

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PETRÓPOLIS  
CENTRO DE ENGENHARIA E COMPUTAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO DE SISTEMAS DE ENGENHARIA

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS MÉTODOS DE ENSINO PARA  
IMPLANTAÇÃO EM UM LABORATORIO MULTIUSO PARA O  
CURSO DE ENGENHARIA**

Iverson Morandi de Oliveira

Petrópolis, 2016

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS MÉTODOS DE ENSINO PARA  
IMPLANTAÇÃO EM UM LABORATORIO MULTIUSO PARA O  
CURSO DE ENGENHARIA**

Dissertação de mestrado do Curso  
de Mestrado em Gestão de Sistemas  
de Engenharia para obtenção do  
título de Mestre

Iverson Morandi de Oliveira

Orientador:

Giancarlo Barbosa Micheli, *D.Sc.*

Petrópolis, 2016

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, minha esposa e meus filhos, que souberam suportar com amor e compreensão minhas ausências ao longo destes dois anos de dedicação ao mestrado; aos amigos que me acompanharam e aos que fiz nessa caminhada, tanto colegas quanto professores da UCP e da UFJF, o agradecimento pela ajuda e minhas desculpas pelos erros cometidos; e finalmente a Deus, que nos iluminou nesta missão de atingir o título de mestre, e colocou em nosso caminho os freis da Paróquia do Sagrado, que nos acolheram durante estes anos de estudo.

## RESUMO

Esta dissertação apresenta e descreve dois métodos didáticos para o ensino de conteúdos práticos em um ambiente de ensino prático, como um laboratório didático. A proposição destes métodos e sua implantação em duas instituições distintas – Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e Fundação Educacional de Além Paraíba (FEAP) – é parte do projeto de construção dos laboratórios de Eletrotécnica do curso de engenharia elétrica na UFJF e do laboratório multiuso do curso de engenharia civil na FEAP. A comparação entre os dois métodos foi possível através do uso da teoria de incerteza para a criação de uma planilha para cada procedimento prático. A combinação dos diversos componentes de incerteza e o erro normalizado entre cada grupo de alunos e professor forneceram dados para o cálculo da nota dos mesmos e a consequente observação de qual método parece ser o mais adequado para utilização didática.

Palavras-Chave: Ensino de Engenharia, Incerteza, Laboratórios didáticos.

## **ABSTRACT**

This work presents and describes two teaching methods for the learning of practical content in an education laboratory. The proposition of these methods and their implementation into two separate Institutions – Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e Fundação Educacional de Além Paraíba (FEAP) - is part of the project of construction of the Electrical Laboratory for the electrical engineering course at UFJF and of Multipurpose Laboratory of the Civil Engineering course at FEAP. The comparison between the two methods was possible with the theory of uncertainty, by creating the uncertainty budget for each practical test. The combination of the uncertainty components and the normalized error between each group of students and the professor provided data related to the calculation of the student's grades and the subsequent observation of which method seems to be the most suitable for classroom use.

Keywords: Engineering Teaching, Uncertainty, Didactic Laboratories.

## SUMÁRIO

|          |                                                                                        |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                | <b>8</b>  |
| 1.1      | O Curso de Engenharia Civil da FEAP .....                                              | 9         |
| 1.1.1    | O Laboratório Multiuso da FEAP .....                                                   | 10        |
| 1.2      | O Curso de Engenharia Elétrica da UFJF.....                                            | 11        |
| 1.2.1    | O Laboratório de Eletrotécnica, Medidas Elétricas e Automação Industrial da UFJF. 12   |           |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                       | <b>16</b> |
| 2.1      | Desafios do Aprendizado da Profissão de Engenheiro.....                                | 16        |
| 2.2      | A Importância do Laboratório na Construção do Processo de Ensino.....                  | 17        |
| 2.3      | A Relação entre o Projeto de um Laboratório, sua Finalidade e os Métodos de Ensino. 19 |           |
| 2.4      | A Incerteza e o Erro na Medição de Grandezas Elétricas.....                            | 22        |
| 2.4.1    | Mensurando e Incerteza de medição.....                                                 | 22        |
| 2.4.2    | Avaliação da incerteza tipo A: .....                                                   | 23        |
| 2.4.3    | Avaliação da incerteza Tipo B.....                                                     | 24        |
| 2.4.4    | Incerteza combinada e incerteza expandida.....                                         | 26        |
| 2.4.5    | Erro normalizado .....                                                                 | 26        |
| 2.5      | Conceituação de Avaliação e Nota no Processo de Ensino e Aprendizado .....             | 27        |
| <b>3</b> | <b>OBJETIVOS GERAIS – DELIMITAÇÃO DO CAMPO DE AÇÃO .....</b>                           | <b>31</b> |
| <b>4</b> | <b>MÉTODO DE TRABALHO .....</b>                                                        | <b>32</b> |
| 4.1      | Proposição de uma métrica para atribuição de notas aos alunos .....                    | 34        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS DOS ENSAIOS APLICADOS .....</b>                                          | <b>36</b> |
| 5.1      | Ensaio segundo o Método Divergente.....                                                | 36        |
| 5.1.1    | Composição do ensaio .....                                                             | 36        |
| 5.1.2    | Resultados encontrados.....                                                            | 39        |
| 5.1.3    | Planilha de incerteza .....                                                            | 40        |
| 5.1.4    | Cálculo da nota de cada grupo .....                                                    | 43        |
| 5.2      | Aplicação do Ensaio segundo o Método Tradicional .....                                 | 43        |
| 5.2.1    | Composição do ensaio .....                                                             | 44        |
| 5.2.2    | Resultados encontrados:.....                                                           | 46        |
| 5.2.3    | Planilha de incerteza .....                                                            | 46        |
| 5.2.4    | Cálculo da nota de cada grupo .....                                                    | 48        |
| <b>6</b> | <b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS .....</b>                                      | <b>49</b> |
| 6.1      | Análise do Aproveitamento dos Grupos no Ensaio Segundo o Método Divergente ..          | 52        |
| 6.2      | Análise do Aproveitamento dos Grupos no Ensaio Segundo o Método Tradicional ..         | 53        |

|           |                                                                                                                          |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.3       | Comparando os Métodos Divergente e Tradicional .....                                                                     | 54        |
| 6.3.1     | Mesmas turmas, métodos diferentes, mesma instituição.....                                                                | 54        |
| 6.3.2     | Turmas diferentes, mesmos equipamentos, mesmo método, instituições diferentes .....                                      | 54        |
| 6.3.3     | Turmas diferentes, mesmo método, equipamentos diferentes, instituições diferentes .....                                  | 55        |
| 6.4       | Contextualização – Análise do Perfil dos Alunos Participantes dos Experimentos.....                                      | 56        |
| 6.4.1     | Os alunos da UFJF.....                                                                                                   | 56        |
| 6.4.2     | Os alunos da FEAP .....                                                                                                  | 57        |
| 6.5       | Considerações sobre os relatórios apresentados pelos grupos da FEAP e da UFJF....                                        | 58        |
| <b>7</b>  | <b>CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                                            | <b>65</b> |
| <b>8</b>  | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                  | <b>68</b> |
| <b>9</b>  | <b>APÊNDICE 1– Roteiros completos utilizados nos ensaios .....</b>                                                       | <b>72</b> |
| 9.1       | Roteiros dos Ensaios Aplicados Através do Método Divergente .....                                                        | 72        |
| 9.1.1     | Roteiro para o ensaio dos grupos da FEAP.....                                                                            | 72        |
| 9.1.2     | Roteiro para o ensaio dos grupos da UFJF .....                                                                           | 76        |
| 9.2       | Roteiros dos Ensaios Aplicados Através do Método Tradicional .....                                                       | 79        |
| 9.2.1     | Roteiro para o ensaio dos grupos da FEAP.....                                                                            | 79        |
| 9.2.2     | Roteiro para o ensaio dos grupos da UFJF .....                                                                           | 85        |
| <b>10</b> | <b>APÊNDICE 2- Proposta de um roteiro para o Método Tradicional, agregando ensinamentos da teoria de incerteza .....</b> | <b>92</b> |

## **1 INTRODUÇÃO**

Esta Dissertação apresenta e avalia duas propostas metodológicas para o ensino de conteúdos práticos de engenharia, aplicadas aos alunos do Curso de Engenharia Civil da Fundação Educacional de Além Paraíba – FEAP e aos alunos da disciplina Laboratório de Eletrotécnica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora. A proposição destes métodos compõe o processo de implantação dos Laboratórios destas instituições, onde estes conteúdos são ensinados, processo este que compreende ainda – além do projeto do layout e das instalações dos Laboratórios – o desenvolvimento dos conteúdos programáticos. Este mestrando foi responsável pela implantação dos dois projetos, enquanto coordenador do Laboratório de Eletrotécnica, Medidas Elétricas e Automação da UFJF, e do Laboratório Multiuso do Curso de Engenharia Civil da FEAP.

Como ferramenta para a avaliação destes métodos, serão empregadas análises quantitativas do material produzido pelos alunos. Essa análise dos resultados apresentados pelos grupos será feita através do emprego de conceitos da teoria da incerteza.

Até o início do segundo período de 2014, a FEAP não dispunha de um espaço para o ensino prático de engenharia. A implantação do Laboratório Multiuso na FEAP foi necessária para dotar o curso de um conjunto de práticas de ensino destinadas a incrementar o processo de aprendizagem dos alunos, sanando uma deficiência verificada pela ausência de conteúdos práticos na grade curricular do curso de Engenharia Civil. As etapas do projeto de desenvolvimento deste Laboratório foram, em grande parte, balizadas pelos procedimentos desenvolvidos para o projeto de reforma e ampliação do Laboratório de Medidas Elétricas / Eletrotécnica da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Este projeto foi concebido e executado entre julho de 2010 e agosto de 2011, e transformou o espaço em um laboratório de múltiplos usos, tal qual se propõe para o Laboratório Multiuso da FEAP.

O Laboratório de Medidas Elétricas / Eletrotécnica da UFJF atende a três disciplinas do curso de Engenharia Elétrica – Eletrotécnica, Medidas Elétricas e

Automação Industrial – nas suas cinco habilitações – Energia, Potência, Sistemas Eletrônicos, Telecomunicações e Robótica – além de atender alunos do curso de Arquitetura, para a disciplina Tecnologia IV – Instalações Elétricas.

As aulas práticas desenvolvidas no Laboratório da FEAP são oferecidas aos alunos de graduação de Engenharia Civil que cursam as disciplinas teóricas Materiais de Construção I e II, Mecânica dos Solos I e II, Resistência dos Materiais I e II, Instalações Elétricas I e II e Física III. Os conteúdos das aulas práticas são desenvolvidos como coadjuvantes dos conteúdos teóricos ministrados em sala de aula, e as notas aplicadas aos trabalhos apresentados compõem parte das notas de avaliações regulamentares destas disciplinas.

É motivação deste trabalho desenvolver práticas de trabalho em laboratório que incitem os alunos dos cursos a entender a importância do papel da experimentação e da pesquisa laboratorial aplicada no processo de construção do conhecimento. Neste trabalho, entende-se as aulas de laboratório como mais uma ferramenta para a resolução de problemas de Engenharia e na formação do senso crítico e do espírito investigativo do profissional, na medida em que colaboram para a expansão da visão do profissional e de sua compreensão dos processos práticos da profissão.

Segundo definições estudadas por José de Pinho Alves Filho (2000), os projetos de instalações, mobiliário, equipamentos e layout de um laboratório são fortemente influenciados por sua utilização, a qual pode ser definida segundo critérios relacionados diretamente aos métodos de ensino que serão utilizados junto aos alunos. Na concepção dos projetos dos laboratórios estudados, procurou-se uma diretriz que contemplasse múltiplos usos, e, conseqüentemente, dar suporte a uma diversidade de métodos de ensino. Para este trabalho foram estudados métodos de ensino definidos como Divergente e Tradicional, os quais estão relacionados às modalidades de organização laboratorial assim denominadas.

### **1.1 O Curso de Engenharia Civil da FEAP**

O curso foi criado em 2004, pela lei estadual nº. 14.949 / MG de 09/01/2004, através de convênio celebrado com a Prefeitura Municipal de Além Paraíba. Com ênfase principal em Meio Ambiente, a Responsabilidade Social é a

vertente norteadora dos objetivos do curso e de sua criação, dada a importância de sua inserção regional. O curso oferece profissionais de Engenharia a uma população distante dos grandes centros comerciais e industriais e carente em vários aspectos sociais e econômicos, principalmente quanto à geração de emprego e renda.

O profissional de Engenharia Civil formado pela FEAP, neste contexto, é um agente de promoção de crescimento social, e tem papel fundamental na melhoria das condições de infraestrutura da região e no crescimento e desenvolvimento da construção civil.

O curso foi reconhecido oficialmente em 2007, e recebeu avaliação positiva pelo MEC, em setembro de 2014, quando já contava com o Laboratório Multiuso como recurso didático.

#### **1.1.1 O Laboratório Multiuso da FEAP**

A implantação do Laboratório Multiuso, que durante o segundo período letivo de 2014 já se encontrava em pleno funcionamento e atendendo a alunos do 2º, 4º e 6º períodos, teve início em meados de 2013, com as obras civis de construção do espaço de 150 metros quadrados que abriga o laboratório.

A partir de abril de 2014, começou o aporte de equipamentos no laboratório, aporte esse que se deu pela cessão em comodato, por parte da Faculdade de Engenharia da UFJF, de equipamentos que não estavam em uso nos Laboratórios de Medidas Elétricas / Eletrotécnica, Materiais de Construção Civil e Resistência dos Materiais, os quais foram disponibilizados para doação em virtude da ampliação dos laboratórios da Faculdade de Engenharia da UFJF em função do REUNI. Ao acervo de equipamentos adicionaram-se móveis e materiais que também estavam em situação de disponibilidade para descarte, e vieram a constituir peças importantes na montagem do espaço.

Os equipamentos doados apresentam-se em um quantitativo variado e irregular, onde alguns existem em nível suficiente para atender as turmas em grupos, adotando-se inclusive a margem de segurança prevista de 70 % do total disponibilizado (OLIVEIRA, 2008), enquanto outros estão disponíveis em apenas uma unidade. As seguintes demandas propostas deveriam ser atendidas com este projeto:

- Disponibilizar um espaço para aulas teórico – expositivas;
- Prever espaços para guarda dos equipamentos;
- Determinar a separação entre as áreas onde o espaço funcionaria como um Laboratório Expositivo, e aquelas onde poderiam ser aplicadas metodologias de um Laboratório Tradicional ou mesmo de um Laboratório Divergente.
- Prever um mobiliário multiuso e robusto, adaptado á realidade e à capacidade de execução da Instituição;
- Facultar livre acesso dos alunos aos equipamentos e estruturas didáticas.
- Prever instalações seguras e com recursos para a ampliação da carga instalada.

As despesas que couberam à FEAP, neste processo, estiveram relacionadas às obras civis, à construção de mobiliários segundo especificações do projeto, instalações hidráulicas e elétricas e ao traslado dos equipamentos da UFJF para a FEAP, bem como os trâmites deste processo. O investimento total foi da ordem de R\$ 50.000,00.

Este acervo de equipamentos foi utilizado para os ensaios propostos e atendeu satisfatoriamente, adotando-se a divisão das turmas em grupos, de modo que quatro grupos conseguem atuar de forma simultânea, em igualdade de recursos, nas aulas práticas de Instalações Elétricas I e II. Como a turma compreende um total de 8 grupos, o horário de aula foi dividido em horários parciais com metade do tempo total da aula, de modo a contemplar o acesso de todos ao ensaio.

## **1.2 O Curso de Engenharia Elétrica da UFJF**

A Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora teve origem da Escola de Engenharia de Juiz de Fora, instituição privada centenária, fundada em 17 de agosto de 1914 por um grupo de professores que pretendia preparar profissionais de engenharia para iluminar, sanear e ligar as cidades entre si. Reconhecido em 1918, pela Lei Federal n°. 3454 de 6 de

janeiro de 1918, o curso passou a formar desde então profissionais com o título de Engenheiros Civis – Eletrotécnicos. A Escola de Engenharia de Juiz de Fora foi estatizada em 26 de dezembro de 1960, quando da criação da Universidade Federal de Juiz de Fora, através da Lei Federal nº. 3.858, de 23 de dezembro de 1960, assinada pelo Presidente Juscelino Kubistcheck.

Em 1964, teve início a separação entre as habilitações de Engenharia Civil e Engenharia Elétrica, com o primeiro vestibular de acesso separado para as duas habilitações. As primeiras turmas com o título de Engenharia Civil e Engenharia Elétrica formaram-se em 1968. Com o programa REUNI, a partir de 2009, criaram-se os cursos de Engenharia Mecânica, Engenharia Sanitária e Ambiental e Engenharia Computacional. Neste contexto, foi extinto o curso de Engenharia Elétrica tradicional, com a criação de cinco novos cursos de Engenharia Elétrica, nas áreas de Energia, de Sistemas de Potência, de Robótica e Automação, de Telecomunicações e de Sistemas Eletrônicos.

Desde seu início, a Escola sempre teve o auxílio dos espaços práticos como coadjuvante para o ensino de Engenharia. Datam de 1916 os primeiros registros de aquisição de equipamentos para o ensino, e a partir da década de 1920 do século passado foram direcionados grandes investimentos para a montagem de laboratórios didáticos. Outro aspecto único à época foi o fato de a Escola ter investido na montagem de uma estrutura fabril, destinada à construção de seus próprios aparatos didáticos de ensino prático, iniciativa esta que repercutiu e levou a Escola a oferecer estes equipamentos no mercado, comercializando-os para outras instituições de ensino.

### **1.2.1 O Laboratório de Eletrotécnica, Medidas Elétricas e Automação Industrial da UFJF.**

Histórico do Laboratório e sua Implantação: O Laboratório de Medidas Elétricas da Faculdade de Engenharia encontra-se instalado na Plataforma 4 do Campus da UFJF desde que a Faculdade iniciou a ocupação da planta, na primeira metade da década de 70. Montado numa área de 100 metros quadrados, recebeu em sua montagem inicial uma estrutura para atendimento simultâneo de nove grupos de alunos. Essa estrutura compreendia nove bancadas didáticas, projetadas pelos professores do curso de Engenharia Elétrica e construídas pelas oficinas do antigo PARTEC – Parque Tecnológico da UFJF –

setor responsável, na época, pela construção e fabricação de equipamentos científicos e tecnológicos.

Os instrumentos disponibilizados dividiam-se entre aqueles específicos para o conteúdo prático da disciplina denominada Medidas Elétricas e outros de uso geral. O quantitativo destes instrumentos atendia ao uso simultâneo de todas as bancadas.

É importante lembrar, nesse momento, o contexto histórico da época. A implantação do Campus Universitário e dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Elétrica na planta ocupada, bem como a estruturação inicial do curso de Engenharia Elétrica quando da separação do curso de Engenharia em 1964, o qual formava, como visto, até 1967, Engenheiros Civis – Eletrotécnicos, ocorreu em um período de exceção, devido a situação político – governamental brasileira da época, motivada pelo golpe de 1964. Na documentação existente no Arquivo Histórico da Faculdade de Engenharia sobre a época (Atas da Congregação da Escola de Engenharia de Juiz de Fora, Volume VI – 1958-1968) não se observa uma interação entre os processos pedagógicos e a aquisição de equipamentos. Ou seja, a definição dos conteúdos programáticos não tinha relação com as decisões de compra de equipamentos. Essas aquisições eram feitas por decisões governamentais superiores, e, ao serem alocadas nos espaços de ensino, eram as motivadoras dos conteúdos práticos. Até o ano de 2001 ainda se verificou esta chegada extemporânea de equipamentos, grande parte dos quais sem ligação direta com as atividades didáticas em curso. Vem daí o fato de que muitos equipamentos serem subutilizados, enquanto outros serem explorados até sua exaustão, atingindo o fim de sua vida útil bem antes de sua obsolescência, enquanto outros permaneceram praticamente intocados, e saíram de serviço ainda em ótimas condições de uso. Também foi possível observar casos de equipamentos que atingiram a obsolescência e se tornaram inservíveis sem nenhum dano de uso, tendo sido danificados pelo desuso.

A partir da década de 2010 a UFJF iniciou sua participação no programa REUNI – Reforma Universitária – programa do Governo Federal que previa o fomento da expansão do número de vagas e a criação de novos cursos nas IFES. Esta adesão tornou possível o aumento dos repasses financeiros,

destinados a adequações das infraestruturas necessárias para acolher esse quantitativo maior de alunos e garantir o funcionamento destes novos cursos. Também se observou um aumento do número de docentes e técnicos administrativos necessários para atender um número cada vez maior de turmas e gerir esta nova estrutura.

A Faculdade de Engenharia aderiu a este programa em todas as suas frentes, aumentando o número de vagas em diversos cursos e criando outros novos cursos de graduação em engenharia, inclusive em novas modalidades até então não contempladas. Para este novo momento, os laboratórios dos cursos, não apenas de Engenharia Elétrica – onde o impacto deste aumento foi dramático – mas de outros cursos também, se viram defasados e insuficientes para atender a esta demanda.

No Laboratório de Medidas Elétricas / Eletrotécnica, nesta ocasião, o atendimento girava em torno de quatro grupos por turma, num total máximo de 16 alunos por horário de aula, estando, portanto, subutilizado em relação a sua proposta original, em face da escassez de equipamentos. No entanto, o tamanho das turmas, antes do REUNI, permitia um atendimento satisfatório da demanda. Com o novo formato dos cursos oferecidos, este atendimento poderia chegar a 36 alunos por turma, com média de 27 alunos.

Diante deste fato, optou-se por substituir toda a estrutura didática, adotando-se um novo layout, com reestruturação de instalações e mobiliários, e a aquisição de um quantitativo de equipamentos que atendesse, de forma equânime, todas os grupos possíveis, total este que se convencionou fixar em 9 grupos, com até 3 alunos por grupo, ou 7 grupos, com até 4 alunos por grupo, recompondo assim a capacidade operacional do laboratório. Os investimentos para esta implantação alçaram valores da ordem de R\$ 900.000,00.

Este movimento de expansão explicitou a existência de um acervo de equipamentos cujo quantitativo não atenderia a nova demanda. Também se verificou, quando do inventário de todo este acervo, a existência de itens que, embora em quantitativo suficiente, não teriam aplicabilidade didática na nova estrutura de ensino. Da conjunção destas duas constatações, determinaram-se os critérios que culminaram com a resolução pelo descarte destes

equipamentos, disponibilizando-os para que se procedesse aos trâmites legais de sua remoção da unidade acadêmica.

Os equipamentos do laboratório, a partir desse momento, passaram a ser compostos por bancadas didáticas completas, fornecidas montadas e equipadas pelo fabricante WEG, dotadas de um quantitativo de equipamentos que permite a realização simultânea de até nove ensaios de Medidas Elétricas ou Automação Industrial, ou até 18 ensaios de Eletrotécnica, através da montagem de módulos intercambiáveis de instrumentos e equipamentos. A estes equipamentos somam-se um acervo de instrumentos manuais – multímetros e outros instrumentos de medidas elétricas – cujo quantitativo também permite esta realização simultânea dos ensaios. Todos estes equipamentos foram adquiridos entre 2009 e 2011.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Desafios do Aprendizado da Profissão de Engenheiro**

A interação e a significação do processo de ensino e aprendizagem são as motivações para o desenvolvimento de teorias sobre a metodologia do ensino superior (MOROSINI, 2009). O processo de aprendizagem é fundamental na formação dos graduandos de engenharia, e os professores da graduação têm como objetivo a transformação dos alunos em profissionais de engenharia, transmitindo conhecimentos que formarão a consciência prática e a análise crítica do futuro engenheiro.

O ensino de Engenharia é uma das atribuições da função de engenheiro previstas pelo sistema CONFEA/CREA, e os estudos sobre a formação do conhecimento nos alunos de graduação e o ensino de engenharia para estes alunos ainda demandam teorias que forneçam instrumentos para análise e reflexão sobre o ensino da atividade prática da profissão: como o aluno aprende estes conteúdos e como transmiti-los a estes alunos (SOLÉ & COLL, 2009).

A compreensão sobre a aprendizagem em engenharia realimenta o processo de ensino, fornecendo ao professor subsídios para melhorar a transmissão desse conhecimento para os alunos. Para que o professor possa ajudar os graduandos a desenvolver a criatividade, a receptividade, a análise crítica e outras habilidades inerentes à profissão, é necessário que este professor domine essas habilidades (TORRES, 1998).

Durante o exercício da profissão de engenheiro, o profissional que se dedica também ao ensino tem a oportunidade de um aprendizado contínuo, revendo seus conceitos, ressaltando aspectos mais relevantes do exercício profissional. Dessa forma, traz para o exercício do ensino uma visão prática que muitas vezes confronta o enfoque teórico. Para que esse ciclo seja completo, e o professor possa alcançar um bom desempenho profissional, ele precisa estar motivado a melhorar sua prática, e a instituição deve oferecer condições favoráveis para que esse processo aconteça. Assim, o engenheiro, que agora é também professor, pode aprender junto com seus alunos (LIMA, 2000).

## **2.2 A Importância do Laboratório na Construção do Processo de Ensino**

Os cursos de engenharia, no contexto atual, vivem um dilema. O avanço tecnológico é vertiginoso, tanto no exercício da profissão quanto na vida pessoal, e as inovações digitais se sobrepõem, de forma que a cada nova geração de um produto de consumo tecnológico, verifica-se a rápida obsolescência das gerações anteriores. Essa imersão tecnológica compõe a atmosfera de vida dos graduandos de engenharia, mais até que alunos de outros cursos superiores (FARIA, 2009). Essas inovações acabam trazendo um impacto ainda maior na atividade prática da profissão e no ensino de engenharia, e se transformam em desafios crescentes para o professor.

Outro aspecto desta evolução constante é a dificuldade que as escolas e faculdades de engenharia encontram para se manter atualizadas, no que diz respeito a equipamentos e sistemas, de modo que possam oferecer, nas estruturas, laboratórios e espaços de ensino prático, um conjunto de equipamentos atualizado e sintonizado com a geração tecnológica vivida pelos seus alunos de graduação e pós-graduação.

Essas questões trazem desafios ainda maiores para o professor, exigindo uma revisão no seu papel enquanto educador e até mesmo enquanto profissional de engenharia. É possível ver a influência desta evolução tecnológica manifestada na definição das temáticas e dos enfoques tanto teóricos quanto metodológicos. Essa abordagem impacta o ensino de engenharia e os profissionais de engenharia, enquanto professores, propondo a eles o desafio de cumprir seu papel social de formadores de opinião e construtores do conhecimento, redimensionando assim suas práticas e teorias.

Este redimensionamento, contudo, não deve ser uma busca constante apenas pelo novo, pela modernidade e pela inovação. O ensino prático em laboratório se faz com conteúdo, procedimentos e estruturas de trabalho, os quais, quando bem elaborados, podem fazer uso de quaisquer equipamentos para a transmissão do conhecimento, inclusive equipamentos simples, usados no dia a dia da profissão, ou mesmo equipamentos reciclados ou readaptados.

A visão do profissional de engenharia deve então ser direcionada para a construção constante do conhecimento. Com isso, um modelo de educação em engenharia eficiente deve ser inteiro e globalizante, que una a pesquisa e o ensino, conhecimento científico e conhecimento cotidiano, teoria e prática, sujeito e objeto (PIMENTEL, 1996). Durante a atividade prática desenvolvida no laboratório o professor deve estimular o aluno a aprender algo novo, a desenvolver seus sentidos cognitivos, acrescentando habilidades e competências para o futuro exercício da profissão (MACEDO et al, 2012). Logo, a aula em um laboratório sempre deve ser um elo para romper esse paradigma, facilitando a troca de informações e conhecimentos.

As transformações tecnológicas também exigem das universidades uma adequação e evolução constante dos métodos de ensino, visando formar futuros profissionais capacitados a atender as exigências de um mercado de trabalho cada vez mais dinâmico e competitivo. O ensino superior tem buscado cada vez mais proporcionar aos seus alunos um ambiente educacional similar ao que o mesmo irá encontrar na sua carreira profissional. Para tanto, uma das soluções adotadas na formação acadêmica é a aplicação de uma base teórica sólida acompanhada de uma atuação prática através de experimentos práticos, onde seja possível investigar a ocorrência de fenômenos relevantes e sua importância na formação do conhecimento em Engenharia. Para Moraes (1997), a capacidade de reflexão e de observação enquanto profissional de engenharia leva professor e aluno a aprenderem, conhecerem e crescerem juntos.

Outro aspecto importante é o fato do Brasil apresentar um déficit na formação de engenheiros, devido ao fato de a profissão, nas décadas de 80 e 90, não ter sido contemplada com um cenário nacional propício ao desenvolvimento. Quando a sociedade e a nação crescem, cresce a demanda pelos profissionais de engenharia, e esta demanda exige investimentos na escolarização e na formação dos profissionais e no aumento da qualidade desta formação. (THIESEN, 2011). A citada dificuldade de muitas escolas, especialmente aquelas situadas longe de grandes centros ou não contempladas pelos programas de incentivo governamentais, em estarem sintonizadas com a evolução tecnológica para montagem e atualização de seus espaços de ensino

prático, não impede que existam nestas instituições professores que, de forma continuada, permanecem tentando acertar e não desanimam com os desafios.

Em todos os cursos de engenharia, seja civil, elétrica, mecânica ou quaisquer outros inseridos nas diversas modalidades reconhecidas atualmente pelo sistema CREA-CONFEA, é evidente a necessidade de obter um conhecimento cada vez maior acerca das demandas da profissão, mas é difusa a noção de quais conhecimentos devem ser priorizados no processo de ensino. Na formação dos engenheiros uma das metodologias que facilitam o aprendizado são as práticas laboratoriais, as quais permitem a interação do aluno com os equipamentos, instrumentos e máquinas que estarão presentes no seu dia a dia enquanto profissional de engenharia. Gibbons et al. (1994), classifica o conhecimento como uma associação entre dois modais de conhecimento. Em um deles, define-se o conhecimento acadêmico, explícito, disciplinar e "científico". No outro modal, encontra-se o conhecimento prático, empírico, carente de documentação, transdisciplinar e "profissional".

Deter um nível de conhecimento, independentemente do tipo ou modalidade, é por si só, insuficiente. O profissional de engenharia deve dominar, além do conhecimento, habilidades de julgamento. A capacidade crítica, necessária e inerente ao domínio desta habilidade é uma deficiência no ensino de engenharia em grande parte das escolas. O ensino desta capacidade sempre é visto como insuficiente, pois não pode ser ensinado por meio de aulas teóricas ou mesmo por palestras. Esta capacidade está associada à vivência prática do profissional. (Vickers, 1983).

### **2.3 A Relação entre o Projeto de um Laboratório, sua Finalidade e os Métodos de Ensino.**

O método e o espaço se confundem, na medida em que a metodologia de ensino e operação do laboratório são fortemente influenciadas por seu layout, e este layout impacta e delimita a metodologia de trabalho e a capacidade de atuação. Dito isto, pode-se definir então a relação entre os diversos tipos de layout e métodos de trabalho e ensino existentes. Essas modalidades podem ser definidas pela conceituação de um laboratório. Segundo estudos apresentados pelo SENAC (Alves Filho, 2000 *apud* SENAC, 2009), é possível

dividir os laboratórios didáticos de um curso de graduação em engenharia em 4 categorias distintas, a saber: laboratórios de demonstração, laboratórios tradicionais, laboratórios divergentes e laboratórios de projeto.

a) Laboratório de Demonstração: O laboratório de demonstração é um ambiente em que as práticas são realizadas apenas pelo professor ou pelo operador do laboratório, também conhecido como laboratorista ou técnico de laboratório. Neste espaço, o discente não se envolve com o processo e com os equipamentos. O processo de conhecimento é formado com o discente assumindo o papel de espectador do ensaio, acompanhando todas as etapas de raciocínio lógico no decorrer da apresentação efetuada pelo docente. Esta modalidade compreende laboratórios onde o manuseio dos equipamentos, materiais e estruturas envolvam risco ou periculosidade em níveis para os quais o discente talvez ainda não possa estar preparado. Também em situações onde incorra em possibilidade de dano físico de maior monta, ou quando não existe uma cobertura de seguro contra acidentes pessoais para estes estudantes esta estrutura de ensino é adotada. Entretanto, não se verifica prejuízo para a compreensão dos fenômenos quando existe uma metodologia que preveja um distanciamento calculado entre o discente e a operação do evento. Exemplo deste tipo de espaço são os laboratórios de engenharia civil, onde são operados equipamentos de grande porte, como máquinas de ensaios de materiais de construção ou betoneiras, cuja operação envolve periculosidade e exige treinamento específico.

b) Laboratório Tradicional: Em um laboratório tradicional ou convencional verifica-se a participação do estudante de forma mais ativa, podendo ele fazer a aquisição e a análise dos dados objeto do ensaio por meio do manuseio de equipamentos e dispositivos experimentais. Aqui, a metodologia geralmente preconiza a divisão da turma discente em grupos, os quais operam, de forma equivalente em recursos oferecidos, o aparato de ensaio, de forma a cumprir um roteiro pré-determinado, ao qual se pressupõe ainda a apresentação escrita de resultados de cálculos e observações feitas no transcurso do ensaio. Tradicionalmente, laboratórios de química e física básicos operam segundo esta metodologia, empregando muitas vezes kits de ensaios, onde existem experiências pré-definidas pelos fabricantes. Também encontra-se laboratórios

de eletrônica e eletrotécnica montados sob este formato, utilizando-se de kits didáticos com materiais e instrumentos pré-definidos, geralmente montados em módulos que se encaixam em quadros intercambiáveis.

c) Laboratório Divergente: Uma outra modalidade de organização laboratorial é o laboratório divergente. Nesta metodologia de ensino as práticas ocorrem de forma mais dinâmica que o laboratório tradicional. Essa metodologia baseia-se na determinação de um objetivo, o qual é o que se espera do ensaio a ser realizado, e no oferecimento, aos grupos de trabalho nos quais a turma se divide, de um conjunto de equipamentos e materiais necessários ao desenvolvimento da tarefa e a obtenção dos resultados. Aqui, cada grupo tem a liberdade de usar os equipamentos e materiais na sequência desejada, devendo se ater ao objetivo final de cumprir a tarefa determinada como escopo do ensaio. A obtenção e a análise de dados do experimento em desenvolvimento são mais livres, e decorrem de forma particularizada em cada grupo, segundo o andamento de cada sequência de trabalho. Para uma igualdade de condições, sempre se busca oferecer o mesmo tipo de equipamento e condições a todos os grupos, para que todos possam atingir seus objetivos com o mesmo nível de dificuldade. Esta metodologia pode ser estendida a todas as áreas, sendo comum em laboratórios de eletrônica e eletrotécnica básicos, que se utilizam de materiais e instrumentos disponíveis no comércio regular para realizar os ensaios e projetos propostos.

d) Laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento: Em um laboratório de projeto ou pesquisa o estudo está mais voltado para uma demanda determinada, a qual não se encerra em um crédito didático ou mesmo em um período letivo. Sua configuração exige total disponibilidade dos equipamentos e demanda uma orientação constante, seja do professor orientador, seja dos profissionais responsáveis pela operação e manutenção do espaço laboratorial. Geralmente, os discentes que têm acesso a esses laboratórios já têm experiência em outros laboratórios, pois eles serão responsáveis por determinar o tema a ser abordado, por elaborar o cronograma de tarefas a ser cumprido e também ficarão a cargo de definir as estratégias a serem utilizadas para execução do projeto. Incluem-se aqui os laboratórios frequentados por alunos de iniciação científica, alunos de pós-graduação e pesquisadores de

carreira. Todas as áreas do conhecimento científico e tecnológico em nível de pós-graduação são exemplos de onde se podem encontrar laboratórios deste tipo (GRANDINI, 2005 *et* Alves Filho, 2009 *apud* SENAC 2009).

## **2.4 A Incerteza e o Erro na Medição de Grandezas Elétricas**

### **2.4.1 Mensurando e Incerteza de medição**

De forma sucinta, o mensurando é definido como a grandeza à qual pretende-se submeter um procedimento de medição. Para a determinação específica de um mensurando, é necessário um conhecimento da natureza da grandeza e a descrição do estado do fenômeno, do corpo ou da substância em análise, para a qual a grandeza a ser medida é uma propriedade, incluindo qualquer constituinte relevante e as entidades químicas envolvidas, quando for o caso.

O procedimento de medição, composto inclusive pelo sistema de medição e as condições circunstanciais onde ela é realizada, pode causar modificações no fenômeno, no corpo ou na substância, de modo que a grandeza que está sendo medida pode diferir da definição inicial do mensurando. A detecção destes efeitos torna necessária a aplicação de rotinas de correção adequada.

Em um procedimento de medição, seja de uma grandeza elétrica ou qualquer outra, pode-se denominar como Incerteza um parâmetro numérico, essencialmente positivo, o qual caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas (Inmetro, 2012).

O procedimento de determinação da incerteza de medição inclui componentes provenientes e relacionados a efeitos sistemáticos do processo de medição, tais como os componentes associados a correções e a valores atribuídos aos padrões, assim como incertezas definicionais. Conforme a finalidade desejada para o resultado do procedimento de medição, não são corrigidos os efeitos sistemáticos estimados. Estas correções podem ser substituídas pela incorporação de componentes de incerteza de medição associadas a estes efeitos.

A incerteza de medição pode ser, em alguns casos, obtida por meio de um desvio-padrão denominado incerteza-padrão (ou um de seus múltiplos) ou a

metade da amplitude de um intervalo tendo uma probabilidade de abrangência determinada.

Muitos componentes são necessários para a determinação da incerteza de medição. Alguns podem ser estimados por uma avaliação de componentes denominados “Tipo A” da incerteza de medição, determinados a partir da distribuição estatística dos valores provenientes de séries de medições e podem ser caracterizadas por desvios-padrão. As outras componentes, as quais podem ser estimadas por uma avaliação denominada “Tipo B” da incerteza de medição, podem também ser caracterizadas por desvios-padrão estimados a partir de funções de densidade de probabilidade baseadas na experiência ou em outras informações, provenientes dos instrumentos utilizados ou em normas de referência para o procedimento.

De forma generalizada, para um dado conjunto de medições levantadas, considera-se inicialmente que a incerteza de medição está associada a um determinado valor atribuído ao mensurando. Uma modificação deste valor resulta numa modificação da incerteza associada.

#### **2.4.2 Avaliação da incerteza tipo A:**

Nos procedimentos mais frequentes, a melhor estimativa possível do valor esperado  $\mu$  de uma grandeza  $q$  que varia aleatoriamente e para a qual  $n$  observações ou leituras independentes,  $q_k$ , foram obtidas sob as mesmas condições de medição, é a média aritmética ou média  $\bar{q}$  das  $n$  observações:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (1)$$

Desta forma, para uma grandeza de entrada,  $x_{i-1}$  a média aritmética  $\bar{x}_i$  obtida pela Equação (1) é usada como sua estimativa na Equação (2) para determinar o resultado da medição  $y$ . As estimativas de medição que não são avaliadas por observações repetidas devem ser obtidas por outros métodos.

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (2)$$

As observações individuais,  $q_k$ , diferem em valor devido a variações aleatórias das grandezas de influência. A variância experimental das observações,  $s^2$ , que estima a variância  $\sigma^2$  da distribuição de probabilidade de  $q$  é dada por:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (3)$$

Esta estimativa da variância e sua raiz quadrada positiva,  $s(q_k)$ , caracterizam a variabilidade dos valores observados ou, de forma mais específica, sua dispersão em torno de sua média.

A melhor estimativa da variância da média, é dada por:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (4)$$

O desvio-padrão experimental da média  $s(\bar{q})$  é igual à raiz quadrada positiva de  $s^2(\bar{q})$ , e é utilizado como uma medida da incerteza de  $\bar{q}$ .

Assim, para uma grandeza de entrada  $X_i$  determinada por  $n$  observações repetidas e independentes  $x_{i,k}$  de sua estimativa  $x_i$ , a incerteza-padrão  $u(x_i)$  é  $s(x_i)$ , com  $s^2(x_i)$  calculada de acordo com a Equação (4). Por conveniência,  $u^2(x_i) = s^2(x_i)$  e  $u(x_i) = s(x_i)$  são por vezes denominados variância do Tipo A e incerteza-padrão do Tipo A, respectivamente (Inmetro, 2008).

### 2.4.3 Avaliação da incerteza Tipo B

Para uma estimativa  $x_i$  de uma grandeza de entrada  $X_i$  que não tenha sido obtida através de observações repetidas, a incerteza-padrão  $u(x_i)$  é avaliada por julgamento científico baseando em todas as informações disponíveis sobre a possível variabilidade de  $X_i$ . O conjunto de informações pode incluir:

- a) dados de medições prévias;
- b) experiência com ou conhecimento geral do comportamento e das propriedades de materiais e instrumentos relevantes;
- c) especificações do fabricante;
- d) dados fornecidos em certificados de calibração e outros certificados;
- e) incertezas atribuídas a dados de referência extraídos de manuais.

Por conveniência,  $u^2(x_i)$  e  $u(x_i)$  estimados dessa maneira são por vezes referidos como, respectivamente, uma variância do Tipo B e uma incerteza-padrão do Tipo B.

O uso adequado do conjunto de informações disponíveis para uma avaliação do Tipo B da incerteza-padrão exige discernimento baseado na experiência e no conhecimento geral, habilidade que pode ser aprendida com a prática. Deve-se reconhecer que uma avaliação do Tipo B da incerteza-padrão pode ser tão confiável quanto uma avaliação do Tipo A, especialmente numa situação de medição onde uma avaliação do Tipo A é baseada em um número comparativamente pequeno de observações estatisticamente independentes.

Se a distribuição da probabilidade de  $q$  é normal, então o desvio-padrão de  $s(\bar{q})$  relativo a  $\sigma(\bar{q})$ ,  $\sigma[s(\bar{q})]/\sigma(\bar{q})$ , é, aproximadamente,  $1/\sqrt{2(n-1)}$ . Assim, tomando-se  $\sigma[s(\bar{q})]$  como a incerteza de  $s(\bar{q})$ , para  $n = 10$  observações, a incerteza relativa em  $s(\bar{q})$  é 24 %, enquanto que, para  $n = 50$  observações, essa incerteza relativa é de 10 % (Inmetro, 2008).

Se a estimativa  $\underline{x}_i$  for obtida de uma especificação do fabricante, certificado de calibração, manual técnico ou outra fonte e sua incerteza citada for declarada ser um determinado múltiplo de um desvio-padrão, a incerteza-padrão é simplesmente o valor mencionado dividido pelo multiplicador (Inmetro, 2008).

Em casos particulares, onde estas referências e dados fornecidos definam uma distribuição retangular, a incerteza tipo B associadas a estes dados será dada por:

$$u(x_i) = \frac{(\lim_- + \lim_+)}{2\sqrt{3}} \quad (5)$$

Onde  $\lim_-$  é o valor a esquerda do intervalo considerado, e  $\lim_+$  é o valor a direita. Estes valores definem a largura do intervalo, de modo que a incerteza é a metade desta largura dividida pela raiz quadrada de 3.

#### 2.4.4 Incerteza combinada e incerteza expandida

Em todo o processo de medição onde mais de uma incerteza contribui para a determinação do valor do mensurando, especialmente onde estas incertezas são independentes, é possível determinar a incerteza-padrão combinada, ou simplesmente, incerteza combinada  $u_c(x_i)$ , definida na Equação (6):

$$u_c^2(x_i) = \sum_{i,j=1}^{m,n} (c_i^2 \cdot u_{a,i}^2(x_i) + c_j^2 \cdot u_{b,j}^2(x_j)) \quad (6)$$

Onde  $u_{a,i}(x_i)$  e  $u_{b,j}(x_j)$  são as  $m$  incertezas padrão tipo A e  $n$  tipo B que influenciam o processo de medição. Os coeficientes  $c_i$  e  $c_j$  são usualmente denominados coeficientes de sensibilidade. Estes coeficientes demonstram de que forma o mensurando responde a variações nas grandezas medidas  $x_i$ .

Os coeficientes  $c_i$  e  $c_j$  são definidos pela taxa de variação parcial (derivada parcial) do mensurando em relação à grandeza de entrada medida. Em grande parte dos processos de medição, no entanto, esses coeficientes são determinados experimentalmente, promovendo-se variações conhecidas nas grandezas medidas e monitorando-se as correspondentes variações no resultado. Em muitos destes casos, estes coeficientes são números reais, positivos ou negativos, sobre os quais se tem grande certeza de seu valor, ou seja, têm incertezas desprezíveis em face às incertezas calculadas no processo.

Define-se incerteza expandida  $U$  como:

$$U = k_p * u_c(x_i) \quad (7)$$

Onde  $k_p$  é o fator de abrangência que considera a distribuição estatística do resultado de medição e a confiança com a qual se deseja exprimir esta incerteza expandida. Assumindo uma distribuição normal, para 95,45 % de confiança, o valor do fator é 2.

#### 2.4.5 Erro normalizado

O erro em um processo de medição pode ser definido como resultado da diferença entre o valor encontrado em um processo de medição e o valor

verdadeiro esperado para o mensurando. No entanto, por definição, o valor verdadeiro não pode ser determinado. Assim, utiliza-se, para efeitos práticos, um valor verdadeiro arbitrado.

Em muitos processos de medição, se faz necessário distinguir os termos “erro” e “erro relativo”. Assim, o primeiro é, em alguns casos, denominado erro absoluto de medição. Este termo não deve ser confundido com valor absoluto de um erro, que é o módulo do erro. Se o resultado de uma medição depende dos valores de outras grandezas, os erros dos valores medidos destas grandezas contribuem para o erro do resultado da medição.

Pode-se também definir o erro aleatório, o qual é o resultado da diferença entre uma medição e a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando efetuadas sob condições de repetibilidade. Outra definição importante é o erro sistemático, o qual pode ser calculado como uma diferença entre média, que resultaria de um número infinito de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetibilidade, e o valor verdadeiro do mensurando.

O erro normalizado pode ser definido como a razão entre a diferença dos valores considerados – o valor medido e o valor tido como mais verdadeiro, de referência ou padrão – e a raiz quadrada da soma dos quadrados das incertezas combinadas destes dois valores:

$$E_n = \frac{(X_{ref} - X_{med})}{\sqrt{U_{ref}^2 + U_{med}^2}} \quad (8)$$

Espera-se que a diferença dos valores seja menor que essa soma quadrática, o que resultaria num resultado menor ou igual a 1. Caso este resultado não seja encontrado, o valor medido deve ser considerado como inadequado.

## **2.5 Conceituação de Avaliação e Nota no Processo de Ensino e Aprendizado**

O processo de avaliação do aprendizado, visto como parte integrante e continuada da função de ensino e aprendizagem, não deve ser considerado como um elemento estranho ao ambiente de ensino. Entretanto, deve-se buscar uma diretriz para a concepção do ato de avaliar enquanto prática

pedagógica. Várias concepções já foram produzidas sobre este ato. Dessa forma, pode-se buscar como referencial alguns autores que estudaram o tema.

Tyler (1979) apresentou uma proposta que se constituiu como uma forte referência no meio educacional, onde processo de avaliação consiste na determinação da medida em que estão sendo atingidos os objetivos educacionais, e de que forma estes objetivos visam a produção de mudanças de comportamento. Para Tyler, (1979, p.99), a "avaliação é o processo mediante o qual se determina o grau em que essas mudanças de comportamento estão realmente ocorrendo".

Esse conceito de avaliação foi incorporado, no contexto educacional, quando o tecnicismo predominava nos meios pedagógicos. O autor preocupa-se menos com o processo, apesar da referência aos vários métodos avaliativos possíveis, e mais com a delimitação de objetivos e com a evolução comportamental como resultado ou produto expresso através da medida. Desta forma, esta concepção prestou-se para subsidiar o uso de objetivos relacionados a conteúdos e à medida como se fora avaliação.

Outra vertente desta análise, segundo Sant'Anna (1995, p.29), afirma que "a avaliação é a coleta sistemática de dados, por meio da qual se determinam as mudanças de comportamento do aluno e em que medida essas mudanças ocorrem". Não se vê aqui diferença substancial em relação às proposições de Tyler. É usual entre os professores a confusão entre medida, ou nota, e avaliação. Visando esclarecer esse equívoco, muitos autores têm procurado descrever o significado destes conceitos.

Desta forma, tendo como referência os estudos de Popham (1983), Depresbíteris (1989, p.45), afirma que o processo de avaliação deve incluir uma forma de medida – a nota – mas não se esgota nesta forma. A nota dá uma dimensão de quanto o aluno possui de determinada habilidade, enquanto a avaliação traz uma informação sobre o valor dessa habilidade. Prosseguindo nessa análise, a nota descreve os fenômenos com dados quantitativos. Nesse contexto, a avaliação descreve os fenômenos e faz sua interpretação, utilizando também os dados qualitativos.

Outras considerações podem ser feitas, também procurando fazer esta distinção entre avaliação e nota. Medeiros (1983), embora com ênfase no mecanismo de avaliação conhecido como TVC – Testes de Verificação de Conhecimento – como instrumento de medida, e a técnica para sua formulação, relata claramente a diferença entre estes dois conceitos – nota e avaliação – ao afirmar que a nota é um apoio para a avaliação, considerando como fundamentais a amplitude e a validade desse processo.

A métrica deste processo é estudada por Luckesi (1995), o qual também procura mostrar a diferença entre esses dois processos e a que se prestam no contexto didático. Como sinônimo de medida, esse autor utiliza o termo “verificação” ou “aferição”. Afirma que o ato de verificar encerra-se com a obtenção do dado ou da informação, enquanto avaliar implica em decidir pela tomada de uma posição, "que a aferição da aprendizagem escolar é utilizada na quase totalidade das vezes para classificar os alunos em aprovados ou reprovados" (p.91).

Dessa forma, avaliar tem uma concepção muito além deste entendimento restrito. Diz, ainda, que "a avaliação é um julgamento de valor sobre manifestações relevantes da realidade, tendo em vista uma tomada de decisão". (p.33). É possível ver que, além de envolver a dimensão qualitativa, quando se refere ao juízo de valor, envolve também o objeto, através de dados relevantes, e a função dinâmica, através da tomada de decisão para uma ação.

Com referência aos trabalhos de Luckesi, Gama (1993, p. 138) define a avaliação como um "processo de julgamento que se vale de meios objetivos e subjetivos para atribuir valores àqueles que participam dele interativamente com a finalidade de superação do estágio de aprendizagem em que se encontram". Esta definição é ampla, valendo-se de múltiplos processos e induzindo que, atuando reciprocamente todos estes processos, o crescimento é favorecido. Pode-se então considerar a avaliação uma ação que equilibra o processo, não se atendo, dessa forma, a apenas um aspecto, seja qualitativo ou quantitativo.

Adotando-se um “jogo de palavras” com as terminologias e conceitos da Teoria das Incertezas, pode-se então considerar que o desempenho do aluno é o

“mensurando”, o qual constitui o fenômeno a ser submetido a uma medição – a aplicação de uma avaliação – a qual trás, como resultado, um valor – a nota – para o qual espera-se encontrar um “valor verdadeiro”. Mas, por definição, este valor verdadeiro é incógnito e não sabido, pois só poderia ser encontrado em um processo “perfeito” de medição, o qual, para o caso em análise, seria uma avaliação “perfeita”, cuja elaboração é impossível.

Assim, toda nota atribuída a um aluno sempre será a melhor aproximação do valor verdadeiro de seu desempenho, e tanto melhor será esta aproximação quanto mais precisos forem os procedimentos e processos de avaliação. O aperfeiçoamento contínuo destes processos permite controlar e diminuir as incertezas que afetam a aplicação das avaliações. O controle e a diminuição destas incertezas permitem, então, que a nota atribuída ao aluno, como resultado do processo de avaliação, seja a melhor aproximação da nota verdadeira.

### **3 OBJETIVOS GERAIS – DELIMITAÇÃO DO CAMPO DE AÇÃO**

O objetivo desta dissertação é analisar comparativamente o desempenho dos alunos submetidos aos conteúdos de duas disciplinas através de dois métodos de ensino diferentes, ambos aplicados em dois laboratórios de Instituições diferentes. Para isso, optou-se por uma análise quantitativa utilizando a teoria de incerteza de medição foi realizada. Os resultados foram discutidos considerando-se diferentes fatores de influência sobre as leituras registradas pelos alunos. Estes fatores compuseram as planilhas de incerteza construídas para a análise destes resultados.

Os métodos de ensino denominados Divergente e Tradicional foram aplicados no Laboratório Multiuso do Curso de Engenharia Civil da Fundação Educacional de Além Paraíba – FEAP e no Laboratório de Eletrotécnica, Medidas Elétricas e Automação do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF.

Parte das atribuições profissionais deste mestrando, junto à UFJF e à FEAP, consiste na elaboração e no desenvolvimento destes ensaios, para as diversas disciplinas que se utilizam destes espaços.

O tema desta dissertação fez parte de um projeto do autor de implantar o laboratório do curso de Engenharia Civil da FEAP e de montar o conteúdo programático das disciplinas oferecidas neste laboratório. Desta forma, o método que resultou num maior aproveitamento dos alunos foi aplicado nas disciplinas lecionadas. Em conjunto, a abordagem estatística da teoria de incerteza de medição que será desenvolvida na análise de comparação dos métodos também será inserida nos conteúdos programáticos. Os roteiros de referência para os experimentos foram aperfeiçoados pelo emprego dos conhecimentos estudados e adquiridos neste trabalho e encontram-se no Apêndice.

#### 4 MÉTODO DE TRABALHO

Para levar a efeito os objetivos expostos, os seguintes passos foram realizados:

a) Elaboração dos roteiros dos ensaios, através da análise das ementas das disciplinas e verificação da disponibilidade e das características dos equipamentos dos laboratórios;

b) Descrição da forma de aplicação e avaliação dos ensaios segundo os métodos Divergente e Tradicional, segundo as definições da revisão bibliográfica, com a exemplificação de folhas de instruções e roteiros usados nas aulas;

c) Desenvolvimento de uma metodologia e de uma ferramenta para o cálculo da nota de cada grupo participante dos ensaios, através do uso das planilhas de incertezas e do cálculo do erro normalizado;

d) Comparação das notas atribuídas aos alunos de cada curso, em uma mesma disciplina, para o mesmo ensaio adotado como modelo, cada qual em seu método, através de análise das medições propostas no ensaio e seus resultados numéricos segundo a teoria da incerteza;

e) Conclusões possíveis através da comparação dos dois métodos empregados.

O primeiro passo para o desenvolvimento de um projeto de implantação de um laboratório é a definição de um conteúdo programático para as disciplinas práticas que terão o apoio deste espaço como recurso didático. Esta definição deve ser feita pelas coordenações dos cursos cujas disciplinas irão utilizar o espaço do laboratório. A definição do conteúdo é essencial para a especificação dos equipamentos a serem adquiridos, além de determinar os parâmetros dos projetos de *layout* e de instalações do laboratório.

Com a definição deste conteúdo, torna-se possível que os docentes das disciplinas que utilizam do laboratório elaborem os roteiros e materiais de

referência. Definidos os textos destes materiais, torna-se possível a aplicação dos ensaios, e a posterior adoção dos relatórios e materiais de avaliação produzidos pelos alunos acerca dos ensaios realizados como instrumento auxiliar de verificação do conhecimento, auferindo a estes materiais a nota correspondente.

Para a avaliação comparativa dos métodos propostos, foram desenvolvidos experimentos práticos em eletrotécnica e instalações elétricas, os quais contemplam conteúdos presentes nas ementas das disciplinas Laboratório de Eletrotécnica da UFJF e Instalações Elétricas I e II da FEAP. Estes experimentos foram elaborados e resultaram nos roteiros constantes dos Anexos A, B, C e D. Os experimentos foram desenvolvidos de modo a exemplificar as características básicas dos métodos propostos, e compõe a apostila de ensaios programados para o Laboratório de Eletrotécnica da UFJF e o Laboratório Multiuso da FEAP. Um dos roteiros utilizados remonta a 2010, os demais foram elaborados em 2014.

Um destes experimentos propõe ao aluno a medição da energia elétrica consumida por duas lâmpadas de iluminação doméstica comuns, sendo uma do tipo incandescente e outra do tipo fluorescente compacta. Este experimento foi aplicado segundo o Método Divergente, para as duas turmas. Outro experimento adotado propõe ao aluno determinar a influência da temperatura na capacidade de um condutor elétrico em conduzir a corrente elétrica. Para este experimento, adotou-se o Método Tradicional, em ambos os cursos.

A turma do 6º período do Curso de Engenharia Civil da FEAP, no 2º semestre de 2014, participou do experimento com o método divergente, como parte da avaliação da disciplina “Instalações Elétricas I”. O ensaio é denominado “As Potências Ativa e Reativa na medição do Consumo de Energia”. No 1º semestre de 2015, a mesma turma, agora no 7º período, participou do experimento denominado “Lei de Ohm e a Variação da Resistência com a Temperatura”, segundo o método tradicional, como parte da avaliação da disciplina “Instalações Elétricas II”. Tem-se, então, a mesma turma de alunos submetida a dois ensaios diferentes, mas de mesma complexidade, cada qual aplicado segundo um método diferente.

Para os alunos da UFJF, foram usados os resultados da turma do 3º período do curso de Engenharia Elétrica de 2010, também denominado “As Potências Ativa e Reativa na Medição do Consumo de Energia”. Este ensaio foi feito por alunos da disciplina Laboratório de Eletrotécnica, a qual participou do ensaio aplicado, à época, segundo o método divergente. A escolha desta turma foi proposital, por ser esta a última turma que trabalhou com os equipamentos agora pertencentes, por doação, ao Laboratório Multiuso da FEAP. Este fato faz com que, para os ensaios aplicados segundo o método divergente, todas as leituras das grandezas elétricas feitas pelos alunos estejam submetidas ao mesmo grau de exatidão.

Outra turma avaliada foram os alunos da turma do 3º período do curso de Engenharia Elétrica de 2015, também da disciplina Laboratório de Eletrotécnica, que participaram do ensaio segundo o método tradicional, utilizando-se dos novos equipamentos que compõe o acervo do laboratório, após a reforma e reestruturação, para o ensaio denominado “Lei de Ohm e a variação da Resistência com a Temperatura”.

A tabela 1 apresenta resumidamente o arranjo feito para dividir, entre as turmas avaliadas, os métodos em análise e os equipamentos disponibilizados:

Tabela 1: Articulação da aplicação e avaliação dos métodos de trabalho estudados

| Curso / faculdade | Período/ano | Método usado | Mesma turma do outro método? | Mesmo equipamento da outra faculdade? |
|-------------------|-------------|--------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Elétrica/UFJF     | 3º/2010     | Divergente   | Não                          | Sim                                   |
| Elétrica/UFJF     | 3º/2015     | Tradicional  | Não                          | Não                                   |
| Civil/FEAP        | 6º/2014     | Divergente   | Sim                          | Sim                                   |
| Civil/FEAP        | 7º/2015     | Tradicional  | Sim                          | Não                                   |

#### 4.1 Proposição de uma métrica para atribuição de notas aos alunos

A avaliação quantitativa de cada método foi feita pela análise das grandezas elétricas lidas nos instrumentos, durante o ensaio, e registradas pelos alunos em seus relatórios – no método divergente – e nas folhas de respostas – no método tradicional. Também serão avaliados os cálculos propostos no roteiro

para serem efetuados com estas grandezas medidas. Os resultados destes cálculos também devem estar lançados nos relatórios e folhas de respostas.

A forma dessa avaliação será a comparação do resultado das medições (valores encontrados e incertezas associadas) apresentadas pelos alunos com as medições produzidas pelo professor e/ou equipe técnica do laboratório, planilha esta cujos valores de incerteza serão definidos pela realização dos mesmos ensaios pela equipe do laboratório, com um nível de repetição de resultados igual ou maior que o número de grupos suportado pelo laboratório. A mesma incerteza será considerada para todos os grupos, visto que cada grupo realizará apenas uma medição.

A equivalência de resultados entre os grupos e as planilhas de referência será avaliada utilizando a teoria da incerteza. Através das incertezas calculadas e dos resultados das leituras, é possível determinar o erro normalizado. Espera-se que esse erro normalizado seja menor ou igual a 1 para equivalência entre medições. Quanto menor o valor, menor o erro.

Desta forma, podemos criar uma métrica para se atribuir uma nota ao aluno através da equação:

$$nota = (1 - E_n) \cdot 100 \quad (9)$$

Considerando uma nota com variação entre 0 e 100 pontos.

Caso o erro normalizado seja negativo, adota-se o módulo de seu valor, evitando assim notas negativas. Quando o erro calculado for maior do que 1, subentende-se que o valor encontrado pelo aluno está muito distante daquele valor de referência, e, dessa forma, atribui-se nota nula a esta medição.

Para cada grandeza a ser medida, haverá um erro normalizado e uma nota por grupo. A média destas notas, por grupo, constitui a nota do grupo para o ensaio em análise.

## **5 RESULTADOS DOS ENSAIOS APLICADOS**

Os métodos de ensino estudados foram aplicados segundo o arranjo exposto anteriormente, adotando-se como conteúdo as folhas de instruções e os roteiros, elaborados de forma a atender o conteúdo programático das disciplinas objeto do ensaio. Seguem adiante os relatos destas aplicações, um resumo do material utilizado e o aproveitamento dos alunos.

### **5.1 Ensaio segundo o Método Divergente**

A análise deste método foi feita pela comparação do aproveitamento das turmas dos dois cursos diante de um ensaio denominado “O Fator de Potência e a Potência Ativa na Medição de Energia”, aplicado aos alunos do 3º período de Engenharia Elétrica da UFJF – em suas 5 modalidades – como um dos 10 ensaios programáticos da disciplina Laboratório de Eletrotécnica, compondo portanto 10 % da nota total da disciplina, e aos alunos de Instalações Elétricas I do 6º período de Engenharia Civil da FEAP, onde compôs a nota global da disciplina com um percentual de 20 % da nota total.

#### **5.1.1 Composição do ensaio**

Tomando-se como referência a aplicação do mesmo método para a apresentação do conteúdo, a execução do ensaio, a confecção do relatório e sua avaliação, tanto no Laboratório Multiuso da FEAP quanto no Laboratório de Eletrotécnica e Medidas Elétricas, tornou-se possível comparar o retorno dos alunos dos dois cursos, na medida em que rigorosamente o mesmo ensaio foi aplicado nas duas turmas. Essa comparação, e a determinação das diferenças e semelhanças no aproveitamento dos grupos, permitiram avaliar o grau de influência das variáveis de análise e a influência sobre os resultados esperados e no conseqüente aproveitamento da turma.

O objetivo deste ensaio é demonstrar, didaticamente, a existência de dois tipos de potência que circulam em uma instalação elétrica – a potência ativa e a reativa – e as relações que existem entre estas grandezas, bem como sua influência sobre os parâmetros a serem calculados em uma instalação elétrica.

Didaticamente, o roteiro deve ter tabelas, para o preenchimento das grandezas registradas pelos instrumentos e para o lançamento dos resultados dos

cálculos propostos. A função deste roteiro é organizar os dados coletados, de modo a facilitar a elaboração do relatório de avaliação. No Apêndice 1 constam os roteiros utilizados pelos alunos da UFJF e da FEAP.

O material necessário para este ensaio consiste em:

a) 1 lâmpada incandescente de 25 ou 40 Watts / 127 Volts;

b) 1 lâmpada Fluorescente compacta de 25 Watts ou 1 lâmpada Fluorescente compacta de 15 e outra de 25 Watts – totalizando 40 Watts / 127 Volts;

c) 1 medidor de energia elétrica residencial monofásico, classe 10. Sugere-se aqui o uso de medidores monofásicos analógicos, de ponteiros, com a menor constante de multiplicação possível, geralmente descartados pelas concessionárias quando da substituição por medidores digitais. São instrumentos muito didáticos e permitem uma leitura fácil e rápida durante o tempo da aula e para a potência das lâmpadas utilizadas nos ensaios;

d) 1 voltímetro com capacidade para 200 Volts, classe 1 e resolução de pelo menos 0.5 Volt;

e) 1 amperímetro com capacidade mínima de 0,1 Ampéres, classe 1 e resolução de 0,001 Ampéres

f) 1 Wattímetro com capacidade mínima de 100 Watts, resolução de pelo menos 1 watt e classe 1.

Evidentemente, podem ser empregados tanto instrumentos analógicos como digitais, ou multímetros que combinem todas as leituras necessárias, inclusive incorporando os cálculos pedidos. Para que a finalidade didática seja alcançada, e lembrando sempre que o espaço de ensino prático não tem o compromisso de ser um espelho de um laboratório industrial, recomenda-se o uso de instrumentos distintos para cada leitura, e não mesclar instrumentos analógicos com digitais, devido ao fato de responderem de forma diferente ao erro relacionado à forma de onda não senoidal. Este erro aparece de forma bastante notória nas medidas tomadas quando do uso das lâmpadas

fluorescentes compactas, devido ao fato de estas lâmpadas produzirem um elevado nível de poluição harmônica, que distorce a onda senoidal da corrente consumida.

As lâmpadas usadas neste ensaio têm propositalmente a mesma potência nominal, mas, como são equipamentos com formas construtivas e princípios de funcionamento totalmente diferentes, possuem níveis de eficiência significativamente diferentes. Como se mostra no ensaio, a quantidade de luz emitida pela lâmpada fluorescente compacta é bem maior do que a quantidade de luz emitida pela lâmpada incandescente.

Além desta constatação óbvia, pois a fluorescente compacta ilumina o ambiente da bancada de ensaio muito mais do que a incandescente, o aluno deve observar que a mesma quantidade de energia é consumida pelas duas lâmpadas, pois o medidor de energia doméstico usado no ensaio registra o mesmo consumo para as duas lâmpadas. Uma outra análise é feita pela observação e cálculos com os dados dos demais instrumentos disponibilizados para o ensaio – voltímetro, amperímetro e wattímetro.

O aluno, ao anotar as leituras dos instrumentos e efetuar os cálculos da potência através do produto da tensão e da corrente, verifica que para a lâmpada fluorescente compacta este produto é superior à leitura do wattímetro, que é o instrumento que justamente mede este produto. Introduce-se então o conceito da potência aparente, da potência ativa, da potência reativa e do fator de potência, grandezas essenciais para a compreensão do Sistema Elétrico e para o correto dimensionamento das Instalações Elétricas.

O ensaio começa pela montagem dos instrumentos, feita pelos alunos, através de sua interconexão segundo o esquema elétrico proposto, utilizando fios elétricos dotados de conectores destinados especialmente para a montagem rápida em bancada, conhecidos como conectores do tipo “banana”. O medidor de energia recebe uma adaptação para que possa ser utilizado em conjunto com estes conectores. As lâmpadas são montadas em soquetes do tipo doméstico, os quais também são adaptados para trabalharem com os conectores citados. O uso de condutores domésticos e conectores para instalações elétricas tradicionais também é possível, mas vai requerer da

equipe de apoio um trabalho de preparação prévia e uma atenção redobrada durante a execução, por parte dos alunos, da montagem do ensaio, visto que oferecem um nível de segurança menor aos alunos.

A montagem deste ensaio admite inúmeras variações, sem prejuízo do resultado final, pois, para as observações propostas, basta que, entre um caso e outro, o aluno troque as lâmpadas, ficando inalterado o restante do circuito, o que permite a comparação inequívoca dos valores absolutos registrados nos instrumentos. Começa aqui a diferenciação metodológica. No método divergente, o aluno tem a liberdade de definir a melhor topologia de montagem. Por exemplo, o amperímetro pode ser colocado antes ou depois do wattímetro, o voltímetro pode ser conectado junto ao medidor de energia ou junto à lâmpada. Estas variações não afetam o resultado final. O que se espera é que o aluno consiga registrar a energia consumida pela lâmpada, a corrente que a alimenta, a tensão em que está ligada e a potência que ela dissipa.

Feita a montagem, e estando conferidas as condições de segurança do ensaio – conferência esta feita pelo professor, pelo monitor de apoio ou por algum integrante da equipe técnica do laboratório – o aluno aciona a alimentação da bancada e toma nota dos valores registrados nos instrumentos. No laboratório divergente, com estas tomadas de dados encerra-se o ensaio, ficando como atividade posterior a elaboração do relatório de avaliação, cuja metodologia será objeto de discussão adiante.

### **5.1.2 Resultados encontrados**

Os relatórios produzidos pelos alunos da disciplina de Instalações Elétricas I da FEAP, do 6º período de 2014, como avaliação do ensaio aplicado anteriormente descrito, e pelos alunos do Laboratório de Eletrotécnica do 3º período de 2010 têm seus resultados numéricos compilados nas Tabelas 2 e 3. Para os valores levantados pelos grupos, adotou-se uma incerteza tipo A com 4 repetições – uma por grupo. Isto ocorreu quando não foi possível orientar os alunos a realizar  $n$  medidas, uma vez que algumas medições foram realizadas em aulas anteriores a este trabalho.

Tabela 2 – Resultados - Lâmpada fluorescente

| Grandezas medidas                             | Valores encontrados – grupos FEAP |       |       |       | Incerteza tipo A | Valores encontrados – grupos UFJF |       |       |       | Incerteza tipo A |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------------------|
|                                               |                                   |       |       |       |                  |                                   |       |       |       |                  |
| Tensão Elétrica [V]                           | 108,0                             | 120,0 | 105,0 | 118,0 | 3,7              | 122,2                             | 127,0 | 122,2 | 121,0 | 1,3              |
| Corrente Elétrica [A]                         | 0,460                             | 0,450 | 0,430 | 0,440 | 0,007            | 0,340                             | 0,380 | 0,294 | 0,265 | 0,025            |
| Potência Ativa [W]                            | 36,0                              | 38,0  | 38,0  | 36,0  | 0,6              | 37,4                              | 44,8  | 34,7  | 26,1  | 3,9              |
| Tempo de uma volta do medidor [s]<br>kd = 0,6 | 65                                | 65    | 68    | 66    | 1                | 62                                | 46    | 36    | 66    | 7                |

Tabela 3 – Resultados - Lâmpada incandescente

| Grandezas medidas                             | Valores encontrados – grupos FEAP |       |       |       | Incerteza tipo A | Valores encontrados – grupos UFJF |       |       |       | Incerteza tipo A |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------------------|
|                                               |                                   |       |       |       |                  |                                   |       |       |       |                  |
| Tensão Elétrica [V]                           | 110,0                             | 120,0 | 109,0 | 115,0 | 2,5              | 122,2                             | 127,0 | 122,4 | 123,0 | 1,1              |
| Corrente Elétrica [A]                         | 0,285                             | 0,285 | 0,290 | 0,280 | 0,002            | 0,275                             | 0,260 | 0,185 | 0,215 | 0,207            |
| Potência Ativa [W]                            | 31,0                              | 32,0  | 36,0  | 32,0  | 1,1              | 34,7                              | 44,8  | 34,7  | 26,2  | 3,8              |
| Tempo de uma volta do medidor [s]<br>kd = 0,6 | 55                                | 62    | 62    | 68    | 3                | 62                                | 45    | 36    | 66    | 7                |

### 5.1.3 Planilha de incerteza

As incertezas do tipo B inerentes ao processo de medição que constituiu o ensaio foram estimadas e aplicadas no cálculo da incerteza do resultado de medição de cada grupo, para cada ensaio. Para os quatro instrumentos utilizados – Voltímetro, Amperímetro, Wattímetro e medidor de energia, foram consideradas como incertezas do tipo B a classe e a resolução. Para as medições de tensão, a faixa de variação da tensão fornecida pela concessionária foi outra componente do tipo B. Para a potência medida, a variação de 10 % na potência nominal da lâmpada também foi considerada. A distribuição considerada para estas componentes foi a retangular.

As Tabelas 4 e 5 são as planilhas de incertezas obtidas pelas medições do professor para este ensaio. As tabelas 6 e 7 apresentam as incertezas obtidas por cada grupo.

Tabela 4 - Planilha de incertezas – lâmpada incandescente – leituras do professor

| <b>Instrumento</b> | <b>Grandeza</b> | <b>Valor médio</b> | <b>Desvio-padrão</b> | <b>Incerteza tipo A</b> | <b>Incerteza tipo B – classe</b> | <b>Incerteza tipo B – resolução</b> | <b>Incerteza tipo B – faixa de variação</b> | <b>Incerteza combinada</b> |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Voltímetro         | Tensão [V]      | 119,51             | 6,72                 | 2,24                    | 0,40                             | 0,14                                | 4,33                                        | 4,33                       |
| Amperímetro        | Corrente [A]    | 0,2930             | 0,1096               | 0,0366                  | 0,0010                           | 0,0003                              |                                             | 0,0003                     |
| Wattímetro         | Potência [W]    | 34,60              | 5,39                 | 1,80                    | 0,12                             | 0,29                                | 2,31                                        | 2,94                       |
| Medidor de energia | Tempo [s]       | 56,67              | 10,45                | 3,48                    | 1,89                             | 16,36                               |                                             | 16,83                      |

Tabela 5 - Planilha de incertezas – lâmpada fluorescente – leituras do professor

| <b>Instrumento</b> | <b>Grandeza</b> | <b>Valor médio</b> | <b>Desvio-padrão</b> | <b>Incerteza tipo A</b> | <b>Incerteza tipo B – classe</b> | <b>Incerteza tipo B – resolução</b> | <b>Incerteza tipo B – faixa de variação</b> | <b>Incerteza combinada</b> |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Voltímetro         | Tensão [V]      | 118,80             | 8,20                 | 2,73                    | 0,37                             | 0,14                                | 4,33                                        | 5,14                       |
| Amperímetro        | Corrente [A]    | 0,4030             | 0,0941               | 0,0313                  | 0,0013                           | 0,0003                              |                                             | 0,0009                     |
| Wattímetro         | Potência [W]    | 36,70              | 4,97                 | 1,66                    | 0,12                             | 0,29                                | 2,31                                        | 2,86                       |
| Medidor de energia | Tempo [s]       | 58,67              | 11,08                | 3,69                    | 1,96                             | 16,36                               |                                             | 16,88                      |

Tabela 6 – Resultado dos alunos – lâmpada incandescente - grupos

| <b>Grupos e grandezas</b> | <b>Incerteza tipo A - grupos</b> | <b>Incerteza tipo B – classe</b> | <b>Incerteza tipo B – resolução</b> | <b>Incerteza tipo B – faixa de variação</b> | <b>Incerteza combinada</b> |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| UFJF<br>Tensão [V]        | 1,13                             | 0,40                             | 0,14                                | 4,33                                        | 4,49                       |
| UFJF<br>Corrente [A]      | 0,2065                           | 0,0010                           | 0,0003                              |                                             | 0,2065                     |
| UFJF<br>Potência [W]      | 3,80                             | 0,12                             | 0,29                                | 2,31                                        | 4,22                       |
| UFJF<br>Tempo [s]         | 7,08                             | 1,89                             | 16,36                               |                                             | 17,92                      |
| FEAP<br>Tensão [V]        | 2,53                             | 0,40                             | 0,14                                | 4,33                                        | 5,03                       |
| FEAP<br>Corrente [A]      | 0,0020                           | 0,00098                          | 0,0003                              |                                             | 0,0022                     |
| FEAP<br>Potência [W]      | 1,11                             | 0,12                             | 0,29                                | 2,31                                        | 2,58                       |
| FEAP<br>Tempo [s]         | 2,66                             | 1,89                             | 16,36                               |                                             | 16,68                      |

Tabela 7 – Resultado dos alunos – lâmpada fluorescente - grupos

| <b>Grupos e grandezas</b> | <b>Incerteza tipo A - grupos</b> | <b>Incerteza tipo B – classe</b> | <b>Incerteza tipo B – resolução</b> | <b>Incerteza tipo B – faixa de variação</b> | <b>Incerteza combinada</b> |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| UFJF<br>Tensão [V]        | 1,33                             | 0,37                             | 0,14                                | 4,33                                        | 4,55                       |
| UFJF<br>Corrente [A]      | 0,0254                           | 0,0013                           | 0,0003                              |                                             | 0,0006                     |
| UFJF<br>Potência [W]      | 3,89                             | 0,12                             | 0,29                                | 2,31                                        | 4,54                       |
| UFJF<br>Tempo [s]         | 6,99                             | 1,96                             | 16,36                               |                                             | 17,90                      |
| FEAP<br>Tensão [V]        | 3,68                             | 0,37                             | 0,14                                | 4,33                                        | 5,70                       |
| FEAP<br>Corrente [A]      | 0,0065                           | 0,0013                           | 0,0003                              |                                             | 0,0065                     |
| FEAP<br>Potência [W]      | 0,58                             | 0,12                             | 0,29                                | 2,31                                        | 2,40                       |
| FEAP<br>Tempo [s]         | 0,71                             | 1,96                             | 16,36                               |                                             | 16,49                      |

### 5.1.4 Cálculo da nota de cada grupo

O erro normalizado foi calculado através da comparação grupo a grupo com os valores levantados pelo professor. A nota de cada grupo foi calculada pela média aritmética simples das notas atribuídas a cada leitura. A Tabela 8 apresenta as notas atribuídas aos grupos para o ensaio segundo o método Divergente.

Tabela 8 – Notas atribuídas aos grupos – Método Divergente

| Grupo    | Nota – lâmpada incandescente | Nota – lâmpada fluorescente | Nota média de cada grupo | Média geral |
|----------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------|
| 1 – FEAP | 36,04                        | 37,21                       | 36,62                    | 36,08       |
| 2 – FEAP | 15,82                        | 44,32                       | 30,08                    |             |
| 3 – FEAP | 37,93                        | 38,56                       | 38,24                    |             |
| 4 – FEAP | 28,36                        | 50,46                       | 39,41                    |             |
| 1 – UFJF | 39,5                         | 19,03                       | 29,26                    | 32,18       |
| 2 – UFJF | 34,13                        | 12,12                       | 23,12                    |             |
| 3 – UFJF | 27,96                        | 30,02                       | 28,99                    |             |
| 4 – UFJF | 54,85                        | 39,89                       | 47,37                    |             |

### 5.2 Aplicação do Ensaio segundo o Método Tradicional

A análise deste método envolveu novamente a verificação do aproveitamento dos alunos participantes do experimento, além da comparação entre os resultados dos alunos da UFJF e da FEAP. Diferentemente do procedimento empregado no método divergente, este procedimento não emprega como método de avaliação a elaboração posterior de um relatório do ensaio. O instrumento de avaliação é o próprio roteiro do ensaio, na forma de uma folha de instruções. Para que a avaliação da turma seja equânime, este roteiro deve ser rigidamente seguido, diminuindo assim a possibilidade de variações.

Assim, a avaliação da turma se dá pela análise destes roteiros, após preenchidos durante o ensaio e entregues ao final. A modalidade de avaliação predominante é a quantitativa, analisada sob a luz das variáveis propostas. Desta forma, tem-se uma comparação da aplicação da metodologia nos dois locais.

O método foi aplicado em um ensaio realizado com os alunos das disciplinas de Laboratório de Eletrotécnica do 3º período de 2015 do Curso de Engenharia Elétrica UFJF e Instalações Elétricas II, do 7º período de Engenharia Civil da FEAP. Para as duas disciplinas foram preparados roteiros idênticos, contendo os procedimentos do ensaio, tabelas a serem preenchidas com os valores encontrados, cálculos a serem efetuados com estes valores e perguntas a serem respondidas. A conformidade dos valores numéricos, comparados com os resultados da planilha de referência, elaborada após repetições do mesmo ensaio pelo professor e / ou equipe de apoio do laboratório, será a medida da análise quantitativa, e uma análise qualitativa será feita acerca das perguntas propostas em cada relatório.

### **5.2.1 Composição do ensaio**

O ensaio proposto verifica a variação da resistividade de um condutor elétrico quando a temperatura deste condutor varia. A Lei de Ohm define as relações entre tensões aplicadas e correntes circulantes nos materiais condutores, bem como a capacidade destes materiais conduzirem mais ou menos a corrente elétrica. Segundo esta lei, a resistência elétrica é função das dimensões de um condutor, ou seja, a área de sua seção reta e do comprimento deste condutor. Quanto maior a área, menor a resistência a passagem da corrente elétrica, e quanto maior o comprimento, maior será esta resistência a passagem da corrente.

Dessa forma, qualquer alteração nestes parâmetros dimensionais altera também a resistência elétrica. O aquecimento natural do condutor quando percorrido pela corrente elétrica e o aquecimento do ambiente onde está este condutor podem provocar sobre ele uma dilatação linear, dado que o comprimento é a dimensão mais relevante. Essa dilatação altera, portanto, a resistência. No ensaio, verifica-se, através da aplicação de uma tensão variável e crescente sobre uma lâmpada incandescente, que a resistência elétrica do filamento aumenta, e é possível calcular o aumento da temperatura do filamento através da variação desta resistência.

O material necessário para o ensaio consiste, basicamente, em:

a) 1 voltímetro com capacidade para 200 Volts, classe 1 e resolução de pelo menos 0.5 Volt;

b) 1 amperímetro com capacidade mínima de 0,1 Ampéres, classe 1 e resolução de 0,001 Ampéres

c) 1 lâmpada incandescente de 60 Watts / 127 ou 220 Volts;

d) 1 dispositivo para variação contínua da tensão. Esse dispositivo pode ser um *dimmer* eletrônico, um reostato ou potenciômetro ou ainda um autotransformador variável. A precisão deste equipamento é irrelevante, pois a tensão aplicada ao circuito será monitorada através do voltímetro.

O roteiro para o ensaio propõe diversas questões teóricas, nas quais se pede o cálculo da variação da resistência de amostras de um condutor elétrico, para uma variação dada de temperatura, e o cálculo da resistência nominal do filamento de uma lâmpada. A correta resposta a essas questões compõe parte da nota atribuída ao trabalho.

Para a montagem prática, o aluno deve primeiramente desenhar a mão livre as ligações do circuito proposto, segundo um esquema fornecido no roteiro.

Como o mesmo ensaio foi aplicado na turma do Laboratório de Eletrotécnica do curso de Engenharia Elétrica da UFJF, a folha de instruções foi empregada com uma única alteração na figura do circuito, e representa esquematicamente os equipamentos da bancada do Laboratório da UFJF onde as aulas desta disciplina são ministradas. No Apêndice 1-b estão anexados os roteiros tal como foram utilizados pelos grupos da FEAP e da UFJF.

As leituras dos instrumentos e os cálculos necessários devem ser lançados em tabelas que acompanham a folha de instruções. Os gráficos que relacionam as grandezas devem ser traçados no roteiro apresentado, em uma folha milimétrica que acompanha o material. Perguntas adicionais sobre os resultados encontrados também devem ser respondidas pelo grupo.

### 5.2.2 Resultados encontrados:

A Tabela 9 apresenta os resultados encontrados pelos alunos da FEAP. Para efeito desta análise, são mostrados os valores para a tensão de 70 volts. Os valores de tensão são iguais para todos os grupos e foram regulados no potenciômetro da bancada. As lâmpadas são de 60 Watts x 127.

Tabela 9 – Compilação dos valores encontrados pelos grupos de Instalações Elétricas II da FEAP

| Grandeza medida | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 | Grupo 5 | Grupo 6 | Grupo 7 | Grupo 8 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Corrente [A]    | 0,330   | 0,335   | 0,335   | 0,338   | 0,340   | 0,350   | 0,350   | 0,345   |
| Potência [W]    | 23,10   | 23,50   | 23,45   | 23,66   | 23,80   | 24,30   | 24,50   | 24,15   |
| Resistência [Ω] | 212,12  | 208,96  | 208,95  | 207,10  | 205,88  | 200,00  | 200,00  | 202,90  |

A Tabela 10 apresenta os resultados dos grupos de alunos da UFJF. Também se adotou como referência a tensão de 70 Volts, dentre aquelas aplicadas à lâmpada. Para as aulas dos grupos da UFJF, as lâmpadas usadas são de 60 Watts e 220 Volts. Todas as lâmpadas são do mesmo fabricante. Também procurou-se usar os dados de 8 grupos, para que a comparação fosse possível segundo o mesmo peso.

Tabela 10 – Compilação dos valores encontrados pelos grupos do Laboratório de Eletrotécnica da UFJF

| Grandeza Medida | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 | Grupo 5 | Grupo 6 | Grupo 7 | Grupo 8 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Corrente [A]    | 0,160   | 0,150   | 0,155   | 0,151   | 0,145   | 0,150   | 0,160   | 0,148   |
| Potência [W]    | 11,20   | 10,50   | 10,85   | 10,57   | 10,15   | 10,50   | 11,20   | 10,36   |
| Resistência [Ω] | 437,5   | 466,7   | 451,6   | 463,6   | 483,0   | 466,7   | 437,5   | 473,0   |

### 5.2.3 Planilha de incerteza

Inicialmente, também foram analisadas as incertezas do tipo B inerentes ao processo de medição que constitui o ensaio. Dos dados levantados, adotou-se uma única tensão – 70 Volts – e a correspondente leitura de corrente como exemplo para o cálculo da resistência. Para os dois instrumentos utilizados – Voltímetro e Amperímetro – foram considerados como incertezas do tipo B a classe e a resolução, com distribuição normal. Para a potência e a resistência calculadas, as incertezas foram a combinação das incertezas da tensão e da corrente. As contribuições do Tipo A são originárias das repetições do ensaio

feitas pelo professor, totalizando 9 repetições, as quais produziram as incertezas relatadas com distribuição normal. A Tabela 11 apresenta as incertezas para este ensaio. A Tabela 12 apresenta as incertezas dos grupos de alunos.

Tabela 11 - Planilha de incertezas – leituras do professor

| Instrumento | Grandeza          | Valor médio das leituras | Desvio-padrão | Incerteza tipo A | Incerteza tipo B – classe | Incerteza tipo B – resolução | Incerteza combinada |
|-------------|-------------------|--------------------------|---------------|------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------|
| Voltímetro  | Tensão [V]        | 70,0                     | 0,01          | 0,0033           | 0,2333                    | 0,1443                       | 0,2742              |
| Amperímetro | Corrente [A]      | 0,340                    | 0,007         | 0,002            | 0,001                     | 0,000                        | 0,003               |
| Wattímetro  | Potência [W]      | 23,81                    | 0,48          | 0,16             | 0,11                      | 0,14                         | 0,24                |
| Resistência | Ohms [ $\Omega$ ] | 205,7                    | 4,4           | 1,5              | 1,0                       | 0,1                          | 1,8                 |

Tabela 12 – Resumo das incertezas

| Grupos e grandezas               | Incerteza tipo A - grupos | Incerteza tipo B – classe | Incerteza tipo B – resolução | Incerteza tipo B – faixa de variação | Incerteza combinada – grupos |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| UFJF<br>Tensão [V]               | 0,0033                    | 0,2333                    | 0,1443                       | 0,0033                               | 0,2743                       |
| UFJF<br>Corrente [A]             | 0,002                     | 0,001                     | 0,000                        | 0,002                                | 0,004                        |
| UFJF<br>Potência [W]             | 0,13                      | 0,11                      | 0,14                         | 0,16                                 | 0,27                         |
| UFJF<br>Resistência [ $\Omega$ ] | 5,5                       | 1,0                       | 0,1                          | 1,5                                  | 5,8                          |
| FEAP<br>Tensão [V]               | 0,0033                    | 0,2333                    | 0,1443                       | 0,0033                               | 0,2743                       |
| FEAP<br>Corrente [A]             | 0,002                     | 0,001                     | 0,000                        | 0,002                                | 0,004                        |
| FEAP<br>Potência [W]             | 0,16                      | 0,11                      | 0,14                         | 0,16                                 | 0,29                         |
| FEAP<br>Resistência [ $\Omega$ ] | 1,5                       | 1,0                       | 0,1                          | 1,5                                  | 1,8                          |

#### 5.2.4 Cálculo da nota de cada grupo

Por fim, a nota de cada grupo foi calculada pela média aritmética simples das notas atribuídas a cada leitura. A Tabela 13 apresenta as notas atribuídas aos grupos de alunos para o ensaio realizado segundo o método Tradicional.

Tabela 13 – Notas atribuídas aos grupos – Método Tradicional

| <b>Grupo</b> | <b>Nota</b> | <b>Média UFJF</b> | <b>Grupo</b> | <b>Nota</b> | <b>Média FEAP</b> |
|--------------|-------------|-------------------|--------------|-------------|-------------------|
| 1 – UFJF     | 69          | 57,6              | 1 – FEAP     | 54          | 47,0              |
| 2 – UFJF     | 25          |                   | 2 – FEAP     | 33          |                   |
| 3 – UFJF     | 64          |                   | 3 – FEAP     | 30          |                   |
| 4 – UFJF     | 77          |                   | 4 – FEAP     | 67          |                   |
| 5 – UFJF     | 41          |                   | 5 – FEAP     | 76          |                   |
| 6 – UFJF     | 80          |                   | 6 – FEAP     | 32          |                   |
| 7 – UFJF     | 69          |                   | 7 – FEAP     | 32          |                   |
| 8 – UFJF     | 37          |                   | 8 – FEAP     | 51          |                   |

## **6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS**

Uma observação inicial dos dados extraídos dos relatórios apresentados pelos alunos e das folhas de respostas, para os dois métodos, mostrou uma evolução na quantidade de resultados considerados em conformidade, quando comparados os resultados dos ensaios aplicados segundo o método tradicional em relação aos resultados do método divergente.

Essa conformidade foi avaliada através de uma simples comparação entre o valor lido pelo aluno, registrado nos relatórios e folhas de respostas, e o valor determinado pelo professor como “gabarito”. Esse gabarito foi determinado através do cálculo do valor médio das leituras realizadas, após várias repetições, feitas pelo professor. Esse é o procedimento padrão utilizado atualmente na avaliação dos resultados dos alunos em laboratórios didáticos da graduação em engenharia. A faixa de variação admitida é subjetiva, e considera apenas a variação percentual da leitura do instrumento utilizado pelo aluno em cada leitura. Essa análise preliminar não leva em consideração as incertezas combinadas estudadas nas Tabelas 6 e 11. Essa comparação inicial está resumida na Tabela 14.

A análise da tabela mostra, com grande clareza, uma superioridade do método tradicional sobre o divergente, em ambas as faculdades estudadas. Os números mostram um aumento mensurável no total de resultados em conformidade. Esta tabela, no entanto, não leva em consideração a variação das incertezas entre cada método e entre as turmas. Esta análise de incertezas é fundamental para uma determinação mais precisa da adequação de cada método aos locais onde foi aplicado e do aprendizado de cada turma estudada.

Tabela 14 – Quadro comparativo do percentual de resultados em conformidade

| Método      | Local | Parâmetro analisado | Resultados em conformidade | Total de leituras | Percentual de acertos |
|-------------|-------|---------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|
| Divergente  | FEAP  | Tensão              | 3                          | 8                 | 37,5                  |
|             |       | Corrente            | 0                          | 8                 | 0                     |
|             |       | Potência            | 5                          | 8                 | 62,5                  |
|             |       | Tempo               | 8                          | 8                 | 100                   |
|             |       | <b>Total</b>        | <b>16</b>                  | <b>32</b>         | <b>50</b>             |
|             | UFJF  | Tensão              | 8                          | 8                 | 100                   |
|             |       | Corrente            | 0                          | 8                 | 0                     |
|             |       | Potência            | 6                          | 8                 | 75                    |
|             |       | Tempo               | 4                          | 8                 | 50                    |
|             |       | <b>Total</b>        | <b>18</b>                  | <b>32</b>         | <b>56</b>             |
| Tradicional | FEAP  | Corrente            | 8                          | 8                 | 100                   |
|             |       | Potência            | 8                          | 8                 | 100                   |
|             |       | Resistência         | 3                          | 8                 | 37,5                  |
|             |       | <b>Total</b>        | <b>19</b>                  | <b>24</b>         | <b>79</b>             |
|             | UFJF  | Corrente            | 3                          | 8                 | 37,5                  |
|             |       | Potência            | 4                          | 8                 | 50                    |
|             |       | Resistência         | 8                          | 8                 | 100                   |
|             |       | <b>Total</b>        | <b>18</b>                  | <b>24</b>         | <b>75</b>             |

Da análise da Tabela 14, pode-se ver que o total geral de acertos, para o método divergente, chegou a 50 % para os alunos da FEAP, e 56 % para os alunos da UFJF. O método tradicional apresentou 79 % de acertos para os alunos da FEAP, e 75 % para os alunos da UFJF, índices sensivelmente maiores do que os alcançados com o método divergente.

Dessa análise é possível inferir que o método tradicional produziu um aproveitamento 58 % maior para os alunos da FEAP, e 33 % maior para os alunos da UFJF. Estes aumentos foram calculados pela razão entre a diferença

de aproveitamentos nos dois métodos e o aproveitamento no método divergente.

No entanto, os dados da Tabela 14 não mostram uma forma objetiva para a determinação da nota de cada grupo. Esta determinação, a qual foi feita pelo cálculo do erro normalizado, aplicando-se as equações (6) e (7), mostra que a nota média atribuída aos grupos da FEAP, para o método divergente, é de 36 pontos, ligeiramente superior à média atribuída aos alunos da UFJF, a qual teve o valor de 32 pontos. Essas médias, aplicando os conceitos da teoria das incertezas, bem como as notas de cada grupo, estão compiladas na Tabela 8. Lembrando que a nota máxima corresponde a 100 pontos.

A média das notas calculadas para cada grupo, das duas turmas, segundo o método tradicional, foi sensivelmente maior. Para os alunos da FEAP, a média foi de 47 pontos, e para os alunos da UFJF, a média foi de 58 pontos, ainda para uma nota máxima de 100 pontos. O crescimento da nota é facilmente visto da análise da Tabela 13, que compila as notas atribuídas a cada grupo.

Conclui-se, da análise desses cálculos, que o crescimento da nota média para os alunos da FEAP, utilizando-se do método tradicional para o ensino prático, foi de 11 pontos, o que representa um crescimento percentual de 30 %. O mesmo fenômeno foi observado entre os alunos da UFJF, que apresentaram um crescimento ainda maior, de 25 pontos, o que corresponde a um crescimento relativo de 44 %. Estes aumentos relativos seguem a tendência da análise anterior, embora com índices diferentes.

Pode-se ainda inferir que a melhoria na nota média dos alunos da UFJF é creditada aos investimentos da ordem de R\$ 900.000,00 na reestruturação do Laboratório de Eletrotécnica. Analisada isoladamente, a melhoria desta média poderia ser justificada por estes investimentos. Mas os mesmos equipamentos, utilizados em 2010 na UFJF, foram utilizados pelos alunos da FEAP em 2014 e 2015. Também aqui, foi observado um crescimento na nota média da turma. Essa observação parece diminuir a influência das mudanças dos equipamentos do laboratório da UFJF sobre a nota da turma, e reforça o sentimento de que a mudança no método de ensino colaborou decisivamente para a melhoria nas notas.

## **6.1 Análise do Aproveitamento dos Grupos no Ensaio Segundo o Método Divergente**

Um dado de grande relevância é o fato de que, no Laboratório Multiuso da FEAP, não é possível atingir o valor nominal – 127 Volts – da tensão alternada senoidal previsto pela concessionária. A tensão local situa-se no valor mínimo – 108 Volts – que deve ser garantido pela concessionária para o atendimento em baixa tensão, que é o caso da FEAP. Na UFJF, o fornecimento é feito na modalidade de média tensão, e dentro do laboratório é possível alterar a tensão fornecida através de um regulador de tensão trifásico, que pode alterar em mais ou menos 10 Volts a tensão de entrada. O valor regulado é mantido automaticamente pelo regulador, independente da variação da entrada.

Assim, o valor médio dessas tensões não pode ser comparado entre os dois cenários, mas a incerteza tipo B associada a este dado fornecido pode ser considerada como a mesma para os dois locais de aplicação do ensaio. O grande valor desta incerteza mostra sua influência sobre os valores observados.

Uma grande variação nas potências nominais lidas e no tempo para uma volta do disco do medidor pode ser vista. Estes dados estão intimamente relacionados, e, dessa forma, é razoável supor que uma dispersão nas leituras de potência também leva a uma dispersão nos tempos médios medidos para uma volta do medidos de energia. A potência ativa lida no wattímetro também é função da tensão aplicada na carga em análise.

Outro dado extremamente relevante é que as lâmpadas utilizadas evidentemente não são as mesmas. A incerteza tipo B relacionada à variação da potência nominal de cada lâmpada foi considerada para os dois locais. Essa componente também tem um grande valor, e da mesma forma, produz uma influência considerável na incerteza combinada. As variações de qualidade e de fabricação de cada lâmpada e entre os diversos fabricantes talvez sejam a origem desta incerteza tipo B observada.

As incertezas combinadas, dessa forma, têm grande valor, o que pode explicar, em parte, o menor nível de resultados em conformidade para este método, mostrados na Tabela 14. Entretanto, uma análise horizontal dos dados não

mostra inter-relação entre incertezas combinadas pequenas com elevados índices de acertos, como pode ser visto nas medições de corrente elétrica, onde, mesmo com uma incerteza combinada maior calculada para a UFJF em relação à FEAP, a Tabela 14 mostra que nenhuma leitura de corrente pode ser considerada conforme. Essas influências parecem ter alguma contribuição sobre o erro normalizado, e o conseqüente cálculo da nota atribuída a cada grupo.

## **6.2 Análise do Aproveitamento dos Grupos no Ensaio Segundo o Método Tradicional**

Para os ensaios aplicados segundo este método a Tabela 11 mostra níveis de incertezas sensivelmente menores do que nos ensaios feitos segundo o método divergente. A grande diferença se concentra no fato de todas as incertezas tipo B estarem relacionadas aos instrumentos, no que tange a suas classes de precisão e suas resoluções. Para a FEAP, foram adotados instrumentos com a mesma classe e a mesma resolução, tanto no ensaio pelo método divergente, quanto no tradicional, de modo que as incertezas tipo B relacionadas a esses parâmetros, tanto para tensão aplicada – fixada em 70 volts – quanto para a corrente medida, são as mesmas nos dois casos. Para a UFJF, não foi possível adotar um amperímetro com a mesma resolução do adotado na FEAP, de modo que a incerteza tipo B associada a este parâmetro é 10 vezes maior.

Para o ensaio adotado como instrumento de verificação desse método, estão propostos o cálculo de duas variáveis, cálculo este efetuado utilizando-se as leituras de tensão e corrente registradas pelos grupos. Assim, as incertezas tipo B associadas a essas grandezas sempre serão incertezas combinadas. Esta característica pode ser constatada pelo nível das incertezas destas grandezas, os quais são visivelmente maiores do que das demais grandezas. A incerteza relacionada ao cálculo da potência é aproximadamente a mesma na UFJF e na FEAP, ao passo que a incerteza advinda do cálculo da resistência é bem maior na FEAP.

A diferença na resolução dos amperímetros, e a conseqüente diferença na incerteza tipo B relacionada a esse parâmetro, não influencia as incertezas de

tipo B combinadas, calculadas para a potência e a resistência, visto que a incerteza relacionada a resolução de tensão é muito maior, e determina dessa forma a ordem de grandeza da incerteza combinada.

Finalmente, os menores valores das incertezas combinadas calculadas para os ensaios segundo este método parecem estar relacionados ao maior índice de acertos dos grupos que fizeram estes ensaios. Entretanto, dentro das grandezas levantadas e calculadas nestes ensaios, numa análise horizontal, para uma mesma grandeza, incertezas aproximadamente iguais para os grupos da UFJF e da FEAP não corresponderam a níveis de acertos semelhantes em todas as grandezas.

### **6.3 Comparando os Métodos Divergente e Tradicional**

#### **6.3.1 Mesmas turmas, métodos diferentes, mesma instituição**

O quadro de arranjo das turmas mostrado na Tabela 1, e os dados levantados e relatados na Tabela 14, neste capítulo, e nas Tabelas 6, 7 e 11 do capítulo 5 servem de subsídio para a análise proposta. Observando separadamente cada turma, numa análise horizontal dos dados, é possível ver que o índice de acertos é 58 % maior, do que o ensaio aplicado segundo o método tradicional, para a turma da FEAP. Esta turma foi submetida aos dois métodos, em ensaios diferentes. Os índices dos erros normalizados foram menores no método tradicional do que no divergente, e foi possível ver que a nota média da turma teve um crescimento de 30 %. Dadas as condições de tempo disponível para a coleta dos dados, este foi o único arranjo que permitiu comparar métodos diferentes em uma mesma turma. Outros arranjos propostos no capítulo 7 podem ser implementados no futuro, como complementação desta análise.

No que tange aos alunos da UFJF, o mesmo método foi aplicado em turmas diferentes, distantes 5 anos no tempo. Dessa forma, qualquer análise semelhante a feita aqui não trará resultados apreciáveis.

#### **6.3.2 Turmas diferentes, mesmos equipamentos, mesmo método, instituições diferentes**

Para a aplicação do método divergente, optou-se por comparar turmas que, embora estando em instituições diferentes, tivessem utilizado no ensaio

proposto exatamente os mesmos equipamentos. Assim, dado que os equipamentos da FEAP foram doados pela UFJF, como relatado no capítulo 7, a comparação foi feita entre a última turma a utilizar os equipamentos doados a FEAP, antes de sua desativação e a primeira turma da FEAP a utilizar estes equipamentos, como mostra a Tabela 1. Da análise dos dados das Tabelas 6, 7, 11 e 12 para estes ensaios e estas turmas, nota-se uma razoável homogeneidade nos erros e acertos. As incertezas mostram que os equipamentos e materiais utilizados influenciaram os resultados de maneira semelhante.

Ressalta-se aqui que, em 2010, o Laboratório de Eletrotécnica ainda não havia adotado a configuração atual, e pode-se considerá-lo como num nível de recursos, organização e equipamentos equiparado ao Laboratório Multiuso da FEAP, montado em 2014, objeto deste trabalho.

É possível considerar, então, que as naturais diferenças entre as turmas da FEAP e da UFJF, descritas e analisadas no capítulo 7, não influenciaram os resultados apresentados para os ensaios realizados segundo o método divergente.

### **6.3.3 Turmas diferentes, mesmo método, equipamentos diferentes, instituições diferentes**

Finalmente, neste último arranjo, é possível comparar a evolução dos resultados com a aplicação do mesmo método, em turmas diferentes, em instituições diferentes. Nesta composição, mostrada na Tabela 1, os alunos da UFJF se utilizaram, para o ensaio segundo o método tradicional, dos novos equipamentos que compõem a montagem do Laboratório de Eletrotécnica após a reforma realizada em 2011, descrita no capítulo 7, ao invés dos equipamentos antigos utilizados para o método divergente. Os alunos da FEAP, neste ensaio, utilizaram os mesmos equipamentos do ensaio segundo o método divergente.

Assim, a análise dos dados das Tabelas 6, 7, 11 e 12 mostram, então, uma razoável equivalência entre os resultados encontrados pelas duas turmas, com níveis de incertezas da mesma ordem de grandeza e índices de acertos

elevados. As notas dos grupos foram sensivelmente maiores do que no método divergente, como mostra a comparação entre a Tabela 8 com a Tabela 13.

## **6.4 Contextualização – Análise do Perfil dos Alunos Participantes dos Experimentos**

### **6.4.1 Os alunos da UFJF**

Os cursos de Engenharia Elétrica oferecidos pela UFJF tem 4 modalidades diurnas – Sistemas de Potência, Robótica e Automação, Sistemas Eletrônicos e Telecomunicações – e uma noturna – Energia. Independentemente do turno de oferecimento, observa-se no corpo discente dos cursos uma disponibilidade praticamente integral para a atividade acadêmica.

Um percentual muito reduzido combina a atividade acadêmica com alguma atividade profissional. Um perfil muito comum são aqueles alunos que aliam a atividade acadêmica com alguma atividade extracurricular remunerada, seja de pesquisa e iniciação científica, seja de extensão universitária. É significativo também o número de alunos atendidos pelos programas de apoio estudantil da UFJF, que auxiliam em seu custeio, tornando possível sua permanência no curso. O perfil mais generalizado, no entanto, é o daqueles alunos que se mantêm dedicados ao estudo a expensas de suas famílias ou mantenedores financeiros. A centenária tradição da Faculdade faz com que a busca pelo ensino de engenharia pelos alunos, nas suas diversas modalidades, junto a UFJF, seja, em muitos casos, uma continuação de uma tradição familiar no exercício da profissão de engenheiro.

Todo este esforço no sentido de uma dedicação exclusiva à atividade acadêmica vem do fato de o corpo docente estimular, sobre a maior parte do corpo discente, um envolvimento total, seja pela participação em atividades extracurriculares, seja pelo estímulo à iniciação científica. Inclusive, os alunos que se dedicam a atividades profissionais fora do contexto acadêmico são vistos de forma negativa por alguns membros do corpo docente. Esta tendência à inserção total vem também do fato de que o ingresso no curso superior, para a quase totalidade dos alunos, ser imediata à conclusão do ensino médio, e o início da vida profissional de todos os alunos se dá após o término do curso.

Tradicionalmente, cerca de metade dos alunos são oriundos de Juiz de Fora, mas as novas formas de ingresso – através do uso das notas do ENEM-Exame Nacional de Ensino Médio – e através do PISM – Programa de Ingresso Seriado Misto – têm aumentado a diversidade de origem dos alunos. As políticas governamentais de inclusão social no ensino superior têm contribuído para que se veja, nesta década, uma alteração no perfil do corpo discente, diminuindo uma certa elitização observada nas décadas passadas. Muitos egressos do curso de engenharia, depois do início destas políticas, são os primeiros graduados de suas famílias. É possível incluir, neste grupo, alguns alunos que participaram do experimento no primeiro semestre de 2015, matriculados no 3º período do curso. O ingresso pelo SISU – Sistema Integrado de Seleção Unificada – utilizando-se das notas obtidas pelos alunos no ENEM, responde hoje por 70 % dos alunos do Curso de Engenharia da UFJF, ficando os ingressantes pelo PISM com os 30 % restantes. Os dois grupos estão sujeitos ao sistema de cotas de vagas.

#### **6.4.2 Os alunos da FEAP**

O curso de Engenharia Civil da FEAP é oferecido apenas no turno noturno. Esta modalidade de atendimento atrai um público que, durante o período diurno, dedica-se a atividades profissionais, nem todas ligadas ao objeto do curso. Essa atratividade também é justificada pelo fato de a instituição de ensino pertencer à rede particular de ensino, sendo necessário um investimento financeiro por parte do aluno. Assim, exceto por aqueles que podem subsistir às expensas familiares, a quase totalidade dos alunos do curso trabalha.

A idade média destes alunos, superior a dos alunos da UFJF, mostra que muitos iniciaram os estudos de nível superior após um hiato entre o término dos estudos do nível médio e o início do curso. Em outras palavras, estes alunos não teriam ingressado no curso superior, especialmente no ensino de engenharia, sem a criação do curso da FEAP. É grande a presença de alunos de cidades circunvizinhas, o que faz com que o fato de a instituição estar sediada em Além Paraíba não seja um fator determinante para que a maioria dos alunos seja desta cidade. Outra análise desta dispersão de naturalidade dos alunos é o fato de que, mesmo sendo a única instituição de ensino superior

do município, o fato de a FEAP ser uma entidade privada faz com que o ingresso num curso superior não represente, para a maioria dos egressos do ensino médio das escolas da cidade, uma opção viável e imediata após sua conclusão.

O fato de o curso ser pioneiro na região traz um perfil bastante diversificado para o corpo discente, e esses alunos têm o potencial de tornarem-se vetores de transformação das práticas e procedimentos na construção civil e nas demais áreas da carreira em suas cidades. É também relevante o fato de a grande maioria dos alunos ser pioneiro, em suas famílias e grupos de influência, na frequência de um curso superior.

Outra análise notável é o fato de que o acesso a cursos de engenharia em outras faculdades em cidades como Juiz de Fora ou Petrópolis – equidistantes de Além Paraíba – impõe um custo proibitivo, pelo perfil da maioria do corpo discente observado, seja em investimento financeiro direto (caso da UCP) seja em manutenção pessoal, caso tanto da UCP quanto da UFJF. Esta situação torna então a demanda pelo curso da FEAP bastante relevante na região de influência, transformando-se na única opção possível para os alunos avaliados.

### **6.5 Considerações sobre os relatórios apresentados pelos grupos da FEAP e da UFJF**

O relatório produzido por cada grupo não se resume aos dados numéricos lidos. Dentro do método aplicado, os valores tomados em laboratório devem ser trabalhados pelos grupos, de modo a produzir um relatório que traduza o entendimento que o grupo teve do conteúdo ministrado. Os grupos têm liberdade para pesquisa de conteúdo de apoio e interpretação dos dados, dentro da proposta do ensaio.

Uma possibilidade de confecção do relatório é a seguinte, segundo um método científico de análise experimental:

- Observação: Neste tópico, o aluno deve mostrar qual é a motivação para o ensaio, ou seja, o que desperta o interesse para o assunto em questão. Procura-se, aqui, estimular os alunos a relatar como, em sua vivência pessoal,

se dá a ocorrência de situações as quais podem ser visualizadas e respondidas pelo ensaio proposto.

- Hipótese: Aqui, propõe-se que o aluno formule uma suposição ou especulação inicial, de forma provisória, a qual será posteriormente demonstrada ou verificada pela experimentação prática proposta para o ensaio. Esta hipótese será – ou não – validada com a realização do ensaio.

- Experimentação: Neste momento, tem-se a descrição do ensaio propriamente dito. Todo o procedimento de montagem, ligação, testes e resultados encontrados, leituras de instrumentos e cálculos devem ser relacionados nesta etapa. A essência do conhecimento científico é que essa experimentação possa ser realizada novamente, em qualquer lugar, sob as mesmas condições, de modo a reproduzir os mesmos resultados. Para garantir esta reprodutibilidade, esta etapa do relatório deve ser a mais clara e completa possível.

- Conclusão: Retoma-se aqui a hipótese formulada, relatando se ela foi ou não corroborada pelo experimento realizado.

De forma resumida, para alguns tipos de ensaios, pode-se admitir uma modalidade de relatório onde apenas a experimentação esteja presente. Neste caso, outra possibilidade seria a seguinte sequência, a qual subdivide o item da estrutura anterior nos seguintes:

- Objetivos: Apresentação do que será feito no ensaio, compreendendo a exposição do fenômeno a ser estudado;

- Introdução: Este item propõe-se que seja um breve resumo dos conhecimentos teóricos necessários para a compreensão do ensaio a ser realizado e das suas implicações práticas;

- Descrição da montagem prática: Esta descrição, em sua melhor forma, propõe-se que seja a elaboração de um Procedimento Operacional Padrão, o qual, se seguido da forma que estiver relatado, garantirá que todos os resultados esperados serão encontrados por qualquer pessoa que o reproduza posteriormente;

- Leituras e cálculos: Neste item, pede-se que o aluno reúna os valores lidos, organizados na forma de tabelas e gráficos, e os cálculos que se fizerem necessários para a montagem destas tabelas e o traçado destes gráficos.

- Conclusão: Nesse item final, retoma-se os objetivos iniciais, mostrando se foram cumpridos ou não, e também se resumem os resultados numéricos, traduzindo seu comportamento e resultados para o entendimento do processo.

Os relatórios apresentados pelos alunos da FEAP e da UFJF, como forma de avaliação dos ensaios realizados, dentro das disciplinas Resistências dos Materiais I, Materiais de Construção I, e Instalações Elétricas – FEAP – e Laboratório de Eletrotécnica, Medidas Elétricas e Laboratório de Circuitos Elétricos – UFJF – foram analisados, qualitativamente, segundo sua forma, de modo a observar se aproximavam, mais ou menos, da formulação científica proposta, e segundo seu conteúdo, avaliando-se a veracidade dos textos e a exatidão dos dados apresentados. Para estas análises, todas as variáveis relatadas foram consideradas, de modo a atingir o máximo de valorização da produção apresentada pelos alunos.

Desta avaliação, pode-se ver, inicialmente, que, dentre os alunos da FEAP, é considerável o quantitativo daqueles que se afastaram da forma proposta. Alguns grupos expuseram o conteúdo sem uma forma definida, não sendo possível identificar claramente as partes que compõem a estrutura do relatório. Dentre os alunos da UFJF, é comum verificar a existência de equívocos da redação das conclusões, de modo que estas não traduzem o que delas se espera, seja a tradução dos resultados numéricos, seja a retomada das hipóteses e observações iniciais. É muito corriqueiro encontrar entre os relatórios dos alunos da UFJF, especialmente nos relatórios dos primeiros ensaios, conclusões que relatam apenas a satisfação dos alunos em estarem participando das aulas da disciplina, sem qualquer conteúdo científico.

Outro erro comum, verificado tanto entre os alunos da UFJF, quanto entre os alunos da FEAP, é a confusão entre Observação e Hipóteses, ou entre Objetivos e Introdução, de forma que em muitos relatórios os alunos reúnem na Observação conteúdos que estariam bem situados na Hipótese, e nesta, resumem a teoria do assunto, não formulando as proposições iniciais que

constituem o esperado para este item. Este resumo da teoria espera-se que esteja dentro do item Experimentação, o qual, como mostrado, se subdivide em diversos itens entre os quais consta a introdução, a qual corresponde este resumo.

Diante do exposto, pode-se reunir os problemas encontrados da seguinte forma:

- Relatórios incompletos: Falta completa de alguma das partes consideradas obrigatórias para a avaliação do relatório ou do conteúdo destas partes, listadas acima;
- Relatórios condensados: Trabalhos onde ocorreu a fusão de uma ou mais partes do relatório, estando estas partes presentes na redação do texto, mas de forma não identificada;
- Relatórios confusos: Este erro é denotado pela alternância do conteúdo entre as partes do relatório, onde, apesar de estarem presentes todas as partes requeridas, e todo o conteúdo esperado, este conteúdo está relatado em um tópico diferente daquele onde se esperaria que estivesse. Também se pode relacionar nesta categoria trabalhos onde os autores se equivocaram em suas explanações ou se perderam em textos excessivamente longos;
- Relatórios inconclusos: Trabalhos cuja conclusão não denota agregar nenhum conhecimento ao grupo nem está relacionada com o conteúdo do relatório como um todo. Aqui se podem também reunir as conclusões que trazem juízo de valor sobre o laboratório, os equipamentos, a equipe de trabalho, o professor ou a disciplina ministrada;
  - Relatórios plagiados: Esse tipo de erro ocorre quando os autores não referenciam conteúdos que não sejam de sua autoria, ou ainda, no pior caso, se utilizam de trabalhos de outros grupos, do mesmo período ou de períodos anteriores, como fonte de consulta, e transcrevem trechos ou a totalidade destes relatórios. A Tabela 15 mostra um resumo das ocorrências encontradas:

Tabela 15 - Avaliação dos relatórios dos alunos da FEAP e da UFJF

| Instituição |                              | Erros encontrados |                          |                        |                        |                     |                        |                      |
|-------------|------------------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|
|             | Disciplina                   | Total             | Relatórios sem Problemas | Relatórios incompletos | Relatórios condensados | Relatórios confusos | Relatórios inconclusos | Relatórios plagiados |
| FEAP        | Resistência dos Materiais I  | 8                 | 1                        | 3                      | 2                      | 1                   | 1                      | 0                    |
|             | Materiais de Construção      | 8                 | 2                        | 1                      | 3                      | 1                   | 1                      | 0                    |
|             | Instalações Elétricas I      | 4                 | 0                        | 1                      | 0                      | 1                   | 1                      | 2                    |
| UFJF        | Laboratório de Eletrotécnica | 8                 | 4                        | 0                      | 0                      | 1                   | 1                      | 2                    |
|             | Medidas Elétricas            | 10                | 4                        | 0                      | 2                      | 0                   | 0                      | 4                    |
|             | Circuitos Elétricos          | 8                 | 6                        | 0                      | 0                      | 0                   | 0                      | 2                    |

Foi avaliada a totalidade dos relatórios produzidos no segundo semestre de 2014 pelos alunos da FEAP, os quais representam os primeiros relatórios de ensaios de laboratório produzidos pela graduação em engenharia civil da escola desde o início da operação do laboratório multiuso. Para os efeitos esperados desta comparação, foram selecionados aleatoriamente relatórios de diversos períodos produzidos pelos alunos da UFJF, num quantitativo que permitisse uma análise sustentada.

Observa-se, inicialmente, que, entre os relatórios produzidos pelos alunos da FEAP, as faltas encontradas dividem-se de forma equilibrada, de modo que, em todos os quesitos propostos encontra-se pelo menos um relatório com o erro correspondente. É pequeno o número de relatórios sem faltas. Interessante observar que o plágio foi encontrado nos relatórios de apenas uma disciplina. Entre os relatórios da UFJF, é marcante a ocorrência de plágio, em maior ou menor grau, em todas as disciplinas. Por outro lado, uma parte consideravelmente maior não tem quaisquer faltas observáveis, e alguns

questos propostos não foram contemplados com relatórios contendo esses erros.

Segundo as variáveis de análise propostas, pode-se analisar sua influência sobre as falhas encontradas nos relatórios, mostradas anteriormente.

- A qualidade e eficiência dos equipamentos didáticos de ensaio: É possível inferir uma influência desta variável sobre a ocorrência das variações encontradas em algumas leituras na análise quantitativa, especialmente nas leituras do consumo de energia, em todos os relatórios, dado que os medidores podem apresentar erros sistemáticos.

- O perfil dos alunos: A proximidade relativa dos alunos de cada turma pode explicar a ocorrência do plágio entre os alunos da UFJF, e sua raridade entre os alunos da FEAP. A convivência constante dentro dos espaços da UFJF, e interação com alunos de outros períodos, somada ao grande volume de disciplinas cursadas, e a existência de materiais de diversos períodos para todas as disciplinas produzidos por alunos de outros períodos formam um ambiente propício para a divulgação de conteúdos facilmente reproduzidos pelos alunos, especialmente quando alguma disciplina tende a ser deixada em segundo plano pelas turmas em detrimento de outras de maior dificuldade. Na FEAP, como a matrícula é em grade fechada, sem opção de escolha de disciplinas, todos os alunos têm de cursar os mesmos créditos.

Outros fatores também parecem influenciar na qualidade do material escrito apresentado pelos alunos, como as condições e estruturas dos laboratórios. Algumas leituras foram fortemente influenciadas pela tensão fornecida pela concessionária de energia. A estrutura do laboratório também influencia a capacidade de professor em transmitir o conteúdo. Desta forma, os relatórios inconclusos, encontrados em todas as disciplinas da FEAP, podem ser fruto da influência deste fator.

Outra componente consideravelmente importante é a forma como o aluno se relaciona com seu meio de convivência. Este fator é parte do perfil dos alunos, e parece ter desestimulado a ocorrência de plágio, pois, entre os alunos da FEAP, o sentimento de estar adquirindo um conjunto de conhecimentos que representam um novo patamar profissional e até mesmo pessoal e familiar, é

motivo para a dedicação em fazer, da melhor forma possível, cada trabalho proposto, sem recorrer a expedientes questionáveis.

Da mesma forma, esta questão parece justificar o considerável número de relatórios sem erros observáveis entre os alunos da UFJF, os quais sugerem que os alunos tiveram uma capacidade e uma disponibilidade maior para se dedicar ao trabalho, visto que os relatórios devem ser feitos com a participação equilibrada de todos os alunos do grupo.

## 7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta dissertação estava inserido em um objetivo maior, o qual foi dotar a FEAP – Fundação Educacional de Além Paraíba – de um Laboratório Multiuso, para atender as demandas didáticas de ensino de conteúdos práticos do Curso de Engenharia Civil. Este objetivo foi totalmente atingido, e hoje o Laboratório funciona em sua plenitude, utilizando – se dos métodos didáticos de ensino laboratorial demonstrados nesta dissertação.

A análise comparativa dos dois métodos trabalhados, análise esta que utilizou conceitos da Teoria da Incerteza, levou ao aprimoramento dos roteiros didáticos das disciplinas praticas ministradas no Laboratório, através da introdução de conceitos de incerteza nos roteiros, como o aumento do número de medições e a observação da classe e da resolução dos instrumentos. Também foi possível elaborar uma metodologia pratica e objetiva para atribuir notas ou conceitos numéricos ao material produzido pelos alunos das disciplinas práticas deste laboratório. Nesta metodologia incluiu-se a construção da formulação que permitiu, com o uso das planilhas de incertezas, o cálculo da nota de cada grupo participante dos ensaios.

De todos os dados levantados, calculados e analisados, sugere-se a adoção, de forma preferencial, do Método Tradicional para a elaboração dos roteiros e para o ensino das disciplinas práticas do Laboratório Multiuso da FEAP. Pondera-se, no entanto, que a análise pode ser aprofundada, pois teve limitações no decorrer do trabalho. O aprofundamento da análise pode inclusive levar a conclusões diferentes, pois o sentimento inicial tendia para a melhor adequação do Método Divergente.

Pode-se elencar restrições ao trabalho desenvolvido, tais como:

- Número de turmas: o desenvolvimento da dissertação compreendeu o segundo semestre de 2014 e o primeiro semestre de 2015. Desta forma, foi limitado a duas o total de turmas analisadas na FEAP, turmas estas que são rigorosamente a mesma, pois a turma que em 2014/2 estava no 6º período, em 2015/1 estava no 7º. Dados anteriores não existiam, pois foram as primeiras turmas a receberem ensino prático em laboratório na instituição. Na UFJF, foram analisados dados de grupos de diferentes turmas, tanto do mesmo

período – 2014/2 – tanto de períodos e anos anteriores – 2010/2, o que permitiu diversificar a base de dados. Esta diversificação, contudo, não parece ter causado influência sobre o resultado final.

- Número de leituras: a estrutura de elaboração dos roteiros, para os dois métodos estudados, não previa uma repetição das leituras feitas pelos alunos. Isto limitou a análise de incertezas, a qual ficou influenciada mais fortemente pelas incertezas tipo B, especialmente aquelas que tinham uma distribuição retangular e não dependiam de um determinado número de repetições das leituras.

- Diversidade de equipamentos: não foi possível aplicar ensaios para a turma da FEAP utilizando dos equipamentos utilizados pelas turmas da UFJF, de modo a submeter todas as leituras às mesmas incertezas.

Estas restrições podem ser objeto de estudo futuro, e a Tabela 16 sugere um arranjo para aumentar a base de dados para a análise. Para o segundo semestre letivo de 2015 e o primeiro semestre letivo de 2016, estão programados novos ensaios, segundo o método tradicional, com as turmas do 6º e 7º períodos do curso de Engenharia Civil da FEAP. Estes ensaios contemplam o ensaio realizado para a verificação do método divergente (ensaio sobre Fator de Potência), agora realizado sob o método tradicional.

Outra análise pode ser feita aplicando-se novamente o ensaio utilizado para a verificação do método tradicional (Variação da Resistência com a temperatura), porém, nas instalações da UFJF, permitindo assim verificar a interação da turma da FEAP com os equipamentos da turma da UFJF. Pretende-se, assim continuar as comparações metodológicas estudadas. Resumidamente, temos a seguinte matriz:

Tabela 16 – Ensaios propostos para futuras considerações

| <b>Curso /<br/>faculdade</b> | <b>Período /<br/>ano</b> | <b>Método<br/>usado</b> | <b>Mesma<br/>turma do<br/>outro<br/>método?</b> | <b>Mesmo ensaio<br/>testado com o<br/>outro método?</b> | <b>Mesmo<br/>equipamento da<br/>outra faculdade?</b> | <b>Mesmo local de<br/>realização do<br/>ensaio com a<br/>outra turma?</b> |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Civil/FEAP                   | 6º/2015                  | Tradicional             | Não                                             | Sim                                                     | Não                                                  | Sim                                                                       |
| Civil/FEAP                   | 7º/2016                  | Tradicional             | Não                                             | Não                                                     | Sim                                                  | Não                                                                       |

A implementação e a análise destes dados podem levar a conclusões mais precisas sobre as afirmações feitas neste trabalho. É possível então inferir então, finalmente, que o método tradicional foi mais adequado para atender as expectativas da Coordenação do Curso de Engenharia Civil da FEAP, de onde provém as demandas didáticas que nortearam este trabalho.

Os resultados verificados neste trabalho sugerem ainda a possibilidade de desenvolvimento de um novo método de ensino em Laboratórios Multiuso para o Curso de Engenharia, onde estejam associados conceitos relacionados tanto à metodologia do Laboratório Divergente quanto ao Laboratório Tradicional. A análise das notas e do rendimento dos grupos submetidos a este novo método, nas duas instituições, quando feita segundo a mesma metodologia adotada nesta dissertação, permitiria a comparação entre os métodos atuais e aquele a ser desenvolvido neste futuro processo.

Finalmente, a ampla e efetiva utilização da ferramenta proposta para o cálculo das notas dos alunos esbarra no trabalho manual de compilação das leituras lançadas pelos alunos em seus relatórios ou folhas de respostas. O cenário atual, onde é bastante disseminado o uso de tecnologias de conectividade, sugere como alternativa a ser fortemente considerada, a elaboração dos roteiros didáticos dos ensaios na forma de aplicativos interativos, onde, além do conteúdo, existam campos para o lançamento das leituras tomadas durante o ensaio.

O lançamento destas leituras alimentaria um banco de dados, para cada grupo e para cada ensaio, banco este ao qual teria acesso apenas o professor. Estes dados alimentariam o algoritmo que calcula as notas de cada grupo, tornando assim mais rápido e dinâmico o processo de avaliação dos ensaios.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEMIG, 2013. Norma N.D. 5.1. Disponível em [www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/.../ND\\_5\\_1\\_MAIO\\_2013.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/.../ND_5_1_MAIO_2013.pdf) . Acessado em 20 de dezembro de 2014
- CREDER, H., 2013. Instalações Elétricas. 15ª edição. 2013 – Saraiva – São Paulo.
- DEPRESBÍTERIS, L., 1989. *O desafio da avaliação da aprendizagem: dos fundamentos a uma proposta inovadora*. São Paulo: EPU.
- ESCOLA DE ENGENHARIA DE JUIZ DE FORA, 1968. Atas da Congregação da Escola de Engenharia de Juiz de Fora; Volume I – 1914 – 1918; Volume II – 1918 – 1923; Volume III – 1923 – 1934; Volume VI – 1958 – 1968.
- FARIA, E. T., 2009. Docência e Tecnologia na Educação. In ENRICONE Délcia (org). Porto Alegre: EDIPUCRS.
- Fundação Educacional de Além Paraíba - FEAP, 2013. Projeto Pedagógico do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil. Além Paraíba – Edição dos Autores.
- GIBBONS, M., LIMOGE, C., NOWOTNY, H., SCHWARTZMAN, S., SCOTT, P. ETROW, M., 1994. *The New Production of Knowledge*. Sage, London.
- GRANDINI, N.A; GRANDINI, C.R, 2005. Importância e Utilização do Laboratório Didático na Visão de Alunos Ingressantes da UNESP/BAURU. Anais: VIII – Congresso Estadual Paulista Sobre Formação de Educadores. Bauru: UNESP.
- GAMA, 1993. Zacarias Jaegger. *Avaliação na escola de 2º grau*. Campinas: Papyrus.
- INMETRO, 2012. Vocabulário Internacional de Metrologia – VIM 2012: conceitos fundamentais e gerais e termos associados. 1ª. Edição Luso-brasileira. Disponível em [www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim\\_2012.pdf](http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf). Acessado em 8 de maio de 2015.
- INMETRO, 2008. Guia para a Expressão da Incerteza em Medição GUM 2008: Avaliação de dados de medição – 1ª Edição Brasileira da 1ª. Edição do BIPM de 2008: Evaluation of measurement data – Guide to expression. Of uncertainty in measurement. Disponível em [www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso\\_gum\\_versao\\_site.pdf](http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso_gum_versao_site.pdf). Acessado em 8 de maio de 2015.
- LIMA, E. F., 2000. O pensamento do professor: Construindo metáforas, projetando concepções. In: ABRAMOWICZ, Anete e MELLO, Roseli R. de (orgs). Educação: Pesquisas e práticas. Campinas: Papyrus.

- LUCKESI, C. C., 1991. Avaliação da aprendizagem escolar: apontamentos sobre a pedagogia do exame. *Tecnologia educacional*. Rio de Janeiro, v. 20, n. 101, p. 82-86, jul/ago de 1991.
- MACEDO, R. J., DUARTE, M. de A. TEIXEIRA, N. G., 2012. Novas metodologias de ensino e aprendizagem aplicadas ao curso de engenharia elétrica: o foco do ensino no século XXI. Anais: XL– Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia Belém: UFPA.
- MAMEDE, J., 2013. Instalações Elétricas Industriais – 6ª Edição – Saraiva - São Paulo.
- MEDEIROS, E. B., 1983. *Provas objetivas discursivas, orais e práticas-*, técnicas de construção. 8. ed. refundida e ampliada, Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.
- MORAES, M. C., 1997. O paradigma Educacional Emergente. Papyrus.
- MOROSINI, M. C., 2009. A dimensão profissional docente. In: ENRICONE, Délcia (Org). Professor como aprendiz: saberes docentes. Porto Alegre: EDIPUCRS.
- OLIVEIRA, I. M., 2008. Dimensionamento dos Recursos dos Laboratórios do Curso de Engenharia Elétrica. Monografia apresentada como requisito para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção. UFJF – Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora – MG.
- PIMENTEL, M. G. , 1996. Professores Emergentes Falam de Sua Prática. Em Formação de Professores: Tendências Atuais. Organizado por A. M. M. R. Reali e M.G. N. Mizukami. São Carlos: EDUFSCAR.
- POPHAM, W. J. , 1983. *Avaliação educacional*. Tradução de: Vânia Maria Moreira Rocha, *et. al.* Porto Alegre: Globo.
- SANTA'ANNA, I. M., 1995. Por que avaliar? Como avaliar? Critérios e instrumentos. Petrópolis: Vozes.
- SENAC/DIPLAN/GAB, 2009. Laboratórios: função pedagógica e perspectivas atuais. SENAC – Serviço Nacional de Aprendizado Comercial. Rio de Janeiro, 42 p.
- SOLÉ, I., COLL, C., 2009. O Construtivismo em Sala de Aula. Editora Ática. São Paulo.
- THIESEN, J. da S., 2011. O futuro da educação: Contribuições da gestão do conhecimento. Campinas, São Paulo, Papyrus.
- TORRES, R. M., 1998. Melhorar a qualidade da educação básica? As estratégias do Banco Mundial. In DE TOMMASI, L., WARDE, M. J. & HADAD, S. (orgs.). O banco Mundial e as políticas educacionais. São Paulo: Cortez.

TYLER, R. W., 1979. *Princípios básicos de currículo e ensino*. Tradução de: Leonel Vallandro. 6. ed. Porto Alegre: Globo.

UFJF – Faculdade de Engenharia, 2013a. Projeto pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica – Habilitação Energia – Versão Final. Juiz de Fora, Edição do Autor.

UFJF – Faculdade de Engenharia, 2013b. Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica – Habilitação Sistemas de Potência – Versão Final. Juiz de Fora, Edição do Autor.

UFJF – Faculdade de Engenharia, 2010. Apostila do Laboratório de Eletrotécnica, Edição do autor

UFJF – Faculdade de Engenharia, 2014. Apostila do Laboratório de Eletrotécnica, Edição do autor

VICKERS, G., 1983. *The Art of Judgment: A Study of Policy Making*, Harper & Row, London.



## 9 APÊNDICE 1– Roteiros completos utilizados nos ensaios

### 9.1 Roteiros dos Ensaios Aplicados Através do Método Divergente

#### 9.1.1 Roteiro para o ensaio dos grupos da FEAP

Consumo de energia de lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas.

##### 1. OBJETIVOS

Comparar o consumo de lâmpadas de mesma capacidade de iluminação. É proposto que neste ensaio façamos a comparação quanto a eficiência de dois tipos de lâmpadas, sendo que as lâmpadas possuem valores muito próximos de fluxo luminoso total emitido (medido em lumens), deseja-se fazer uma análise de qual delas realiza mesmo trabalho gastando menos energia, e ainda equacionar tais valores, afim de se obter a diferença de energia gasta nas duas situações.

##### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

###### 2.1 Lâmpadas Fluorescentes

A lâmpada fluorescente foi criada por *Nikola Tesla*, introduzida no mercado consumidor em 1938. Ao contrário das lâmpadas incandescentes, possui grande eficiência por emitir mais luz do que calor.

As lâmpadas possuem um par de eletrodos em cada extremo. O tubo de vidro é coberto com um material à base de fósforo, internamente possuem um gás a baixa pressão. Inicialmente é preciso uma grande tensão para dar partida ao processo de ionização e acendimento da lâmpada, cerca de centenas de volts e para continuação do processo somente é preciso de 100 a 175 V.

###### 2.2 Eficiência luminosa

A eficiência luminosa de uma fonte de luz é a relação entre o fluxo luminoso (lumens) emitida por uma fonte de luz e de energia (W).

##### 3. TRABALHO PREPARATÓRIO

Estimar o tempo médio do primeiro pulso do medidor de energia para cada lâmpada (incandescente 180W/220V, fluorescente 40W/127V) quando tivermos o circuito da **Figura 1** abaixo, sendo que cada pulso do medidor acontece quando a lâmpada consome 3,333 [Wh].

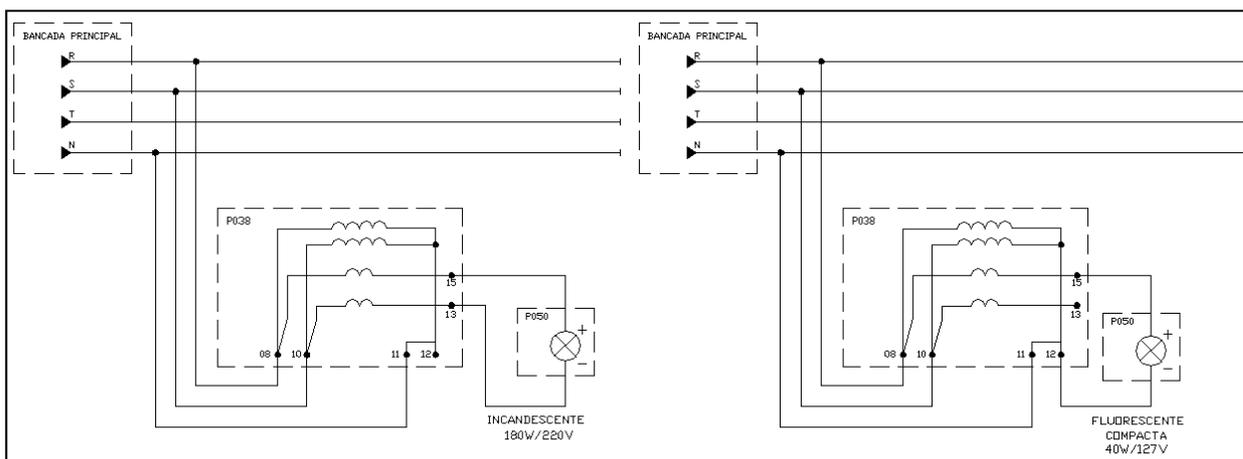


Figura 1 – Circuito para cálculo de comparação do consumo de lâmpadas.

| Incandescente<br>40[W] | Fluorescente<br>40[W] |
|------------------------|-----------------------|
|                        |                       |

Tabela 1 – Tempo estimado para o consumo de 3,333[Wh].

#### 4. MATERIAL UTILIZADO

- 1 medidor de energia (P038);
- 1 voltímetro CA (P008);
- 1 receptáculo para lâmpadas (P050);
- 3 lâmpadas incandescentes (60W/220V) ;
- 1 lâmpada fluorescente compacta (25W/127V) ;
- 1 lâmpada fluorescente compacta (15W/127V) ;
- 1 wattímetro digital;
- 1 multímetro digital;
- 1 cronômetro.

#### 5. EXECUÇÃO

5.1 Verifique a eficácia luminosa [lm/W] na embalagem das lâmpadas e complete a Tabela 2;

| Lâmpada                                 | Efic. Luminosa<br>por lampada<br>[lm/W] | Potencia<br>[W] | Fluxo<br>Luminoso<br>[lm/lampada] | Fluxo<br>Luminoso<br>Total [lm] |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Fluorescente<br>compacta<br>(15W/127V)  |                                         |                 |                                   |                                 |
| Fluorescente<br>compacta (25<br>W/127V) |                                         |                 |                                   |                                 |
| lamp. Incandescente                     |                                         |                 |                                   |                                 |

Tabela 2 – Dados das embalagens das lâmpadas.

5.2 Monte o circuito da **Figura 2** abaixo com as lâmpadas fluorescentes de 15 W e 25 W;

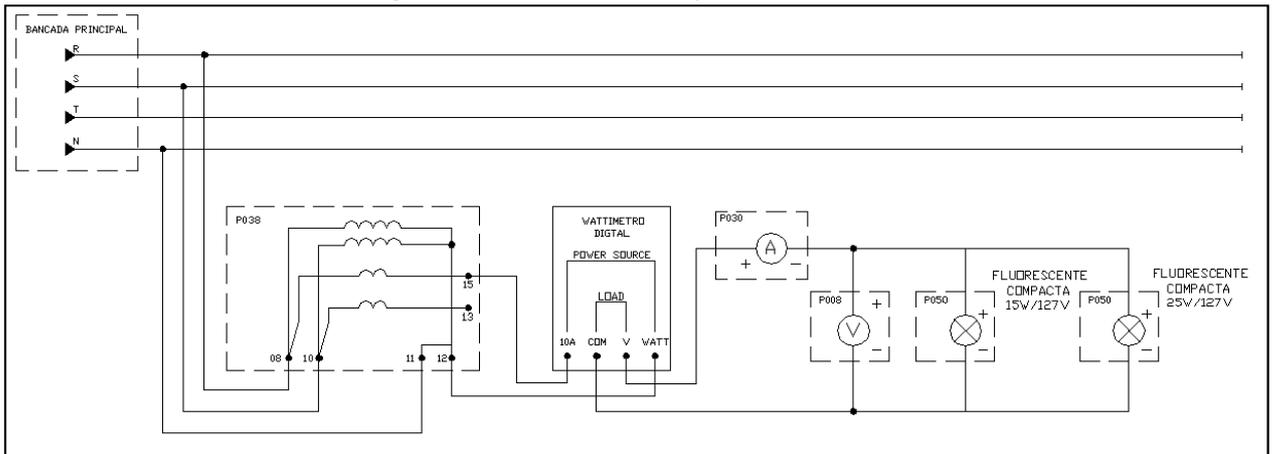


Figura 2 – Circuito para medição de parâmetros para lâmpada fluorescente compacta.

5.3 Para o circuito da **Figura 2**, faça as leituras das grandezas e preencha a **Tabela 3**;

|          | Tensão [V] | Corrente total [A] | Potência total [W] | Tempo [h] | Energia (medidor) [kWh] |
|----------|------------|--------------------|--------------------|-----------|-------------------------|
| Fluores. |            |                    |                    |           |                         |

Tabela 3 – Dados da medição de parâmetros para lâmpada fluorescente compacta.

5.4 Monte o circuito da **Figura 3** abaixo com as lâmpadas incandescentes de 60W/220V.

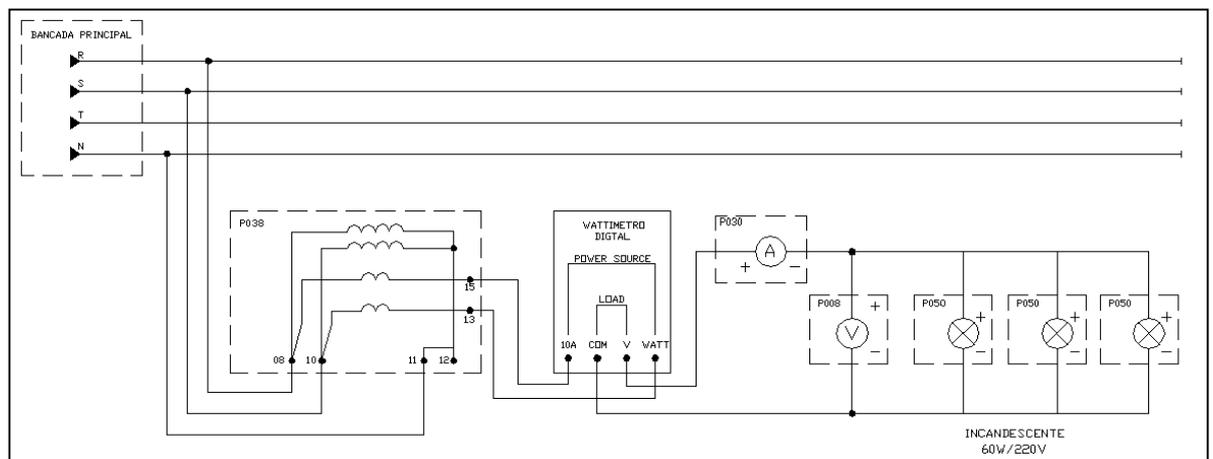


Figura 3 – Circuito para medição de parâmetros para lâmpada incandescente.

5.5 Para o circuito da **Figura 3**, faça as leituras das grandezas e preencha a **Tabela 4** abaixo;

|           | Tensão [V] | Corrente total [A] | Potência total [W] | Tempo [h] | Energia (medidor) [kWh] |
|-----------|------------|--------------------|--------------------|-----------|-------------------------|
| Incandes. |            |                    |                    |           |                         |

Tabela 4 – Dados da medição de parâmetros para lâmpada incandescente.

5.6 Calcule a energia consumida pelas lâmpadas fluorescentes compactas levando em conta a medição do wattímetro, do voltímetro e do amperímetro preenchendo a **Tabela 5**.

|          | Energia (wattímetro) [kWh] | Energia $(0,001 \times V \times A \times h)$ [kWh] |
|----------|----------------------------|----------------------------------------------------|
| Fluores. |                            |                                                    |

Tabela 5 – Dados calculados, lâmpada fluorescente compacta.

5.7 Calcule a energia consumida pelas lâmpadas incandescentes levando em conta a medição do wattímetro, do voltímetro e do amperímetro e preencha a **Tabela 6**;

|           | Energia (wattímetro x h) [kWh] | Energia $(0,001 \times V \times A \times h)$ [kWh] |
|-----------|--------------------------------|----------------------------------------------------|
| Incandes. |                                |                                                    |

Tabela 6 – Dados calculados, lâmpada incandescente.

## 6. DISCUSSÃO

- 6.1 A partir dos dados calculados e medidos faça uma comparação do consumo levando em conta o seu fluxo luminoso;
- 6.2 Com os dados medidos, calcule e compare o consumo de cada lâmpada para o intervalo de 1 minuto.
- 6.3 Compare também a eficácia luminosa total [lm/W] obtida nas duas montagens (se preciso faça uma média), qual sua conclusão? Explique.

## 9.1.2 Roteiro para o ensaio dos grupos da UFJF

### O FATOR DE POTÊNCIA E A POTÊNCIA ATIVA NA MEDIÇÃO DE CONSUMO

1- **Fundamentos teóricos:** A energia elétrica é transformada, em diversos aparelhos, em formas de energia que produzem trabalho, facilitando a vida do homem. Assim as lâmpadas transformam eletricidade em luz, os motores em energia mecânica, os aquecedores em energia térmica, etc. Nenhuma dessas transformações é perfeita, ou seja, nem toda a energia elétrica se transforma em energia de outro tipo. Essa diferença constitui o consumo e/ou as perdas dos aparelhos que promovem a transformação.

Nos motores e em outros dispositivos que se utilizam de fenômenos eletromagnéticos para promover a transformação de energia (como os reatores) essa perda ocorre na forma de um consumo de um tipo de energia, a qual os medidores domésticos não conseguem detectar. Essa energia é a energia reativa. Essa energia não produz trabalho, mas corresponde a uma elevação na corrente elétrica consumida pelos aparelhos. Logicamente, essa corrente tem de ser fornecida pela concessionária, mas não é tributada dos consumidores domésticos. Nos consumidores industriais, ela também é indesejada, pois causa diminuição da potência total que pode ser utilizada. Neste tipo de consumidor, esta energia é pesadamente tributada, dado o fato de a indústria ter a nos motores elétricos a maior parte das suas cargas.

A razão entre essa potência e aquela que realmente produz trabalho é o *fator de potência de uma instalação*.

Nesse ensaio, vamos observar o efeito da potência reativa existente no reator de uma lâmpada fluorescente sobre a medição do consumo de energia.

2- **Montagem do circuito:** Monte o circuito abaixo, atentando para as ligações do wattímetro, do medidor de energia, do voltímetro e do amperímetro. Primeiramente com a lâmpada incandescente, meça a tensão, a corrente, a potência e cronometre o tempo necessário para uma volta do disco do medidor. Calcule o consumo com todos os instrumentos. Troque a lâmpada pela fluorescente compacta, e estaremos introduzindo no circuito um elemento que consumirá potência, mas não produzirá trabalho (o reator da lâmpada). Essa potência será a potência reativa. Repita todas as medições. Qual a diferença? O que você conclui? Qual o perigo dessa potência para um circuito?

### 3- Cálculo do Fator de Potência:

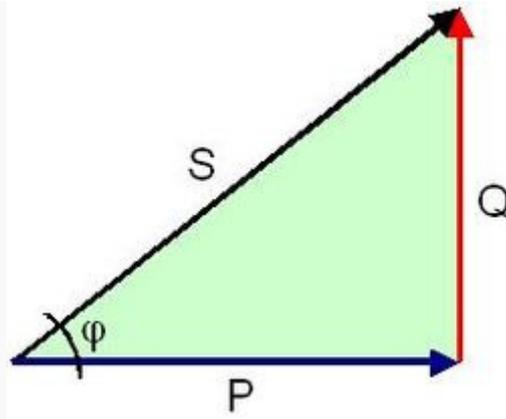
O fator de potência pode ser expresso como:

$$FP = \frac{P}{S}$$

Onde:  $S = V \times I$ ;

$P =$  Leitura do wattímetro.

No caso de formas de onda senoidais, como a tensão da rede de distribuição,  $P$  e  $S$  podem ser representados por vetores que formam um triângulo retângulo, também conhecido como triângulo de potências, sendo que:



Triângulo retângulo que representa a relação entre as potências aparente ( $S$ ), ativa ( $P$ ) e reativa ( $Q$ )

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Onde;  $Q =$  potência reativa

Se  $\phi$  é o ângulo de fase entre as ondas de corrente e tensão, então o fator de potência é igual a  $|\cos \phi|$ , e:

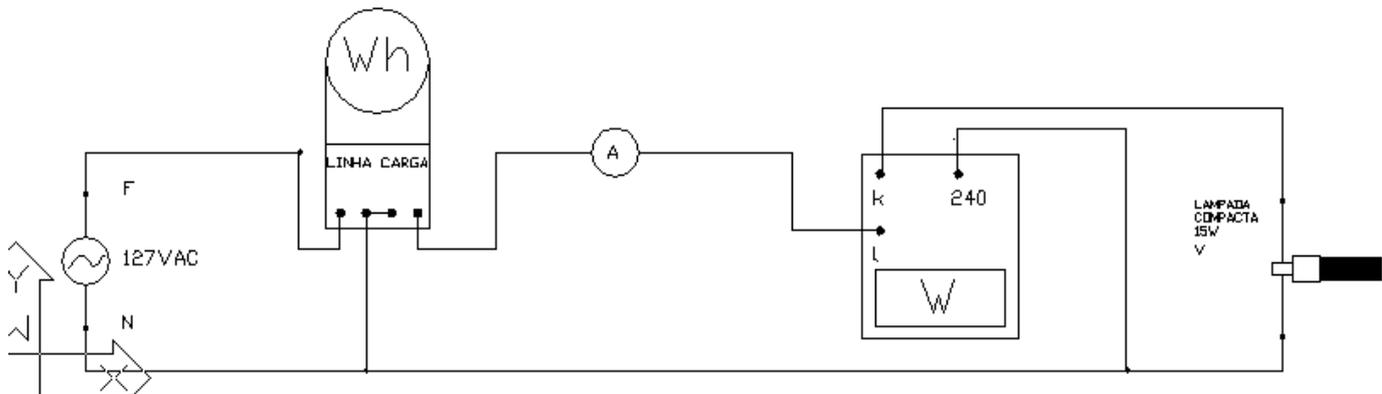
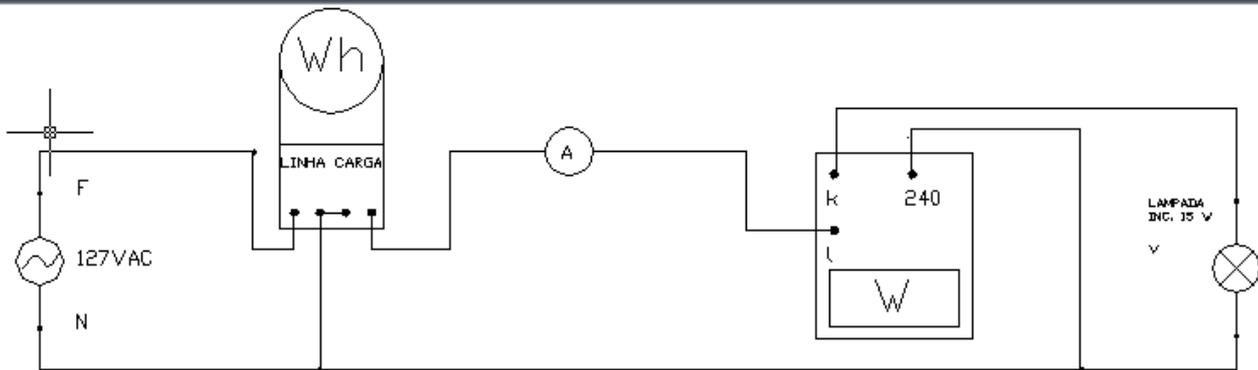
$$P = S |\cos \phi|$$

Tabela 1 – Lâmpada incandescente

| Tensão (V) | Corrente (A) | Potência ativa (W) | Tempo (horas) | Energia (kWh) |
|------------|--------------|--------------------|---------------|---------------|
|            |              |                    |               |               |

Tabela 2 – Lâmpada compacta

| Tensão (V) | Corrente (A) | Potência ativa (W) | Potência aparente (kVA) | Fator de potência | Tempo (horas) | Energia (kWh) |
|------------|--------------|--------------------|-------------------------|-------------------|---------------|---------------|
|            |              |                    |                         |                   |               |               |



## 9.2 Roteiros dos Ensaio Aplicados Através do Método Tradicional

### 9.2.1 Roteiro para o ensaio dos grupos da FEAP

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ALEM PARAIBA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS II

AULA 1 - LEI DE OHM E VARIAÇÃO DA RESISTIVIDADE COM A TEMPERATURA

Grupo: 1) \_\_\_\_\_  
2) \_\_\_\_\_  
3) \_\_\_\_\_

Turma: ( ) A ( ) B ( ) C ( ) D ( ) E ( ) F

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Alem Paraiba - MG

## 1. INTRODUÇÃO

1.1 - A segunda Lei de Ohm permite calcular o valor da resistência  $R_0$  em função de  $\rho$ ,  $L$  e  $A$ . Esta medida é realizada em uma dada temperatura  $T_0$ . Logo  $R_0$  é o valor da resistência na temperatura  $T_0$ . Portanto o valor da resistência varia também com a temperatura, conforme a equação abaixo: (10 pontos)

$$\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot (T - T_0), \text{ onde}$$

$\alpha$ : coeficiente de temperatura da resistência (20º C)

$$R_0 = \frac{\rho \cdot L}{A} : \text{resistência à temperatura } T_0 \text{ (20º C)}$$

Para os cabos de cobre abaixo, com comprimento total de 100 m, calcule a variação da resistência quando a temperatura vai de 20 para 40 graus:

| Cabo | $\alpha$ ( $\Omega/^\circ\text{C}/\Omega$ ) | $R_0$ ( $\Omega$ )     | $T_0$ ( $^\circ\text{C}$ ) | $T$ ( $^\circ\text{C}$ ) | $\Delta R$ ( $\Omega$ ) |
|------|---------------------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1,5  | 0,00393                                     | $11,48 \times 10^{-3}$ | 20                         | 40                       |                         |
| 2,5  | 0,00393                                     | $6,89 \times 10^{-3}$  | 20                         | 40                       |                         |
| 4,0  | 0,00393                                     | $4,31 \times 10^{-3}$  | 20                         | 40                       |                         |
| 6,0  | 0,00393                                     | $2,87 \times 10^{-3}$  | 20                         | 40                       |                         |

1.2 – Calcule a resistência de uma lâmpada incandescente de 60W/220V, funcionando em seus valores nominais, a partir da expressão: (5 pontos)

$$P_{\text{lâmpada}} = \frac{V_{\text{nominal}}^2}{R_{\text{lâmpada}}} \rightarrow 60 = \frac{127^2}{R_{\text{lâmpada}}} \therefore R_{\text{lâmpada}} =$$

1.3 – Obtenha os novos valores da resistência da lâmpada incandescente do exercício anterior para as temperaturas indicadas na tabela abaixo. Suponha que o valor da temperatura para o cálculo da resistência da lâmpada no exercício anterior foi de 20º C. (5 pontos)

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$R_0 = R_{\text{lâmpada}}$$

$$\alpha = 0,005 \text{ (}\Omega/^\circ\text{C}/\Omega) \rightarrow \text{coeficiente tungstênio*}$$

$$\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot (T - T_0)$$

$$R = R_0 + \Delta R$$

| $T$ (°C) | $R$ ( $\Omega$ ) | $R$ ( $\Omega$ ) |
|----------|------------------|------------------|
| 10       |                  |                  |
| 15       |                  |                  |
| 25       |                  |                  |
| 40       |                  |                  |

\* Fonte: Boylestad, 10ª. Edição, Análise de Circuitos Elétricos.

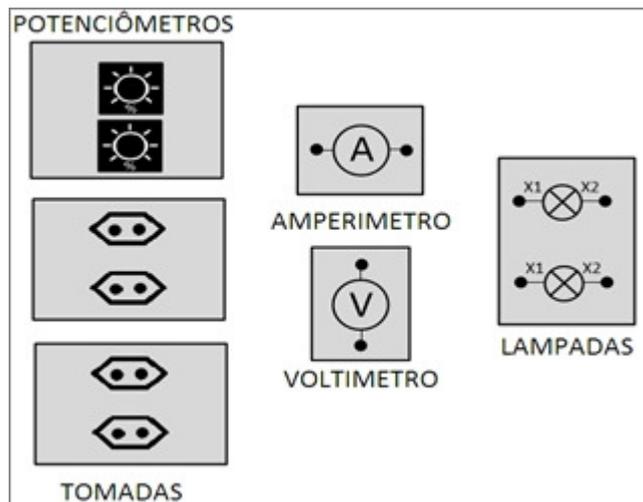
## 2. DESCRIÇÃO

Descrição dos circuitos para montagem do diagrama de ligações. Faça as ligações no diagrama a CANETA. Use caneta VERMELHA para FASE, caneta AZUL para NEUTRO e caneta PRETA quando não for possível identificar fase ou neutro, ou utilize a legenda V para VERMELHO, A para AZUL e P para PRETO. As cores dos fios para a montagem no painel NÃO PRECISAM seguir as cores convencionadas para o laboratório. Faça cada montagem no papel e em seguida no painel.

**Circuito 1:** O circuito é composto por um potenciômetro, um voltímetro, um amperímetro (ou dois multímetros digitais) e uma lâmpada incandescente. Etapas para ligação do circuito:

- A fase é ligada ao terminal esquerdo do potenciômetro.
- O neutro é ligado ao terminal direito do potenciômetro..
- O potenciômetro deve ser ligado ao amperímetro analógico. conectando-se o terminal do potenciômetro ao terminal do amperímetro;
- O outro terminal do amperímetro analógico deve ser ligado a um dos terminais da lâmpada, conforme o bocal utilizado.
- O outro terminal da lâmpada deve ser ligado ao terminal esquerdo do potenciômetro.
- O voltímetro deve ter cada um de seus terminais ligados aos terminais da lâmpada, conforme o bocal utilizado.

OBJETIVO: Medir resistência inicial da lâmpada e temperatura ambiente e anotar na Tabela 1 e medir tensão, corrente na lâmpada e anotar na Tabela 2 dos DADOS EXPERIMENTAIS.



### 3. DADOS EXPERIMENTAIS

Preencha as tabelas com os valores medidos. A medição de resistência é feita com o multímetro utilizando os terminais V/ $\Omega$  e COM. Conecta-se um fio curto no terminal  $\Omega$  do multímetro e outro fio curto no terminal COM, deixando as outras extremidades dos fios sem ligação. Inicialmente liga-se o multímetro e faz-se o ajuste do seletor central giratório para escala em ohms adequada. Depois se conecta as extremidades livres dos fios nos terminais das resistências que devem ser medidas. A MEDIDA DA RESISTÊNCIA DEVE SER FEITA ANTES DE QUALQUER LIGAÇÃO NO CIRCUITO.

Tabela 1 - Resistência  $R_0$  medida com a lâmpada desligada e o valor da temperatura ambiente

$$R_0^{\text{med}} [\Omega] \quad T_0^{\text{med}} [^{\circ}\text{C}]$$

Tabela 2 - Dados medidos e calculados para variação da tensão em uma lâmpada incandescente

| Valores medidos |          | Valores calculados      |                            |                            |
|-----------------|----------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Tensão          | Corrente | Potência <sup>[1]</sup> | Resistência <sup>[2]</sup> | Temperatura <sup>[3]</sup> |
| [V]             | [A]      | [W]                     | [ $\Omega$ ]               | [ $^{\circ}\text{C}$ ]     |
| 50              |          |                         |                            |                            |
| 60              |          |                         |                            |                            |
| 70              |          |                         |                            |                            |
| 80              |          |                         |                            |                            |
| 90              |          |                         |                            |                            |
| 100             |          |                         |                            |                            |

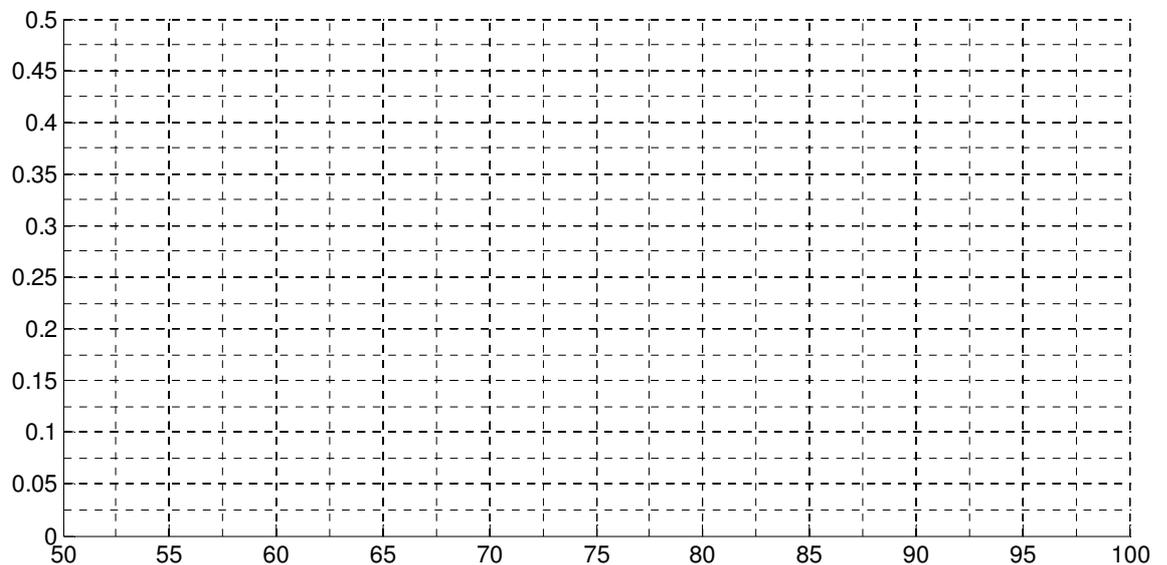
Valores calculados:

$$[1] P = V \times I \quad [2] R = \frac{V}{I} \quad [3] T = \frac{1}{\alpha} \times \left( \frac{R}{R_0} - 1 \right) + T_0, \text{ utilizando Tabela 1 e } \alpha = 0,005$$

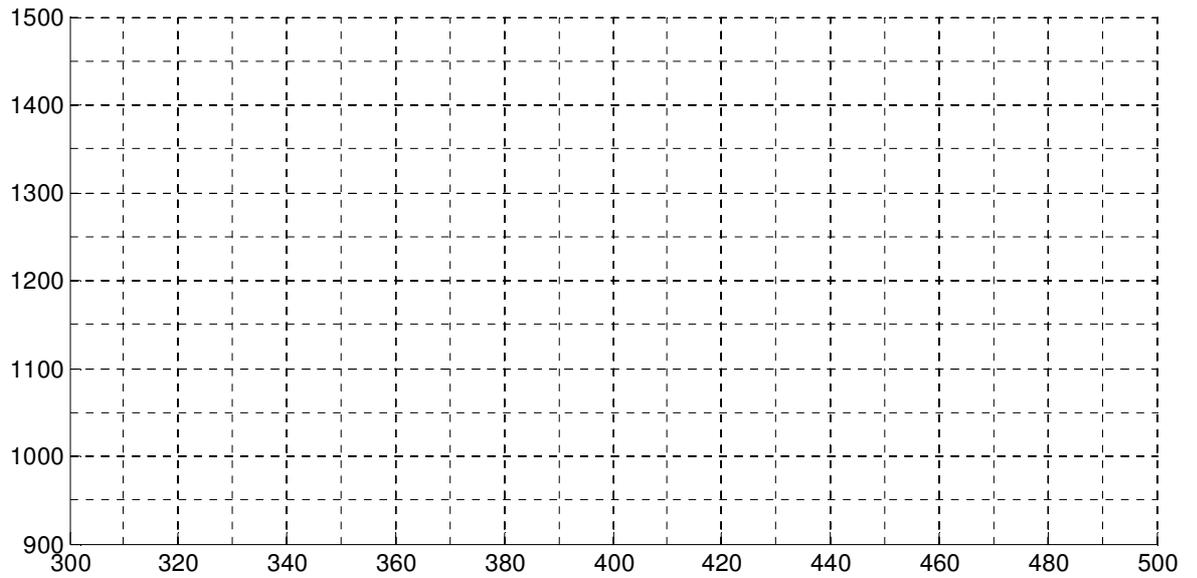
OBS: É importante destacar que o cálculo feito acima para estimar temperatura considera apenas a variação da resistência. No caso da lâmpada incandescente, há de fato a variação da resistência de acordo com a corrente, mas há também a variação da temperatura no filamento de tungstênio. Portanto, a intenção do cálculo não é descobrir a temperatura correta do filamento, mas demonstrar a característica linear existente entre temperatura e resistência.

#### 4. DISCUSSÃO

4.1 - Construa o gráfico “Tensão X Corrente (V X I)” a partir dos valores medidos e anotados na Tabela 2.



4.2 - Construa o gráfico “Resistência X Temperatura (R X T)”, a partir dos valores da Tabela 2.



4.3 - A partir dos os gráficos obtidos nos itens anteriores, faça uma análise em relação ao efeito da temperatura sobre a resistividade, avaliando nos gráficos o efeito da temperatura no valor da resistência (lembre-se que pela Lei de Ohm –  $V=R \times I$  – se R é constante, a relação entre a tensão e a corrente é linear). Por fim, elabore as conclusões finais de sua análise sobre a influência da temperatura na resistência.

---

---

---

---

## 9.2.2 Roteiro para o ensaio dos grupos da UFJF



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
ENE045 - LABORATÓRIO DE ELETROTÉCNICA

### PRÁTICA 5 - LEI DE OHM E VARIAÇÃO DA RESISTIVIDADE COM A TEMPERATURA

Grupo: 1) \_\_\_\_\_  
2) \_\_\_\_\_  
3) \_\_\_\_\_

Turma: ( ) A ( ) B ( ) C ( ) D ( ) E ( ) F

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Juiz de Fora - MG

## 5. INTRODUÇÃO (20 pontos)

1.1 - A segunda Lei de Ohm permite calcular o valor da resistência  $R_0$  em função de  $\rho$ ,  $L$  e  $A$ . Esta medida é realizada em uma dada temperatura  $T_0$ . Logo  $R_0$  é o valor da resistência na temperatura  $T_0$ . Portanto o valor da resistência varia também com a temperatura, conforme a equação abaixo: (10 pontos)

$$\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot (T - T_0), \text{ onde}$$

$\alpha$ : coeficiente de temperatura da resistência (20º C)

$$R_0 = \frac{\rho \cdot L}{A} : \text{resistência à temperatura } T_0 \text{ (20º C)}$$

Para os cabos de cobre abaixo, com comprimento total de 100 m, calcule a variação da resistência quando a temperatura vai de 20 para 40 graus:

| Cabo | $\alpha$ ( $\Omega/^\circ\text{C}/\Omega$ ) | $R_0$ ( $\Omega$ )     | $T_0$ ( $^\circ\text{C}$ ) | $T$ ( $^\circ\text{C}$ ) | $\Delta R$ ( $\Omega$ ) |
|------|---------------------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1,5  | 0,00393                                     | $11,48 \times 10^{-3}$ | 20                         | 40                       |                         |
| 2,5  | 0,00393                                     | $6,89 \times 10^{-3}$  | 20                         | 40                       |                         |
| 4,0  | 0,00393                                     | $4,31 \times 10^{-3}$  | 20                         | 40                       |                         |
| 6,0  | 0,00393                                     | $2,87 \times 10^{-3}$  | 20                         | 40                       |                         |

1.2 – Calcule a resistência de uma lâmpada incandescente de 60W/220V, funcionando em seus valores nominais, a partir da expressão: (5 pontos)

$$P_{l\grave{a}mpada} = \frac{V_{nominal}^2}{R_{l\grave{a}mpada}} \rightarrow 60 = \frac{220^2}{R_{l\grave{a}mpada}} \therefore R_{l\grave{a}mpada} =$$

1.3 – Obtenha os novos valores da resistência da lâmpada incandescente do exercício anterior para as temperaturas indicadas na tabela abaixo. Suponha que o valor da temperatura para o cálculo da resistência da lâmpada no exercício anterior foi de 20º C. (5 pontos)

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$R_0 = R_{l\grave{a}mpada}$$

$$\alpha = 0,005 \text{ (}\Omega/^\circ\text{C}/\Omega) \rightarrow \text{coeficiente tungstênio}^*$$

$$\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot (T - T_0)$$

$$R = R_0 + \Delta R$$

| $\theta$ (°C) | $R$ ( $\Omega$ ) | $R$ ( $\Omega$ ) |
|---------------|------------------|------------------|
| 10            |                  |                  |
| 15            |                  |                  |
| 25            |                  |                  |
| 40            |                  |                  |

\* Fonte: Boylestad, 10ª. Edição, Análise de Circuitos Elétricos.

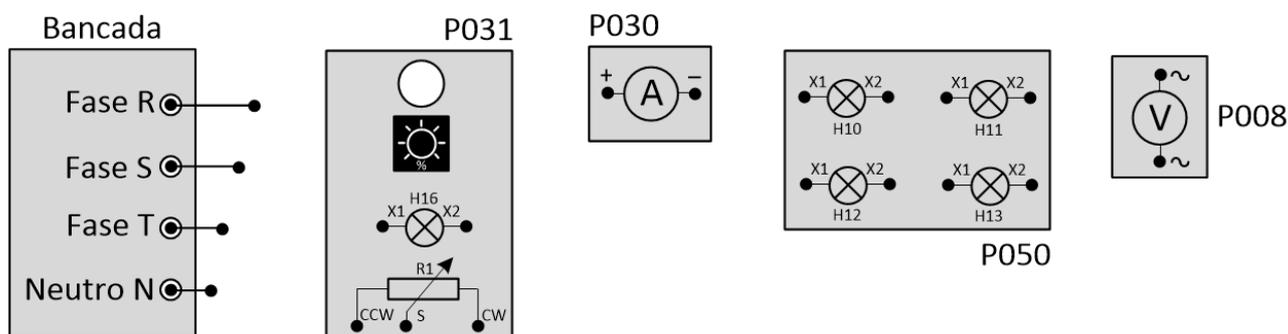
## 6. DESCRIÇÃO (25 pontos)

Descrição dos circuitos para montagem do diagrama de ligações. Faça as ligações no diagrama a CANETA. Use caneta VERMELHA para FASE, caneta AZUL para NEUTRO e caneta PRETA quando não for possível identificar fase ou neutro, ou utilize a legenda V para VERMELHO, A para AZUL e P para PRETO. As cores dos fios para a montagem no painel NÃO PRECISAM seguir as cores convencionadas para o laboratório. Faça cada montagem no papel e em seguida no painel.

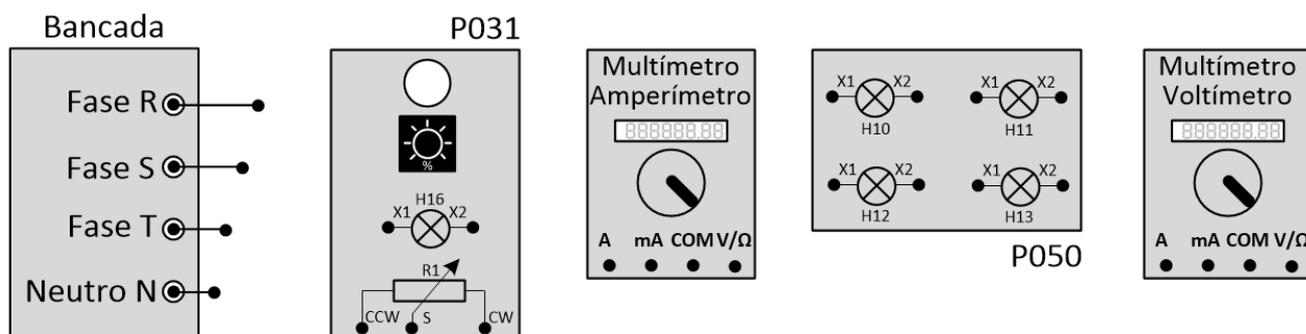
**Circuito 1 (25 pontos):** O circuito 1 é composto por um potenciômetro, um voltímetro, um amperímetro (ou dois multímetros digitais) e uma lâmpada incandescente. Etapas para ligação do circuito:

- A fase R é ligada ao terminal CCW do potenciômetro que está na placa P031.
- O neutro é ligado ao terminal CW do potenciômetro que está na placa P031.
- O potenciômetro deve ser ligado ao amperímetro analógico da placa P030, conectando-se o terminal S do potenciômetro ao terminal “+” do amperímetro (no caso de um multímetro substituir o amperímetro, o terminal S do potenciômetro deve ser ligado ao terminal A do multímetro. A chave seletora do multímetro deve ser ajustada para medir corrente alternada – figura próxima página).
- O terminal “-” do amperímetro analógico da placa P030 deve ser ligado a um dos terminais da lâmpada na placa P050, conforme o bocal utilizado. (no caso do multímetro substituir o amperímetro, o terminal COM do multímetro deve ser ligado a um dos terminais da lâmpada na placa P050, conforme o bocal utilizado – figura próxima página)
- O outro terminal da lâmpada deve ser ligado ao terminal CW do potenciômetro.
- O voltímetro da placa P008 deve ter cada um de seus terminais ligados aos terminais da lâmpada na placa P050, conforme o bocal utilizado. (no caso do multímetro substituir o voltímetro, o terminal V/ $\Omega$  de ser ligado a um terminal da lâmpada, enquanto o terminal COM do multímetro deve ser ligado ao outro terminal da lâmpada, ajustando-se o multímetro para medir tensão alternada – figura próxima página)

OBJETIVO: Medir resistência inicial da lâmpada e temperatura ambiente e anotar na Tabela 1 e medir tensão, corrente na lâmpada e anotar na Tabela 2 dos DADOS EXPERIMENTAIS.



Montagem alternativa: preencha **SOMENTE** no caso de substituição no painel do amperímetro e voltímetro analógicos por multímetros digitais:



### 7. DADOS EXPERIMENTAIS (25 pontos)

Preencha as tabelas com os valores medidos. A medição de resistência é feita com o multímetro utilizando os terminais V/ $\Omega$  e COM. Conecta-se um fio curto no terminal  $\Omega$  do multímetro e outro fio curto no terminal COM, deixando as outras extremidades dos fios sem ligação. Inicialmente liga-se o multímetro e faz-se o ajuste do seletor central giratório para escala em ohms adequada. Depois se conecta as extremidades livres dos fios nos terminais das resistências que devem ser medidas. A MEDIDA DA RESISTÊNCIA DEVE SER FEITA ANTES DE QUALQUER LIGAÇÃO NO CIRCUITO.

Tabela 2 - Resistência  $R_0$  medida com a lâmpada desligada e o valor da temperatura ambiente

| $R_0^{\text{med}}$ [ $\Omega$ ] | $T_0^{\text{med}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ] |
|---------------------------------|-------------------------------------------|
|                                 |                                           |

Tabela 2 - Dados medidos e calculados para variação da tensão em uma lâmpada incandescente

| Valores medidos |                 | Valores calculados             |                                            |                                                      |
|-----------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Tensão<br>[V]   | Corrente<br>[A] | Potência <sup>[1]</sup><br>[W] | Resistência <sup>[2]</sup><br>[ $\Omega$ ] | Temperatura <sup>[3]</sup><br>[ $^{\circ}\text{C}$ ] |
| 50              |                 |                                |                                            |                                                      |
| 60              |                 |                                |                                            |                                                      |
| 70              |                 |                                |                                            |                                                      |
| 80              |                 |                                |                                            |                                                      |
| 90              |                 |                                |                                            |                                                      |
| 100             |                 |                                |                                            |                                                      |

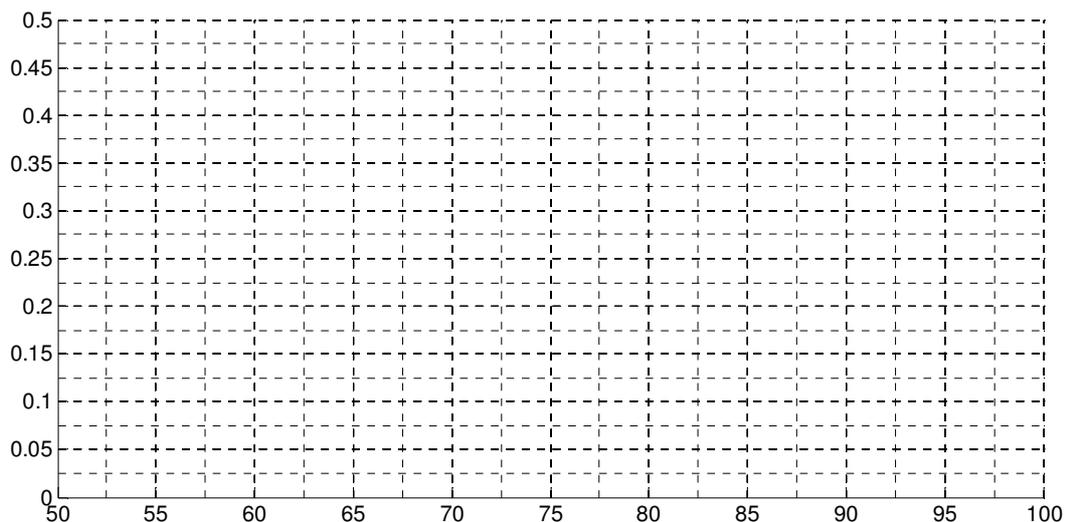
Valores calculados:

$$[1] P = V \times I \quad [2] R = \frac{V}{I} \quad [3] T = \frac{1}{\alpha} \times \left( \frac{R}{R_0} - 1 \right) + T_0, \text{ utilizando Tabela 1 e } \alpha = 0,005$$

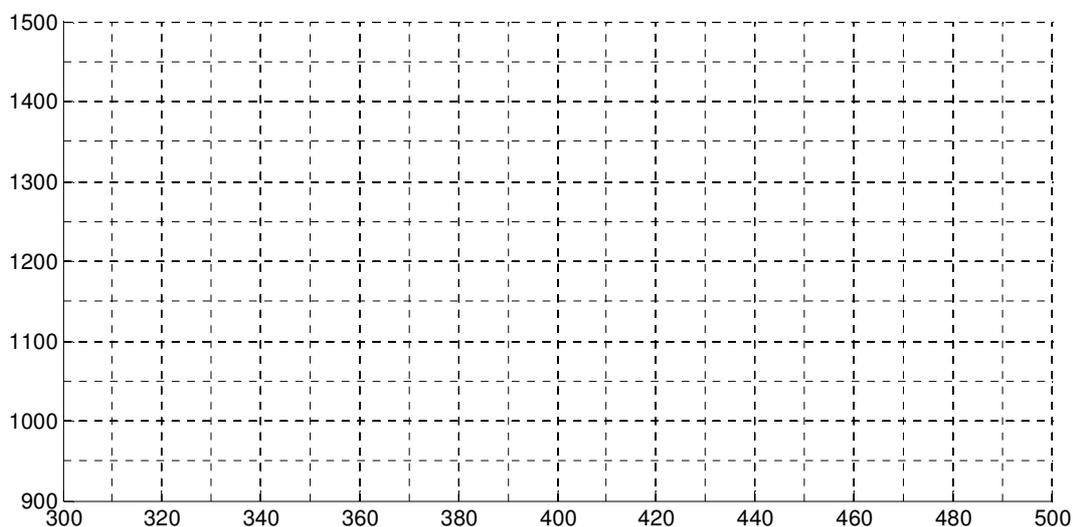
OBS: É importante destacar que o cálculo feito acima para estimar temperatura considera apenas a variação da resistência. No caso da lâmpada incandescente, há de fato a variação da resistência de acordo com a corrente, mas há também a variação da temperatura no filamento de tungstênio. Portanto, a intenção do cálculo não é descobrir a temperatura correta do filamento, mas demonstrar a característica linear existente entre temperatura e resistência.

## 8. DISCUSSÃO (40 pontos)

4.1 - Construa o gráfico “Tensão X Corrente (V X I)” a partir dos valores medidos e anotados na Tabela 2.



4.2 - Construa o gráfico “Resistência X Temperatura (R X T)”, a partir dos valores da Tabela 2.



4.3 - A partir dos os gráficos obtidos nos itens anteriores, faça uma análise em relação ao efeito da temperatura sobre a resistividade, avaliando nos gráficos o efeito da temperatura no valor da resistência (lembre-se que pela Lei de Ohm –  $V=R \times I$  – se R é constante, a relação entre a tensão e a corrente é linear). Por fim, elabore as conclusões finais de sua análise sobre a influência da temperatura na resistência.

---



---



---



---



---



---



---

---

---

---

---

---

---

---

**10 APÊNDICE 2- Proposta de um roteiro para o Método Tradicional,  
agregando ensinamentos da teoria de incerteza**

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ALEM PARAIBA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS II

AULA 1 - LEI DE OHM E VARIAÇÃO DA RESISTIVIDADE COM A TEMPERATURA

Grupo: 1) \_\_\_\_\_  
2) \_\_\_\_\_  
3) \_\_\_\_\_

Turma: ( ) A ( ) B ( ) C ( ) D ( ) E ( ) F

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Alem Paraiba - MG

## 1- INTRODUÇÃO

1.1 - A segunda Lei de Ohm permite calcular o valor da resistência  $R_0$  em função de  $\rho$ ,  $L$  e  $A$ . Esta medida é realizada em uma dada temperatura  $T_0$ . Logo  $R_0$  é o valor da resistência na temperatura  $T_0$ . Portanto o valor da resistência varia também com a temperatura, conforme a equação abaixo: (10 pontos)

$$\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot (T - T_0), \text{ onde}$$

$\alpha$ : coeficiente de temperatura da resistência (20º C)

$$R_0 = \frac{\rho \cdot L}{A} : \text{resistência à temperatura } T_0 \text{ (20º C)}$$

Para os cabos de cobre abaixo, com comprimento total de 100 m, calcule a variação da resistência quando a temperatura vai de 20 para 40 graus:

| Cabo | $\alpha$ ( $\Omega/^\circ\text{C}/\Omega$ ) | $R_0$ ( $\Omega$ )     | $T_0$ ( $^\circ\text{C}$ ) | $T$ ( $^\circ\text{C}$ ) | $\Delta R$ ( $\Omega$ ) |
|------|---------------------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1,5  | 0,00393                                     | $11,48 \times 10^{-3}$ | 20                         | 40                       |                         |
| 2,5  | 0,00393                                     | $6,89 \times 10^{-3}$  | 20                         | 40                       |                         |
| 4,0  | 0,00393                                     | $4,31 \times 10^{-3}$  | 20                         | 40                       |                         |
| 6,0  | 0,00393                                     | $2,87 \times 10^{-3}$  | 20                         | 40                       |                         |

1.2 – Calcule a resistência de uma lâmpada incandescente de 60W/220V, funcionando em seus valores nominais, a partir da expressão: (5 pontos)

$$P_{\text{lâmpada}} = \frac{V_{\text{nominal}}^2}{R_{\text{lâmpada}}} \rightarrow 60 = \frac{127^2}{R_{\text{lâmpada}}} \therefore R_{\text{lâmpada}} =$$

1.3 – Obtenha os novos valores da resistência da lâmpada incandescente do exercício anterior para as temperaturas indicadas na tabela abaixo. Suponha que o valor da temperatura para o cálculo da resistência da lâmpada no exercício anterior foi de 20º C. (5 pontos)

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$R_0 = R_{\text{lâmpada}}$$

$$\alpha = 0,005 \text{ (}\Omega/^\circ\text{C}/\Omega) \rightarrow \text{coeficiente tungstênio*}$$

$$\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot (T - T_0)$$

$$R = R_0 + \Delta R$$

| $\theta$ (°C) | $R$ ( $\Omega$ ) | $R$ ( $\Omega$ ) |
|---------------|------------------|------------------|
| 10            |                  |                  |
| 15            |                  |                  |
| 25            |                  |                  |
| 40            |                  |                  |

\* Fonte: Boylestad, 10ª. Edição, Análise de Circuitos Elétricos.

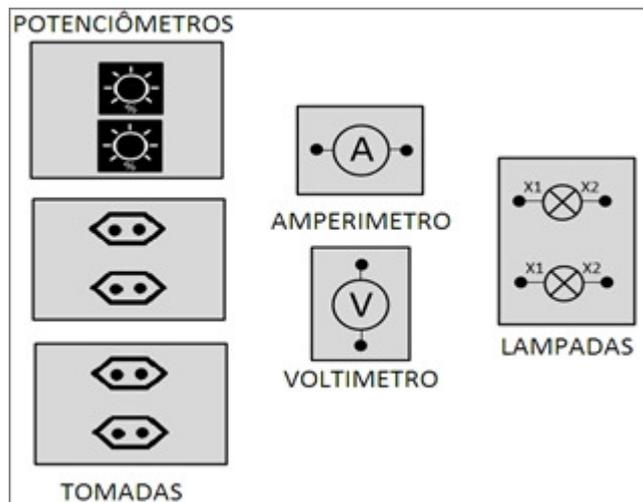
## 2- DESCRIÇÃO

Descrição dos circuitos para montagem do diagrama de ligações. Faça as ligações no diagrama a CANETA. Use caneta VERMELHA para FASE, caneta AZUL para NEUTRO e caneta PRETA quando não for possível identificar fase ou neutro, ou utilize a legenda V para VERMELHO, A para AZUL e P para PRETO. As cores dos fios para a montagem no painel NÃO PRECISAM seguir as cores convencionadas para o laboratório. Faça cada montagem no papel e em seguida no painel.

**Circuito 1:** O circuito é composto por um potenciômetro, um voltímetro classe 1, resolução de 0,5 volts; um amperímetro classe 1, resolução 0,001, e uma lâmpada incandescente. Etapas para ligação do circuito:

- A fase é ligada ao terminal esquerdo do potenciômetro.
- O neutro é ligado ao terminal direito do potenciômetro..
- O potenciômetro deve ser ligado ao amperímetro analógico. conectando-se o terminal do potenciômetro ao terminal do amperímetro;
- O outro terminal do amperímetro analógico deve ser ligado a um dos terminais da lâmpada, conforme o bocal utilizado.
- O outro terminal da lâmpada deve ser ligado ao terminal esquerdo do potenciômetro.
- O voltímetro deve ter cada um de seus terminais ligados aos terminais da lâmpada, conforme o bocal utilizado.

OBJETIVO: Medir resistência inicial da lâmpada e temperatura ambiente e anotar na Tabela 1 e medir tensão, corrente na lâmpada e anotar na Tabela 2 dos DADOS EXPERIMENTAIS.



### 3- DADOS EXPERIMENTAIS

Preencha as tabelas com os valores medidos. A medição de resistência é feita com o multímetro utilizando os terminais V/ $\Omega$  e COM. Conecta-se um fio curto no terminal  $\Omega$  do multímetro e outro fio curto no terminal COM, deixando as outras extremidades dos fios sem ligação. Inicialmente liga-se o multímetro e faz-se o ajuste do seletor central giratório para escala em ohms adequada. Depois se conecta as extremidades livres dos fios nos terminais das resistências que devem ser medidas. A medição deve ser feita com 8 repetições. Calcule o Desvio - Padrão e a incerteza tipo A associada A MEDIDA DA RESISTÊNCIA DEVE SER FEITA ANTES DE QUALQUER LIGAÇÃO NO CIRCUITO.

Tabela 3 - Resistência  $R_0$  medida com a lâmpada desligada e temperatura ambiente de 20°C

| $R_0^{med}$ [ $\Omega$ ] | Resistência $R_0^{med}$ média | Desvio - padrão | Incerteza tipo A |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|
|                          |                               |                 |                  |
|                          |                               |                 |                  |
|                          |                               |                 |                  |
|                          |                               |                 |                  |
|                          |                               |                 |                  |
|                          |                               |                 |                  |
|                          |                               |                 |                  |
|                          |                               |                 |                  |

Tabela 2 - Dados medidos e calculados para variação da tensão em uma lâmpada incandescente – para uma repetição

| Valores medidos |          | Valores calculados      |                            |                          |
|-----------------|----------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Tensão          | Corrente | Potência <sup>[1]</sup> | Resistência <sup>[2]</sup> | Temperatura <sup>3</sup> |
| [V]             | [A]      | [W]                     | [Ω]                        | [T]                      |
| 50              |          |                         |                            |                          |
| 60              |          |                         |                            |                          |
| 70              |          |                         |                            |                          |
| 80              |          |                         |                            |                          |
| 90              |          |                         |                            |                          |
| 127 (nominal)   |          |                         |                            |                          |

Tabela 3 – incertezas calculadas:

| Instrumento | Grandeza     | Valor médio das leituras | Desvio-padrão | Incerteza tipo A | Incerteza tipo B – classe | Incerteza tipo B – resolução | Incerteza combinada |
|-------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------|
| Voltímetro  | Tensão – V   |                          |               |                  |                           |                              |                     |
| Amperímetro | Corrente – A |                          |               |                  |                           |                              |                     |
| Wattímetro  | Potência – W |                          |               |                  |                           |                              |                     |
| Resistência | Ohms - Ω     |                          |               |                  |                           |                              |                     |

Valores calculados:

$$[1] P = V \times I \quad [2] R = \frac{V}{I} \quad [3] T = \frac{1}{\alpha} \times \left( \frac{R}{R_0} - 1 \right) + T_0, \text{ utilizando Tabela 1 e } \alpha = 0,005$$

$$\bar{q} = \frac{1}{n} * \sum_{k=1}^n q_k \quad \text{Fórmula para o cálculo do valor médio das medições}$$

$$s_a(\bar{q}) = \sqrt{\frac{s^2(q_k)}{n}} \quad \text{Fórmula para o cálculo da Incerteza tipo A, onde } s(q_k) \text{ é o desvio-padrão, e}$$

$s^2(q_k)$  é a variância.

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{(q - (\bar{q}))^2}{n-1}}$$

Formula para o calculo do desvio – padrão

$$s_{b1}(q) = \frac{\text{classe} \cdot \text{leitura}}{\sqrt{n}}$$

instrumentos

Formula para o calculo da incerteza tipo B para a classe dos

$$s_{b2}(q) = \frac{\text{resolução}}{2\sqrt{3}}$$

instrumentos

Formula para o calculo da incerteza tipo B para a resolução dos

$$s_c(q) = \sqrt{s_a^2 + s_{b1}^2 + s_{b2}^2}$$

Formula para o calculo da incerteza combinada

$$E_n = \frac{(X_{ref} - X_{med})}{\sqrt{U_{ref}^2 + U_{med}^2}}$$

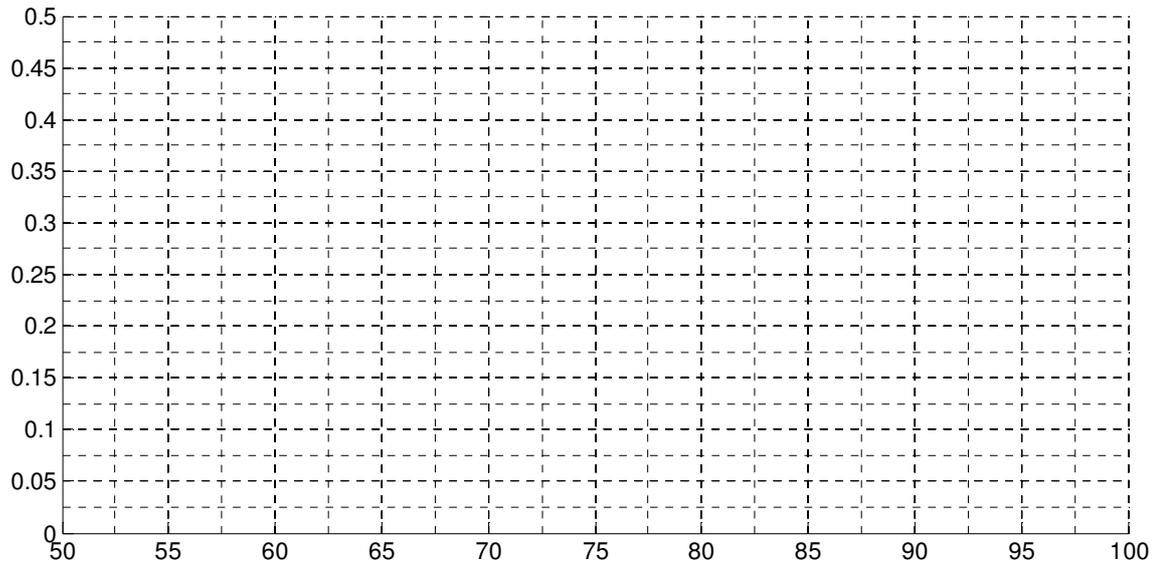
Fórmula para o cálculo do erro normalizado, onde  $x_{ref}$  é o valor

calculado teórico, e  $x_{med}$  é o valor calculado com as medições, e  $U_{ref}$  e  $U_{med}$  são as incertezas combinadas.

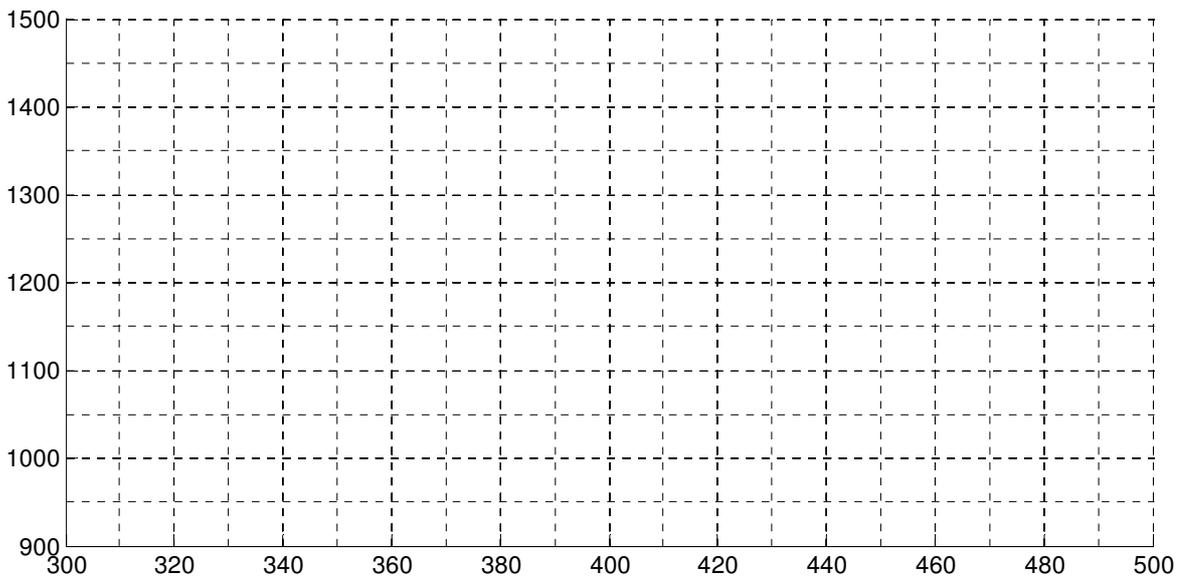
OBS: É importante destacar que o cálculo feito acima para estimar temperatura considera apenas a variação da resistência. No caso da lâmpada incandescente, há de fato a variação da resistência de acordo com a corrente, mas há também a variação da temperatura no filamento de tungstênio. Portanto, a intenção do cálculo não é descobrir a temperatura correta do filamento, mas demonstrar a característica linear existente entre temperatura e resistência.

#### 4- DISCUSSÃO

4.1 - Construa o gráfico “Tensão X Corrente (V X I)” a partir dos valores medidos e anotados na Tabela 2.



4.2 - Construa o gráfico “Resistência X Temperatura (R X T)”, a partir dos valores da Tabela 2.



4.3 - A partir dos os gráficos obtidos nos itens anteriores, faça uma análise em relação ao efeito da temperatura sobre a resistividade, avaliando nos gráficos o efeito da temperatura no valor da resistência (lembre-se que pela Lei de Ohm –  $V=R \times I$  – se R é constante, a relação entre a tensão e a corrente é linear). Por fim, elabore as conclusões finais de sua análise sobre a influência da temperatura na resistência.

4.4- Utilizando os valores teóricos calculados da resistência da lâmpada e a potência nominal, calcule o erro normalizado entre estes valores e os valores calculados com base nos valores medidos para a tensão de 127 volts. Considere as incertezas  $U_{ref}$  e  $U_{med}$  como iguais.