tipo de atividades envolvidas nas pesquisas encontradas. Trabalhos com experimentos em laboratório (atividades práticas), trabalhos envolvendo simulação, trabalhos envolvendo modelagem, trabalhos com estudos teóricos e trabalhos envolvendo revisão da literatura. A segunda classificação foi com relação ao nível de ensino. Esta contempla, atividades para ensino superior, ensino médio e/ou técnico, superior e médio, ensino fundamental e trabalhos em que não foi possível identificar tal nível. A seleção desta se deu na sua maioria pela própria classificação dos autores. Nos trabalhos em que não havia

classificação destes, a fizemos pelo nível de conteúdo. Tivemos que incluir a categoria “não se aplica”, tendo em vista que alguns artigos, não estavam bem determinados a que nível de ensino de destinavam.

A Tabela 2 a seguir mostra a classificação das atividades, nos trabalhos pesquisados, segundo nossa interpretação. É possível verificar que existe uma predominância de artigos envolvendo laboratórios virtuais, ou seja, atividades que envolvem computadores.

**Tabela 2– Classificação das atividades**

Experimentos em laboratório	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Learning the Ropes with Electricity (CARRIER, REX, 2013).</li> <li>• Introducing Creativity in a Design Laboratory for a Freshman Level Electrical and Computer Engineering Course Dunlap (BURKETT et al., 2014).</li> <li>• Circuit level model of miniature circuit breakers (BIZZARRI et al., 2018).</li> <li>• Using analog instruments in Tracker video-based experiments to understand the phenomena of electricity and magnetism in physics education. (MARÍN, BACILIO &amp; ROSAS, 2018).</li> <li>• Energy consumption analysis of constant voltage and constant current operations in capacitive deionization (QU et al., 2016).</li> <li>• Experimental Benchmarking of Electrical Methods and <math>\mu</math>-Raman Spectroscopy for Channel Temperature Detection in AlGaIn/GaN HEMTs (SODAN et al., 2016).</li> </ul>
Experimentos com simulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efficacy of a Virtual Teaching Assistant in an Open Laboratory Environment for Electric Circuits (SALEHEEN et al., 2018).</li> <li>• An Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite Assisted Experiment for Studying Fundamentals of Series Resistance-Inductance-Capacitance Circuit (RANA, KUMAR, 2017).</li> <li>• Teaching Behavioral Modeling and Simulation Techniques for Power Electronics Courses (ABRAMOVITZ, 2011).</li> <li>• Simulações computacionais como ferramentas</li> </ul>

	<p>para o ensino de conceitos básicos de eletricidade (MACÊDO, DICKMAN, 2012).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral (DORNELES, ARAUJO &amp; VEIT, 2012).</li> <li>• O Uso de Simulações Computacionais como Ferramenta de Ensino e Aprendizagem dos Conceitos de Circuitos Elétricos (OLIVEIRA &amp; FREIRE, 2011).</li> <li>• Práticas experimentais de Física a distância: desenvolvimento de uma aplicação com Arduino para a realização do experimento de Millikan remotamente (BARROS &amp; DIAS, 2019).</li> <li>• Work in progress: LABSIM: An ancillary simulation environment for teaching power electronics fundamentals (ELSHAZLY &amp; TIMORABADI, 2019).</li> <li>• Multiphysics vibration FE model of piezoelectric macro fibre composite on carbon fibre composite structures (JIA et al., 2018).</li> <li>• Electrical network reliability and system blackout development simulations (NEPOMNYASHCHIY, 2015).</li> <li>• Selection of efficient control circuits for a tram traction electric drive on the basis of development of a simulation model (SAFIN, 2013).</li> <li>• A charge sharing study of silicon microstrip detectors with electrical characterization and SPICE simulation (QIAO, 2019).</li> <li>• RC models of a constant phase element (QIAO, 2013).</li> <li>• Um jeito de fazer hipermídia para o ensino de Física (SILVA, 2012).</li> </ul>
Experimentos com modelagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiphysics Modeling and Simulation of 3-D Cu-Graphene Hybrid Nanointerconnects (SUN &amp; JIAO, 2019).</li> <li>• High speed electrical transmission line design and characterization. Os autores desenvolvem um modelo de circuito de linha de transmissão baseado em física do acelerador de potência pulsada Z (BATES et al., 2017).</li> </ul>
Experimentos de laboratório/simulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles with MATLAB/Simulink Real-Time Windows Target (ENIKOV, CAMPA, 2012).</li> <li>• Estudo comparativo de um experimento de eletrodinâmica: Laboratório Tradicional x Laboratório Remoto (VILELA, GERMANO &amp; MONTEIRO, 2019).</li> <li>• Suppressing synchrony in an array of the modified FitzHugh-Nagumo oscillators by filtering the mean field (XUEYONG, 2019).</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influence of Temperature on the Pressure Distribution Within Press Pack IGBTs (DENG, 2018).</li> <li>• High speed electrical transmission line design and characterization. Os autores desenvolvem um modelo de circuito de linha de transmissão baseado em física do acelerador de potência pulsada Z (BATES et al., 2017).</li> </ul>
Experimentos de laboratório/modelagem/Simulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electromagnetic Levitation of a Disc (VALLE et al., 2012).</li> </ul>
Estudos teóricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionalidade fractal e invariância de escala em circuitos elétricos AC e linhas de transmissão (SANTOS et al., 2019).</li> <li>• Aprendizagem significativa de conceitos de circuitos elétricos utilizando um ambiente virtual de ensino por alunos da educação de jovens e adultos (GONZALES &amp; ROSA, 2016).</li> <li>• Uma introdução ao cálculo fracionário e suas aplicações em circuitos elétricos (ANDRADE, LIMA, 2018)</li> <li>• Construção de conceitos de eletricidade nos anos iniciais do Ensino Fundamental com uso de experimentação virtual (LIMA &amp; TAKAHASHI, 2013).</li> <li>• Digital model of a vacuum circuit breaker for the analysis of switching waveforms in electrical circuits (BUDZISZ, WRÓBLEWSKI, 2016).</li> <li>• A evolução do entendimento dos estudantes sobre o funcionamento do circuito elétrico simples em uma estrutura curricular recursiva (COELHO &amp; BORGES, 2011).</li> <li>• Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física (HEIDEMANN, ARAUJO &amp; VEIT, 2016).</li> <li>• Fundamentos Pedagógicos para o Uso de Simulações e Laboratórios Virtuais no Ensino de Ciências (FIGUEIREDO, 2017).</li> <li>• Objetos Digitais de Aprendizagem no Ensino de Física Básica: Um estudo de caso com simuladores virtuais em uma escola de ensino público estadual (CARVALHO et al., 2019).</li> </ul>
Revisão de literatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenting Kirchhoff's Laws: Using Augmented Reality and Smartglasses to Enhance Conceptual Electrical Experiments for High School Students (KAPP, 2019).</li> <li>• Caracterização dos focos de estudo da produção acadêmico-científica brasileira sobre experimentação no Ensino de Física (WESENDONK &amp; TERRAZZAN, 2016).</li> </ul>

A seguir, mostramos na Tabela 3, a quantidade de trabalhos encontrados, por categoria. E para uma melhor visualização construímos o Gráfico 1, com o objetivo de melhor visualização e desta forma comparar os tipos de atividades encontradas.

**Tabela 3 – Classificação por categoria**

Tipo	
Laboratório	6
Simulação	16
Modelagem	2
laboratório+simulação	5
lab+mod+sim	1
Estudos teóricos	11
Revisão da literatura	2

**Gráfico 1– Classificação das atividades**

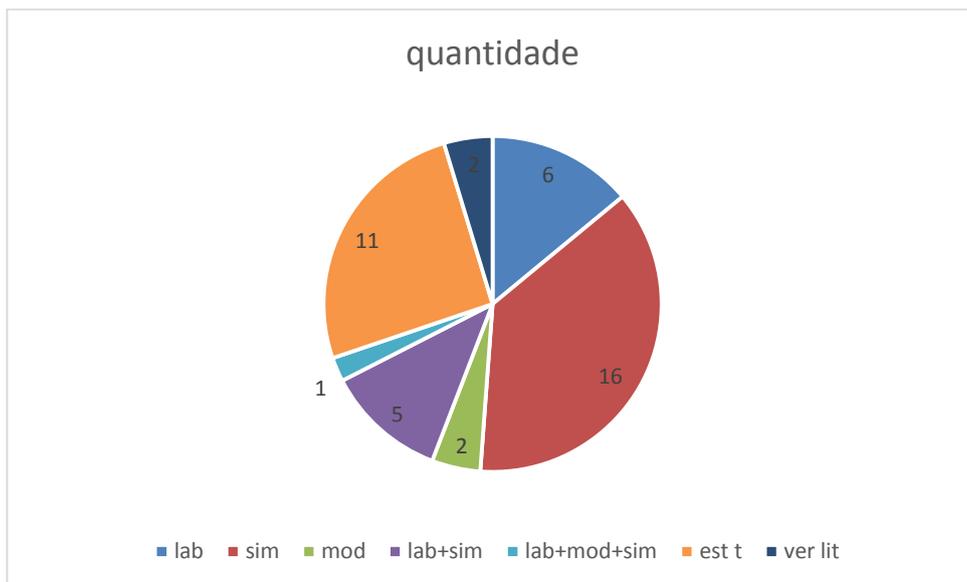


Tabela 4 – Classificação do nível de ensino a seguir mostra a classificação do nível de ensino a que se propõe, segundo nossa interpretação, cada um dos

trabalhos pesquisados. É possível verificar que está em evidência a produção envolvendo o ensino superior.

**Tabela 4 – Classificação do nível de ensino**

Ensino Superior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles with MATLAB/Simulink Real-Time Windows Target (ENIKOV, CAMPA, 2012).</li> <li>• Efficacy of a Virtual Teaching Assistant in an Open Laboratory Environment for Electric Circuits (SALEHEEN et al., 2018).</li> <li>• An Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite Assisted Experiment for Studying Fundamentals of Series Resistance-Inductance-Capacitance Circuit (RANA, KUMAR, 2017).</li> <li>• Teaching Behavioral Modeling and Simulation Techniques for Power Electronics Courses (ABRAMOVITZ, 2011).</li> <li>• Introducing Creativity in a Design Laboratory for a Freshman Level Electrical and Computer Engineering Course Dunlap (BURKETT et al., 2014).</li> <li>• Electromagnetic Levitation of a Disc (VALLE et al., 2012).</li> <li>• Dimensionalidade fractal e invariância de escala em circuitos elétricos AC e linhas de transmissão (SANTOS et al., 2019).</li> <li>• Uma introdução ao cálculo fracionário e suas aplicações em circuitos elétricos (ANDRADE, LIMA, 2018).</li> <li>• Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral (DORNELES, ARAUJO &amp; VEIT, 2012).</li> <li>• Multiphysics Modeling and Simulation of 3-D Cu-Graphene Hybrid Nanointerconnects (SUN &amp; JIAO, 2019).</li> <li>• Work in progress: LABSIM: An ancillary simulation environment for teaching power electronics fundamentals (ELSHAZLY &amp; TIMORABADI, 2019).</li> <li>• Using analog instruments in Tracker video-based experiments to understand the phenomena of electricity and magnetism in physics education. (MARÍN, BACILIO &amp; ROSAS, 2018).</li> <li>• Multiphysics vibration FE model of piezoelectric macro fibre composite on carbon fibre composite structures (JIA et al., 2018).</li> </ul>
-----------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suppressing synchrony in an array of the modified FitzHugh-Nagumo oscillators by filtering the mean field (XUEYONG, 2019).</li> <li>• Circuit level model of miniature circuit breakers (BIZZARRI et al., 2018).</li> <li>• Influence of Temperature on the Pressure Distribution Within Press Pack IGBTs (DENG, 2018).</li> <li>• High speed electrical transmission line design and characterization. Os autores desenvolvem um modelo de circuito de linha de transmissão baseado em física do acelerador de potência pulsada Z (BATES et al., 2017).</li> <li>• Energy consumption analysis of constant voltage and constant current operations in capacitive deionization (QU et al., 2016).</li> <li>• High speed electrical transmission line design and characterization. Os autores desenvolvem um modelo de circuito de linha de transmissão baseado em física do acelerador de potência pulsada Z (BATES et al., 2017).</li> <li>• Experimental Benchmarking of Electrical Methods and <math>\mu</math>-Raman Spectroscopy for Channel Temperature Detection in AlGaIn/GaN HEMTs (SODAN et al., 2016).</li> <li>• Electrical network reliability and system blackout development simulations (NEPOMNYASHCHIIY, 2015).</li> <li>• Selection of efficient control circuits for a tram traction electric drive on the basis of development of a simulation model (SAFIN, 2013).</li> <li>• A charge sharing study of silicon microstrip detectors with electrical characterization and SPICE simulation (QIAO, 2019).</li> <li>• RC models of a constant phase element (QIAO, 2013).</li> </ul>
Ensino médio/técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenting Kirchhoff's Laws: Using Augmented Reality and Smartglasses to Enhance Conceptual Electrical Experiments for High School Students (KAPP, 2019).</li> <li>• Uma introdução ao cálculo fracionário e suas aplicações em circuitos elétricos (ANDRADE, LIMA, 2018).</li> <li>• Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de Eletricidade (MACÊDO, DICKMAN, 2012)</li> <li>• O Uso de Simulações Computacionais como Ferramenta de Ensino e Aprendizagem dos Conceitos de Circuitos Elétricos (OLIVEIRA &amp; FREIRE, 2011).</li> <li>• Práticas experimentais de Física a distância: Desenvolvimento de uma aplicação com Arduino para a realização do Experimento de Millikan remotamente (BARROS &amp; DIAS, 2019)</li> <li>• Estudo comparativo de um experimento de</li> </ul>

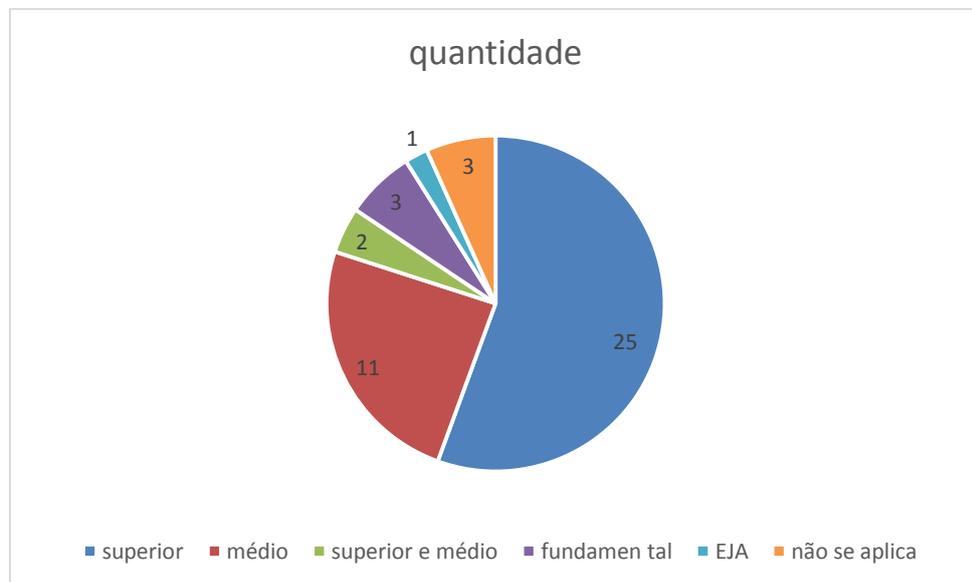
	<p>eletrodinâmica: Laboratório Tradicional x Laboratório Remoto (VILELA, GERMANO &amp; MONTEIRO, 2019).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A evolução do entendimento dos estudantes sobre o funcionamento do circuito elétrico simples em uma estrutura curricular recursiva (COELHO &amp; BORGES, 2011).</li> <li>• Um jeito de fazer hipermídia para o ensino de Física (SILVA, 2012).</li> <li>• Objetos Digitais de Aprendizagem no Ensino de Física Básica: Um estudo de caso com simuladores virtuais em uma escola de ensino público estadual (CARVALHO et al., 2019).</li> </ul>
Ensino superior e médio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Using a computer game to teach circuit concepts (KORTEMAYER et al., 2019).</li> <li>• Selection of efficient control circuits for a tram traction electric drive on the basis of development of a simulation model (SAFIN, 2013).</li> </ul>
Ensino fundamental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Learning the Ropes with Electricity (CARRIER, REX, 2013).</li> <li>• Construção de conceitos de eletricidade nos anos iniciais do Ensino Fundamental com uso de experimentação virtual (LIMA &amp; TAKAHASHI, 2013).</li> <li>• Digital model of a vacuum circuit breaker for the analysis of switching waveforms in electrical circuits (BUDZISZ, WRÓBLEWSKI, 2016).</li> </ul>
Não especificado ou não se aplica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterização dos focos de estudo da produção acadêmico-científica brasileira sobre experimentação no Ensino de Física (WESENDONK &amp; TERRAZZAN, 2016).</li> <li>• Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física (HEIDEMANN, ARAUJO &amp; VEIT, 2016).</li> <li>• Fundamentos Pedagógicos para o Uso de Simulações e Laboratórios Virtuais no Ensino de Ciências (FIGUEIREDO, 2017).</li> </ul>
Educação de jovens e adultos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprendizagem significativa de conceitos de circuitos elétricos utilizando um ambiente virtual de ensino por alunos da educação de jovens e adultos (GONZALES &amp; ROSA, 2016).</li> </ul>

Para uma melhor visualização destes resultados e para melhor comparação, colocamos os valores na Tabela 5 – Classificação do nível de ensino, e na sequência ilustramos com um gráfico no Gráfico 2.

**Tabela 5 – Classificação do nível de ensino**

superior	25
médio	11
superior e médio	2
Fundamental	3
EJA	1
não se aplica	3
Total	45

**Gráfico 2 – Classificação do nível de ensino**



Como forma de melhor visualizar a produção científica acerca de circuitos elétricos perfazendo nossa necessidade, estamos ilustrando na Tabela 5 o ano de publicação da literatura encontrada.

**Tabela 5 – Classificação de acordo com o ano de publicação**

Classificação	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Laboratório			1	1		2		2	
Simulação	2	3	3		1		1	2	3
Modelagem							1		1
Lab + sim		1					1	1	2
Lab + sim + mod		1							

Estudos teóricos	1		1			3	1	3	2
Revisão da literatura						1			1
Total	3	5	5	1	1	6	4	8	9

2.4 O que a literatura considera como “experimentos reais e virtuais envolvendo circuitos elétricos” e quais os referenciais teóricos adotados nos trabalhos que tratam este assunto no ensino de Física?

Em nossa pesquisa da literatura, encontramos trabalhos que estão juntos a experimentos reais e experimentos virtuais. Consideramos qualquer situação que estivessem juntos, trabalhos envolvendo laboratórios concretos e situações envolvendo computadores, nesta, independentemente o tipo de *software* utilizado. Classificamos dentro deste contexto, os artigos a seguir.

*Influence of Temperature on the Pressure Distribution Within Press Pack IGBTs* (DENG, 2018) e *High speed electrical transmission line design and characterization*. Os autores desenvolvem um modelo de circuito de linha de transmissão baseado em física do acelerador de potência pulsada Z (BATES Energy consumption analysis of constant voltage and constant current operations in capacitive deionization (QU et al., 2016), 2017), envolvendo atividades práticas e de simulação. Segundo os autores, as atividades realizadas levam a várias conclusões preliminares, que podem ser tiradas com base na simulação e resultados experimentais. Não encontramos um referencial teórico no texto.

A seguir, um trabalho que descreve uma atividade em que o *software* auxilia na obtenção de medidas de uma atividade prática em *Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles with MATLAB/Simulink Real-Time Windows Target* (ENIKOV, CAMPA, 2012). Os autores em sua conclusão, destacam que os maiores ganhos foram alcançados através de um problema que desafia a confiança e crença do aluno na teoria, quando confrontada com uma aparente contradição com as observações experimentais. Os

autores ainda argumentam que a evolução do projeto mostrou que apresentá-lo como uma série de tarefas curtas permitiu que o instrutor pudesse fornecer orientações para os alunos sem sacrificar a capacidade de incentivar a experimentação individual.

Estudo comparativo de um experimento de eletrodinâmica: Laboratório Tradicional x Laboratório Remoto (VILELA, GERMANO & MONTEIRO, 2019), tem como objetivo principal verificar o que é mais eficiente na aprendizagem de circuitos elétricos. Os autores concluem que existe uma pequena vantagem observada em direção às atividades controladas remotamente, e que talvez, possa ser explicada pelo fator motivação desencadeado nos estudantes. Os autores ainda salientam que o fator inovação, nesse caso, chamou a atenção dos alunos. Além de eles não estarem acostumados a adotar um papel mais ativo no processo de ensino e de aprendizagem, os estudantes ficaram bastante interessados e intrigados com o fato de realizarem uma atividade experimental, comandando um aparato a distância. Não há indícios que exista um referencial teórico adotado. Não encontramos nem no corpo do artigo, bem como nas referências.

*Suppressing synchrony in an array of the modified FitzHugh-Nagumo oscillators by filtering the mean field* (ADOMAITIENËA, 2019), o resumo deste artigo não é bem claro com relação aos resultados obtidos. Os autores deixam claro que simulação e experimentos em laboratórios caminham juntos e não existe citação de referenciais teóricos.

*Electromagnetic Levitation of a Disc* (VALLE et al., 2012), este artigo ilustra a importante conexão entre teoria, modelagem matemática, *design*, simulação e verificação experimental e enfatiza as oportunidades educacionais que esse experimento traz para assuntos como controle, circuitos magnéticos, eletrônica de potência e conversão de energia eletromecânica. Segundo os autores, expressões analíticas poderiam ser usadas para estabelecer um modelo matemático do sistema e resultados experimentais confirmaram a abordagem teórica. O artigo não destaca algum referencial teórico.

## 2.5 Quais os recursos utilizados envolvendo as atividades experimentais no estudo de circuitos elétricos?

Dos trabalhos pesquisados, encontramos 11 ferramentas para utilização em atividades envolvendo simulações e modelagem. Começaremos destacando a ferramenta PhET, citada em 4 artigos. Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Simulações Interativas, da Universidade de Colorado Boulder, cria simulações participativas gratuitas de matemática e ciências. As sims PhET baseiam-se em extensa pesquisa em educação e envolvem os alunos através de um ambiente intuitivo, estilo jogo, onde os alunos aprendem através da exploração e da descoberta. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de Eletricidade (MACÊDO, DICKMAN, 2012), Reflexão sobre a eficácia do uso de um ambiente virtual no ensino de Física (ZARA, 2011), O Uso de Simulações Computacionais como Ferramenta de Ensino e Aprendizagem dos Conceitos de Circuitos Elétricos (OLIVEIRA & FREIRE, 2011) e Objetos Digitais de Aprendizagem no Ensino de Física Básica: Um estudo de caso com simuladores virtuais em uma escola de ensino público estadual (CARVALHO et al., 2019), são títulos onde encontramos este tipo de envolvimento.

MATLAB está presente em 3 trabalhos. Segundo o *site* do MATLAB, este combina um ambiente de *desktop* ajustado para análise interativa e processos de *design* com uma linguagem de programação que expressa diretamente a matriz e a programação. Ele inclui o *Live Editor* para criar *scripts* que combinam código, saída e texto formatado em um bloco de anotações executável. As caixas de ferramentas MATLAB são desenvolvidas profissionalmente, rigorosamente testadas e totalmente documentadas. Os aplicativos MATLAB permitem que você veja como diferentes algoritmos funcionam com seus dados. Repita até obter os resultados desejados e gere automaticamente um programa MATLAB para reproduzir ou automatizar seu trabalho. MATLAB possui atividades em *Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles with MATLAB/Simulink Real-Time Windows Target* (ENIKOV, CAMPA, 2012), *Multiphysics vibration FE model of piezoelectric macro fibre composite on carbon fibre composite structures* (JIA et al.,

2018) e *Selection of efficient control circuits for a tram traction electric drive on the basis of development of a simulation model* (SAFIN, 2013).

O software *SPICE* está em 2 artigos. O *SPICE*, "Programa de Simulação com Ênfase em Circuito Integrado", é um simulador de circuito eletrônico analógico de código aberto de uso geral. É um programa usado no projeto de circuitos integrados e no nível da placa para verificar a integridade dos projetos de circuitos e prever o comportamento do circuito. O *SPICE* foi utilizado em *Teaching Behavioral Modeling and Simulation Techniques for Power Electronics Courses* (ABRAMOVITZ, 2011) e *A charge sharing study of silicon microstrip detectors with electrical characterization and SPICE simulation* (QIAO, 2019).

*LabVIEW* está em apenas um artigo. Segundo o *site* do produto é um *software* de engenharia de sistemas criado especificamente para aplicações de teste, medição e controle, com rápido acesso ao *hardware* e às informações obtidas a partir dos dados. Ainda segundo os criadores, O *LabVIEW* oferece uma abordagem de programação gráfica que irá ajudá-lo a visualizar cada aspecto de sua aplicação, incluindo a configuração de *hardware*, os dados de medição e a depuração. Essa visualização simplifica a integração de *hardware* de medição de qualquer fabricante, a representação de lógica complexa no diagrama, o desenvolvimento de algoritmos de análise de dados e a criação de interfaces de usuário customizadas para engenharia. Sua utilização está em *An Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite Assisted Experiment for Studying Fundamentals of Series Resistance-Inductance-Capacitance Circuit* (RANA, KUMAR, 2017).

O *VOLTA* também aparece em um único trabalho. Ele permite que os alunos realizem experimentos de laboratório em qualquer lugar. A plataforma *web* colaborativa para Simulação de Processos e Gerenciamento de Dados e otimização de *design* é muito utilizada por engenheiros. A atividade descrita está em *Efficacy of a Virtual Teaching Assistant in an Open Laboratory Environment for Electric Circuits* (SALEHEEN et al., 2018).

Temos a descrição de atividades envolvendo a plataforma Arduino. Segundo o *site* do produto, a plataforma Arduino é composta por *hardware* (placa controladora) e *software* (ambiente de desenvolvimento), ambos muito flexíveis,

fáceis de usar e super acessíveis. Ela é uma das principais realizações de um movimento que só cresce no mundo: o movimento *makers*. São os fazedores. Representantes de uma cultura que uniu o faça-você-mesmo à tecnologia para criar projetos incríveis em todas as áreas.

O projeto nasceu em 2005 quando estudantes de um curso de *Design* de Interação na Itália, entre eles Massimo Banzi, resolveram arregaçar as mangas e criar eles mesmos uma alternativa ao *hardware* do curso, que era caro e complexo para os estudantes. A pesquisa em que está presente chama-se Práticas experimentais de Física a distância: Desenvolvimento de uma aplicação com Arduino para a realização do Experimento de Millikan remotamente (BARROS & DIAS, 2019).

*Kirchhoff's revenge* é um jogo, ao longo dele, o jogador começa a experimentar o básico dos circuitos, construindo séries e arranjos paralelos de tubos para dividir tensões, acender lâmpadas, dar curto-circuitos e satisfazer as demandas do fantasma onipresente e angustiante de *Kirchhoff* - o *design* geral, e especialmente a voz de *Kirchhoff*, conferem à jogabilidade uma vibração distinta do Portal *steampunk*. Utilizado em *Augmenting Kirchhoff's Laws: Using Augmented Reality and Smartglasses to Enhance Conceptual Electrical Experiments for High School Students* (KAPP, 2019).

*Using analog instruments in Tracker video-based experiments to understand the phenomena of electricity and magnetism in physics education.* (MARÍN, BACILIO & ROSAS, 2018). Segundo o *site* de produto, o *Tracker* é uma ferramenta gratuita de análise e modelagem de vídeo, construída na estrutura *Java Open Source Physics* (OSP). Ele foi projetado para ser usado no ensino de Física. A modelagem de vídeo do rastreador é uma maneira poderosa de combinar vídeos com a modelagem por computador.

Análise de elementos finitos (FER) é um método numérico utilizado em computadores, para resolver problemas de engenharia. Montam-se funções de interpolação para reduzir o comportamento de um campo infinito de pontos para um número finito de pontos. A interconectividade desses pontos é definida por elementos finitos que preenchem a geometria do componente a ser estudado. A genialidade do método consiste no fato de que possibilita a solução sistemática de

problemas com boa aproximação das soluções analíticas e dos resultados experimentalmente observados. Apresentado em *High speed electrical transmission line design and characterization*, os autores desenvolveram um modelo de circuito de linha de transmissão baseado em física do acelerador de potência pulsada Z (BATES et al., 2017).

*Multiphysics vibration FE model of piezoelectric macro fibre composite on carbon fibre composite structures* (JIA et al., 2018), este artigo apresenta um modelo de elemento finito (FE) desenvolvido usando o *software* comercial FE COMSOL para simular o processo multifísico de coleta de energia de vibração piezoelétrica (PVEH), envolvendo os comportamentos mecânicos e elétricos dinâmicos do compósito de macrofibra piezoelétrica (MFC) em estruturas compósitas de fibra de carbono.

Como visto, temos 10 ferramentas diferentes com sua utilização auxiliando os estudos de fenômenos ligados a circuitos elétricos. Podemos destacar a utilização do PhET que está presente em quatro artigos.

## 2.6 Quais as principais dificuldades e atitudes dos estudantes em relação à experimentos reais x experimentos virtuais no estudo de circuitos elétricos?

As atividades propostas nos artigos pesquisados nos mostram como os autores pretendem que as simulações tenham um papel importante na aprendizagem dos fenômenos estudados. Segundo (ENIKOV, CAMPA, 2012) nas últimas três décadas, laboratórios de engenharia têm se tornado mais complexos, incluindo ferramentas de simulação e equipamentos de teste e medição controlados por computador. Esse aumento de sofisticação também levou a custos mais altos dos equipamentos. A inclusão desses cursos de laboratório nos currículos de graduação passou a ser desafiadores, devido ao grande número de alunos.

## 2.7 Como a literatura propõe a discussão e análise de experimentos reais x experimentos virtuais?

Segundo nossa análise da literatura que envolve experimentos reais e experimentos virtuais podemos dizer que não existe uma comparação de eficiência entre as duas. Na sua maioria, as atividades apareceram juntas e de forma que uma estivesse atrelada à outra como forma de chegar a um resultado. O principal foco da revisão da literatura foi verificar como foram trabalhadas nos últimos anos as atividades de laboratório, juntamente com atividades de simulação ou modelagem, envolvendo circuitos elétricos. A expectativa era encontrar uma crescente produção, principalmente nos últimos anos, em decorrência do aumento de computadores nas salas de aula e pelo fato de que essa ferramenta esteja presente em países mais desenvolvidos. Em primeiro lugar, acredita-se que o número de trabalhos utilizando as TIC para o estudo de circuitos elétricos representa um número reduzido. Acreditamos que a produção científica considerando o assunto poderia representar uma quantidade muito maior, considerando o avanço das tecnologias que se tem à disposição. Cabe destacar que a nossa revisão não é exaustiva. No entanto, crê-se que é suficiente para deixar clara a relevância da abordagem ao estudo de circuitos elétricos, envolvendo laboratórios reais e virtuais, desenvolvida nesta pesquisa.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICO

Neste capítulo, serão apresentados os referenciais teóricos que norteiam este trabalho. Esses referenciais foram divididos em duas seções: Larry Laudan e Teoria da Mediação Cognitiva.

#### 3.1 LARRY LAUDAN

A história tem mostrado que algumas explicações conseguem alcançar o mérito científico, como o caso da teoria heliocêntrica de Copérnico, enquanto que outras surgem apenas, como é o caso da teoria de Von Daniken, que postulou que vidas inteligentes visitaram a Terra há alguns séculos, deixando as pirâmides e outros edifícios antigos. Uma das tarefas enfrentadas pelos professores e pesquisadores em ensino de Ciências é de que a ciência é capaz de discriminar entre as ideias pseudocientíficas e ideias científicas (BUNGE, 1969). No campo da pesquisa educativa em Ciências, o termo concepções epistemológicas é utilizado para fazer referência às ideias sobre a Ciência e o conhecimento científico.

#### 3.2 A NATUREZA DOS PROBLEMAS CIENTÍFICOS

Para o epistemólogo Larry Laudan (1986), a ciência é, essencialmente, uma atividade de resolver problemas e as teorias científicas são, normalmente, tentativas de resolver problemas empíricos específicos acerca do mundo natural. Para ele, se os problemas constituem as perguntas da ciência, as teorias constituem as respostas.

A tarefa de Laudan é a construção de uma metametodologia, ou seja, uma teoria sobre metodologias, assumindo que não existe uma metodologia única para a ciência, enquanto fornece uma base teórica para afirmar que, apesar da ausência de metodologia única, existem, no entanto, critérios em todas as vezes que permite a avaliação das teorias científicas concretas e implica a existência de progresso na ciência.

Para Laudan (1978), se a ciência é um sistema de investigação racionalmente bem fundamentado, é certo que se emule seus métodos, aceite-se suas conclusões e se adote seus pressupostos. Se, porém, a ciência for predominantemente

irracional, não há razão para se levar suas reivindicações de conhecimento mais (ou menos) a sério que as do vidente, do profeta religioso, do guru ou do quiromante local.

As teorias podem, no entanto, ter dificuldades internas, inconsistências. Tais debilidades, Laudan considera como problemas conceituais.

O modelo de Laudan aconselha preferir a teoria que resolve o maior número de problemas empíricos importantes ao mesmo tempo que gera o menor número de problemas conceituais e anomalias (problemas não resolvidos pela teoria, mas resolvidos por uma teoria rival) relevantes.

O controle da incidência dessas orientações justifica-se pela importância crucial das questões que elas possibilitam responder: O que as ciências fácticas têm a dizer a respeito do mundo real? Como as teorias científicas fácticas são elaboradas? Como a observação e a experimentação relacionam-se com essas teorias? Como mudam essas teorias? Assim, as dimensões teoria-método-racionalidade encontram-se, sem dúvida, entre as que articulam a caracterização de cada modelo de ciência e de conhecimentos científicos fácticos (IZQUIERDO, 1996).

Para Laudan, o “objetivo cognitivo mais geral da ciência” é solucionar problemas cognitivos e não alcançar a verdade ou a probabilidade. Desde o seu ponto de vista, tanto a verdade quanto a probabilidade são fins utópicos, já que aparentemente não há como saber se está-se alcançando, ou se será possível alcançar, qualquer um deles. A ideia popperiana de um progressivo aproximar-se da verdade é, para o autor, igualmente inviável, uma vez que também não se tem critério satisfatório para determinar como se pode avaliar tal proximidade. Como enfatiza Laudan: “Se o progresso científico consiste em uma série de teorias que representam um progressivo aproximar-se da verdade, então não se pode demonstrar que a ciência é progressiva” (LAUDAN, 1977, p126).

Afora os problemas empíricos, Laudan também propõe critérios para determinar o peso do que ele denomina de problemas conceituais, que são basicamente questões sobre os fundamentos das teorias. Segundo (LAUDAN 1977), o papel desses problemas no desenvolvimento científico foi terrivelmente mal compreendido pelos filósofos da ciência, o que contribuiu decisivamente para a

falência dos seus modelos. Tradicionalmente, sempre se lamentou a intromissão de fatores não empíricos na apreciação científica, esses fatores eram considerados como essencialmente irracionais. E mesmo a abordagem histórica de Kuhn e Feyerabend não prestou a devida atenção a eles. Para o autor, a atividade de solução desses problemas “tem sido ao menos tão importante no desenvolvimento da ciência quanto a atividade de solução de problemas empíricos” (LAUDAN,1977, p45) e precisa, por isso, ser contemplada num modelo de racionalidade científica.

A solução de problemas, de sua parte, não apresenta as mesmas características; e uma vez que fica estabelecido que o fim da atividade científica é a solução de problemas e não a busca pela verdade, algumas dessas diferenças começam a surgir. Em primeiro lugar, a noção de resolução de problema revela-se bastante relativa quando comparada, por exemplo, com a noção tradicional de explicação factual. Como Laudan enfatiza, problemas podem ser reconhecidos como tais num período histórico determinado e deixarem de o ser em um período subsequente, enquanto os fatos são sempre fatos independentemente do seu contexto. A explicação de um fato tem, além disso, um caráter definitivo – no sentido de que a teoria explicativa deve implicar um enunciado exato do fato a ser explicado e deve ser verdadeira ou altamente provável – enquanto a resolução de um problema não necessita tê-lo.

### 3.3 PROBLEMAS EMPÍRICOS E CONCEITUAIS

Um problema empírico está resolvido quando, dentro de um particular contexto de investigação, os cientistas não mais o consideram uma questão em aberto, isto é, quando eles acreditam que entenderam porque a situação colocada pelo problema é do jeito que é. (LAUDAN,1977, p22)

A classificação dos problemas empíricos é feita de três formas: problemas não resolvidos, isso porque nenhuma teoria foi capaz de resolvê-los; problemas resolvidos, porque pelo menos uma teoria foi capaz de satisfazer a resolução; e, por último, os problemas anômalos, nos quais estariam os problemas empíricos que determinada teoria não foi capaz de resolver, mas uma teoria concorrente sim.

Com relação aos problemas não resolvidos, considera-se que são estes que estimulam o crescimento das ciências, pois é necessário transformá-los em

problemas resolvidos e, nesse caso, é onde as novas teorias se mostram eficientes. Ao mesmo tempo, também é possível perceber quais teorias não se prestam as essas resoluções. Laudan (1977) afirma que os problemas não resolvidos só são considerados genuínos quando já não são não resolvidos. Até serem resolvidos por alguma teoria em seu domínio, são em geral apenas problemas “em potencial”, e não em ato.

Para Laudan (1977), os problemas não resolvidos são vistos como desestimulantes para o progresso da ciência, mas, uma vez resolvidos, são um dos modos pelos quais as teorias progressivas estabelecem suas credenciais científicas. Laudan enfatiza, entretanto, que o que ele entende por anomalia não coincide com o conceito que ele tem por tradicional. Do seu ponto de vista, esse conceito não se esgota nas instâncias inconsistentes com a teoria em questão. A anomalia diz respeito a todos aqueles problemas empíricos que alguma teoria rival resolve, mas que a teoria sob apreço falha em resolver. Dessa forma, muitos problemas anômalos podem ser consistentes com uma teoria, desde que exista uma rival capaz de resolvê-lo. De outra parte, para Laudan (1977), a anomalia não obriga a descartar a teoria que a produz, embora lance sérias dúvidas sobre a adequação empírica dessa teoria.

Com relação à natureza dos problemas resolvidos, a solução de um problema não deve ser confundida com a explicação dos fatos e deve ser discutida a diferença entres fatos e problemas empíricos. Um problema empírico é considerado resolvido quando em um determinado contexto não é considerado uma pergunta não respondida. Então, qualquer problema considerado resolvido assim o é porque existe uma teoria que responde a questão.

Existe também uma contribuição dos chamados problemas anômalos. Laudan (1977), considera que existem duas características principais nessas anomalias. A primeira é a ocorrência de até mesmo uma única anomalia em uma teoria que deve forçar o cientista racional a abandoná-la e a segunda é na qual os únicos dados empíricos podem ser considerados anomalias e que são os logicamente incoerentes com a teoria para a qual são anomalias. Em contrapartida, ele afirma que a ocorrência de uma anomalia levanta dúvidas quanto à teoria que a exhibe, mas não obriga a abandoná-la e tampouco as anomalias não precisam ser incompatíveis com

as teorias para as quais são anomalias. Laudan considera que uma das atividades cognitivamente mais significativas que um cientista pode praticar é a transformação bem-sucedida de uma suposta anomalia empírica para uma teoria em um caso comprobatório. Considera que a conversão de anomalias (reais ou aparentes) em problemas resolvidos é tão velha quanto a própria ciência.

Esses aspectos divergentes dos conceitos constituem uma importante resposta para questões trazidas pela abordagem histórica de Kuhn e Feyerabend. Nas suas críticas à ideia de desenvolvimento por acúmulo, esses autores chamam a atenção para o fato de historicamente alguns problemas – outrora considerados genuínos por alguma teoria específica – terem sido abandonados por teorias posteriores como pseudoproblemas ou terem sido simplesmente deixados de lado na nova configuração teórica. Em diversas passagens, Kuhn e Feyerabend também enfatizam que muitas soluções tidas como genuínas em contextos determinados simplesmente deixaram de ser vistas como tais em contextos diferentes. No modelo de Laudan (1977), ambas as questões são abarcadas. Essas semelhanças aparentes não podem ocultar, contudo, as discordâncias que existem. Embora reconheça a pertinência dessas questões e busque contemplá-las no seu modelo, Laudan diverge radicalmente da interpretação que especialmente Kuhn oferece na estrutura para esses fenômenos históricos. Para começar, o próprio conceito de paradigma – central para a compreensão kuhniana dessas questões – é rejeitado por Laudan, que o substitui pelo conceito de tradição de pesquisa. Embora a tradição de pesquisa guarde consideráveis semelhanças com o paradigma kuhniano, existem pelo menos duas diferenças cruciais. Diferente do paradigma, as tradições de pesquisa não têm relação com as realizações exemplares compartilhadas. Além disso, as tradições de pesquisa não são tão rígidas quanto os paradigmas, comportando mudanças inclusive no que Lakatos denomina de núcleo duro (*hard core*).

O segundo tipo de atividade relacionada à solução de problemas, tão importante no desenvolvimento da ciência como o de resolver problemas empíricos, Laudan chama de problemas conceituais que são basicamente questões sobre os fundamentos das teorias. Segundo o autor, o papel desses problemas no desenvolvimento científico foi terrivelmente mal compreendido pelos filósofos da ciência, o que contribuiu decisivamente para a falência dos seus modelos.

Tradicionalmente, sempre se lamentou a intromissão de fatores não empíricos na apreciação científica, já que se viam esses fatores como sendo essencialmente irracionais. E mesmo a abordagem histórica de Kuhn e Feyerabend não prestou a devida atenção a eles. Para o autor, a atividade de solução desses problemas “tem sido ao menos tão importante no desenvolvimento da ciência quanto a atividade de solução de problemas empíricos” (LAUDAN, 1977 p.45) e precisa, por isso, ser contemplada num modelo de racionalidade científica.

Laudan distingue basicamente duas grandes classes de problemas conceituais: os problemas internos e os problemas externos. Os problemas internos caracterizam-se ou por ocorrência de incoerência, ou contradição em uma teoria, ou por ambiguidades e circularidades conceituais internas. A maneira de lidar com a ocorrência de problemas de incoerência ou contradição é não aceitar a teoria até que esses problemas sejam removidos, mas isso não implica abandono da teoria, pois a recusa em aceitar uma teoria incoerente não exige que se deixe de trabalhar nela. Já os problemas externos dizem respeito às relações lógicas entre teorias – que podem variar da inconsistência até o suporte mútuo à incompatibilidade entre teorias e regras metodológicas bem aceitas e à incompatibilidade entre teorias e visões de mundo consagradas. Embora os problemas conceituais sejam, em geral, mais sérios que as anomalias, seu peso específico, segundo Laudan, é bastante relativo. No caso do problema se dar na relação lógica entre teorias, quanto maior for a tensão maior será o problema. Já no caso específico de conflito entre duas teorias – T1 e T2 –, o peso do problema para T1 será proporcional à nossa confiança quanto à aceitabilidade de T2. No caso de conflito com regras metodológicas ou visões de mundo, se todas as teorias do domínio estiverem em conflito, o problema não será de grande importância, mas se apenas alguma ou algumas delas estiverem, a significação do problema terá um incremento considerável. Por fim, no que diz respeito aos problemas internos, é bastante relevante o tempo de sua existência. É aceitável que uma teoria nova tenha certas inconsistências internas e apresente um certo grau de ambiguidade; passado algum tempo esses problemas deixam, no entanto, de ser menores para assumir um peso relevante.

Os problemas externos ocorrem quando uma teoria entra em conflito com outra teoria que se crê estar bem fundamentada. Os problemas externos

considerados mais graves têm tipicamente uma das seguintes características: 1) uma incompatibilidade entre suposições teóricas; 2) implausibilidade, no sentido de que, ao aceitar uma das teorias, a aceitação da outra torna-se menos plausível; ou 3) incoerência, isto é, a aceitação de uma teoria implica a negação de pelo menos parte de outra.

O progresso consiste em aceitar teorias que cada vez melhor resolvem problemas. Uma teoria pode ser melhor que outra em resolver problemas mesmo que não seja capaz de resolver alguns dos problemas resolvidos com êxito pela outra. Por sua vez, as suposições diretivas são julgadas com base no êxito relativo em resolver problemas por meio das teorias que elas apoiam.

### 3.4 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA (TMC)

Souza (2002) propõe uma teoria cognitiva baseada na ideia de que a inteligência humana não resulta apenas de um funcionamento cerebral, mas também da complementação desse funcionamento pelo processamento auxiliar realizado por estruturas externas ao indivíduo (mediação), o que inclui objetos, artefatos, grupos sociais e culturas. Com a revolução digital, surgem as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) e estas passaram a ser uma nova forma de mediação há algum tempo. É a sociedade mudando com o auxílio da cultura. Até o ato de um simples telefonema tornou-se diferente com a utilização das TICs. Nossos telefones possuem agendas e nosso cérebro não precisa ficar se ocupando com a memorização de números de telefones, pois eles estão ao alcance de nossos dedos.

Mesmo considerando que a capacidade humana cognitiva cresceu nos últimos séculos, não se pode considerar que ela seja suficiente para que o homem possa resolver todos os problemas que lhe surjam. É possível deduzir que a expansão da capacidade cognitiva dos seres humanos se dá por meio de alguma forma de processamento extracerebral de informações.

Para Souza (2000), processos que levam à criação das percepções, das ideias e de pensamento e, conseqüentemente, das opiniões, das atitudes e das inclinações, são essencialmente inconscientes e dependentes da experiência

individual. É preciso ter passado por algum tipo de problema semelhante para que ele possa ter soluções parecidas das novas situações. Souza (2000) afirma que uma questão fundamental é o problema da relação entre a inovação e a tradição, o presente e o passado. Para que algo seja construído, é preciso que haja um alicerce sobre o qual esse algo possa se apoiar. Isso quer dizer que é necessário conciliar a possibilidade de criar e recriar sem destruir a integridade do objetivo inicial ou daquilo que se está utilizando para concretizar essa meta.

Para Souza (2000), a informação é criada para a comunicação. Quando estática, ela nada significa; quando em relação, ela adquire significado. Os atuais ambientes de informação são dinâmicos, e em seu movimento constante o significado é estabelecido e restabelecido. O significado é algo sempre em transformação.

Souza (2000) aborda que o uso de tecnologias de computação em rede aliadas a uma sistemática pedagógica de aprendizagem cooperativa, ou seja, “hipertecnologias” para a interação educativa em grupo, favorece a criação de um ambiente educacional positivo que estimula:

O controle do processo pedagógico pelo aluno, que o adequa a seus interesses e suas necessidades;

A “customização” do ambiente de aprendizagem para atender às diferenças individuais;

O suporte para o desenvolvimento de atividades cognitivas complexas e o estímulo à interdisciplinaridade;

A participação do professor enquanto facilitador do processo de aprendizagem e não somente como seu direcionador.

Souza (2000) ainda afirma que os estudos disponíveis acerca do impacto da Informática na educação tendem a mostrar a ocorrência de efeitos positivos como consequência do uso de uma tecnologia orientada especificamente para facilitar a aquisição de determinadas habilidades mentais e/ou de conceitos abstratos. Embora nem tudo tenha sido levantado, é evidente que o uso de tecnologias de informação é

aliado do ensino-aprendizagem. Existe um potencial pedagógico muito grande nessas ferramentas e outras que necessitam de um maior estudo.

### 3.5 REVOLUÇÃO DIGITAL

Souza (2000) observou que a maior parte das mudanças consideradas relativas à revolução digital ocorreram no período de aproximadamente três décadas. Por essa cronologia, tem-se a existência de pelo menos três gerações distintas:

**Geração Pré-Digital (71 anos ou mais):** Pessoas que tinham 40 anos ou mais, ou seja, que já haviam estruturado sua vida, seu modo de pensar e agir quando surgiram os primeiros computadores pessoais;

**Geração Digital (40 a 70 anos):** Pessoas que tinham de 20 a 39 anos de idade, ou seja, eram adultos jovens quando surgiram os primeiros computadores pessoais e experimentaram em primeira mão as mudanças decorrentes (de fato, foi essa geração que criou tal tecnologia);

**Geração Pós-Digital (menos de 40 anos):** Pessoas que já nasceram num mundo onde os computadores pessoais existiam ou que ainda eram adolescentes quando eles surgiram.

A geração Pós-Digital utiliza as ferramentas tecnológicas incorporadas ao seu cotidiano rápida e naturalmente. Ao expor essa geração às TIs, se dá sentido ao mundo onde vivem, pois, se vedada a interação, muitas possibilidades futuras serão perdidas, pois serão excluídos digitais. Essa geração da hipercultura possui diversas denominações, como: “Geração-N”, utilizada por Tapscott (1999, 2005), Oblinger, Lippincott (2005), Simões e Gouveia (2008); “Homo Zappiens”, utilizada por Venn e Vrakking (2009); “Nativo Digital”, utilizada por Prensky (2001), Garcia (2007), Barroqueiro e Amaral (2012), Bennett (2012), Jones et al (2010).

A era digital é para, Souza (2000), responsável por uma nova geração que cresce cada vez mais e possui características bem acentuadas. São elas:

- Independência: A Geração-N apresenta um forte senso de liberdade e autonomia, fruto do seu acesso quase ilimitado à informação, inclusive para criticar ou confrontar fontes diversas;
- Abertura Intelectual e Emocional: A Geração-N costuma estar online para expor seus pensamentos e suas emoções mais íntimos em diários, blogs e páginas Web em geral;
- Inclusão: A Geração-N move-se em direção à inclusão social via tecnologia e não à exclusão, com seus processos criativos apresentando uma orientação claramente global em todas as suas atividades;
- Liberdade de Expressão: Há uma opinião forte da parte dos Geração-N de que o pleno acesso à informação na Internet é benéfico e vantajoso;
- Inovação: A Geração-N identifica-se fortemente com a transformação, sempre buscando formas melhores de se fazer as coisas, tendo a capacidade de construir novas experiências e uma expectativa de mudanças constantes;
- Preocupação com a Maturidade: Em contraste com a geração anterior, a qual passou a vida inteira obcecada pela juventude, a Geração -N insiste em deixar claro que é mais amadurecida do que os adultos esperam;
- Investigação da Tecnologia: O foco inicial da Geração -N com relação à tecnologia não é como ela funciona, mas, sim, como fazê-la funcionar, ou seja, os seus membros acreditam ser importante compreender os pressupostos subjacentes ao software e sentir-se com o poder de mudar tais pressupostos;
- Instantaneidade: A velocidade e interatividade da Internet aceleraram imensamente o processo de comunicação, tornando-a mais imediata, com processos que costumavam levar dias ou semanas sendo reduzidos a minutos ou segundos;
- Sensibilidade ao Interesse Corporativo: Embora a Geração-N tenda a pensar que os conteúdos da televisão sejam colocados para atender à agenda de grandes corporações, a enxurrada de criações individuais e

de pequeno porte na Internet tem sido tão grande que levou a um aumento da sensibilidade ao interesse corporativo;

- Autenticação e Confiança: Devido ao anonimato, à acessibilidade, à diversidade e à ubiquidade da Internet, há uma grande quantidade de fontes imprecisas, inválidas e até enganosas, levando à constante necessidade de autenticar e validar as informações e suas fontes.

Para Souza (2000), a mediação digital está alicerçada na Hiper cultura. Para ele, a Hiper cultura surge pela facilidade de utilização dos computadores com seu uso difundido mundialmente pelo fato de terem se tornado baratos e de fácil utilização. A chegada de redes privadas e internet causaram o que foi chamado por muitos de uma verdadeira Revolução Digital. As transformações ocorreram de forma sem precedentes nas histórias das invenções e trouxeram mudanças significativas na sociedade e na cultura. A facilidade de programar computadores fez deles objetos passíveis de mediação externa.

Segundo Souza (2000), o papel da tecnologia da informação no pensamento humano pode ser considerado como sendo aquele de uma nova forma de mediação cognitiva com alcance muito maior do que o das modalidades anteriores. Os mecanismos externos de mediação passam a incluir os dispositivos computacionais e seus impactos culturais, enquanto que os mecanismos internos incluem as competências necessárias para o uso eficaz de tais mecanismos externos. Para indivíduos hiperculturais, é esperado que uma eficiência cognitiva de forma que é possível obter o máximo de aproveitamento de um mínimo de informação e conhecimento. O sujeito aproveita ao máximo as informações que lhe interessam e descarta as que não. Dessa forma, não acontecem sobrecargas de conteúdo intelectual.

## 3.6 A MEDIAÇÃO COGNITIVA TEORIA DE REDES

### 3.6.1 Princípios Básicos

A Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) está fundada sobre um conjunto de cinco premissas básicas sobre cognição humana e processamento de dados, sendo eles:

I. A espécie humana tem como maior vantagem evolutiva a capacidade de gerar, armazenar, recuperar, manipular e aplicar o conhecimento de várias maneiras (GIL, 2003).

II. Cognição humana é efetivamente o resultado de algum tipo de processamento de informação (CHALMERS, 1999; KAIL, BISANZ, 1992; STERNBERG, 1988).

III. Sozinho, o cérebro humano constitui um finito e, em última instância, insatisfatório, o recurso de processamento de informação (HANNAN, 2003; KURTZWEIL, 2002; MERKLE, 1988, 1989; MILLER, 1956; WARD, 1997; BRANCO, 2003).

IV. Praticamente qualquer sistema físico organizado é capaz de executar operações lógicas em algum grau (COPELAND, SILVESTRE, 1998; MINSKY, 1967).

V. Seres humanos complementam o processamento da informação cerebral por interação com os sistemas físicos externos organizados (LOCK, 2000; PHILLIPS, 1989, WARD, 1997).

Para Souza (2012), combinando todos os itens anteriores, tem-se uma imagem da cognição humana, em que os indivíduos se desenvolvem e usam o conhecimento por meio do processamento de informações feito por seus cérebros e, sendo a capacidade de processamento de informações limitada e insatisfatória, estes também se envolvem na atividade cognitiva por meio da interação com as estruturas no ambiente, que fornecem uma capacidade adicional de processamento de informação.

### **3.6.2 Cognição extra cerebral e mediação**

O processo pelo qual os seres humanos dependem de estruturas externas a fim de complementar o processamento de informações feito por seu cérebro (cognição extracerebral) é chamado pela TMC de “Mediação” e pode ser descrito como tendo os seguintes componentes:

- Objeto: O item físico, conceito abstrato, problema, situação, e/ou relação a respeito da qual o indivíduo está tentando construir conhecimento;
- Processamento interno: A atividade cerebral fisiológica (sináptica, neural e endócrino) que executa as operações lógicas básicas individuais;
- Mecanismos internos: estrutura mental que gerencia algoritmos, códigos e dados que permitem a conexão, interação e integração entre o processamento interno do cérebro e do processamento extra cerebral feito pelas estruturas no ambiente, trabalhando tanto como um “driver de hardware” como um “protocolo de rede”;
- Mecanismos externos: Podem ser de vários tipos e capacidades, que vão desde simples objetos físicos (dedos, pedras), a individuais e em grupo, com atividades sociais complexas, sistemas simbólicos e ferramentas/artefatos.

Segundo Souza (2012), o aspecto fundamental da Mediação Cognitiva é o conjunto individual de mecanismos internos, o qual torna possível a utilização de estruturas externas, como auxiliares de dispositivos de processamento de informações, mas também trabalham como “máquinas virtuais” internas, que fornecem novas funcionalidades cognitivas (ferramentas lógicas, técnicas e estratégias), acrescentando benefícios que duram para além do tempo da “conexão” a um mecanismo externo, tendo um papel importante na definição da forma como o pensamento ocorre (SOUZA, 2004, 2006; SOUZA, ROAZZI, 2000).

A fim de integrar o processamento da informação feito pelo cérebro e executado por mecanismos externos, é necessário que haja uma ligação lógica entre esses dispositivos computacionais, por outras palavras, alguma forma de traduzir as entradas, as saídas, e o processamento entre eles. Isso é muito semelhante ao ter de instalar um “controlador de dispositivo” de software num sistema de computador, de modo que ele é capaz de reconhecer e implementar uma peça específica de equipamento externo, tal como uma impressora, um digitalizador ou dispositivo de armazenamento. Nos seres humanos, isso pode ser conseguido por meio de uma representação mental de um sistema físico que é composto por um conjunto de “teoremas-em-ação”, no sentido estabelecido pela Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (VERGNAUD, 1997), que são análogos ao funcionamento

dinâmico do referido mecanismo externo, por conseguinte, tornando possível que um indivíduo interaja com ele para fins de processamento de informação. Como tal, o desenvolvimento desse “mecanismo interno” ocorre por meio da interação entre o indivíduo e o sistema físico correspondente, ou seja, por meio do processo descrito na Epistemologia Genética de Piaget como “equilibração” (PHILLIPS, 1989; SOUZA, 2006).

Como definido aqui, o processo de mediação produz a vantagem óbvia de permitir que um indivíduo possa aumentar significativamente sua capacidade computacional (e, portanto, os poderes cognitivos) por um processamento distribuído entre o cérebro e uma sofisticada rede de aparelhos externos. No entanto, a possibilidade de utilizar vários tipos de complexas e sofisticadas “próteses cognitivas” não é a única incidência. Com efeito, pode-se também concluir que, dada a natureza das representações mentais (teoremas-em-ação), a sua mera existência dota o indivíduo com um conjunto de ferramentas lógicas que aumenta a sua competência em domínios específicos, mesmo na ausência do sistema externo físico correspondente. Assim, os padrões de individuais de pensamento, isto é, as suas abordagens lógicas, estratégias, competência e raciocínio, são, numa extensão significativa, definidas pelos mecanismos de mediação formados por meio de uma história pessoal de interação com os diferentes tipos de grupos sociais, ferramentas, instrumentos e outros elementos culturais, muito como previsto nas teorias socioconstrutivistas (LURIA, 1976; SOUZA, 2006; VYGOTSKY, 1984).

Para Souza (2012), a TMC pode ser considerada como uma teoria da cognição distribuída, no sentido colocado por Hutchins (1995), ao se aproximar de fenômenos cognitivos por meio da tentativa de compreender o fluxo dinâmico de informação por intermédio de um sistema, estabelecendo um papel importante para a interação corpo-mente-mundo, e considerando que a cognição de alto nível depende de interações com estruturas socioculturais complexas, ou seja, ecossistemas cognitivos (Hutchins, 1995; Perry, 2003). Também aborda o conceito de Rogoff (1998) da cognição como um processo colaborativo entre os indivíduos, que afeta tanto o desenvolvimento cognitivo e fenômenos socioculturais (ROGOFF, 1998).

### 3.6.3 Evolução Cognitiva

À luz do princípio básico do construtivismo de que o conhecimento é construído por meio da interação (BRUNER, 1997; LURIA, 1976; PIAGET, 1997; VYGOTSKY, 1984), chega-se à conclusão de que a gênese da mediação cognitiva começa por meio da existência de um conjunto de estruturas no ambiente que se interpõe entre o indivíduo cognoscente e o objeto do conhecimento. Inicialmente, essas estruturas funcionam como fontes de ruído, com o mecanismo de mediação interna a ser desenvolvido como uma maneira de compensar o ruído e, mais tarde, fazendo uso da sua capacidade de processamento da informação.

Souza (2012) afirma que, se assumirmos que a superação das limitações individuais na cognição é algo decorrente de uma necessidade imposta pela seleção natural, segue-se que a criação de mecanismos de mediação é parte de um processo evolutivo. Isso significa que o desenvolvimento ocorrerá como uma sucessão de etapas, impulsionadas por um processo aleatório de tentativa e erro, convergindo para mais poderosas e sofisticadas estruturas de mediação cognitivas.

Naturalmente, cada novo passo completo assimila os anteriores, integrando-os com a nova aquisição, para formar uma estrutura completamente nova.

É interessante notar que a natureza “estocástica” do processo evolutivo que está descrita anteriormente, bem como os aspectos do desenvolvimento de mecanismos de mediação, implica que determinado mecanismo interno pode acessar e utilizar, com diferentes níveis de eficácia, a mais de um específico mecanismo externo potencial.

Assim, uma forma específica de mediação cognitiva pode, e eventualmente faz, “transbordar” para outros contextos e outras situações, conferindo-lhe ainda mais vantagens cognitivas.

Em síntese, a Teoria de Mediação Cognitiva considera coisas como “Psicofísica”, “Grupo Social” e “Cultura” como mecanismos de processamento de informação com dimensões internas e externas. A diferença entre eles, está no tipo de processamento de informação que é feito por cada um. Tais diferenças são interpretadas como sendo indicativo de uma evolução gradual na complexidade e capacidade, indicando um caminho evolutivo (SOUZA, 2004, 2006).

### 3.6.4 A emergência da hipercultura

Para Souza (2012), a tecnologia digital está introduzindo dentro de várias culturas ferramentas com capacidade para o processamento de informações maciço, sequencial, programável, autônomo, simbólico, de longa distância, permitindo a distribuição direta não apenas de dados, informações e conhecimentos, mas também de capacidade lógica real (por exemplo, livros, lápis, papel e calculadora podem ajudar a aprender/aplicar uma determinada técnica estatística, enquanto que um pacote de software estatístico pode efetivamente executar a técnica para o usuário). Além disso, a tecnologia da informação traz no seu núcleo uma estrutura altamente complexa e lógica matemática que deve ser internalizada em certa medida, a fim de dominar a sua utilização, isto é, para manusear os recursos de hardware, software, Internet, etc. (SOUZA, 2004, 2006).

Psicossocialmente, vários conceitos sofisticados, como “digital/analógico”, “interatividade”, “interface”, “rede”, “flash mobs”, “crowdsourcing”, “twitter” e “googling”, surgiram e floresceram como uma consequência dos computadores e da World Wide Web, os quais permitem a aquisição e produção de conhecimento em quantidades e sofisticação nunca antes imaginado. De fato, inúmeras mudanças econômicas, políticas e sociais têm vindo a ocorrer como consequência direta do que foi explicitamente concebido como um conjunto de ferramentas de processamento de informações (SOUZA, 2004, 2006, SOUZA, ROAZZI, 2000).

Para Souza (2012), com base no modelo da TMC, o papel das TIC no pensamento humano pode ser considerado como o de uma forma nova e melhorada da mediação cognitiva. Isso significa que todas as habilidades, todos os conceitos, todas as formas de fazer as coisas, funcionalidades e mudanças culturais ligadas ao uso de computadores e da Internet constituem um conjunto de fatores que é substancialmente diferente do que é tradicionalmente visto como “cultura”. Assim, pode-se dizer que, na revolução digital, está-se testemunhando o surgimento de uma “hipercultura”, na qual os mecanismos externos de mediação incluem a própria tecnologia e seus impactos na cultura, enquanto os mecanismos internos incluem as competências necessárias para a utilização eficaz dos mecanismos externos.

Tais transformações levaram a mudanças significativas nas relações de produção, na sociedade e na cultura. Além disso, o conhecimento abstrato envolvido trata da lógica técnico-matemática da aplicabilidade transcontextual. Essa combinação de fatores cruciais sugere fortemente que a interação com a tecnologia da informação traz alguns impactos muito positivos importantes sobre o pensamento humano, em especial:

- Domínio da utilização das TIC;
- Uso de analogias e metáforas ligadas às TIC;
- Pensamento Matemático-científico;
- Pensamento Transcontextual;
- Pensamento viso-espacial;
- Ênfase na aquisição de habilidades de busca de informação e conhecimento, em vez de acumulá-los;
- Técnicas para lidar com grandes conjuntos de conhecimentos e informações;
- Uso intenso de redes sociais e computação social.

Dado o crescente valor atribuído pela sociedade para tais habilidades, um testemunho ao fato de que eles literalmente conduzem toda a economia do mundo atual (COMIN, HOBGIN, 2008; STEHR, 1994), pode-se seguramente concluir que a imersão da hipercultura é hoje também um elemento muito importante para avanço socioeconômico individual.

### **3.6.5 Evidências existentes para a TMC**

#### 3.6.5.1 Existência de uma hipercultura

A tecnologia digital está introduzindo dentro de várias culturas ferramentas com capacidade para o processamento de informações maciço, sequencial, programável, autônomo, simbólico, de longa distância, permitindo a distribuição direta não apenas de dados, informações e conhecimentos, mas também de

capacidade lógica real (por exemplo, livros, lápis, papel e calculadora podem ajudar a aprender/aplicar uma determinada técnica estatística, enquanto que um pacote de software estatístico pode efetivamente executar a técnica para o usuário). Além disso, a tecnologia da informação traz no seu núcleo uma estrutura altamente complexa e lógica matemática que deve ser internalizada em certa medida a fim de dominar a sua utilização, isto é, para manusear os recursos de hardware, software, Internet, etc. (SOUZA, 2004, 2006).

### 3.6.5.2 Mudanças no padrão de desenvolvimento cognitivo

Souza e Roazzi (2003) aplicaram um teste de QI em 3700 estudantes de 11 a 19 anos em 1997 e analisaram como os escores brutos relacionados com a idade do aluno para aqueles que tiveram contato com as tecnologias digitais e aqueles que não tiveram.

Os resultados obtidos por eles mostraram dois padrões diferentes para a progressão no teste de QI como uma função da idade. Aqueles que não usaram computadores ou Internet mostraram o que parece ser um padrão de logística em que a maior parte da variação parece estar entre as idades de 13–16. Aqueles que usam ambos (computadores e a Internet) mostraram um padrão distinto em que havia uma diferença constante como uma função da idade de pelo menos 11 a 18 anos. Além disso, a partir do suporte de 16 anos de idade em diante, o grupo usando computadores e a Internet superou o grupo que não usou nenhuma dessas tecnologias. Embora o estudo não seja longitudinal, os resultados são consistentes com a expectativa da TMC, de que crescer em uma hipercultura teria um impacto positivo sobre a dinâmica do desenvolvimento cognitivo.

### 3.6.5.3 Desempenho cognitivo

Diversos achados por Souza (2004) indicam que as variáveis hiperculturais estão associadas ao aumento do desempenho cognitivo em diferentes contextos. Em particular foi verificado que:

- Mesmo após ajuste para sexo, idade, renda e tipo de escola, ter um computador em casa foi associado a um desempenho 10-20% maior em 352.487

alunos do Ensino Médio no Exame Nacional de Ensino Médio (Exame Nacional do Ensino Médio) no ano de 2000.

- Mesmo após ajuste para sexo, idade e nível de ensino de pós-graduação, para um grupo de 465 médicos brasileiros em 2001, o conhecimento, o acesso, a experiência e a valorização das TIC foram positivamente associados a uma autoavaliação positiva do conhecimento dos métodos de investigação, estatísticas e inglês, bem como para a extensão em que um indivíduo tinha publicado artigos científicos.

- Em um grupo de 1.219 adultos de classe média alta brasileira em 2003, o uso de ferramentas de software, recursos de Internet e jogos de computador, bem como o hábito de utilização frequente de computador para escrever ou calcular, usando o software para resolver problemas cotidianos, usando a internet para resolver problemas cotidianos, e o uso de metáforas com as TIC, foram todos positivamente associada à auto avaliações de inteligência, conhecimento, criatividade geral, lidar com tarefas verbais, lidando com tarefas visuais e lidar com tarefas numéricas.

- Em um grupo de 622 adultos de classe média-alta brasileira em 2003, o acesso, a utilização e a experiência com as TIC foram positivamente associados à medida em que um indivíduo havia publicado artigos científicos, o conhecimento do método científico, o conhecimento de fatos científicos, resultados em um mini teste de QI, e conhecimento de línguas estrangeiras.

#### 3.6.5.4 Outros aspectos do funcionamento cognitivo

Pelo estudo de Souza (2004, 2006), com amostras brasileiras de diferentes faixas etárias e condições socioeconômicas entre 1997 e 2004, os resultados sugerem que:

- A imersão na hipercultura está positivamente associada ao uso de metáforas com as TIC na linguagem cotidiana.

- A imersão na hipercultura está positivamente associada a uma preferência por representações visuais mentais.

- Indivíduos mais jovens (com menos de 40 anos de idade em 1990) tendem a ser significativamente mais hiperculturais que os mais velhos (40 anos ou mais em 1990).
- Os indivíduos mais jovens são mais propensos a representações visuais mentais e metáforas com as TIC do que os mais velhos.
- A intensidade de uso de softwares gráficos, textuais ou de matemática está positivamente associada a autoavaliações, respectivamente, à capacidade visual, verbal e numérica.
- A imersão na hipercultura está positivamente associada a autoavaliações de habilidade social, bem como para a frequência de interações sociais e lazer noturno.

Para Souza (2012), as relações anteriormente observadas entre hipercultura e modos de pensar estão todas em de acordo com as predições da TMC sobre mudanças no funcionamento cognitivo, bem como a diferença entre gerações emergentes, desde o início da revolução digital na década de 1990. Isso leva a crer que a revolução digital forma a hipercultura que muda a forma de pensar.

#### 3.6.5.5 A Estrutura Geral da Cognição Humana – A Mediação Social

Souza (2000) considera a emergência de uma nova forma de mediação em que os mecanismos externos passam a incluir os dispositivos computacionais e seus impactos culturais, enquanto os mecanismos internos incluem as competências necessárias para o uso eficaz de tais mecanismos externos.

Partindo-se do princípio de que a cognição humana depende fundamentalmente do processamento de informações e considerando que o cérebro humano isolado se apresenta como insuficiente para explicar a maior parte do desempenho cognitivo, é forçoso concluir que outros mecanismos de processamento de informação estão envolvidos.

Para que haja a cognição, é preciso que se tenha uma interação sujeito-objeto em que características do segundo são “propagadas” para o primeiro (e vice-versa).

Um modelo científico do pensamento humano precisa levar em conta não apenas uma esfera intracerebral do intelecto, mas também uma dimensão extracerebral em que ocorre a manipulação de dados, informações e conhecimento. É possível chamar todo esse processo de “mediação” (ver Figura 1: O processo de mediação).

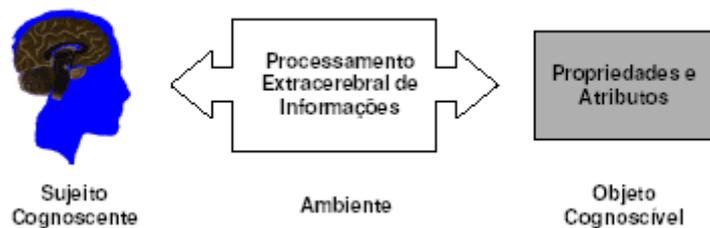


Figura 1: O processo de mediação

O que se está introduzindo aqui é uma nova noção segundo a qual, do ponto de vista de um determinado indivíduo, a mediação é mais do que um filtro, sendo, de fato, um componente ativo que age como um verdadeiro dispositivo computacional, realizando diversas operações lógicas sobre os dados e as informações associados a um determinado objeto e situação.

Só é possível acontecer um mecanismo de mediação quando se tem elemento de processamento extracerebral de informação conectado a mecanismos internos de suporte à mediação, isto é, quando o indivíduo detém, dentro de si, um conjunto de conhecimentos e habilidades que lhe permitam o acesso e o uso de tais mecanismos externos e quando os mecanismos extracerebrais de processamento de informações representam uma vantagem cognitiva.

A estrutura geral da cognição humana é vista por Souza (2000) partindo de que a forma mais básica de mediação cognitiva é aquela na qual um indivíduo tem sua interação com os objetos condicionada, essencialmente, pelas características fisiológicas do seu sistema nervoso central, da física e da química dos objetos com os quais se relaciona, da posição espacial de ambos e da natureza do ambiente.

Quando os mecanismos externos de mediação se resumem a eventos físicos, químicos e biológicos fortuitos que agregam alguma forma elementar de

processamento extracerebral de informação à relação sujeito-objeto, e os mecanismos internos de mediação constituem-se basicamente de esquemas sensório-motores, pode-se chamar a isso de mediação psicofísica.

A Mediação Social é um ponto importante na TMC. Quando se colocam diversos sujeitos num mesmo ambiente, fatalmente algum tipo de interação começa a ocorrer entre eles.

Observe a ilustração (ver Figura 2): Sejam A, B e C sujeitos/objetos. À medida que A interage com B via mediação psicofísica e B interage com C da mesma forma, é possível reduzir isso a uma interação indireta entre A e C. Caso A, B e C estejam em interação devido a algum tipo de convívio social estável, é possível afirmar que se trata de uma verdadeira mediação social entre A e C.



Figura 2 - A mediação social entre dois sujeitos A e C.

Essa interação indireta não depende da consciência dos envolvidos, com sua ocorrência inicial dependendo essencialmente do acaso. Particularmente quando envolve uma mesma espécie, ou seja, indivíduos com padrões sensoriais e comportamentais semelhantes, a interação indireta cria uma importante vantagem competitiva. Os membros de um grupo passam a dispor não apenas das suas próprias capacidades perceptivas, mas também indiretamente daquelas dos demais componentes.

O seguinte exemplo ilustra como isso sucede. Suponha-se que C é um tigre dentes-de-sabre e B é um hominídeo que se dá conta da aproximação de C e que A é outro hominídeo que não se encontra em posição de detectar o tigre diretamente

por causa de um obstáculo físico qualquer. Graças à interação indireta, o hominídeo A será capaz de detectar o tigre dentes-de-sabre C ou, ao menos, reagir adequadamente à sua proximidade, mesmo estando este último fora do seu alcance sensorial imediato, servindo-se do comportamento do hominídeo B (fuga, agressividade) como “ponte”. Nesse caso, A reagirá ao comportamento de B como se estivesse na presença de C. A Figura 3, a seguir, ilustra o processo.

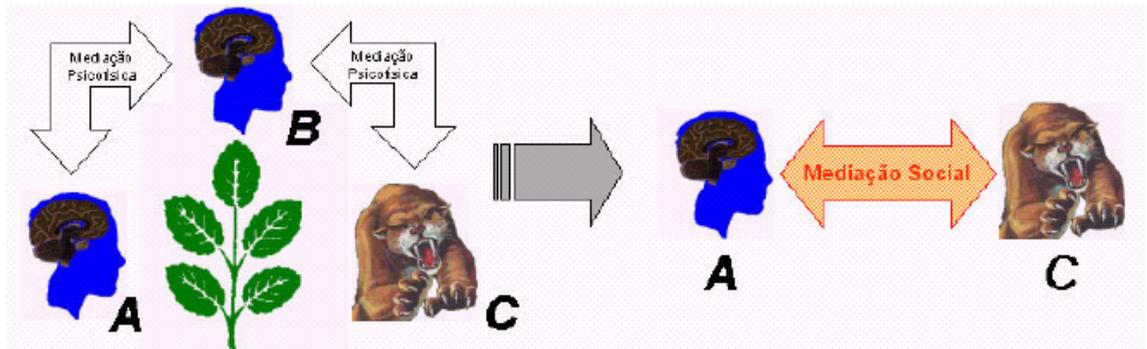


Figura 3 - Exemplo de interação indireta via mediação social

É importante observar que o processo descrito é uma equivalência lógica, necessitando apenas da coexistência em grupo para ocorrer.

A partir de tudo o que foi visto, fica claro que um impacto importante da interação em grupo é a ampliação do alcance perceptivo e mnemônico dos membros do agrupamento, sendo acrescida à capacidade de cada um ao menos uma parte daquilo que pode ser detectado ou lembrado por qualquer membro dessa rede de interações.

Agrupamentos humanos maiores, mais duradouros e de maior troca entre os membros tendem a tornar mais sofisticadas as formas de interação entre indivíduos, levando à criação de formas mais eficazes de comunicação e relacionamento, isto é, ocorre uma mediação cultural. Tais mecanismos, por sua vez, tendem a produzir processos mentais mais complexos.

Uma das grandes virtudes da TMC é reunir e a de conciliar posturas teóricas distintas e aparentemente contraditórias, como é o caso do Construtivismo de Piaget e Vergnaud, do socioconstrutivismo de Vygotsky e do processamento da informação

de Sternberg, algo obtido graças ao estabelecimento de uma definição operacional da cultura na qual a mesma é compreendida como sendo:

- Um conjunto de sistemas simbólicos, artefatos e interações em grupo ocorrendo um espaço material;
- Um complexo sistema de redes interativas que pode e é utilizado pelos seus participantes como recurso computacional;
- Parte de uma sucessão de mecanismos de mediação cognitiva que emergem ao longo da história da humanidade, sendo uma etapa vital do processo evolutivo, ou seja, da própria estratégia de sobrevivência, da espécie humana.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

O foco principal da pesquisa é compreender de que forma é alterada a estrutura cognitiva dos estudantes após a utilização das ferramentas culturais e hiperculturais utilizadas no ensino de física como resolução de problemas em circuitos elétricos. Na perspectiva da fundamentação teórica que serve de base à nossa pesquisa é possível verificar que a utilização de mecanismos externos no processo de mediação cognitiva tem como provável consequência propiciar um aumento da capacidade de processamento de informações do cérebro e, portanto, cria melhores condições para a cognição a partir da modificação e/ou criação de *drivers* na estrutura cognitiva dos estudantes. Para que pudéssemos fazer tal investigação, montamos uma sequência de atividades e as propusemos aos estudantes de maneiras diferentes, a fim de que fosse possível acompanhar o ganho cognitivo nas diversas situações.

Os alunos participantes da experimentação didática são de cursos de tecnologia. Particularmente trabalhamos com ensino técnico e ensino superior em tecnologia. É importante salientar que o trabalho está embasado tanto na epistemologia de Laudan quanto na teoria cognitiva supramencionada. As atividades foram aplicadas na turma do Curso de Tecnologia em Sistemas de Internet (TSI), do curso Técnico em Química e curso Técnico em Comunicação Visual, todos do Instituto Federal Sul-rio-grandense, Campus Pelotas.

Em se tratando de cursos de tecnologia, faz-se necessário que o estudante dessa área tenha domínio na área da eletricidade como forma de poder controlar a sua ferramenta de trabalho. Com essa proposta, buscamos uma forma de, em um curto espaço de tempo, fazer um trabalho que fosse satisfatório para a aprendizagem dos estudantes.

De acordo com Papert (1980), um bom ambiente de aprendizagem requer um contato livre entre o computador e seu usuário. Para isso, deverão ser disponibilizadas aos alunos “ferramentas que viabilizem a exploração dos nutrientes cognitivos, ou seja, os elementos que compõem o conhecimento”. Dessa forma, foram utilizadas as ferramentas a que esses alunos estão habituados. O uso de

*softwares* de simulação em um curso superior congrega a experiência dos alunos com a ferramenta e uma forma diferente de aprendizagem. Os alunos apresentam experiência em diferentes *softwares*, o que será muito útil em sala de aula na utilização de outros *softwares*. Dessa forma, juntou-se a experiência trazida por eles para o trabalho com ferramentas que falem de Física. Montamos, assim, um ambiente próprio para que os alunos se sentissem à vontade e pudessem interagir com os conceitos da Física. A proposta de pesquisa parte de aplicação do material instrucional, envolvendo circuitos elétricos, confeccionado para atividades práticas e verificação do comportamento desses estudantes conforme aprendiam utilizando os mecanismos propostos, fossem eles aplicados de forma isolada ou combinada. Foi preciso propor as atividades de uma forma cautelosa para que se pudesse sair do ambiente dos alunos, de certa forma virtual, uma vez que se tratava de alunos de um curso de informática, para um ambiente que se pode chamar de real ou, ainda, concreto. Era necessário verificar a transposição sendo realizada do que se considera o ensino feito por meio de simulações para o mundo real; nesse caso, o painel pretendia mostrar a real aprendizagem.

Os circuitos elétricos foram trabalhados de quatro formas distintas: a primeira, considerada forma “tradicional”, com a utilização do “quadro negro e giz” e a resolução de problemas com o emprego de lápis e papel.

A segunda, com a utilização do *software* Modellus, que permite trabalhar com modelos matemáticos em Matemática, Física e Química, não só para cálculos ou esboço de gráficos, mas também para, a partir desses modelos, poder fazer simulações de situações previstas por eles (TEODORO, 2008). As limitações inerentes a cada modelo podem ser discutidas, e o *software*, por si só, não cria um fenômeno físico. Por isso, podem ser consideradas simulações de certas situações reais.

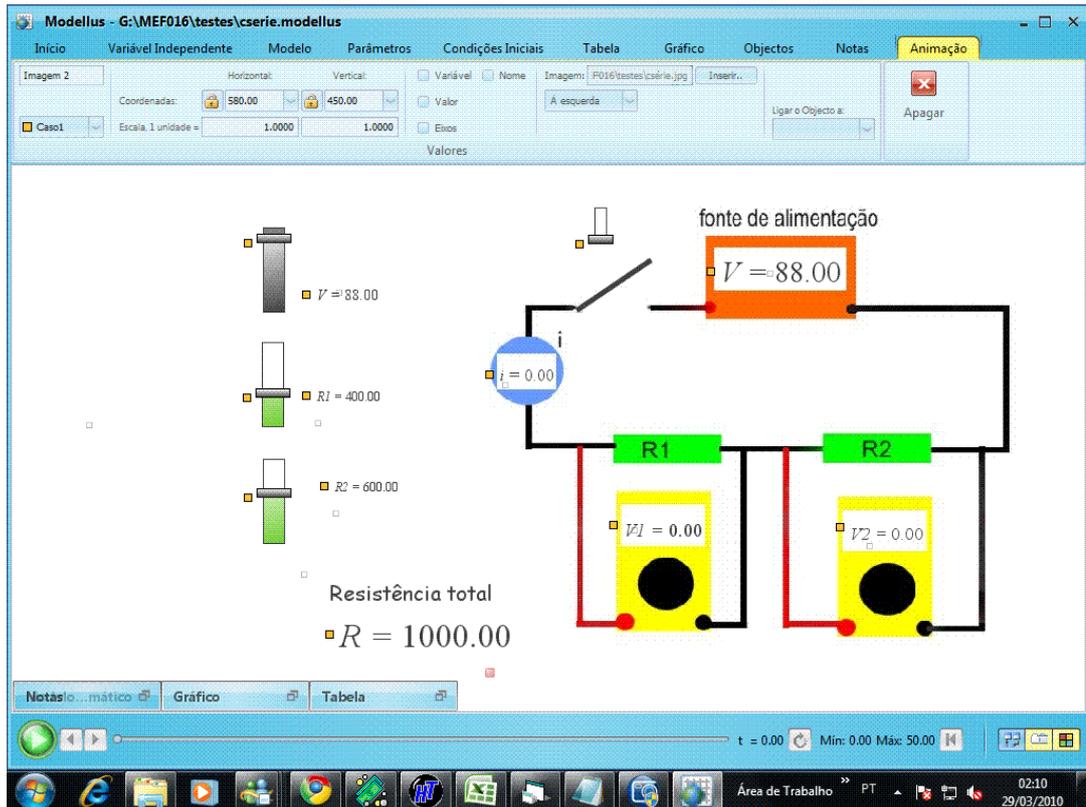


Figura 4 – Tela do Modellus com a simulação do circuito série

Em Física, por meio desse *software*, podemos estudar diversos fenômenos. As vantagens na utilização de uma simulação no Modellus (Figura 4) residem no fato de o estudante poder variar fácil e rapidamente os parâmetros envolvidos nos modelos e obter uma saída gráfica, além de animação e ferramentas de medição. O programa Modellus apresenta ainda a versatilidade do trabalho com o próprio modelo matemático do tópico em questão, mostrando ser uma ferramenta interessante no auxílio da ilustração de fenômenos físicos e na introdução dos tópicos matemáticos necessários para descrevê-los. Ele foi desenvolvido por alguns estudantes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa, e pode ser obtido gratuitamente por meio da Internet (TEODORO, 2008).

É justamente na possibilidade de modificação dos valores das constantes associadas ao modelo e à visualização do resultado que reside a grande utilidade dessa ferramenta no processo de interatividade com o estudante. O estudante só precisa inserir o modelo (uma equação), colocar valores para certas constantes e dar início à simulação. Com isso, podemos testar o comportamento do modelo para diversas situações físicas. Para mais detalhes sobre o funcionamento do *software*

Modellus, é necessário consultar o manual do programa (TEODORO, 2008). Neste estudo, o *software* foi utilizado com a finalidade apenas de proporcionar aos alunos o manuseio das grandezas físicas resistência elétrica, diferença de potencial e corrente elétrica. Os circuitos propostos dão apenas a possibilidade de interagir com a variação das grandezas.

A terceira forma proposta para estudar os conteúdos relacionados a circuitos elétricos foi a utilização do PhET (Figura 5), Simulações Interativas de Ciência. O Projeto PhET (Physics Educational Technology) foi iniciado por Carl Wieman, ganhador do prêmio Nobel em Física de 2001 por conseguir a condensação de Bose-Einstein. Wieman usava um *applet* de Martin Goldman (do *site* physics2000, um projeto anterior e muito famoso da mesma Universidade), e ficou impressionado com o fato de que, geralmente, em suas palestras, a única coisa de que o público se lembrava era a simulação. Sendo Nobel, ficou um pouco mais fácil conseguir financiamento (do NSF, das fundações Kavli e Hewlett e também o dinheiro do seu prêmio), e Wieman decidiu investigar e produzir sistematicamente o uso de simulações interativas para ensinar física. As simulações do PhET são escritas sobretudo em Java, uma multiplataforma de alta *performance* (por ser uma linguagem estática e compilada), e distribuídas usando a tecnologia Web Start.

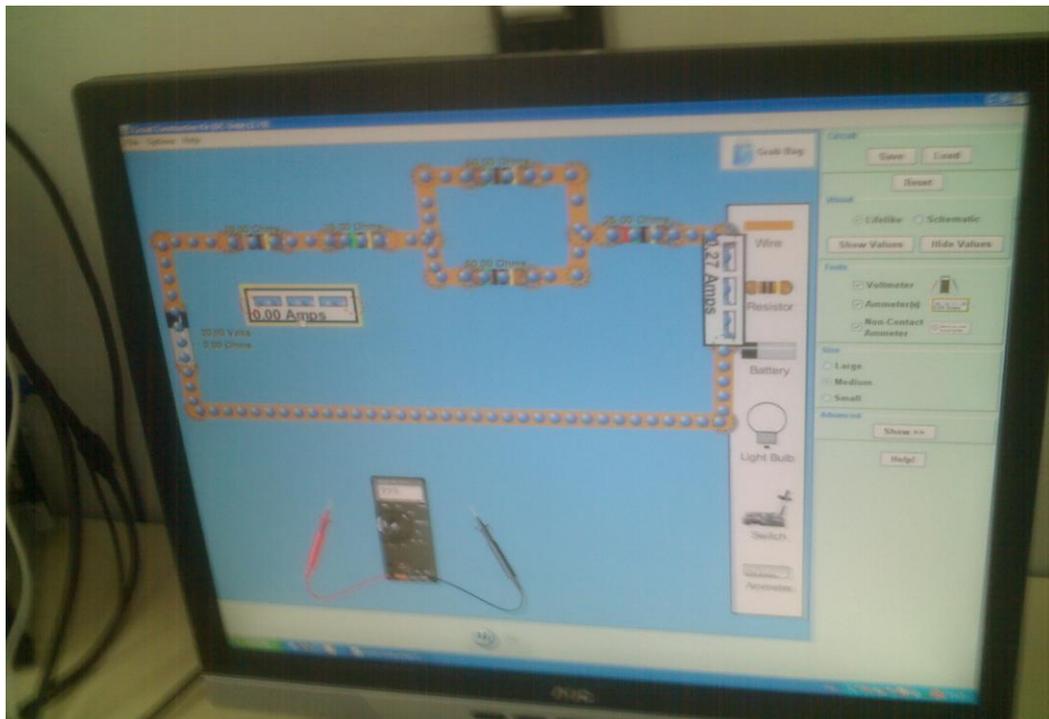


Figura 5 – Circuito montado por alunos no PhET

Nas simulações com o PhET, os estudantes podem trabalhar livremente os circuitos. A montagem é livre e existem também instrumentos de medida que possibilitam que sejam utilizados como em circuitos reais. Considera-se esse *software*, embora haja outros, muito próximo da realidade. A escolha se deu em muito pelo fato de ele ser gratuito, assim como o Modellus. Utilizando-se programas gratuitos, esperamos alcançar um número muito maior de estudantes que se interessem em estudar circuitos elétricos.

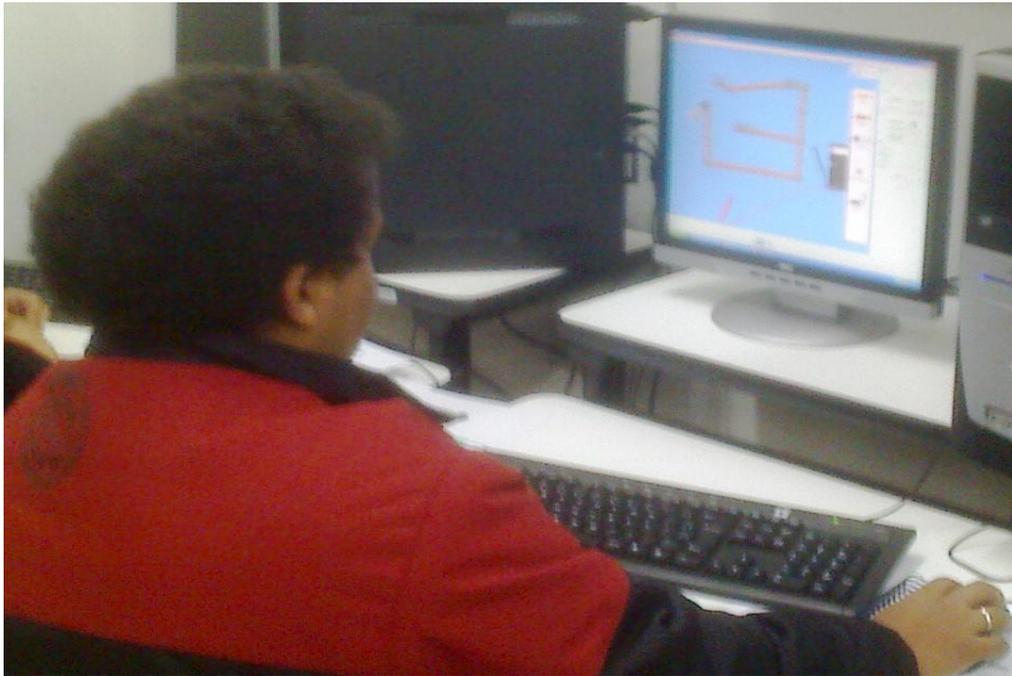


Figura 6 – Manuseio do PhET pelos alunos

Por último temos a utilização de painéis de componentes (Figura 6, Figura 7, Figura 8 e Figura 10) como forma de trabalhar circuitos elétricos de forma real. Com relação a esses painéis, eles foram especialmente construídos com o objetivo de dar grande liberdade ao aluno de construir um circuito elétrico. A proposta era que ele conseguisse pensar a partir das simulações realizadas, tanto no Modellus quanto no PhET. Com fios e componentes como resistores e lâmpadas foi possível a montagem de um circuito funcional. Optamos por deixar fixos no painel, uma fonte de alimentação juntamente com um interruptor e um multímetro.

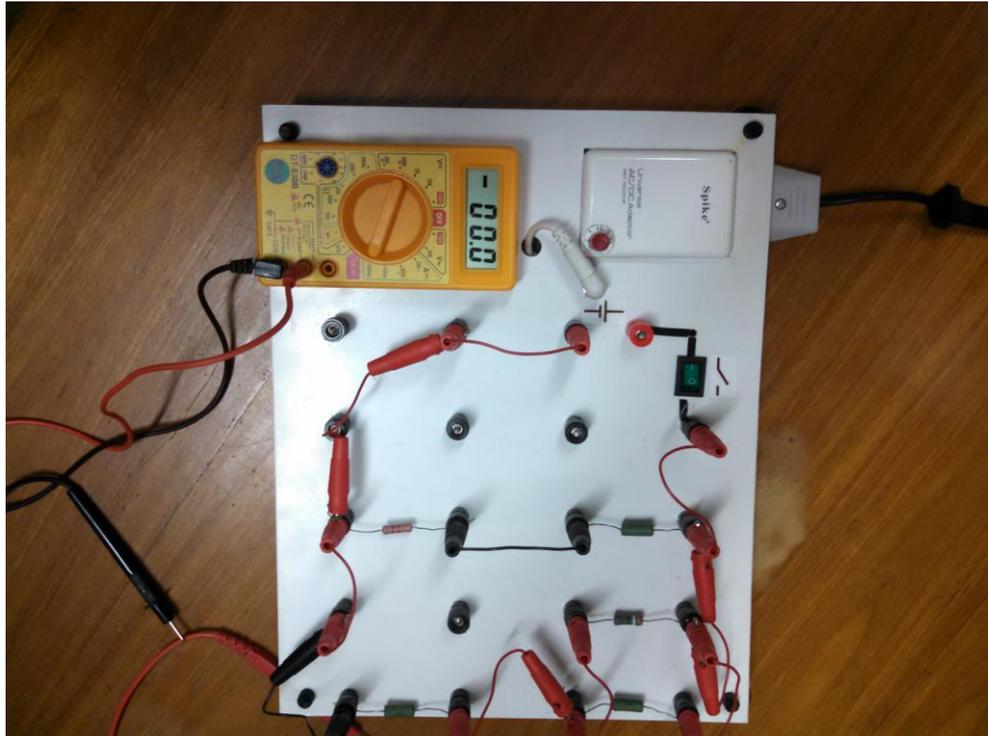


Figura 7 – Painel de Componentes

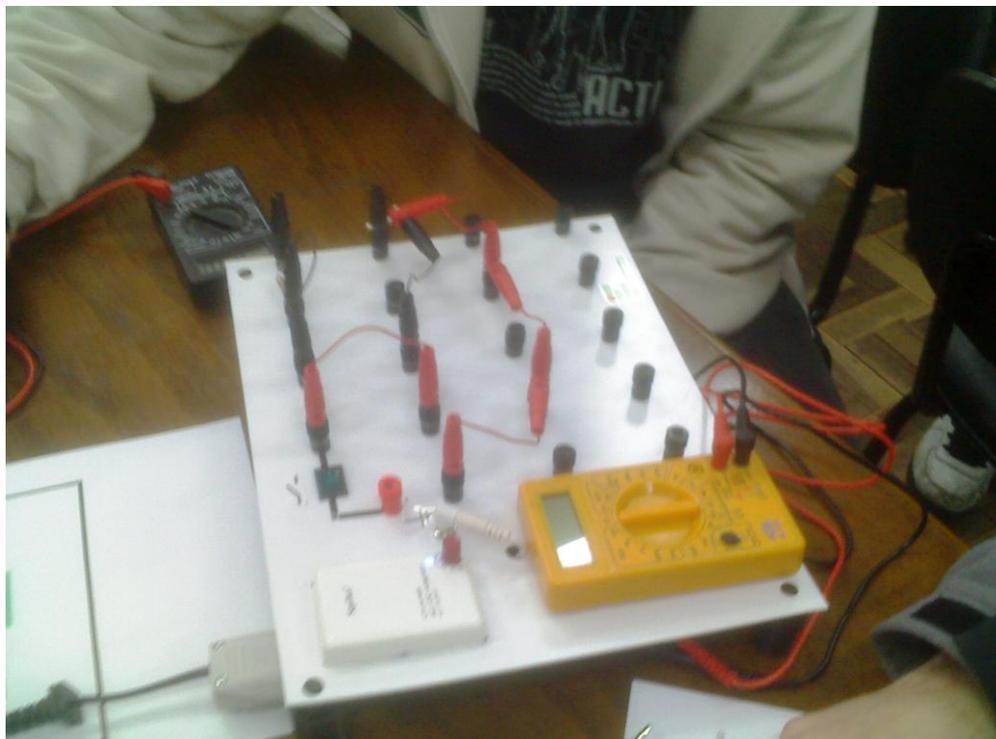


Figura 8 – Circuito montado por alunos no painel



Figura 9 – Manuseio do painel pelos estudantes

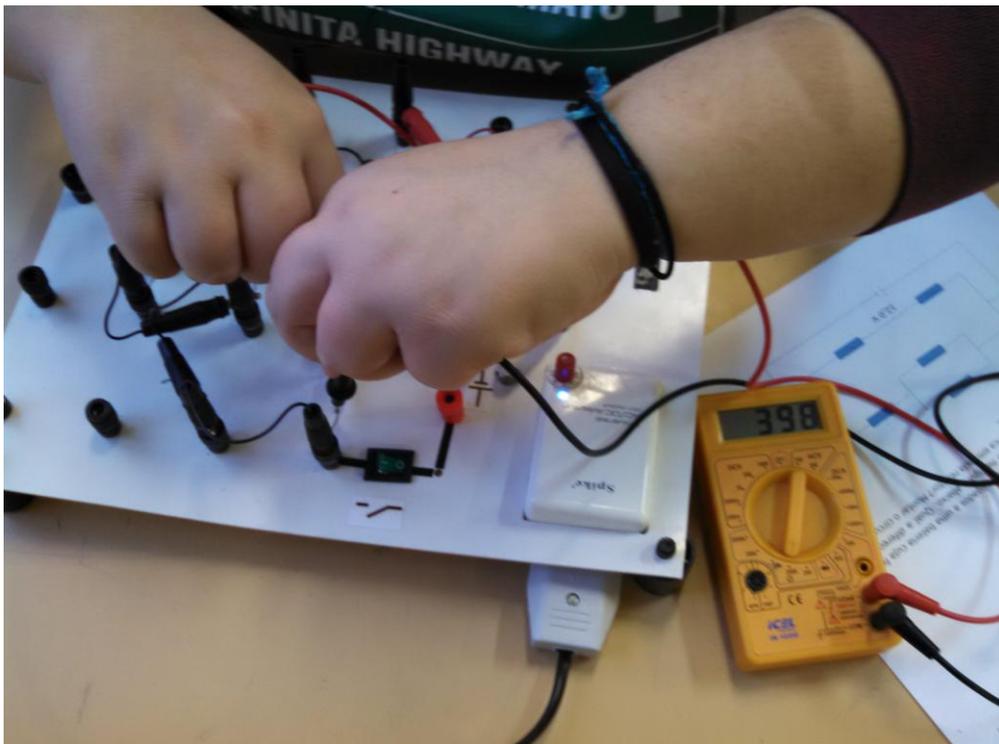


Figura 10 - Manuseio do painel pelos estudantes

As atividades práticas foram planejadas e apresentadas aos alunos em 13 atividades:

1. MODELLUS – ATIVIDADE I – CIRCUITO SIMPLES.
2. MODELLUS – ATIVIDADE II – CIRCUITO SÉRIE.
3. PhET – ATIVIDADE III – CIRCUITO SÉRIE.
4. MODELLUS – ATIVIDADE IV – CIRCUITO PARALELO.
5. PhET – ATIVIDADE V – CIRCUITO PARALELO.
6. PAINEL – ATIVIDADE VI – CIRCUITO PARALELO.
7. MODELLUS – ATIVIDADE VII – CIRCUITO MISTO.
8. MODELLUS – ATIVIDADE VIII – CIRCUITO MISTO.
9. PAINEL – ATIVIDADE IX – CIRCUITO MISTO.
10. PhET – ATIVIDADE X – CIRCUITO MISTO.
11. PhET – ATIVIDADE XI – CIRCUITO SÉRIE.
12. PhET – ATIVIDADE XII – CIRCUITO PARALELO.
13. PAINEL – ATIVIDADE XIII – CIRCUITO MISTO.

As atividades I a X envolvem resistores, e as XI a XIII são atividades com lâmpadas.

Foi preparada uma série de atividades que têm como objetivo introduzir as ferramentas de forma gradual. Assim, optamos inicialmente por utilizar no estudo de circuitos simples o Modellus. Nessa situação, apenas pretendemos que o aluno veja como interagem as grandezas físicas diferença de potencial elétrico, resistência elétrica e corrente elétrica. Logo após, no estudo de circuitos em série com o Modellus, introduzimos o PhET. Então, com circuitos em série, trabalhamos com os dois *softwares*. Nos circuitos em paralelo, além da utilização do Modellus e PhET, iniciamos atividades com painel real.

Nas etapas iniciais, propomos o estudo dos circuitos elétricos com resistores e, mais tarde, foram retomadas nas últimas atividades uma proposta de trabalhar os mesmos circuitos com lâmpadas.

As práticas levaram em conta os objetivos propostos. No caso das criadas sobre circuitos elétricos simples, os objetivos foram os seguintes:

a) a partir de uma diferença de potencial entre pontos de um circuito simples, o aluno deverá:

i) ser capaz de perceber a corrente elétrica como consequência da diferença de potencial e da resistência elétrica;

ii) relacionar o aumento da corrente elétrica no circuito à diminuição da resistência elétrica equivalente.

b) a partir de uma associação de resistores em série, o aluno deverá perceber que:

i) a corrente que circula pelos resistores é a mesma;

ii) a resistência equivalente aumenta quando mais um resistor é associado em série;

iii) a soma das diferenças de potencial entre as extremidades dos resistores é igual à diferença de potencial aplicada entre os extremos da fonte;

iv) a diferença de potencial aplicada entre os extremos da fonte é característica própria da fonte;

v) é necessário tratar o circuito elétrico como um sistema.

c) a partir de uma associação de resistores em paralelo, o aluno deverá perceber que:

i) a diferença de potencial entre os extremos dos resistores é a mesma;

ii) a resistência equivalente diminui quanto mais um resistor é associado em paralelo;

iii) as divisões de correntes em um ponto de junção do circuito (divisor de corrente) dependem do que existe à frente no circuito;

iv) a intensidade da corrente elétrica que passa em um resistor depende da sua resistência elétrica e da diferença de potencial entre os extremos;

v) é necessário tratar o circuito elétrico como um sistema.

d) a partir de um circuito com resistores em associação mista, o aluno deverá ser capaz de:

i) tratar o circuito como um sistema;

ii) identificar o comportamento da diferença de potencial nas extremidades dos resistores;

iii) identificar qual é a intensidade de corrente elétrica que passa em cada resistor.

e) a, partir de um circuito com lâmpadas, o aluno deverá ser capaz de:

i) identificar que a lâmpada é um resistor e, portanto, os comportamentos observados em relação a resistores se manifestam também com lâmpadas (itens b, c e d);

ii) associar o brilho da lâmpada à corrente elétrica e a diferença de potencial.

#### 4.2 PROCEDIMENTOS DA REALIZAÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO DIDÁTICA

A seguir, descreveremos as etapas seguidas ao longo das atividades desenvolvidas neste trabalho. Inicialmente, procuramos montar uma proposta que contemplasse o conteúdo circuitos elétricos de forma que os alunos conseguissem se apropriar de todos os conceitos envolvidos. As ferramentas à disposição, ao longo deste trabalho, foram, além do tradicional “quadro e giz”, o *software* Modellus, o *software* PhET e um painel de circuitos. Em alguns momentos, chama-se o painel de componentes também painel real. Portanto, havia duas ferramentas virtuais e uma ferramenta real. Foi tomado o cuidado de introduzir as ferramentas de modo que sempre contribuíssem no desenvolvimento dos conteúdos trabalhados. A ideia central era a de que as ferramentas se ajudassem mutuamente, ou seja, o ambiente virtual se misturando ao ambiente real e proporcionando ao aluno visões diferentes de um mesmo assunto. O produto didático produzido e descrito aqui teve sempre como foco principal o entendimento dos conceitos envolvidos nos circuitos elétricos por parte dos alunos. As atividades são introduzidas após apresentação do conteúdo Lei de Ohm. Também tivemos o cuidado de trabalhar com os instrumentos de

medidas, uma vez que eles estariam sempre presentes nas atividades, fossem elas virtuais ou reais.

A primeira atividade prática foi um circuito simples, trabalhado apenas pelo *software* Modellus (APÊNDICE A). A atividade serviu para que os alunos pudessem verificar de que forma as grandezas se relacionam.

O segundo conteúdo desenvolvido dentro do produto didático foi o circuito série. Nesse conteúdo, trabalhamos com o Modellus (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e seguido pelo segundo *software*, o PhET (APÊNDICE C). Como consequência, o mesmo conteúdo foi trabalhado com dois *softwares* diferentes.

O terceiro conteúdo manipulado dentro do produto didático foi o circuito paralelo. O desenvolvimento desse conteúdo teve o *software* Modellus (Apêndice D), o *software* PhET (Apêndice E) e o painel de circuitos (Apêndice F). Dessa forma, então, o mesmo assunto foi exercitado de três formas diferentes.

O quarto assunto trabalhado pelo produto didático foi o circuito misto. Estiveram novamente envolvidos os três recursos mencionados anteriormente, o Modellus (Apêndice G e Apêndice H), o PhET (APÊNDICE I) e o painel de circuitos (APÊNDICE J). Ainda no circuito misto, foram introduzidas atividades complementares envolvendo lâmpadas (APÊNDICE K, APÊNDICE L e APÊNDICE M).

#### 4.3 ETAPAS DA CONSTRUÇÃO DA METODOLOGIA

Para delinear a metodologia de pesquisa foram realizados vários experimentos. Alguns serviram apenas de piloto, dos demais resultaram dados definitivos para análise conclusiva da presente pesquisa.

Os conteúdos foram inicialmente introduzidos de forma tradicional. Consideramos a forma tradicional aquela em que o professor utiliza somente as ferramentas “quadro negro e giz”. Após a conclusão das atividades com a resolução de problemas, um teste envolvendo questões trabalhadas foi aplicado (APÊNDICE

M), em seguida propusemos uma entrevista com os estudantes seguindo o seguinte roteiro:

- 1) Fale o que pensa sobre CORRENTE ELÉTRICA.
- 2) Como se obtém o valor de uma CORRENTE ELÉTRICA?
- 3) Associa CORRENTE ELÉTRICA a alguma cor?
- 4) Associa resistência elétrica a alguma forma?
- 5) Fale o que pensa sobre RESISTÊNCIA ELÉTRICA.
- 6) Como se obtém o valor de uma RESISTÊNCIA ELÉTRICA?
- 7) Associa RESISTÊNCIA ELÉTRICA a alguma cor?
- 8) Associa RESISTÊNCIA ELÉTRICA a alguma forma?
- 9) Fale o que pensa quando ouve o termo DIFERENÇA DE POTENCIAL.
- 10) Como se obtém o valor de uma DIFERENÇA DE POTENCIAL?
- 11) Associa DIFERENÇA DE POTENCIAL a alguma cor?
- 12) Associa DIFERENÇA DE POTENCIAL a alguma forma?
- 13) Em que contexto vê o resistor no circuito elétrico?
- 14) Em que contexto vê a energia no circuito elétrico?
- 15) Em que contexto vê a potência no circuito elétrico?
- 16) Desenha um circuito simples e faz a explicação de tudo que está envolvido nele.

Terminada a etapa anterior, dividimos a turma aleatoriamente em quatro grupos. O grupo A continuou resolvendo problemas pelo método tradicional, ou seja, lápis e papel. O grupo B passou a resolver problemas com utilização do *software* Modellus. O grupo C teve como ferramenta na resolução de problemas o PhET. Por último, o grupo D resolveu problemas com utilização de um painel de componentes.

Após trabalhar com resolução de problemas nas diversas ferramentas foi aplicada novamente a tarefa (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), desta vez com a utilização da ferramenta trabalhada. Na sequência, todos os estudantes

que desenvolveram das atividades foram convidados a participar da entrevista, porém alguns se negaram a tal, sendo assim, entrevistamos os que se propuseram espontaneamente. O roteiro utilizado na entrevista aparece a seguir.

- 1) Que estratégia utilizou na resolução dos problemas propostos?
- 2) Fale o que pensa sobre CORRENTE ELÉTRICA.
- 3) Como se obtém o valor de uma CORRENTE ELÉTRICA?
- 4) Associa CORRENTE ELÉTRICA a alguma cor?
- 5) Associa resistência elétrica a alguma forma?
- 6) Fale o que pensa sobre RESISTÊNCIA ELÉTRICA.
- 7) Como se obtém o valor de uma RESISTÊNCIA ELÉTRICA?
- 8) Associa RESISTÊNCIA ELÉTRICA a alguma cor?
- 9) Associa RESISTÊNCIA ELÉTRICA a alguma forma?
- 10) Fale o que pensa quando ouve o termo DIFERENÇA DE POTENCIAL.
- 11) Como se obtém o valor de uma DIFERENÇA DE POTENCIAL?
- 12) Associa DIFERENÇA DE POTENCIAL a alguma cor?
- 13) Associa DIFERENÇA DE POTENCIAL a alguma forma?
- 14) Em que contexto vê o resistor no circuito elétrico?
- 15) Em que contexto vê a energia no circuito elétrico?
- 16) Em que contexto vê a potência no circuito elétrico?
- 17) Desenha um circuito simples e faz a explicação de tudo que está envolvido nele.

Os conteúdos foram inicialmente introduzidos de forma tradicional. Consideramos a forma tradicional aquela em que o professor utiliza somente as ferramentas “quadro negro e giz”. Após a conclusão das atividades com a resolução de problemas, um teste envolvendo questões trabalhadas foi aplicado (APÊNDICE M); em seguida propusemos uma entrevista com os estudantes seguindo o seguinte roteiro:

- 1) Fale o que pensa sobre CORRENTE ELÉTRICA.
- 2) Como se obtém o valor de uma CORRENTE ELÉTRICA?
- 3) Associa CORRENTE ELÉTRICA a alguma cor?
- 4) Associa resistência elétrica a alguma forma?
- 5) Fale o que pensa sobre RESISTÊNCIA ELÉTRICA.
- 6) Como se obtém o valor de uma RESISTÊNCIA ELÉTRICA?
- 7) Associa RESISTÊNCIA ELÉTRICA a alguma cor.
- 8) Associa RESISTÊNCIA ELÉTRICA a alguma forma.
- 9) Fale o que pensa quando ouve o termo DIFERENÇA DE POTENCIAL.
- 10) Como se obtém o valor de uma DIFERENÇA DE POTENCIAL?
- 11) Associa DIFERENÇA DE POTENCIAL a alguma cor.
- 12) Associa DIFERENÇA DE POTENCIAL a alguma forma?
- 13) Em que contexto vê o resistor no circuito elétrico?
- 14) Em que contexto vê a energia no circuito elétrico?
- 15) Em que contexto vê a potência no circuito elétrico?
- 16) Desenha um circuito simples e faz a explicação de tudo que está envolvido nele.

Terminada a etapa anterior, dividimos as duas turmas em quatro grupos. O grupo A continuou resolvendo problemas pelo método tradicional, ou seja, lápis e papel. O grupo B passou a resolver problemas com utilização do *software* Modellus. O grupo C teve como ferramenta na resolução de problemas o PhET. Por último, o grupo D resolveu problemas com utilização de um painel de componentes.

Após trabalhar com resolução de problemas nas diversas ferramentas, foi aplicada novamente a tarefa (APÊNDICE M), desta vez com a utilização da ferramenta trabalhada. Na sequência, parte dos alunos, os que se propuseram espontaneamente, participou de uma entrevista conforme roteiro a seguir:

- 1) Que estratégia utilizou na resolução dos problemas propostos?
- 2) Fale o que pensa sobre CORRENTE ELÉTRICA.
- 3) Como se obtém o valor de uma CORRENTE ELÉTRICA?
- 4) Associa CORRENTE ELÉTRICA a alguma cor.
- 5) Associa resistência elétrica a alguma forma.
- 6) Fale o que pensa sobre RESISTÊNCIA ELÉTRICA.
- 7) Como se obtém o valor de uma RESISTÊNCIA ELÉTRICA?
- 8) Associa RESISTÊNCIA ELÉTRICA a alguma cor.
- 9) Associa RESISTÊNCIA ELÉTRICA a alguma forma
- 10) Fale o que pensa quando ouve o termo DIFERENÇA DE POTENCIAL.
- 11) Como se obtém o valor de uma DIFERENÇA DE POTENCIAL.
- 12) Associa DIFERENÇA DE POTENCIAL a alguma cor.
- 13) Associa DIFERENÇA DE POTENCIAL a alguma forma.
- 14) Em que contexto vê o resistor no circuito elétrico?
- 15) Em que contexto vê a energia no circuito elétrico?
- 16) Em que contexto vê a potência no circuito elétrico?
- 17) Desenha um circuito simples e faz a explicação de tudo que está envolvido nele.

Neste ponto é necessário expor a metodologia utilizada nas entrevistas com os estudantes, das quais colhemos as informações pertinentes para as nossas conclusões. Utilizamos a metodologia adotada por Ramos (2015), segundo o qual, no protocolo Report Aloud, a tarefa de pensar em voz alta é realizada depois que o sujeito resolveu a situação problema. Ramos também realiza uma mudança no protocolo original Think Aloud, levando em conta as vantagens e desvantagens específicas de cada uma das propostas. Se a técnica original Think Aloud tem como ponto positivo o fato de o entrevistador ter acesso direto, no ato da descrição, ao que o estudante está pensando, a própria técnica em si provoca uma alteração na atividade de resolução de problemas, que é, por certo, significativa! No mínimo, a reflexão sobre como o problema será resolvido é maior do que se o estudante estivesse resolvendo sozinho, seja pelo emprego da técnica, seja pela presença de um observador.

Após a realização das atividades propostas propusemos uma série de perguntas relacionadas com o evento e as respostas foram analisadas em três fases: inicialmente apenas a transcrição da voz, em seguida a transcrição dos gestos e, por fim, a interpretação dos significados dos gestos.

O método utilizado não é realizado no momento da atividade e sim após. Este período pode variar de acordo com a disponibilidade que o estudante possui em realizar as entrevistas. Mesmo com este prazo, verificamos que a técnica não fica prejudicada e é possível apurar grande grau de espontaneidade por parte dos estudantes, pois reproduzem com detalhes as atividades realizadas. No próprio momento da entrevista já é possível perceber que o tempo não prejudicou a coleta de dados. Isto só reforça que houve sucesso na memorização do conhecimento fruto das atividades realizadas.

## 5 EXPERIMENTOS DEFINITIVOS

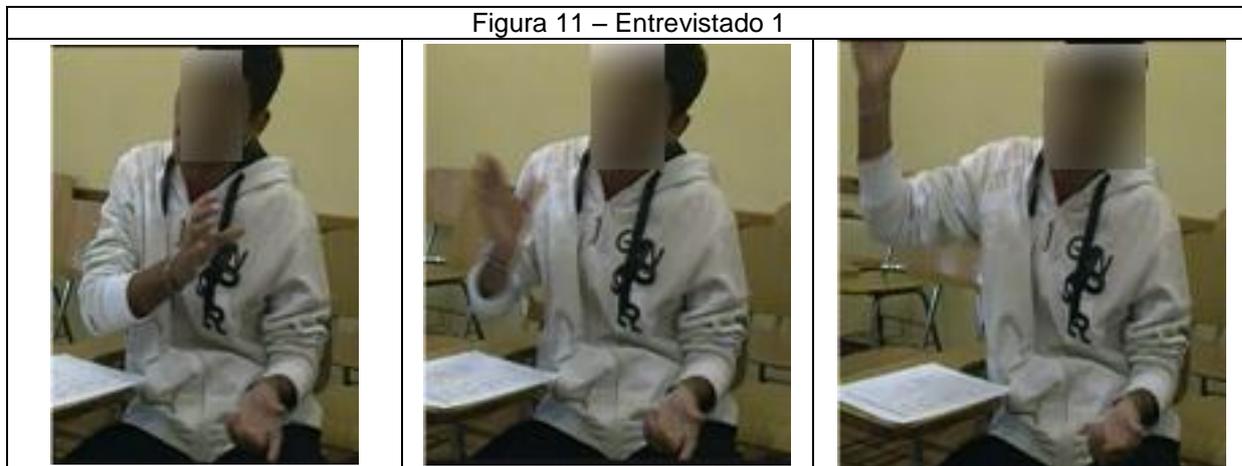
Ao longo de quatro anos preparamos os experimentos para que pudessem fornecer resultados de avanços de aprendizagem, principalmente com a utilização das TICs, além de estudos tradicionais. Consideramos como tradicionais, ao longo das atividades, os estudos desenvolvidos com lápis e papel e também a utilização de laboratório para o desenvolvimento de circuitos.

### 5.1 REPRESENTAÇÕES MENTAIS DESTACADAS DURANTE AS ENTREVISTAS REALIZADAS COM OS ALUNOS

Como parte da pesquisa, são apresentados resultados parciais em que se pode destacar a importância do referencial teórico. Pode-se verificar a pertinência do referencial de Laudan quando se apresenta problemas acerca de circuitos elétricos aos alunos e se deixa que eles os solucionem. As atividades envolvendo simulações com circuitos elétricos e as atividades de laboratório mostram claramente a influência da TMC na forma como os estudantes passam a se expressarem.

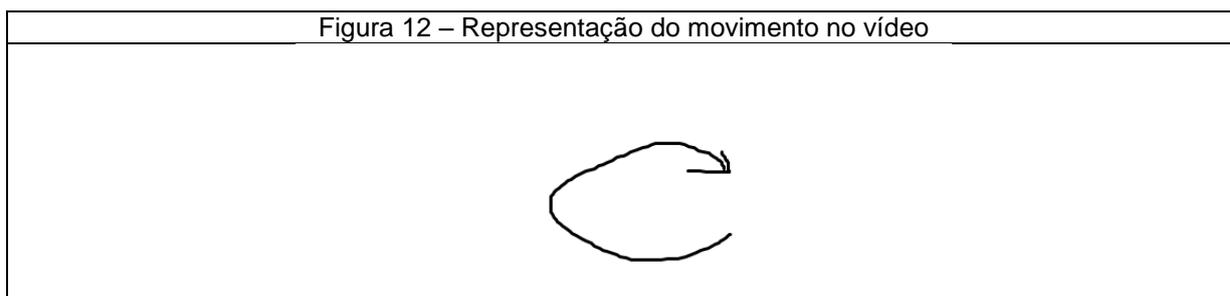
Os circuitos elétricos têm um campo conceitual bastante abstrato e, sendo assim, é necessário recorrer a signos para poder penetrar mentalmente no mundo dos elétrons. Para compreender o funcionamento de um circuito elétrico, o aluno precisa criar modelos mentais. Para entender tal assunto, os estudantes precisam estar familiarizados com a multiplicidade de condições, com o significado de modelos científicos, como também a diferença entre os níveis macroscópicos (fenômenos físicos), microscópicos (elétrons, cargas) e representacionais (simbólicas e representações matemáticas). Segundo Johnstone (1991), os conteúdos podem ser representados nesses três níveis. O nível macroscópico corresponde às representações mentais adquiridas a partir da experiência sensorial direta, ou seja, é construído mediante a informação proveniente dos sentidos; já o nível microscópico refere-se às representações abstratas, a exemplo de modelos que os estudantes têm sobre a física associados ao esquema de partículas; o outro nível chamado de simbólico expressa os conceitos que os estudantes têm a partir de fórmulas, equações, expressões matemáticas, gráficos, entre outros.

As formas de expressões mais notadas estão descritas a seguir com auxílio de algumas imagens. As imagens foram retiradas da sequência do vídeo da entrevista no pré-teste de alguns alunos.

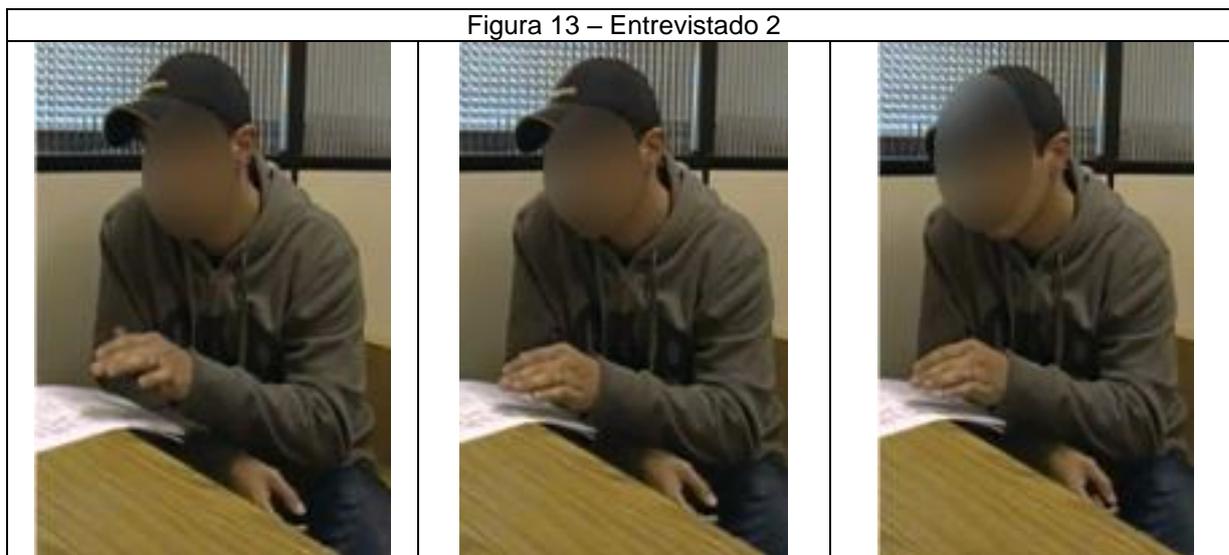


Fonte: Entrevista, o autor (2013).

O movimento da mão representado nas imagens da Figura 11 reflete para alguns o movimento de uma corrente circulando em um circuito elétrico. Para outros, esse movimento reflete o movimento de elétrons que estão em algum tipo de movimento. Ainda se percebe que isso também, para alguns estudantes, representa que existe uma energia circulante que possibilita o funcionamento de aparatos elétricos. Nas entrevistas, é possível perceber a confusão que alguns alunos fazem em tentar explicar a comparação entre o brilho de diferentes lâmpadas em um circuito composto apenas de uma fonte de tensão e estas lâmpadas. Procura-se demonstrar na figura a seguir o sentido que o aluno tenta representar com seus gestos. A Figura 12 está representando o significado do gesto apresentado pelo entrevistado 1. Esse é o nível de representação microscópico para a representação mental para alguns de corrente elétrica, para cargas em movimento, para a energia que circula no circuito elétrico.



Fonte: O autor.



Fonte: Entrevista, o autor (2013).

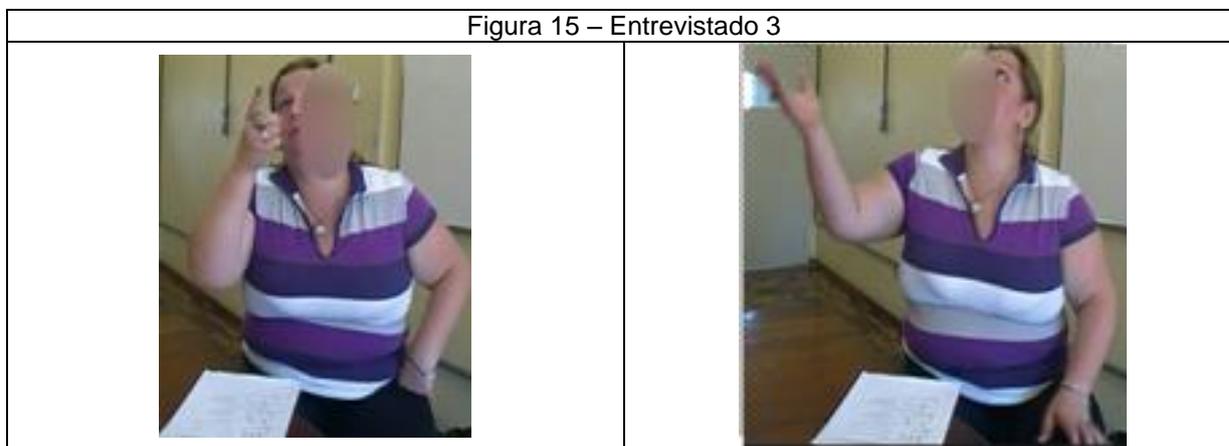
O movimento da mão mostrado na sequência da Figura 13 procura demonstrar a resistência elétrica. O gesto feito é com a mão na vertical como se estivesse cortando algo. A maioria dos alunos não faz diferença entre o que seja uma resistência elétrica e um resistor. Durante as entrevistas, houve alguma confusão acerca da utilidade de um resistor, e quase todos os entrevistados não vinculam as lâmpadas a resistores. Na Figura 14, apresenta-se a tentativa dos gestos para mentalmente representar o símbolo de um resistor. Esse é o nível de representação simbólica para a representação mental de um resistor que é utilizada por vários estudantes.



Fonte: O autor.

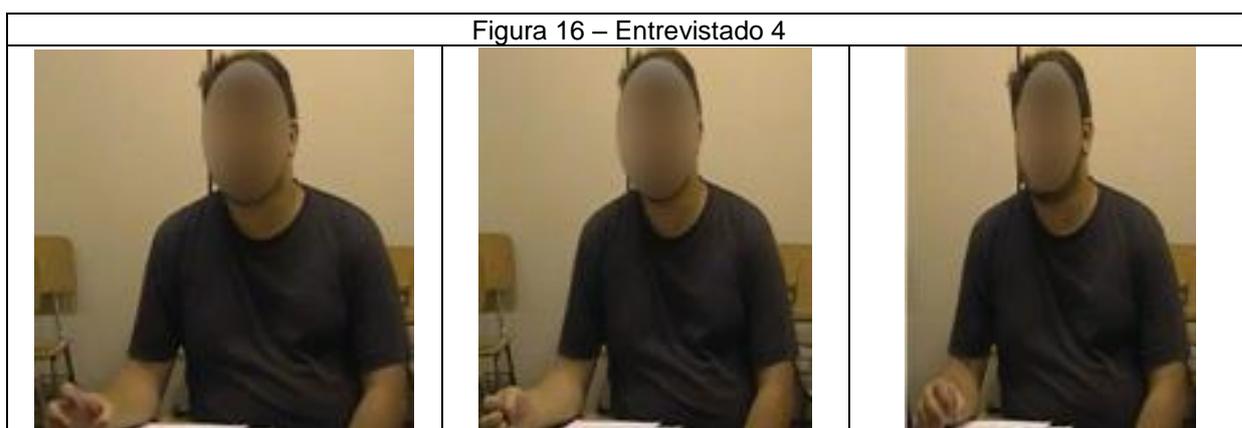
A representação mental para brilho de lâmpadas é representada pelo entrevistado 3, que não vê diferença entre o circuito apresentado no pré-teste e as lâmpadas da sala de aula. O fato do circuito apresentar lâmpadas não distingue de uma situação residencial, por exemplo, independentemente da forma que estiverem

ligadas. Como mostrado na Figura 15, ela aponta e olha para as lâmpadas como forma de representar seu brilho.



Fonte: Entrevista, o autor (2013).

O aluno da Figura 16, entrevistado 4, representa, ao fechar a sua mão direita, o fato de a lâmpada deixar de brilhar. Tanto na Figura 12 quanto na Figura 16 fica claro o nível de representação macroscópico para a imagem mental tanto da lâmpada, que aumenta o brilho, quanto para a que diminui o brilho.



Fonte: Entrevista, o autor (2013).

Para Laudan (1978), a ciência pode ser vista como resolução de problemas. As situações propostas fizeram com que os estudantes chegassem a resultados por todas as ferramentas que lhes foram fornecidas. Independentemente da ferramenta, apareceram os resultados. Ainda para Laudan (1978), o objetivo da ciência é obter teorias com elevada efetividade na resolução de problemas, critério este que

proporcionará à ciência evolução. É possível mostrar que cada ferramenta possui a sua forma de solucionar problemas, mesmo que alguma tenham se apresentado superior às demais. Em todas as ferramentas temos os indícios de presença da capacidade extracerebral, que, para Souza (2000), partindo-se do princípio de que a cognição humana depende fundamentalmente do processamento de informações e considerando que o cérebro humano isolado se apresenta como insuficiente para explicar a maior parte do desempenho cognitivo, é forçoso concluir que outros mecanismos de processamento de informação estão envolvidos.

Desta forma, pode-se perceber que os dois referenciais se encontram perfeitamente articulados, porque ambos visam à aprendizagem por meio da compreensão de solução de problemas utilizando ferramentas culturais e hiperculturais. Isto nos permite fazer a comparação entre a utilização de ferramentas reais frente à utilização de ferramentas virtuais.

## 5.2 DESCRIÇÃO DO PRIMEIRO EXPERIMENTO DEFINITIVO

A disciplina Física e Eletricidade, tem como objetivo manusear os conteúdos de eletricidade básica que servirão de base para uma disciplina que trabalha o *hardware* de computadores no curso Tecnólogo em Sistemas de Informação. Os conteúdos trabalhados estão classificados dentro da Eletricidade. Após o estudo dos conteúdos da Eletrostática, foi dada ênfase para os Circuitos Elétricos. Por se tratar de um curso superior, todos os alunos deveriam ter visto tal disciplina no Ensino Médio ou equivalente. Mesmo com esse particular, notamos que os alunos reclamam muito da forma como esse conteúdo foi trabalhado. Em muitos casos, alegaram que o conteúdo não foi ministrado. Outros reclamam que o conteúdo ministrado dava maior ênfase às fórmulas. Como forma de melhor trabalhar os conteúdos, fazendo com que as aulas fossem mais atrativas e proporcionando um melhor entendimento, optamos por trabalhar com aulas práticas em laboratório. Parte dessas aulas utilizaram práticas com simulação em *softwares* de computador. No caso específico, trabalhamos com o *software* Modellus e o *software* PhET. A partir dos *softwares* Modellus (VEIT; TEODORO, 2002) e PhET – Physics Education Technology (Perkins et al., 2006), há condição para o estudo de circuitos elétricos e

um ambiente para experimentos de circuitos elétricos que permita aos alunos a criação e a análise de circuitos elétricos reais. Modellus é um sistema que permite trabalhar com modelos matemáticos em Matemática, Física e Química, não só para serem feitos cálculos ou esboçar gráficos, mas também para, a partir desses modelos, fazer simulações de situações previstas por eles (TEODORO, 2008). As limitações inerentes a cada modelo podem ser discutidas e o *software*, por si só, não cria um fenômeno físico, por isso podem ser consideradas simulações de certas situações reais.

Em Física, por meio desse sistema, pode-se estudar diversos fenômenos. As vantagens na utilização de uma simulação no Modellus residem no fato de o estudante poder variar fácil e rapidamente os parâmetros envolvidos nos modelos e obter uma saída gráfica, além de animação e ferramentas de medição. Ele foi desenvolvido por alguns estudantes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa e pode ser obtido gratuitamente por meio da Internet (TEODORO, 2008).

É justamente na possibilidade de modificação dos valores das constantes associadas ao modelo e na visualização do resultado que reside a grande utilidade dessa ferramenta no processo de interatividade com o estudante. O estudante só precisa inserir o modelo (uma equação), colocar valores para certas constantes e dar início à simulação. Com isso, podemos testar o comportamento do modelo para diversas situações físicas. Para mais detalhes sobre o funcionamento do *software* Modellus, pode-se consultar o manual do programa (Teodoro, 2008). Neste estudo, o *software* foi utilizado com a finalidade apenas de proporcionar aos alunos o manuseio das grandezas físicas resistência elétrica, diferença de potencial e corrente elétrica. Os circuitos propostos dão apenas a possibilidade de interagir com a variação das grandezas.

A segunda forma proposta para estudar os conteúdos relacionados a circuitos elétricos foi a utilização do PhET, Simulações Interativas de Ciência. O Projeto PhET foi iniciado por Carl Wieman, ganhador do prêmio Nobel em Física de 2001 por conseguir a condensação de Bose-Einstein. Wieman usava um *applet* de Martin Goldman (do *site* physics2000, um projeto anterior e muito famoso da mesma

universidade). As simulações do PhET são escritas, sobretudo, em Java e distribuídas usando a tecnologia Web Start.

Pretendemos verificar como a utilização de *softwares* de simulação poderá ajudar na superação das diversas dificuldades encontradas pelos alunos, por se motivarem em ambientes virtuais de fácil entendimento, associados a processos educativos. O uso de computadores pode permitir o estudo de situações difíceis ou inviáveis na prática, possibilitando ainda maior facilidade na compreensão dos fenômenos físicos (ARAUJO; Abid, 2003). Eles permitem a possibilidade de visualizar, interagir e realizar experiências que só poderiam ser efetuadas em laboratório, além de facilitar a aprendizagem nos processos reais. Simulações computacionais vão além das simples animações. Elas englobam uma vasta classe de tecnologias, do vídeo à realidade virtual, que podem ser classificadas em certas categorias gerais baseadas fundamentalmente no grau de interatividade entre o aprendiz e o computador (GADDIS, 2000).

Por último, foram realizadas as atividades em um painel de circuitos como forma de concluir as atividades de uma forma real, com um circuito com componentes reais. Com relação aos painéis, eles foram especialmente construídos com o objetivo de dar grande liberdade ao aluno de construir um circuito elétrico. A proposta era que ele conseguisse pensar a partir das simulações realizadas, sejam as feitas no Modellus ou no PhET. Com fios e componentes como resistores e lâmpadas, era possível a montagem de um circuito funcional. Optamos por deixar fixos no painel a fonte com um interruptor e um multímetro.

Em alguns momentos, chamamos o painel de circuitos também de painel real. Portanto, trabalhamos com duas ferramentas virtuais e uma ferramenta real. A ideia central foi a de que as ferramentas se ajudassem mutuamente, ou seja, o ambiente virtual se misturando ao ambiente real e proporcionando ao aluno visões diferentes de um mesmo assunto. As atividades são introduzidas após apresentação do conteúdo Lei de Ohm.

A primeira atividade prática foi um circuito simples, trabalhado apenas pelo *software* Modellus (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A atividade serviu para que os alunos pudessem verificar de que forma as grandezas resistência elétrica, diferença de potencial e corrente elétrica se relacionam.

O segundo conteúdo desenvolvido foi o circuito série. Nesse conteúdo, interagimos com o Modellus, introduzindo em seguida também o segundo *software*, o PhET.

O terceiro conteúdo trabalhado foi o circuito paralelo. O desenvolvimento desse conteúdo teve o *software* Modellus, o *software* PhET e o painel de circuitos. Dessa forma, então, abordamos o mesmo assunto de três formas diferentes, duas com a utilização de *softwares* e uma com o painel de circuitos.

O quarto assunto trabalhado foi o circuito misto. Estiveram novamente envolvidos os três recursos trabalhados anteriormente: o Modellus, o PhET e o painel de circuitos. Ainda no circuito misto, foram introduzidas atividades complementares envolvendo lâmpadas.

### 5.3 DESCRIÇÃO DA ETAPA DE TOMADA DE DADOS

Dentro do desenvolvimento do curso, após a aplicação de todas as atividades com a utilização das ferramentas trabalhadas, foi proposta uma atividade com problemas tradicionais envolvendo circuitos elétricos em dois momentos distintos: no primeiro para que o estudante trabalhasse somente de forma tradicional, aquela a que, na sua maioria, estavam acostumados durante o tempo de estudos anteriores. Embora não se tenha feito um levantamento oficial, constatamos que a maioria não teve atividades práticas nestes estudos. Então consideramos aqui como método tradicional o lápis e papel para resolução de problemas. No segundo momento propomos trabalhar os problemas com a utilização de ferramentas práticas, observando aqui as ferramentas Modellus, PhET e o painel de componentes. O objetivo de tais atividades seria verificar de que forma os estudantes agiriam no desenvolvimento dos exercícios com as diversas ferramentas à sua disposição. O primeiro exercício correspondia a trabalhar com um circuito simples composto de uma fonte e um resistor, no qual eram dadas a tensão da fonte e a resistência elétrica do resistor. Era solicitado que se encontrasse o valor da corrente elétrica. O segundo exercício, seguindo o mesmo princípio do primeiro, apresentava uma fonte cuja tensão era fornecida e dois resistores associados em série, cujos valores das resistências elétricas foram igualmente fornecidos. Solicitava-se no exercício que fosse encontrada a resistência elétrica total, a corrente total e a diferença de

potencial em cada resistor da associação. O terceiro correspondia a um circuito paralelo composto de dois resistores. Foram fornecidos os valores de resistência elétrica de cada resistor e a diferença de potencial da fonte. Foi solicitado os valores da resistência total da associação, a diferença de potencial e a corrente elétrica em cada resistor da associação. Por último, fornecemos um circuito misto com três resistores. Houve liberdade na escolha das resistências dos resistores e da diferença de potencial da fonte. O diagrama também era parte do exercício. O estudante deveria montar o diagrama do circuito. Deveriam ser fornecidos, no final, os valores de resistência total da associação, a diferença de potencial em cada resistor e o valor da corrente elétrica em cada resistor.

No primeiro momento foram aplicadas atividades (Apêndice N) para serem resolvidas com a utilização de lápis e papel, lembrando que resolver problemas desta maneira tem sido ao longo dos anos para alguns estudantes a única forma de trabalhar conteúdos de física. Muitos professores consideram que o estudante que aprende a resolver problemas é o que aprende os conceitos de física. Pelo menos é assim nas avaliações, que constata o insucesso de muitos estudantes. Nosso papel aqui não é discutir a eficácia da resolução de problemas envolvendo o lápis e papel, mas quais imagens eles conseguem desenvolver com esta técnica.

Logo após o desenvolvimento da atividade foram realizadas entrevistas com os estudantes. Todas as entrevistas foram filmadas e tiveram as suas transcrições de voz realizadas. Na sequência, descrevemos, junto à transcrição, os gestos realizados pelos estudantes e ainda a interpretação de tais gestos.

Terminada, em sala de aula, a etapa de resolução dos problemas envolvendo lápis e papel, passamos a trabalhar as etapas envolvendo os *softwares* Modellus e PhET, bem como a utilização de um painel de componentes. Os estudantes foram divididos aleatoriamente em três grupos. Trabalhamos o conteúdo circuitos elétricos com um dos grupos utilizando apenas o *software* Modellus, um segundo grupo com a utilização do *software* PhET e o terceiro grupo com o painel de componentes. Cabe ressaltar que se trabalhou todo o conteúdo utilizando cada grupo uma ferramenta apenas. Referimo-nos a todo conteúdo o estudo do circuito simples, do circuito série, do circuito paralelo e do circuito misto.

Pretendia-se verificar de que maneira os estudantes iriam se comportar na resolução dos problemas utilizando as ferramentas trabalhadas ao longo do semestre. Para isso, colocamos como regra na resolução que os estudantes deveriam escolher duas das quatro ferramentas trabalhadas ao longo do semestre, considerando como ferramentas o lápis e papel, o *software* Modellus, o *software* PhET e o painel de circuitos para apresentar a solução dos problemas um, dois e três. No último problema, uma das ferramentas já estava pré-selecionada, ou seja, parte dos estudantes deveria resolver com lápis e papel, parte com o Modellus, parte com o PhET e outra parte com o painel de circuitos.

#### 5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Classificação dos gestos após resolução de problemas envolvendo as quatro ferramentas.

##### **5.4.1 Classificação dos gestos a partir da utilização do software PhET**

A Tabela 6 identifica a classificação dos gestos obtidos a partir da análise das entrevistas com os estudantes e que trazem indícios que foram obtidos resolvendo problemas sobre circuitos elétricos com a utilização do *software* PhET. Com a utilização do PhET identificamos e classificamos 143 movimentos produzidos pelos estudantes. Destes foram levantadas 50 imagens mentais associadas a circuitos elétricos, 59 imagens mentais associadas à corrente elétrica, 12 imagens mentais associadas à diferença de potencial e 22 imagens mentais associadas à resistência elétrica. Os gestos representados nas figuras são os que, segundo nossa análise, melhor simbolizam o que cada estudante tentou expressar. Sempre estivemos atentos e relacionando os gestos com o conteúdo trabalhado e com a ferramenta utilizada. Os vídeos e as transcrições foram analisados exaustivamente para que esboçasse com a maior fidelidade as nossas observações.

**Tabela 6 – gestos gerados com as atividades desenvolvidas com o software PhET<sup>1</sup>**

PHET												
	CIR			COR			DDP			RES		
	tot	e	d	tot	e	d	tot	e	d	tot	e	d
1	3	3		6	1	5	1		1			
2				3		3						
3	2	2		1		1				3	3	
4												
5	6	6		1		1				2	2	
6	1		1									
7	4	4		1		1	1	1		3	3	
8												
9	3	3		4		4				1	1	
10	2	2		3		3				1	1	
11												
12												
13	2	2		1		1						
14	5	5		10	4	6	4	4		2	2	
	28	27	1	30	5	25	6	5	1	12	12	0
143												

Fonte: O autor.

A seguir descrevemos alguns gestos e diálogos que auxiliam a entender o significado dos termos para os estudantes e a sua classificação de acordo com a grandeza física trabalhada.

#### 5.4.1.1 Classificação dos gestos, a partir da utilização do software PhET, que identificam circuito elétrico

Foram classificados vinte e oito gestos relacionados a imagens mentais associadas a circuito elétrico que se relacionam com o PhET, com nove estudantes de um total de quatorze participantes das entrevistas.

<sup>1</sup> Cir – circuito elétrico; COR – corrente elétrica; DDP – diferença de potencial e RES – resistência elétrica

Na Figura 17 estão os gestos selecionados produzidos pelos estudantes associados a circuito elétrico a partir da interação com o *software* PhET.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

O estudante 1 da figura (A) afasta as duas mãos mantendo-as na vertical e paralelas indicando um espaço que contém o circuito. O estudante demonstra que visualiza naquele espaço um circuito elétrico como o que foi trabalhado com utilização do *software* PhET. O movimento representado pelo estudante 1 na imagem (A) está de acordo com a sua fala. Com as duas mãos ele delimita um espaço que simboliza o circuito. A própria escolha de trabalhar com o *software* é feita porque ele visualiza o circuito com mais facilidade.

O “PhET” eu nunca tinha trabalhado com essa ferramenta, achei uma ferramenta bastante prática, ela te dá todos os..., te mostra, no caso, de forma clara como funciona o circuito, te ajuda a interpretar melhor o funcionamento do circuito, coisa que antes eu não via em teorias ou fazendo com lápis e papel, por exemplo. E a outra escolha, lápis e papel, são devido ao circuito, era um circuito mais prático de fazer, já sabia as fórmulas alguma coisa, então essas foram as escolhas.

Foi bom, foi simples, não tive dificuldade nenhuma. Bom ver na prática mesmo, poder montar o teu circuito, não apenas em uma folha. Achei bastante interessante.

Na imagem (B) o estudante 5 demonstra que visualiza o circuito elétrico trabalhado no PhET quando movimentava as mãos e deixava os dedos de ambas as mãos agrupados como se estivesse com uma bola de tênis dentro e com movimentos que sugerem a montagem do circuito no PhET, isto acontecendo quando se refere ao que trabalhou no *software*.

Eu acho que as ferramentas ficam mais fáceis de serem montadas, de tu montares o circuito. Fica tudo à disposição, aí é só tu pegares e colocar, como se fosse uma bancada, pega e monta ali. Parece um pouco mais dinâmico, mais fácil de tu teres acesso, de tu teres que de repente... Não

sei, o “Modellus” eu mais ou menos sei como faria o circuito ali. Acho que é diferente, não é só tu encaixar as peças ali; tu pega o fio e vai colocando fio por fio, aí coloca o capacitor, uma chave, no “Modellus” não é tão fácil. E depois, pra tu fazer as leituras com o amperímetro ou com o multímetro também fica bem mais fácil, tu só posicionas ali.

O estudante 5 também movimenta as mãos sugerindo pegar componentes de um lado e colocar em outro, como se estivesse montando o circuito. Este gesto reproduz os movimentos que são realizados no PhET, em que os componentes são selecionados um a um e inseridos no circuito.

O estudante demonstra realizar uma simulação mental na sua cabeça, “criando” um circuito elétrico passo a passo, tal como se estivesse utilizando o PhET, demonstrando a existência de *drivers* específicos dessa ferramenta.

A imagem (C) mostra que o estudante 7 movimenta as mãos delimitando um espaço como a visualizar um circuito elétrico.

Já o “PHET” também, por causa da simulação que fica mais direto, a gente pode ver o que tá acontecendo ali, fazer as medidas, fica mais simples, digamos assim. Não precisa fazer uma aplicação de fórmulas e a gente está vendo realmente o que está acontecendo, está certo que não é um circuito exatamente igual, mas é uma simulação de um exemplo ali, dá pra conferir bem o que está acontecendo.

Na imagem (D), a estudante 14 também executa movimento com as mãos esboçando um espaço que pode ser interpretado como sendo o circuito que visualiza. Foi verificado na entrevista que o gesto foi repetido duas vezes reforçando desta forma a aquisição de um *driver*.

A questão de como montar ali no circuito, tu vai montar com resistor e vai botar direitinho com resistor (dispõe as mãos com dedos voltados para baixo sugerindo com o polegar e indicador a composição de um retângulo), dependendo do teu circuito... E, tipo eu sou uma criança, tá colorido então eu acho interessante de olhar, principalmente quando tem animação, na questão de tu teres que fechar a chave, abrir a chave pra poder funcionar, tudo isso é uma questão de quando tu fores mexer, quando tu estiveres olhando, quando tu estiveres literalmente montando, tu não estás desenhando no papel, tu estás literalmente montando um negócio que vai funcionar ou que não vai funcionar dependendo do que tu fazes, e pra mim isso daí é o mais importante, que pelo menos, pra mim, eu aprendo muito mais com essa parte lúdica do programa do que no papel.

É possível verificar que os estudantes 1, 5 e 14 executam gestos muito parecidos, demonstrando que o fato gerador é o mesmo.

### 5.4.1.2 Classificação dos gestos, a partir da utilização do software PhET, que identificam corrente elétrica

A Figura 18 apresenta os gestos que os estudantes produziram com utilização do *software* PhET na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes movimentos estão representadas as imagens mentais de corrente elétrica.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

O estudante 1, na imagem (A), mantém a mão esquerda espalmada para frente enquanto movimenta a mão direita também espalmada para frente da esquerda, com movimento para a direita, indicando a corrente elétrica no momento em que responde que corrente é o movimento ordenado dos elétrons, gerado por uma fonte, uma tensão.

Na imagem (B) a estudante 9 mantém a mão esquerda parada verticalmente e, ao lado, com a mão direita executa um movimento circular representando a corrente elétrica. No momento do gesto, a estudante afirma que: “uma fonte, que a energia está passando por tudo a gente consegue entender melhor, então fica mais fácil alterar os valores e entender que é um circuito porque no papel não dá pra saber”. Ela expõe que, na sua forma de pensar, só consegue resolver se visualizar o circuito em funcionamento na simulação, considerando desta forma que está aí a diferença entre o simulador e o desenho do mesmo circuito no papel.

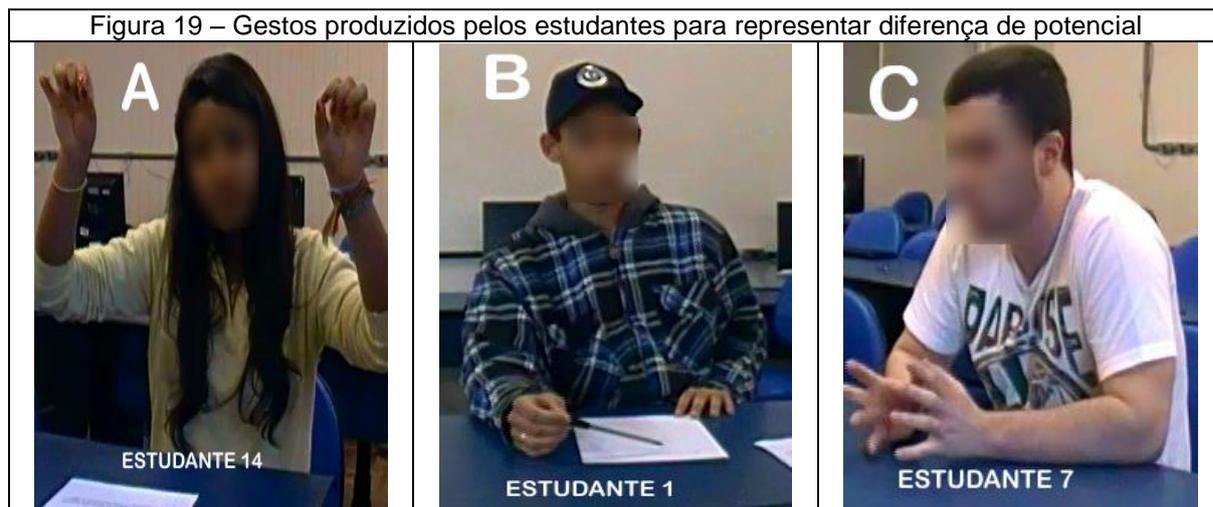
Na imagem (C) a estudante 14 executa com a mão direita na posição vertical um movimento da esquerda para a direita representando movimento das moléculas

que é afirmado na sua fala: “Ah, eu visualizei o movimento das moléculas”. Assim ela demonstra que visualizou a corrente elétrica.

Na imagem (D) aparece o estudante 10, cujo movimento é semelhante aos demais.

### 5.4.1.3 Classificação dos gestos, a partir da utilização do *software* PhET, que identificam diferença de potencial

A Figura 19 apresenta os gestos que os estudantes produziram com utilização do *software* PhET na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes movimentos estão representadas as imagens mentais de diferença de potencial.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

A estudante 14, na imagem (A), ergue os braços e junta os dedos polegar e indicador de cada mão como se estivesse segurando as ponteiros do voltímetro que aparecem na simulação do PhET. Na simulação é necessário que o estudante disponha de forma correta as ponteiros de um voltímetro, que é colocado à sua disposição dentro da simulação.

[...] aí tu tinhas que medir com o voltímetro. Isso também foi uma coisa que eu achei muito interessante, tu ter que botar... levar o cabinho até pra medir a resistência. E na verdade foi mais ou menos assim que tipo, tu fica pensando que é a “ddp” de cada resistor. Tu ficas pensando “ah, é a ‘ddp’”, então tu soma com o voltímetro, é aquela parte que tem que colocar os fiozinhos... então meio que tu lembra, tu associa, e é isso que eu achei interessante.

Na imagem (B) o estudante 1 bate duas vezes com a caneta sobre pontos diferentes da mesa. Estes dois toques com a caneta mostram que o estudante está pensando em duas posições diferentes ao mesmo tempo em que afirma: “O resistor, dependendo do valor, ele vai permitir uma maior passagem, ou uma menor passagem, da corrente. Sobre esse resistor é possível medir a ‘ddp’ ou a tensão que tem em cima dele”.

O estudante 7, na imagem (C), executa um movimento rápido afastando ambas as mãos espalmadas, uma em relação a outra quando se refere à medição da diferença de potencial com a utilização do voltímetro. E na sua fala está explícita a relação da imagem mental obtida com o PhET.

[...] visão no “PhET” é bem melhor, sem dúvidas. Eu vou obter mais a parte teórica, vou aplicar a fórmula e pronto, vou obter os dados, mas não se compara a uma parte gráfica, uma interface gráfica que a gente tem no “PhET”. A gente vai ver o resistor, a gente vai ver o fio, a gente vai ver os elétrons fluindo, a gente pode ver a fonte, atribuir valores, fazer as medidas de acordo com o voltímetro

#### 5.4.1.4 Classificação dos gestos, a partir da utilização do software PhET, que identificam resistência elétrica

A Figura 20 apresenta os gestos que os estudantes produziram com utilização do software PhET na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes movimentos estão representadas as imagens mentais de resistência elétrica.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

O estudante 3, na imagem (A), afasta os dedos indicador e polegar, um acima do outro, deixando ali um espaço livre onde está no seu pensamento o resistor. O estudante foi questionado se conseguia visualizar um circuito real quando trabalhava com simulação. A sua resposta foi: “sim, porque a gente utiliza bateria, utiliza os fios, os resistores. De certa forma um desenho real ali, esse tipo de coisa”. Quando ele se refere a resistor pela segunda vez, move as mãos como se estivesse manuseando algo, dando a entender que estaria montando o circuito com tais resistores.

Na imagem (B) o estudante 7, com o polegar e indicador da mão direita, delimita um espaço indicando o componente resistor. Ele estava sendo questionado se achava que, com papel e caneta, seria possível ter uma visão do que realmente está acontecendo na prática. Sua resposta foi:

Não, a visão no “PhET” é bem melhor, sem dúvidas. Eu vou obter mais a parte teórica, vou aplicar a fórmula e pronto, vou obter os dados, mas não se compara a uma parte gráfica, uma interface gráfica que a gente tem no “PHET”. A gente vai ver o resistor, a gente pode ver a fonte, atribuir valores, fazer as medidas de acordo com o voltímetro.

O estudante acaba descrevendo as situações que ocorrem nas simulações. Sabemos que está descrevendo a simulação e não uma situação real quando ele afirma que atribui valores. Esta é uma característica trabalhada nas simulações. Nos circuitos reais os componentes já possuíam seus valores, portanto, não havendo possibilidade de atribuir, eles só poderiam ser medidos.

### 5.4.2 Classificação dos gestos a partir da utilização do *software* Modellus

A Tabela 7 – Gestos gerados com as atividades desenvolvidas com o *software* Modellus identifica a classificação dos gestos obtidos nas entrevistas com os estudantes e que trazem indícios obtidos resolvendo problemas que envolviam circuitos elétricos com a utilização do *software* Modellus. Com este sistema identificamos e classificamos apenas quatro movimentos produzidos pelos estudantes. Todos eles estão relacionados a circuito elétrico.

**Tabela 7 – Gestos gerados com as atividades desenvolvidas com o *software* Modellus<sup>2</sup>**

MODELLUS												
	CIR			COR			DDP			RES		
	Tot	e	d									
1												
2												
3												
4												
5	4	3	1									
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
	4	3	1	0			0			0		
4												

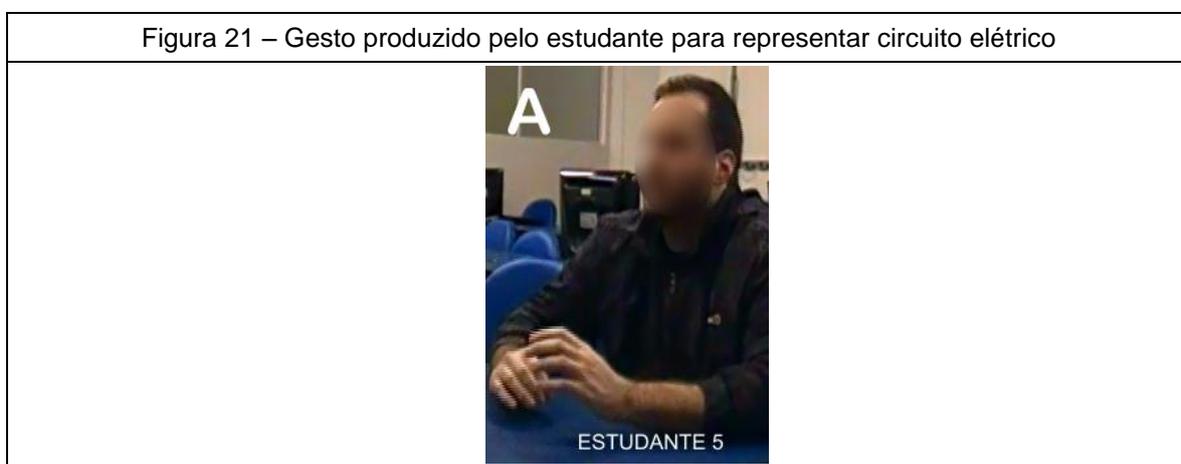
Fonte: O autor.

Pelo que podemos verificar na tabela, existe um número diminuto de imagens mentais envolvendo o *software* Modellus. Apenas um estudante gerou imagens mentais relacionadas com o *software*. São apenas quatro imagens. Não era isto que esperávamos desta ferramenta. No momento em que montamos os experimentos e pela forma com a qual escolhemos trabalhar com cada um deles, pretendíamos que

<sup>2</sup> Cir – circuito elétrico; COR – corrente elétrica; DDP – diferença de potencial e RES – resistência elétrica

o Modellus fosse a ferramenta a que os estudantes teriam uma preferência maior do que a que no final acabamos detectando. Podemos dizer que esta ferramenta, dentro dos nossos estudos e planejamento, não surtiu efeito em nossos estudantes. Tínhamos convicção de que o Modellus teria uma maior escolha por parte dos estudantes, tendo em vista as facilidades propostas e que facilitaríamos nossa pesquisa.

A Figura 21 apresenta o gesto que um estudante produziu com utilização do *software* Modellus na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Neste movimento está representada a imagem mental de circuito elétrico.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

O estudante 5, na imagem (A), foi o único estudante que demonstrou representações mentais com seus movimentos e que podemos relacionar ao *software* Modellus. Os movimentos na imagem (A) são de subida e descida com as mãos desencontradas, indicando o ajuste dos itens de diferença de potencial e resistência elétrica, que são executados na plataforma deste *software* dentro da proposta do circuito trabalhado. A imagem refere-se a um circuito em que ele descreve:

Como já tinha o modelo pronto ali do circuito, que era um circuito misto, então acabou ficando mais fácil porque era só selecionar os valores ali que tu querias pros resistores e a voltagem que tu querias, então foi bem fácil de trabalhar com ele a partir do momento em que tu não precisas montar o circuito.

No momento que o estudante se refere a circuito pela segunda vez na sua fala, ele afasta um pouco as mãos abertas, indicando um espaço entre elas que

determina o circuito como se estivesse ali na sua frente, o circuito trabalhado dentro do *software*.

### 5.4.3 Classificação dos gestos a partir da utilização do painel de componentes

A Tabela 8 identifica a classificação dos gestos obtidos nas entrevistas com os estudantes e que trazem indícios de que foram obtidos resolvendo problemas envolvendo circuitos elétricos com a utilização do painel de componentes. Com a utilização dessa ferramenta, identificamos e classificamos 34 movimentos produzidos pelos estudantes. Destes foram levantadas 26 imagens mentais associadas a circuitos elétricos, 4 imagens mentais associadas à corrente elétrica, 1 imagem mental associada à diferença de potencial e 3 imagens mentais associadas à resistência elétrica. Os gestos representados nas figuras são os que, segundo nossa análise, melhor simbolizam o que cada estudante tentou expressar. Sempre estivemos atentos e relacionando os gestos com o conteúdo trabalhado e com a ferramenta utilizada. Os vídeos e as transcrições foram analisados exaustivamente para que esboçasse com a maior fidelidade as nossas observações.

**Tabela 8 - gestos gerados com as atividades desenvolvidas com o painel de componentes<sup>3</sup>**

	PAINEL											
	CIR			COR			DDP			RES		
		e	d		e	d		e	d		e	d
1	5	5								1	1	
2												
3	1	1					1	1		1	1	
4	2	2										
5												
6	2	2										
7	2	2		3	1	2				1	1	
8												
9												
10	8	8										
11	4	4		1	1							
12	2	2										

<sup>3</sup> Cir – circuito elétrico; COR – corrente elétrica; DDP – diferença de potencial e RES – resistência elétrica

13												
14												
	26	26	4	2	2	1	1		3	3		
	<b>34</b>											

Fonte: O autor.

#### 5.4.3.1 Classificação dos gestos a partir da utilização do painel de componentes que identificam circuito elétrico

A Figura 22 apresenta os gestos que os estudantes produziram com utilização do painel de componentes na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes movimentos estão representadas as imagens mentais de circuito elétrico.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

O estudante 1, na imagem (A), afasta as mãos indicando que está visualizando o circuito no painel de componentes no momento em que é questionado sobre como foi trabalhar com o painel de componentes. Sua resposta foi que: “Foi bom, foi simples, não tive dificuldade nenhuma. Bom ver na prática mesmo, poder montar o teu circuito, não apenas em uma folha. Achei bastante interessante”.

Como o estudante, na resolução dos problemas, havia trabalhado tanto com simulação quanto com o painel, perguntamos se ele percebia diferença entre trabalhar com uma simulação ou com um circuito real. Sobre o que ele respondeu:

Eu não vejo muita diferença entre os dois, não vejo mesmo. Talvez a parte prática ali de tu montares um circuito em série ou em paralelo ele seja um pouquinho mais complicado montar o circuito em trilhas que é diferente no “PhET”, tu desenhar o circuito, não sei se tu estás me entendendo. Na prática é um pouquinho mais complicado, mas pra mim foi normal.

Quando fala que na prática é mais complicado ele une os indicadores aos polegares voltados para baixo sobre a mesa e descreve uma linha do centro para fora indicando as ligações dos componentes. Identificamos novamente uma forma de estar mostrando o circuito especificamente no painel de componentes.

O estudante 7, na imagem (B), afasta as duas mãos indicando o espaço de um circuito como se estivesse vendo o painel de componentes.

Trabalhar no painel de componentes é mais uma forma nova, no caso, quando eu vim pra cá eu estava acostumado somente com papel e caneta, e ali era a aplicação da fórmula e pronto. Agora quando já entra a interface gráfica do PhET, no caso, como tinha o “Modellus” também, outro aplicativo que nos possibilitava fazer isso de forma semelhante, e o painel com os componentes ali é mais uma forma de a gente estar aprendendo ali. Porque ali realmente tu vê o circuito.

No final de sua fala o estudante afirma que tem a nítida visão do circuito elétrico. Isto provavelmente não ocorreria sem o contato com as ferramentas trabalhadas.

O estudante 10, na imagem (C), ao mesmo tempo em que demonstra uma expressão de satisfação ao ser questionado sobre trabalhar com o painel de componentes, afasta as mãos, mantendo-as paralelas, e observa o espaço entre elas como se fosse o painel de componentes.

Ah eu acho ótimo, é o que eu mais... É o mais próximo do que eu faço sempre, é tranquilo, é bem prático mesmo; porque às vezes a gente vê muita teoria só que não consegue pôr na prática. Eu acho que o painel de componentes agrega tudo que tu conseguiste ver na teoria e bota na prática, então eu achei ótimo. Muito interessante, aí tu consegue medir e ver tudo; aí foi bem a parte que a gente calculou também e é legal tu conseguir calcular e depois ver na prática, medindo que deu o mesmo valor.

Ao se referir ao circuito no painel de componentes, o estudante, além de repetir o movimento de afastar as mãos, mantendo-as paralelas e mostrando com isto que visualiza o painel, movimenta a mão direita com dedos voltados pra baixo, como se tivesse colocando componentes no painel de componentes.

O estudante 12, na imagem (D), apresenta duas imagens: move os dedos apontados para baixo, como se estivesse colocando os componentes no painel, e também utiliza a imagem mental em que abre as mãos mantendo-as paralelas, indicando que está visualizando o painel de componentes.

Bem interessante. O problema perguntava de um circuito misto de três resistores e pra descrever as propriedades da associação. Bom, trabalhar no painel é importante porque ele simula claro é uma simulação bem básica, mas ele simula como que seria mesmo se tu tivesses realmente um circuito na mão pra medir. Ele te dá a fonte, dá os três resistores, tu fazes as ligações então tu sais daquela coisa quadro, caneta e papel e põe a mão na massa mesmo pra ver como tu faz a associação em série. Porque não é o *layout* ou a disposição dos resistores que vai te dar uma associação em série ou em paralelo, montar um circuitinho misto; é saber o início e o fim do resistor, saber ligar ele não importando a disposição dele ali em cima do painel.

#### 5.4.3.2 Classificação dos gestos, a partir da utilização do painel de componentes, que identificam corrente elétrica

A Figura 23 apresenta os gestos que os estudantes produziram com utilização do painel de componentes na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes movimentos estão representadas as imagens mentais de corrente elétrica.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

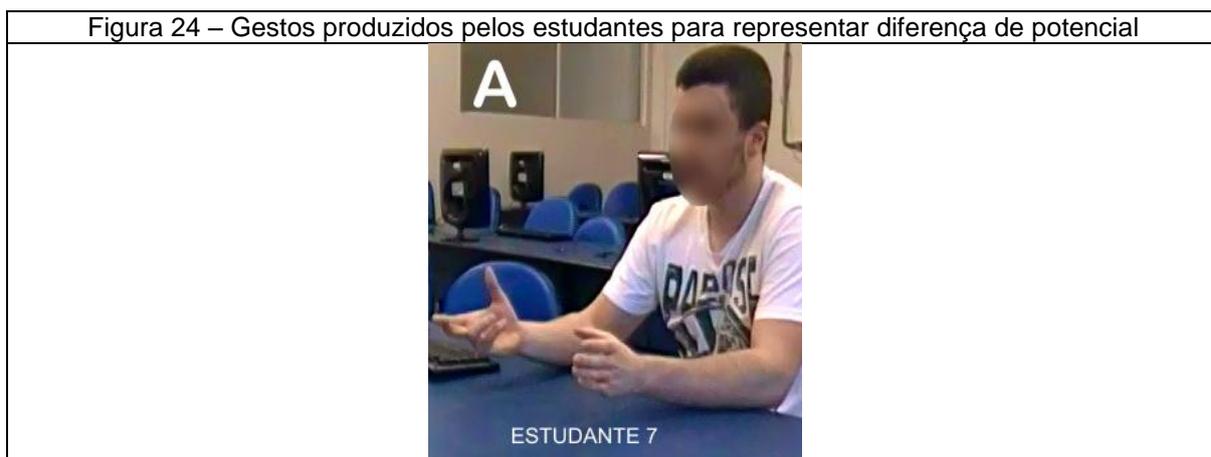
O estudante 7, na imagem (A), com os dedos indicadores e polegares unidos das duas mãos movimentando-as em formato de um círculo, indicando o movimento das cargas elétricas.

Corrente elétrica eu associo ao fluxo de partículas carregadas, essa é a corrente elétrica. Acho que eu não conseguiria desenvolver mais que isso porque eu já tenho um objeto formado de corrente elétrica. Seria um fluxo de partículas elétricas carregadas, um fluxo contínuo de partículas elétricas carregadas.

O estudante 11, na imagem (B), afasta os dedos polegar e indicador e movimenta como se estivesse balançando, mudando de posição; é o interruptor mudando posição liga/desliga. Esta imagem mental surge com a afirmação que “aqui tem uma chave de liga/desliga, se eu fechar ...”.

#### 5.4.3.3 Classificação dos gestos, a partir da utilização do painel de componentes, que identificam diferença de potencial

A Figura 24 apresenta os gestos que o estudante produziu com utilização do painel de componentes na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Neste movimento está representada a imagem mental de diferença de potencial.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

O estudante 7, na imagem (A), com dedos indicador, médio e polegar da mão direita voltados para cima, representa a fonte de tensão que é utilizada no painel de componentes. Este movimento coincide com o discurso do estudante: “... a gente está montando com os fios, a gente tem a fonte que a gente controla quanto de tensão vamos ter ali”.

#### 5.4.3.4 Classificação dos gestos, a partir da utilização do painel de componentes, que identificam resistência elétrica

A Figura 25 apresenta os gestos que os estudantes produziram com utilização do Painel de componentes na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes movimentos estão representadas as imagens mentais de resistência elétrica.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

O estudante 1, na imagem (A), com as duas mãos na vertical, delimita um espaço que representa o resistor. Ele ainda afirma que resistor é o componente, um material físico, e a resistência é a propriedade de o material se opor à corrente. Ele deixa indícios de que relaciona o resistor com a propriedade física resistência elétrica.

#### 5.4.4 Classificação dos gestos a partir da utilização de lápis e papel

A Tabela 9 identifica a classificação dos gestos obtidos nas entrevistas com os estudantes e que trazem indícios de que foram obtidos resolvendo problemas envolvendo circuitos elétricos com a utilização do lápis e papel. Esta utilização, identificamos e classificamos 37 gestos produzidos pelos estudantes. Destes, foram levantadas 26 imagens mentais associadas a circuitos elétricos, 8 imagens mentais associadas à corrente elétrica, 2 imagens mentais associadas à diferença de potencial e 1 imagem mental associada à resistência elétrica. Os gestos representados nas figuras são os que, segundo nossa análise, melhor simbolizam o que cada estudante tentou expressar. Sempre estivemos atentos e relacionando os movimentos com o conteúdo trabalhado e com a ferramenta utilizada. Os vídeos e as transcrições foram analisados exaustivamente para que esboçasse com a maior fidelidade as nossas observações.

**Tabela 9 – Gestos gerados com as atividades desenvolvidas com lápis e papel<sup>4</sup>**

LÁPIS E PAPEL												
	CIR			COR			DDP			RES		
	t	e	d	t	e	d	t	e	d	t	e	d
1												
2	1	1								1	1	
3												
4	1	1										
5	1											
6												
7												
8	9	9										
9												
10	4	4										
11												
12	5	5					1		1			
13	3	3		5	1	4	1		1			
14	2	2		3		3						
	26	26		8	1	7	2		2	1	1	
	37											

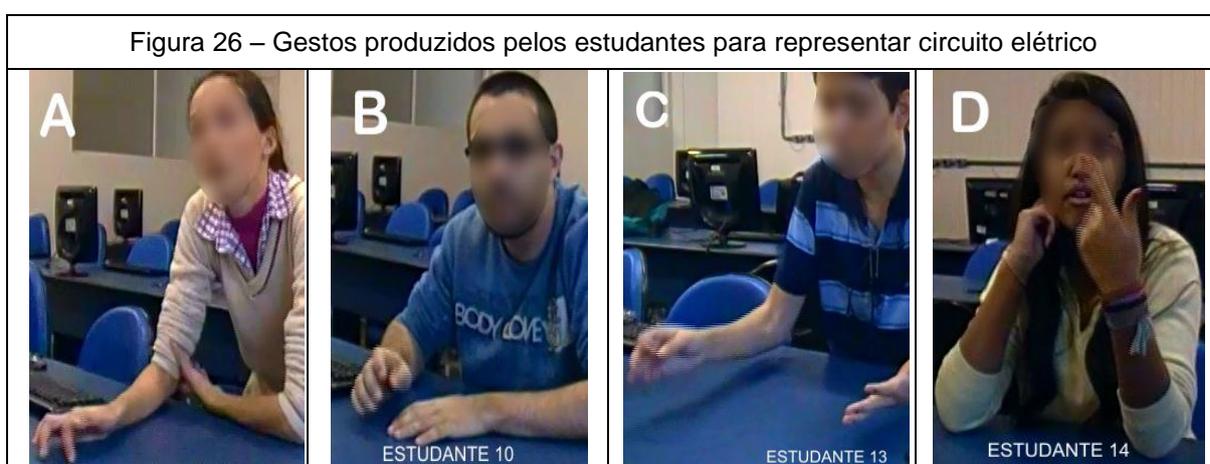
Fonte: O autor.

Identificamos no levantamento realizado com as entrevistas com lápis e papel que, embora existam eventos relacionados a imagens mentais, nem sempre eles são gestos. Algumas vezes é possível identificar apenas na fala. Selecionamos também das entrevistas as afirmações feitas pelos estudantes.

<sup>4</sup> Cir – circuito elétrico; COR – corrente elétrica; DDP – diferença de potencial e RES – resistência elétrica

### 5.3.4.1 Classificação dos gestos, a partir da utilização de lápis e papel, que identificam circuito elétrico

A Figura 26 apresenta os gestos que os estudantes produziram com utilização do Painel de componentes na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes gestos estão representadas as imagens mentais de circuito elétrico.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

A estudante 8, na imagem (A), coloca o dedo indicador da mão direita sobre a mesa como se estivesse escrevendo. Ela afirma:

O lápis e papel a gente utilizou pra fazer os que eram mais conta, que a gente achou mais fácil de fazer. E o “PhET” porque a gente montou o circuito pra saber como ele funcionaria pra poder fazer as contas. E o “PhET” já te dá os valores, alguns, já.

A partir da resposta, questionamos o porquê de montar o circuito para realizar as contas. A estudante, em sua resposta, deixa indícios de que confundiu verificar com calcular e ao mesmo tempo não confia na simulação. Ela acaba alegando que se sente mais segura ao desenvolver uma resolução no lápis e papel. É possível corroborar que não existe imagem mental dos conceitos trabalhados com a utilização de todas as outras ferramentas. Ainda sendo mais uma vez indagada sobre a situação:

[...] porque eu sempre gostei de fazer as contas de física, muitos dos meus professores já entregavam fórmula e tudo e eu sempre quebrava a cabeça

pra eu fazer, e aceitava as respostas deles. Mas às vezes as respostas estavam erradas, aí eu fazia e davam certo, é uma mania minha.

Ainda perguntamos se ela conseguiria visualizar perfeitamente o que estava fazendo no papel, e por fim questionamos se conseguia visualizar o circuito. A estudante responde que não e afirma: “o circuito não”.

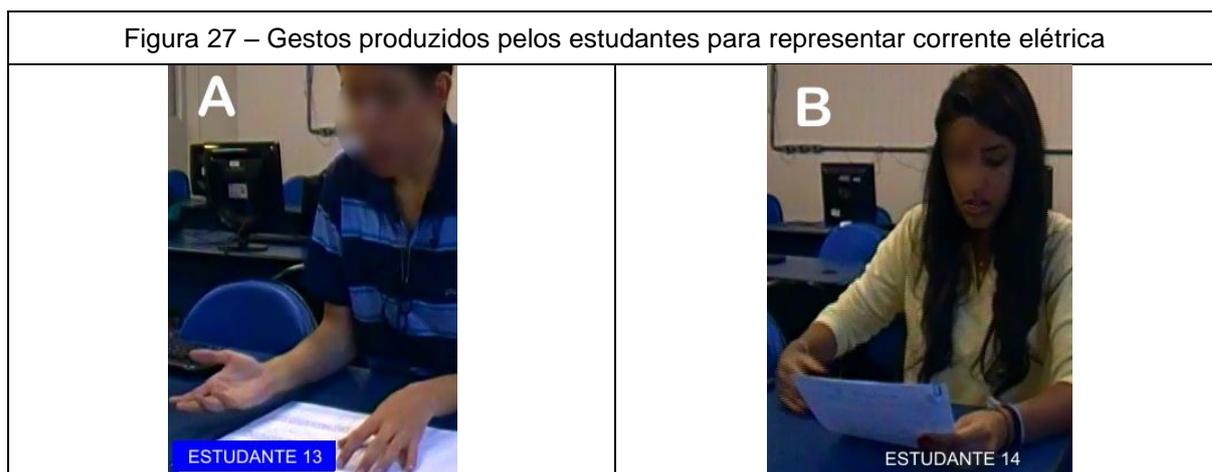
O estudante 10, na imagem (B), une polegar e indicador como se estivesse segurando um lápis. O contexto deste estudante é muito diferente do contexto do estudante 8. O estudante 10, além de cursar o tecnólogo de Tecnologia de Sistemas de Informação, também cursa o técnico de eletrônica. Os alunos deste curso apresentam uma boa desenvoltura no estudo de circuitos elétricos. Podemos verificar nas tabelas, em que o estudante 10 apresentou imagens mentais com outras ferramentas.

O estudante 13, na imagem (C), une polegar e indicador como se estivesse escrevendo. Responde que se sente mais à vontade no papel devido à velocidade em que consegue resolver os problemas.

A estudante 14, na imagem (D), tem o dedo indicador da mão esquerda apontado para cima e girando. Ela afirma que, como tinha a fórmula, podia determinar valores.

### 5.3.4.2 Classificação dos gestos, a partir da utilização de lápis e papel, que identificam corrente elétrica.

A Figura 27 apresenta os gestos que os estudantes esboçaram com utilização do lápis e papel na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes movimentos estão representadas as imagens mentais de corrente elétrica.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

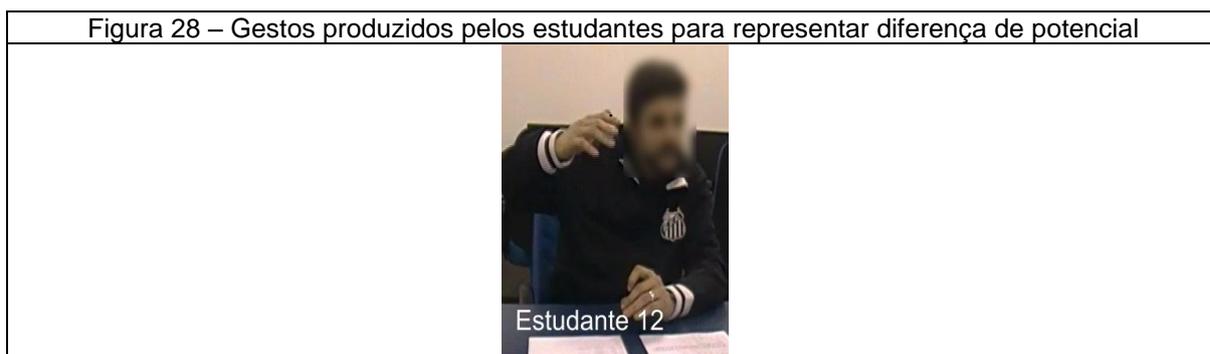
O estudante 13, na imagem (A), com o dedo indicador da mão direita realiza um movimento horizontal da direita para a esquerda, indicando uma representação mental da corrente elétrica que circula no circuito.

No primeiro exercício era um circuito muito simples, era só uma fonte de tensão e um resistor, não foi nada difícil utilizando Lei de Ohm pra calcular a corrente que circula no circuito, fazendo “ $I$ ” igual a “ $V$ ” sobre “ $R$ ”. No segundo aumentou o número de resistores, que eram dois associados em série, também nenhuma dificuldade pra calcular; pra fazer “ $RT$ ” eu só somei os valores dos dois resistores e usei Lei de Ohm pra calcular a tensão que pedia e a corrente.

A estudante 14, na imagem (B), movimenta as mãos como se tivesse montando uma divisão.

### 5.3.4.3 Classificação dos gestos, a partir da utilização de lápis e papel, que identificam diferença de potencial

A Figura 28 apresenta os gestos que os estudantes esboçaram com utilização do lápis e papel na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes movimentos estão representadas as imagens mentais de corrente elétrica.

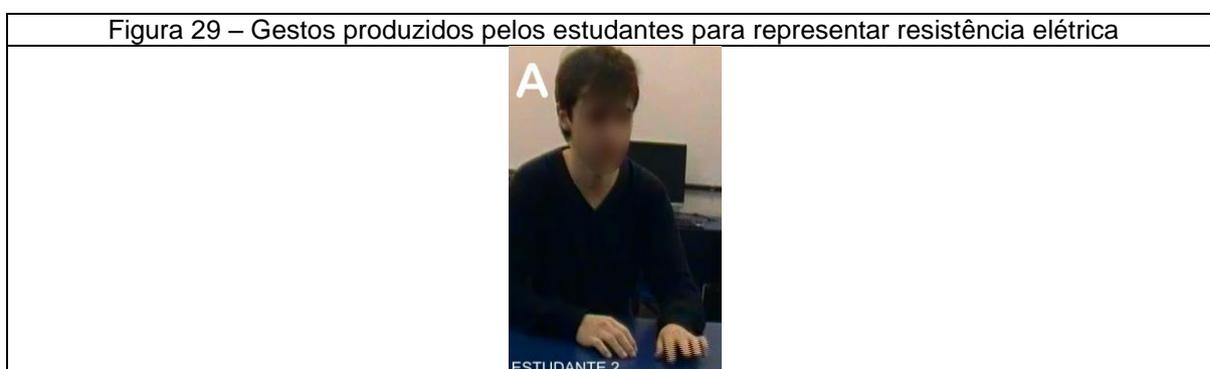


Fonte: Entrevista, o autor (2014).

O estudante 12, com a mão direita espalmada para baixo, executa movimentos na vertical de subida e descida, indicando a diferença de potencial.

### 5.3.4.4 Classificação dos gestos, a partir da utilização de lápis e papel, que identificam resistência elétrica

A Figura 29 apresenta os gestos que os estudantes esboçaram quando com a utilização do lápis e papel na resolução de problemas envolvendo circuitos elétricos. Nestes movimentos estão representadas as imagens mentais de resistência elétrica.



Fonte: Entrevista, o autor (2014).

O estudante 2, na imagem (A), coloca sobre a mesa os dedos indicador e polegar da mão esquerda afastados indicando um resistor sendo colocado no circuito. O estudante foi questionado sobre a escolha das ferramentas:

É inicialmente a gente fez todos à mão, eu e o xxx fizemos juntos, aí a gente fez todos à mão porque nós dois cursamos eletrônica então a gente tem um pouco de facilidade nesses casos de circuitos mais simples, põe o resistor, põe a fonte e já calcula assim bem rápido. Aí depois a gente soube que precisava usar o *software* e a gente usou o “Modellus” talvez por uma escolha meio aleatória assim.

É possível verificar que mesmo com lápis e papel como descrição da forma escolhida para a resolução de problemas o estudante utiliza um gesto que caracteriza na realidade um painel de componentes. Isto acontece por se tratar de um estudante que está em um nível de estudo de circuitos elétricos bem mais desenvolvido do que a maioria que cursou a disciplina. Então, mesmo com uso de mediação cultural (lápis e papel), surgem evidências de que ele consegue vis

3ualizar o circuito. Podemos afirmar que é diferente dos estudantes que só visualizam fórmulas, e as aplicam, sem ligações com o circuito verdadeiro.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossa pergunta de pesquisa, de forma resumida, objetivava investigar como era utilizado comparativamente as diferentes ferramentas na resolução de problemas de circuito elétrico. Assim, foi possível verificar, ao longo desta pesquisa, que, devido ao fato de os estudantes trabalharem com diferentes ferramentas, eles adquiriram *drivers* diversos. Destes, a utilização do *software* PhET foi marcante na solução dos problemas, com a presença de imagens mentais e *drivers* estáticos, dinâmicos, microscópicos e macroscópicos, destacando-se inclusive em relação à atividade de laboratório. Já na comparação entre os dois *softwares*, é possível observar que o PhET é ao Modellus, também na geração de *drivers* e representações mentais. Isso nos surpreendeu, tendo em vista que as atividades desenvolvidas no Modellus possuíam um grau de dificuldade menor do que as desenvolvidas no PhET. Outra situação interessante que observamos nessas atividades é que o estudante desenvolve gestos espontâneos que foram adquiridos a partir da utilização das ferramentas propostas dentro do presente estudo. O fato de os estudantes terem sido submetidos a várias ferramentas e especificamente à intervenção do PhET – uma atividade de modelagem – evidencia uma maior mudança cognitiva em relação às demais. Efetivamente, a capacidade de resolução de problemas, ou, dentro da perspectiva de Laudan, de converter problemas abertos em problemas resolvidos, parece ser maior para aqueles que se apropriaram e utilizaram um número maior de representações do *software* PhET. Devido a esse processo, está caracterizada a aquisição de uma quantidade maior de *drivers* hiperculturais com o *software* PhET. À luz do referencial teórico da TMC, foi possível observar a mudança cognitiva e o diálogo entre as diferentes ferramentas na composição do discurso gestual/imagístico do estudante. Concluiu-se que, dentro da perspectiva teórica e metodológica utilizada, de forma surpreendente, as imagens mentais foram mais ricas, com as explicações dos estudantes, para a modelagem computacional, seguida para utilização de experimentos reais, lápis e papel e, por último, simulações computacionais. Isso dá indicativos de que os *drivers* foram gerados e os estudantes liberaram sua memória de trabalho, ampliando sua capacidade cognitiva de forma que situações propostas em problemas tiveram um crescimento conceitual o qual, a nosso ver, foi proporcionado, principalmente, pela mediação hipercultural dentro das atividades que esses estudantes desempenharam

ao longo do semestre, uma vez que não havia indícios de que eles tenham ingressado no curso com tais capacidades. Começamos este trabalho objetivando verificar de que forma as ferramentas culturais e hiperculturais iriam se comportar na aquisição de aprendizagem de circuitos elétricos. Não achávamos que teríamos uma disputa entre o real e o virtual, mas chegamos a evidências de que o virtual, representado pela modelagem, no software PhET, apresentou vantagens sobre as demais ferramentas.

## REFERÊNCIAS

A Carvalho, A Teles, D Viana, FJ Silva, Objetos Digitais de Aprendizagem no Ensino de Física Básica: Um estudo de caso com simuladores virtuais em uma escola de ensino público estadual - **Revista Renote, Novas Tecnologias na Educação**, 2019 - seer.ufrgs.br.

A. Abramovitz, "An Approach to Average Modeling and Simulation of Switch-Mode Systems," in **IEEE Transactions on Education**, vol. 54, no. 3, pp. 509-517, Aug. 2011.

A. Abramovitz, "Teaching Behavioral Modeling and Simulation Techniques for Power Electronics Courses," in **IEEE Transactions on Education**, vol. 54, no. 4, pp. 523-530, Nov. 2011.

A. Palczynska et al., "Simulation Driven Design of Novel Integrated Circuits -- Physics of Failure Simulation of the Electronic Control Modules for Harsh Environment Application," 2016 **IEEE 66th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)**, Las Vegas, NV, 2016, pp. 1386-1393.

AMF de Andrade, EG de Lima, Uma introdução ao cálculo fracionário e suas aplicações em circuitos elétricos - **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2018 - SciELO Brasil.

AMRIN, R.; BATERSEH, F.; BATERSEH, I. Adaptive Electronic Quizzing Method for Introductory Electrical Circuit Course. **International Journal of Online Engineering**, v. 5, n. 3, p. 4-7, 2009.

AR Safin, Selection of efficient control circuits for a tram traction electric drive on the basis of development of a simulation model. - **Russian Electrical Engineering**, 2013 – Springer.

ARAUJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. Educational psychology: a cognitive view. **2nd ed. New York: Holt Rinehart and Winston, 1978.**

AVR de Araujo, ES Silva, VLB de Jesus, Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa - **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2017 - SciELO Brasil.

BUENO, A. Aprender competencias en una propuesta para la enseñanza de los circuitos eléctricos en educación primaria em **Enseñanza de las Ciências**, 28 (3), 385-404, 2010.

BUNGE, M. Teoria e Realidade. São Paulo: **Editora Perspectiva**, 1974.

Burkett, S. L., Kotru, S., Lusth, J. C., McCallum, D., & Dunlap, S. (2014). Introducing Creativity In A Design Laboratory For A Freshman Level Electrical And Computer Engineering Course. **American Journal of Engineering Education (AJEE)**, 5(1), 11-26.

D. Guo, M. Cheng, X. Yang, X. Li and B. Che, "Development and Validation of a Multiphysics Coupling Model of the Pulsed Electromagnetic Inductive Valve for Planar Pulsed Inductive Plasma Thruster," in **IEEE Transactions on Plasma Science**, vol. 47, no. 1, pp. 587-595, Jan. 2019.

DC Vilela, JSE Germano, MAA Monteiro, Estudo comparativo de um experimento de eletrodinâmica: Laboratório Tradicional x Laboratório Remoto - **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2019 - SciELO Brasil.

E. Deng, Z. Zhao, Z. Lin, R. Han and Y. Huang, "Influence of Temperature on the Pressure Distribution Within Press Pack IGBTs," in **IEEE Transactions on Power Electronics**, vol. 33, no. 7, pp. 6048-6059, July 2018.

E. T. Enikov and G. Campa, "Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles With MATLAB/Simulink Real-Time Windows Target," in **IEEE Transactions on Education**, vol. 55, no. 4, pp. 538-545, Nov. 2012.

EG Gonzales, PR da Silva Rosa, Aprendizagem significativa de conceitos de

circuitos elétricos utilizando um ambiente virtual de ensino por alunos da Educação de Jovens e Adultos - **Investigações em Ensino de Ciências**, 2016 - if.ufrgs.br.

Elena Adomaitienė, Skaidra Bumelienė, e Arūnas Tamaševičius, Suppressing synchrony in an array of the modified FitzHugh-Nagumo oscillators by filtering the mean field, **Journal of Applied Physics**, 2019.

Elshazly, M. K., & Timorabadi, H. S. (2019, June), Board 68: Work in Progress: LabSim: An Ancillary Simulation Environment for Teaching Power Electronics Fundamentals Paper presented at 2019 **ASEE Annual Conference & Exposition Tampa, Florida**. <https://peer.asee.org/32405>.

ENGELHARDT, P. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. **American Journal of Physics**, 72 (1), 98, 2004.

ET Enikov, G Campa, Mechatronic aeropendulum: demonstration of linear and nonlinear feedback control principles with matlab/simulink real-time windows target, **IEEE transactions on education**, 2012.

EVANS, J. "Teaching electricity with batteries and bulbs", **The Physics Teacher**, 16 (1), 15-22, 1978.

F. Bizzarri, A. M. Brambilla, L. Ghezzi and F. Rigamonti, "Circuit Level Model of Miniature Circuit Breakers," in **IEEE Transactions on Power Delivery**, vol. 33, no. 6, pp. 2700-2709, Dec. 2018.

FAL Andrade, GF Barbosa, FL Silveira, Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples - **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2018 - SciELO Brasil.

FISCHER, J. Inquiry-Learning with WebLab: Undergraduate Attitudes and Experiences em **Journal of Science Education and Technology**, 16 (4), 337-348, 2007.

FLORES, J. Aprendizaje de circuitos eléctricos en el Nivel Polimodal: resultados de distintas aproximaciones didácticas. **Enseñanza de las Ciencias**, 26 (2), 245-256, 2008.

FM OLIVEIRA JÚNIOR, MLF FREIRE, O Uso De Simulações Computacionais Como Ferramenta De Ensino E Aprendizagem Dos Conceitos De Circuitos Elétricos - **Encontro Nacional de Ensino DE Ciência e Tecnologia**, 2011 - editorarealize.com.br.

FS Wesendonk, EA Terrazzan, Caracterização dos focos de estudo da produção acadêmico-científica brasileira sobre experimentação no Ensino de Física - **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 2016.

G Kortemeyer et Al, Using a computer game to teach circuit concepts - **European Journal of Physics**, 2019 - iopscience.iop.org.

GADDIS, B. Learning in a Virtual Lab: Distance Education and Computer Simulations. Doctoral Dissertation. **University of Colorado. J. Computer Assisted Learning**, v. 7, 1991.

GALILI, I. Energy transfer in electrical circuits: A qualitative account. **American Journal of Physics**, 73 (2), 141, 2005.

GILBERT, JOHN K.; ROGER J. OSBORNE; PETER J. FENSHAM. "Children's science and its consequences for teaching". **Science Education**, 66.4, 623-633, 1982.

GR Coelho, O Borges, A evolução do entendimento dos estudantes sobre o funcionamento do circuito elétrico simples em uma estrutura curricular recursiva – **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2011 - periodicos.ufmg.br.

GUNSTONE, R. Physics Teachers' Perceptions of the Difficulty of Teaching Electricity em **Research in Science Education**, 39 (4), 515-538, 2009.

H de Figueiredo, Fundamentos Pedagógicos para o Uso de Simulações e Laboratórios Virtuais no Ensino de Ciências - **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2017 - periodicos.ufmg.br.

J Budzisz, Z Wróblewski, Digital model of a vacuum circuit breaker for the analysis of switching waveforms in electrical circuits. - **The European Physical Journal**, 2016

– Springer.

JA de Macêdo, AG Dickman , Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de Eletricidade - **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 2012 - periodicos.ufsc.br

JF Gómez-Aguilar, Fundamental solutions to electrical circuits of non-integer order via fractional derivatives with and without singular kernels - **The European Physical Journal Plus**, 2018 - epjplus.epj.org.

JOHNSTONE, A. H. Why Science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 7 (2), p. 75-83, jun. 1991.

KIERS, K. Precision measurements of a simple chaotic circuit. **American Journal of Physics**, 72 (4), 503, 2004.

LA Heidemann, IS Araujo, EA Veit, Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física - **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 2016 - periodicos.ufsc.br.

M Leone, History of Physics as a Tool to Detect the Conceptual Difficulties Experienced by Students: The Case of Simple Electric Circuits in Primary Education. - **Science & Education**, 2014 – Springer.

MA Romero, R Ragi, JE Manzoli, Transistores de alta mobilidade eletrônica (HEMTs): Princípios de operação e características eletrônicas - **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2015 - SciELO Brasil.

MAX, L.; THIRINGER, T.; UNDELAND, T.; KARLSSON, R. Power electronics design laboratory exercise for final-year M.sc. students. **IEEE Transactions on Education**, v. 52, n. 4, p. 524-531, 2009.

MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 921-944, 1999.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa crítica/Aprendizaje significativo crítico. Porto Alegre: **Instituto de Física da UFRGS**, 2005.

OSTERBERG, P. Impedance between adjacent nodes of infinite uniform D-dimensional resistive lattices em **American Journal of Physics**, 72 (4), 972, 2004.

P Aguilar-Marín, M Chavez-Bacilio e Segundo Jáuregui-Rosas, Using analog instruments in Tracker video-based experiments to understand the phenomena of electricity and magnetism in physics education - **European Journal of Physics**, 2018 - iopscience.iop.org.

PACCA, JESUÍNA LA, et al. "Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 20.2, 151-167, 2003.

PAPERT, S. Mindstorms – Children, Computers, and Powerful Ideas. **Basic Books**, New York, 1980.

PFT Dorneles, IS Araujo, EA Veit, Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral - **Ciência & Educação** (Bauru), 2012 - SciELO Brasil.

Q. Abu Al-Haija et. Al., "An Undergraduate Design Experience in Digital Logic Design Course of Special Purpose Arithmetic Logic Unit Using Multisim, Ultiboard and Print Circuit Board ", **International Education Studies, by Canadian Centre of Science and Education**, Vol 6, No 3 (2013).

R Bates, C Buttar, J Buytaert, L Eklund, High speed electrical transmission line design and characterization. Os autores desenvolvem um modelo de circuito de linha de transmissão baseado em física do acelerador de potência pulsada Z - **Journal of Instrumentation**, 2017 - iopscience.iop.org.

R Qiao, WX Peng, XZ Cui, GQ Dai, YF Dong, A charge sharing study of silicon microstrip detectors with electrical characterization and SPICE simulation - Advances in **Space Research**, 2019 – Elsevier

R. Valle, F. Neves, R. de Andrade Jr and R. M. Stephan, "Electromagnetic Levitation of a Disc," in **IEEE Transactions on Education**, vol. 55, no. 2, pp. 248-254, May 2012.

RA Zara - Reflexão sobre a eficácia do uso de um ambiente virtual no ensino de Física, congress: II ENINED-**Encontro Nacional de Informática e Educação...**, 2011 - academia.edu.

Rana K.P.S., Kumar V., Mendiratta J. (2017). An educational laboratory virtual instrumentation suite assisted experiment for studying fundamentals of series resistance–inductance–capacitance circuit. **European Journal of Engineering Education**, 42 (6), 1220-1239.

S Carrier, T Rex, Learning the Ropes With Electricity, **Science and Children**, 2013

S Santos, B Amorim, NP Menezes, AA Lima, Dimensionalidade fractal e invariância de escala em circuitos elétricos AC e linhas de transmissão - **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2019.

S. Kapp, M. Thees, M. P. Strzys, F. Beil, J. Kuhn, O. Amiraslanov, H. Javaheri, P. Lukowicz, F. Lauer, C. Rheinländer, and N. Wehn, "Augmenting Kirchhoff's laws: Using augmented reality and smartglasses to enhance conceptual electrical experiments for high school students," **Phys. Teach.** **57**, 52–53 (Jan. 2019).

S. Sun and D. Jiao, "Multiphysics Modeling and Simulation of 3-D Cu–Graphene Hybrid Nanointerconnects," in **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, vol. 68, no. 2, pp. 490-500, Feb. 2019.

Saleheen, Firdous; Wang, Zicong; Picone, Joseph; Butz, Brian P.; Won, Chang-Hee, **Advances in Engineering Education**, v6 n3 Spr 2018

SC Lima, EK Takahashi, Construção de conceitos de eletricidade nos anos iniciais do Ensino Fundamental com uso de experimentação virtual - **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2013 - SciELO Brasil.

SCHERR, R. Gesture analysis for physics education researchers. **Physical review special topics – Physics education research**, v. 4, n. 101, 2008.

SOEGAARD-KNUDSEN, M. Hierarchical specification and switch-level simulation of digital circuits. **IEE Proceedings – Computers and Digital Techniques**, v. 132, n. 2, p. 102-107, 1985.

SOUZA, B. C. de. A Teoria da Mediação cognitiva. In: MEIRA, L.; SPINILLO, A. (Org.). **Psicologia Cognitiva: cultura, Desenvolvimento e Aprendizagem**. Recife: Editora da UFPE, 2006.

SOUZA, B. C. de. **A teoria da mediação cognitiva: os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital**. 2004. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Disponível em: <<http://www.liber.ufpe.br/teses/arquivo/20040617095205.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

SOUZA, B. C.; SILVA, A. S.; SILVA, A. M.; ROAZZI, A.; SILVA, S. L. C. Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in Human Behavior**, v. 28, n. 6, p. 2320-2330, 2012.

STEPHENS, A. LYNN; CLEMENT, JOHN J. Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. **Physical Review Special Topics – Physics Education Research**, 2010.

T da Silva, Um jeito de fazer hipermídia para o ensino de Física - **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 2012 - [periodicos.ufsc.br](http://periodicos.ufsc.br).

TEODORO, V. D. Mathematical modelling in science and mathematics education: rationale and examples. **Conference on Computational Physics 2008**, Kaohsiung, Congresso, 2008.

TR Barros, WS Dias, Práticas experimentais de Física a distância: Desenvolvimento de uma aplicação com Arduino para a realização do Experimento de Millikan remotamente - **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2019 - SciELO Brasil.

V. Sodan et al., "Experimental Benchmarking of Electrical Methods and  $\mu$ -Raman Spectroscopy for Channel Temperature Detection in AlGaIn/GaN HEMTs," in **IEEE Transactions on Electron Devices**, vol. 63, no. 6, pp. 2321-2327, June 2016.

VA Nepomnyashchiy, Electrical network reliability and system blackout development simulations - **Thermal Engineering**, 2015 – Springer

Valsa, J Vlach, RC models of a constant phase element - **International Journal of Circuit Theory and Applications**, 2013 - Wiley Online Library.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002.

WAXMAN, M. Using physics to investigate blood flow in arteries: A case study for premed students. **American Journal of Physics**, 789, 970, 2010.

Y Jia et Al, Multiphysics vibration FE model of piezoelectric macro fibre composite on carbon fibre composite structures - **Composites Part B Engineering**, 2019 – Elsevier.

Y Qu et Al, Energy consumption analysis of constant voltage and constant current operations in capacitive deionization - **Desalination**, 2016 - Elsevier

Z. Chen, M. Xiong, B. Li, A. Li, Y. Yan and Y. Ding, "Electrical Characterization of Coaxial Silicon–Insulator–Silicon Through-Silicon Vias: Theoretical Analysis and Experiments," in **IEEE Transactions on Electron Devices**, vol. 63, no. 12, pp. 4880-4887, Dec. 2016.

## APÊNDICE A – Modellus – Atividade I – Circuito Simples



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre Modellus. Ele se encontra instalado para uso em todos os computadores do laboratório.

NOME: \_\_\_\_\_

### MODELLUS – Atividade I

#### Circuito Simples

- 1) Abra o *software* Modellus.
- 2) Abra o arquivo “circuitosimples”.
- 3) Ajuste um valor de ddp na fonte e anote. \_\_\_\_\_
- 4) Verifique se o interruptor encontra-se fechado ou aberto. Coloque-o na posição aberto.
- 5) Faça a leitura no amperímetro. \_\_\_\_\_
- 6) O que podemos concluir sobre a posição da chave aberta em relação à circulação da corrente? Justifique.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- 7) Passe o interruptor para a posição fechado.
- 8) Faça a leitura no amperímetro. \_\_\_\_\_
- 9) Faça variar a ddp e anote. \_\_\_\_\_
- 10) Faça a leitura no amperímetro. \_\_\_\_\_
- 11) Como você diria que se comportou a corrente elétrica com a variação da ddp?

---

---

12) Mantenha agora constante a ddp e faça variar a resistência elétrica do resistor. Anote os valores de resistência e da corrente elétrica correspondente medida no amperímetro.

---

---

13) Como você diria que se comportou a corrente elétrica com a variação da resistência elétrica?

---

---

14) O que você diria que devemos ter como elementos básicos para um circuito elétrico funcionar?

---

---

15) Desenhe um circuito com os mesmos elementos do modelo de forma que ele não funcione.

16) Desenhe um circuito com os mesmos elementos do modelo de forma diferente e que ele funcione.

## APÊNDICE B – Modellus – Atividade II – Circuito Série



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre Modellus. Ele se encontra instalado para uso em todos os computadores do laboratório.

NOME: \_\_\_\_\_

#### MODELLUS – Atividade II

##### Circuito Série

- 1) Abra o *software* Modellus.
- 2) Abra o arquivo “cserie”.
- 3) Ajuste um valor de ddp na fonte e anote. \_\_\_\_\_
- 4) Verifique se o interruptor encontra-se fechado ou aberto. Coloque-o na posição aberto. Certifique-se de que pelo menos um valor de resistência seja diferente de zero.
- 5) Faça a leitura no amperímetro. \_\_\_\_\_
- 6) O que podemos concluir sobre a posição da chave aberta em relação à circulação da corrente? Justifique.

---



---



---

- 7) Passe o interruptor para a posição fechado.
  - 8) Ajuste os valores de resistência dos resistores R1 e R2 e anote.
- 
- 9) Verifique o valor da resistência total e anote. \_\_\_\_\_

10) O que podemos afirmar a respeito do valor da resistência total?

---

---

11) Faça a leitura no amperímetro e anote.

---

12) Faça a leitura no voltímetro conectado a R1 e no voltímetro conectado a R2. Anote.

---

13) Mude o valor de R2. Anote o novo valor e verifique o que aconteceu com o valor de R?

---

---

14) Anote o valor da corrente elétrica correspondente medida no amperímetro.

---

15) Qual o comportamento da ddp no resistor que foi ajustado um novo valor?

---

---

16) Anote os valores que aparecem nos voltímetros e comente sobre o comportamento da ddp no circuito série.

---

---

17) O que você diria que aconteceria caso colocássemos o amperímetro entre os dois resistores?

---

---

---

18) Desenhe um circuito série com uma fonte, um interruptor, três resistores, um amperímetro e três voltímetros. Atribua valores para a ddp da fonte e para os resistores. Determine a ddp que indica cada voltímetro e faça a anotação dele.

## APÊNDICE C – PhET – Atividade III – Circuito Série

atividade



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre PhET. Este abre a partir do *site* [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc).

NOME: \_\_\_\_\_

### PhET – Atividade III

#### Circuito Série

- 1) Abra o *software* PhET.
- 2) Monte um circuito que contenha dois resistores associados em série e devidamente ligados a uma bateria. Utilize um interruptor para comandar tal circuito.
- 3) Ajuste os valores das resistências dos resistores para 30 Ohms e 60 Ohms.
- 4) Utilizando um voltímetro, faça a medida da ddp da bateria e anote.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- 5) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor de 30 Ohms e anote.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- 6) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor de 60 Ohms e anote.

---

---

7) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

---

---

8) O que podemos concluir comparando os três valores de corrente?

---

---

9) Coloque o interruptor na posição aberto e, utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

---

---

10) Comparando os valores das leituras do amperímetro nos itens 7 e 9, o que podemos concluir?

---

---

11) Com o voltímetro, verifique a ddp no resistor de 60 Ohms e anote.

---

---

12) Com o voltímetro, verifique a ddp no resistor de 60 Ohms e anote.

---

---

13) Comparando os valores medidos nos itens 4, 11 e 12, o que podemos concluir?

---

---

14) Coloque um terceiro resistor de valor diferente dos demais, faça as medições que achar necessárias e escreva sua conclusão sobre o que ocorreu no circuito.

## APÊNDICE D – Modellus – Atividade IV – Circuito Paralelo



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### ATIVIDADE COM UTILIZAÇÃO DE *SOFTWARE* – ELETRODINÂMICA

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre Modellus. Ele se encontra instalado para uso em todos os computadores do laboratório.

NOME: \_\_\_\_\_

#### MODELLUS – Atividade IV

##### Circuito Paralelo

- 1) Abra o *software* Modellus.
- 2) Abra o arquivo “cparalelo”.
- 3) Verifique se o interruptor ch2 está fechado. Faça variar os valores das resistências dos resistores e verifique o comportamento da resistência equivalente.
- 4) Como você diria que se comporta a resistência equivalente com a variação de R1 e R2.

---

---

- 5) Ajuste um valor de ddp na fonte e anote.

---

- 6) Verifique se o interruptor encontra-se fechado ou aberto. Coloque-o na posição aberto. Certifique-se de que pelo menos um valor de resistência seja diferente de zero.

7) Faça a leitura nos três amperímetros.

---

---

8) O que podemos concluir sobre o resultado obtido nos três amperímetros? Justifique.

---

---

---

9) Ajuste os valores de resistência dos resistores R1 e R2 e anote.

---

---

10) Passe o interruptor para a posição fechado (liga). Certifique-se de que o interruptor ch2 também se encontra na posição fechado (liga).

11) Faça a leitura no amperímetro i1.

---

12) Faça a leitura no amperímetro conectado a R1 (i2) e no amperímetro conectado a R2 (i3). Anote.

---

---

13) Mude o valor de R2. Anote o novo valor e verifique o que aconteceu com o valor de R? Justifique.

---

---

---

14) Anote o valor da corrente elétrica correspondente medida nos três amperímetros.

---

---

15) Qual o comportamento da corrente elétrica no resistor que foi ajustado para um novo valor? E a ddp, como se comportou?

---

---

16) Anote os valores que aparecem nos três amperímetros e comente sobre o comportamento da corrente elétrica no circuito paralelo.

---

---

---

17) O que você diria que aconteceria caso colocássemos um voltímetro ligado diretamente em um dos resistores? Justifique.

---

---

---

18) Abra o interruptor ch2.

19) Verifique a medida no amperímetro  $i_1$  e no amperímetro  $i_3$ . Justifique o resultado encontrado.

---

---

---

20) Desenhe um circuito paralelo com uma fonte, um interruptor, três resistores e quatro amperímetros. Atribua valores para a ddp da fonte e para os resistores. Determine a corrente elétrica que indica cada amperímetro e faça a anotação disso.

## APÊNDICE E – PhET – ATividade V – Circuito Paralelo



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre PhET. Este abre a partir do site [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc)

NOME: \_\_\_\_\_

#### PhET – Atividade V

#### Circuito Paralelo

- 1) Abra o *software* PhET.
- 2) Monte um circuito que contenha dois resistores associados em paralelo e devidamente ligados a uma bateria. Utilize um interruptor para comandar tal circuito.
- 3) Ajuste os valores das resistências dos resistores para 30 Ohms e 60 Ohms. Mantenha o interruptor na posição fechado.
- 4) Utilizando um voltímetro, faça a medida da ddp da bateria e anote. \_\_\_\_\_
- 5) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor de 30 Ohms e anote. \_\_\_\_\_
- 6) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor de 60 Ohms e anote. \_\_\_\_\_
- 7) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote. \_\_\_\_\_
- 8) O que podemos concluir comparando os três valores de corrente?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

9) Coloque o interruptor na posição aberto e, utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

---

10) Comparando os valores das leituras do amperímetro nos itens 7 e 9, o que podemos concluir?

---

---

11) Com o voltímetro, verifique a ddp no resistor de 60 Ohms e anote.

---

12) Com o voltímetro, verifique a ddp no resistor de 60 Ohms e anote.

---

13) Comparando os valores medidos nos itens 4, 11 e 12, o que podemos concluir?

---

---

14) Coloque um terceiro resistor de valor diferente dos demais, faça as medições que achar necessárias e escreva sua conclusão sobre o que ocorreu no circuito.

---

---

## APÊNDICE F – Painel – Atividade VI – Circuito Paralelo



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades um painel contendo uma fonte de tensão variável, um interruptor e um multímetro.

NOME: \_\_\_\_\_

#### **PAINEL – Atividade VI**

#### **Circuito Paralelo**

1) Utilizando o multímetro, efetue a medida de resistência elétrica dos resistores fornecidos.

---

---

2) Monte um circuito que contenha dois resistores associados em paralelo e devidamente ligados a fonte do painel. Utilize um interruptor para comandar tal circuito.

3) Mantenha o interruptor na posição fechado.

4) Utilizando um voltímetro, faça a medida da ddp da bateria e anote.

---

---

5) Escolha um resistor para ser denominado de R1. Anote.

---

---

6) Escolha um resistor para ser denominado de R2. Anote.

---

7) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

---

8) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo resistor R1 e anote.

---

9) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo resistor R2 e anote.

---

10) O que podemos concluir comparando os três valores de corrente?

---

---

11) Coloque o interruptor na posição aberto e, utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

---

12) Coloque um terceiro resistor de valor diferente dos demais, faça as medições que achar necessário e escreva sua conclusão sobre o que ocorreu no circuito.

---

---

## APÊNDICE G – Modellus – Atividade VII – Circuito Misto



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre Modellus utilizado nas atividades anteriores.

NOME: \_\_\_\_\_

#### MODELLUS – Atividade VII

##### Circuito Misto

- 1) Abra o *software* Modellus.
- 2) Abra o arquivo “cmistoa”.
- 3) Ajuste um valor de  $d_{dp}$  na fonte e anote. \_\_\_\_\_
- 4) Verifique se o interruptor encontra-se na posição fechado ou aberto. Coloque-o na posição aberto. Certifique-se de que os valores de resistência dos resistores sejam diferentes de zero.
- 5) Faça a leitura do valor da corrente elétrica nos amperímetros.

---



---

- 6) O que podemos concluir sobre a posição da chave aberta em relação à circulação da corrente? Justifique.

---



---



---

- 7) Passe o interruptor para a posição fechado.
- 8) Ajuste os valores de resistência dos resistores R1, R2 e R3 e anote.

---

- 9) Verifique o valor da resistência total e anote.

---

- 10) O que podemos afirmar a respeito do valor da resistência total quando alteramos os valores de resistência dos resistores?

---

---

- 11) Faça a leitura nos três amperímetros e anote.

---

- 12) Caso houvesse voltímetros conectados a cada resistor, quais seriam as suas leituras?

---

---

- 13) Mude o valor de R1. Anote o novo valor e verifique o que aconteceu com o valor de R?

---

---

- 14) Anote o valor da corrente elétrica correspondente medida no amperímetro  $i_1$ .

---

- 15) Qual o comportamento de  $i_1$ ? Justifique.

---

---

16) O que acontece com a medida de  $i_2$  e de  $i_3$  quando ajustamos o valor de  $R_2$ ?

---

---

17) Qual o comportamento da ddp no resistor que foi ajustado?

---

---

18) Anote os valores que aparecem nos amperímetros e comente sobre o comportamento da corrente nesse circuito misto.

---

---

19) O que acontece com o valor de  $i_2$  quando ajustamos o valor de  $R_3$ ?

---

---

20) Considere  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  como sendo lâmpadas todas de mesmo valor. O que podemos afirmar sobre o brilho das três lâmpadas?

---

---

21) Desenhe um circuito misto com uma fonte, um interruptor, cinco resistores, três amperímetros e cinco voltímetros. Atribua valores para a ddp da fonte e para os resistores. Determine a ddp que indica cada voltímetro e faça a anotação dele.

## APÊNDICE H – Modellus – Atividade VIII – Circuito Misto



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre Modellus utilizado nas atividades anteriores.

NOME: \_\_\_\_\_

#### MODELLUS – Atividade VIII

##### Circuito Misto

- 1) Abra o *software* Modellus.
- 2) Abra o arquivo “cmistob”.
- 3) Ajuste um valor de ddp na fonte e anote. \_\_\_\_\_
- 4) Verifique se os interruptores encontram-se na posição fechado ou aberto. Coloque-os na posição aberto. Certifique-se de que os valores de resistência dos resistores sejam diferentes de zero.
- 5) Faça a leitura nos amperímetros. \_\_\_\_\_
- 6) O que podemos concluir sobre a posição da chave aberta em relação à circulação da corrente? Justifique.

---



---



---

- 7) Passe os três interruptores para a posição fechado.
- 8) Ajuste os valores de resistência dos resistores R1, R2 e R3 e anote

---

9) Verifique o valor da resistência total e anote.

---

10) O que podemos afirmar a respeito do valor da resistência total quando alteramos os valores de resistência dos resistores?

---

---

11) Faça a leitura nos três amperímetros e anote.

---

12) Faça a leitura no voltímetro conectado a R1, no voltímetro conectado a R2 e no voltímetro conectado a R3. Anote.

---

13) Mude o valor de R2. Anote o novo valor e verifique o que aconteceu com o valor de R?

---

---

14) Anote o valor da corrente elétrica correspondente medida no amperímetro  $i_2$ .

---

15) Qual o comportamento da corrente  $i_2$ ? Justifique.

---

---

---

16) O que acontece com a medida de  $i_1$  e de  $i_3$  quando ajustamos o valor de R2?

---

---

17) Qual o comportamento da ddp no resistor que foi ajustado?

---

---

---

18) Anote os valores que aparecem nos voltímetros e comente sobre o comportamento da ddp nesse circuito misto.

---

---

---

19) O que acontece com  $i_2$  quando ajustamos o valor de  $R_3$ ?

---

---

---

20) Ajuste novos valores para os três resistores. Anote as correntes e ddp indicadas nos respectivos amperímetros e voltímetros. Abra a chave 2 (ch2) e verifique o que acontece nos valores de  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ . Verifique também o que acontece na medida do voltímetro que está em  $R_3$ .

---

---

---

21) Agora feche a chave 2, abra a chave 3 (ch3) e verifique o que acontece nos valores de  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ . Verifique também as medidas dos voltímetros que estão em  $R_1$  e  $R_2$ .

---

---

---

22) Considere  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  como sendo lâmpadas todas de mesmo valor. O que podemos afirmar sobre o brilho das três lâmpadas?

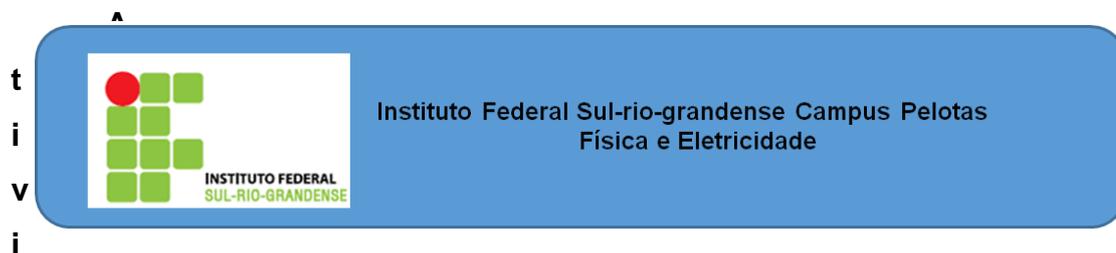
---

---

---

23) Utilizando o PhET, monte um circuito misto com uma fonte, um interruptor, cinco resistores, três amperímetros e cinco voltímetros. Atribua valores para a ddp da fonte e para os resistores. Os voltímetros e amperímetros devem medir de forma correta a ddp e correntes. O arquivo deve ser enviado pelo teleduc.

## APÊNDICE I – PhET – Atividade IX – Circuito Misto



### Atividade com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre PhET. Este abre a partir do site [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc).

NOME: \_\_\_\_\_

### PhET – Atividade IX

#### Circuito Misto

- 1) Escolha três resistores para a atividade. Atribua valores de resistência elétrica.
- 2) Monte um circuito misto que contenha três resistores associados e devidamente ligados a uma fonte. Utilize o interruptor para comandar tal circuito.
- 3) Mantenha o interruptor na posição fechado.
- 4) Utilizando um voltímetro, faça a medida da ddp da fonte e anote.

- 
- 5) Escolha um resistor para ser denominado de R1. Anote.

- 
- 6) Escolha um resistor para ser denominado de R2. Anote.

- 
- 7) Escolha um resistor para ser denominado de R3. Anote.

---

8) Anote o valor de resistência elétrica total do circuito montado.

---

9) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

---

10) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor R1 e anote.

---

11) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor R2 e anote.

---

12) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor R3 e anote.

---

13) O que podemos concluir comparando os quatro valores de corrente?

---

---

---

14) Utilizando o voltímetro, faça a medida da tensão no resistor R1 e anote.

---

15) Utilizando o voltímetro, faça a medida da tensão no resistor R2 e anote.

---

16) Utilizando o voltímetro, faça a medida da tensão no resistor R3 e anote.

---

17) O que podemos concluir comparando os quatro valores de tensão?

---

---

---

18) Coloque o interruptor na posição aberto e, utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

---

## APÊNDICE J – Painel – Atividade X – Circuito Misto



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Utilização do Painel de Componentes – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades um painel contendo uma fonte de tensão variável, um interruptor e um multímetro.

NOME: \_\_\_\_\_

#### PAINEL – Atividade X

##### Circuito Misto

- 1) Utilizando o multímetro, efetue a medida de resistência elétrica dos resistores fornecidos.
- 2) Monte um circuito misto que contenha três resistores associados e devidamente ligados à fonte do painel. Utilize o interruptor para comandar tal circuito.
- 3) Mantenha o interruptor na posição fechado.
- 4) Utilizando um voltímetro, faça a medida da ddp da bateria e anote.

- 
- 5) Escolha um resistor para ser denominado de R1. Anote.

- 
- 6) Escolha um resistor para ser denominado de R2. Anote.

- 
- 7) Escolha um resistor para ser denominado de R3. Anote.

---

8) Anote o valor de resistência elétrica total do circuito montado.

---

9) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

---

10) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor R1 e anote.

---

11) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor R2 e anote.

---

12) Utilizando o amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo resistor R3 e anote.

---

13) O que podemos concluir comparando os quatro valores de corrente?

---

---

---

14) Utilizando o voltímetro, faça a medida da tensão no resistor R1 e anote.

---

15) Utilizando o voltímetro, faça a medida da tensão no resistor R2 e anote.

---

16) Utilizando o voltímetro, faça a medida da tensão no resistor R3 e anote.

---

17) O que podemos concluir comparando os quatro valores de tensão?

---

---

18) Coloque o interruptor na posição aberto e, utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

---

19) Faça o desenho do circuito montado na atividade.

## APÊNDICE K – PhET – Atividade XI – Circuito Série



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre PhET. Este abre a partir do site [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc).

NOME: \_\_\_\_\_

#### PhET – Atividade XI

#### Circuito Série

- 1) Abra o *software* PhET.
- 2) Monte um circuito que contenha duas lâmpadas associadas em série e devidamente ligadas a uma bateria. Utilize um interruptor para comandar tal circuito.
- 3) Ajuste os valores das resistências das lâmpadas para 10 Ohms cada.
- 4) Utilizando um voltímetro, faça a medida da ddp da bateria e anote.

\_\_\_\_\_

5) Com o interruptor aberto, as lâmpadas acendem? \_\_\_\_\_

6) Feche o interruptor. As lâmpadas acendem? \_\_\_\_\_

7) O que podemos afirmar sobre o brilho das lâmpadas?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

8) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente que passa pelo circuito e anote.

- 
- 9) Mude o valor de uma das lâmpadas para 20 Ohms.
- 10) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente total que passa pelo circuito e anote.

- 
- 11) O que podemos concluir comparando os dois valores de corrente?
- 
- 
- 

- 12) Verifique a tensão da lâmpada de 10 Ohms e anote.
- 

- 13) Verifique a tensão da lâmpada de 20 Ohms e anote.
- 

- 14) Qual lâmpada brilha mais?
- 

- 15) O que acontecerá com o brilho das lâmpadas se passarmos a resistência da lâmpada de 20 Ohms para 30 Ohms?
- 
- 

- 16) Escreva uma conclusão para o que acabou de verificar.
- 
- 
-

## APÊNDICE L – PhET – Atividade XII – Circuito Paralelo



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Utilização de *Software* – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades o *software* livre PhET. Este abre a partir do *site* [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc).

NOME: \_\_\_\_\_

#### PhET – Atividade XII

#### Circuito Paralelo

- 1) Abra o *software* PhET.
- 2) Monte um circuito que contenha duas lâmpadas associadas em paralelo e devidamente ligadas a uma bateria. Utilize um interruptor para comandar tal circuito.
- 3) Ajuste os valores das resistências das lâmpadas para 10 Ohms cada.
- 4) Utilizando um voltímetro, faça a medida da ddp da bateria e anote.

- 
- 5) Com o interruptor aberto as lâmpadas acendem?

- 
- 6) Feche o interruptor. As lâmpadas acendem?

- 
- 7) O que podemos afirmar sobre o brilho das lâmpadas?

---

---

8) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente que passa em cada lâmpada e a total do circuito e anote.

---

9) Mude o valor de uma das lâmpadas para 20 Ohms.

10) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente na lâmpada de 10 Ohms. Anote.

---

11) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente na lâmpada de 20 Ohms. Anote.

---

12) Utilizando um amperímetro, faça a medida da corrente total no circuito. Anote.

---

13) O que podemos concluir comparando os valores de corrente em cada lâmpada?

---

14) Qual lâmpada brilha mais?

---

15) O que acontecerá com o brilho das lâmpadas se passarmos a resistência da lâmpada de 20 Ohms para 30 Ohms?

---

---

16. Escreva uma conclusão para o que acabou de verificar.

---

---

---

## APÊNDICE M – Painel Real – Atividade XIII – Circuito Misto

Ativ  
idad  
e



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### com Utilização Do Painel de Componentes – Eletrodinâmica

Usaremos nas próximas atividades um painel contendo uma fonte de tensão variável, um interruptor e um multímetro.

NOME: \_\_\_\_\_

### PAINEL REAL – Atividade XIII

#### Circuito Misto

- 1) Monte um circuito que contenha três lâmpadas associadas em série e em paralelo, ou seja, formando um circuito misto e devidamente ligadas e alimentadas pela bateria. Utilize o interruptor para comandar tal circuito.
- 2) Construa um diagrama do circuito montado colocando junto às lâmpadas os valores de resistência elétrica das mesmas medidas com a utilização do ohmímetro e junto à fonte a tensão nela medida com um voltímetro.
- 3) Faça a medida de todas as correntes existentes no circuito e construa um novo diagrama colocando amperímetros nas posições em que tais correntes foram medidas.
- 4) Faça a medida das tensões nas lâmpadas e construa um novo diagrama colocando voltímetros nas posições em que as tensões foram medidas.
- 5) Escreva um comentário sobre como se comportaram as lâmpadas quanto a seus brilhos, justificando estes.

---



---



---

## APÊNDICE N – Atividade Final



Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas  
Física e Eletricidade

### Atividade com Circuitos Elétricos

NOME: \_\_\_\_\_

As atividades abaixo devem ser realizadas utilizando *lápiz e papel*.

- 1) Dado um circuito que contem dois resistores, de valores 50 ohms e 100 ohms, associados em série e ligados a uma fonte de tensão cujo valor é de 8,5 V. Qual a resistência total do circuito, qual a corrente que circula em tal circuito e qual a ddp em cada resistor.

---

---

- 2) Resolva o circuito com os mesmos dados do anterior com os resistores associados em paralelo.

- 3) Dado o circuito da figura, qual a resistência total do circuito, qual a ddp e corrente que circula em cada resistor.

