



No final do século XIX, o inventor da lâmpada incandescente, o genial Thomas Edison, travava nos Estados Unidos uma verdadeira batalha com outro cientista igualmente brilhante, Nikola Tesla. As usinas de Edison utilizavam a corrente contínua, mas essa tecnologia conseguia suprir energia apenas para curtas distâncias. Por outro lado, a corrente alternada, defendida por Tesla, demonstrou ser capaz de transportar energia elétrica por milhares de quilômetros, como ficou comprovado ao final do confronto entre os dois cientistas.

Na mesma época, o industrial, engenheiro e empresário Bernardo Cândido Mascarenhas se destacou no Brasil, construindo na cidade de Juiz de Fora, no estado de Minas Gerais, uma usina hidrelétrica que gerava energia elétrica tanto para a iluminação pública da cidade quanto para as máquinas de sua fábrica de tecidos. Antes mesmo do desfecho da disputa entre Edison e Tesla, Bernardo Mascarenhas já vislumbrava a corrente alternada como uma alternativa eficaz para um avanço significativo da tecnologia, proporcionando mais conforto e melhores condições de vida para toda a humanidade.

Na década de 1880, diversos países, incluindo o Brasil, realizaram inúmeras instalações de produção de energia elétrica utilizando a corrente alternada, embora, em geral, essas iniciativas fossem destinadas a atender necessidades específicas, como fazendas e mineradoras. Marmelos Zero é considerada a primeira usina hidrelétrica da América do Sul porque, em sua inauguração, em 1889, conseguiu levar energia elétrica por cerca de sete quilômetros, desde sua geração no Rio Paraibuna até as máquinas da indústria têxtil de Bernardo, localizada no centro de Juiz de Fora, além de iluminar as ruas da cidade.

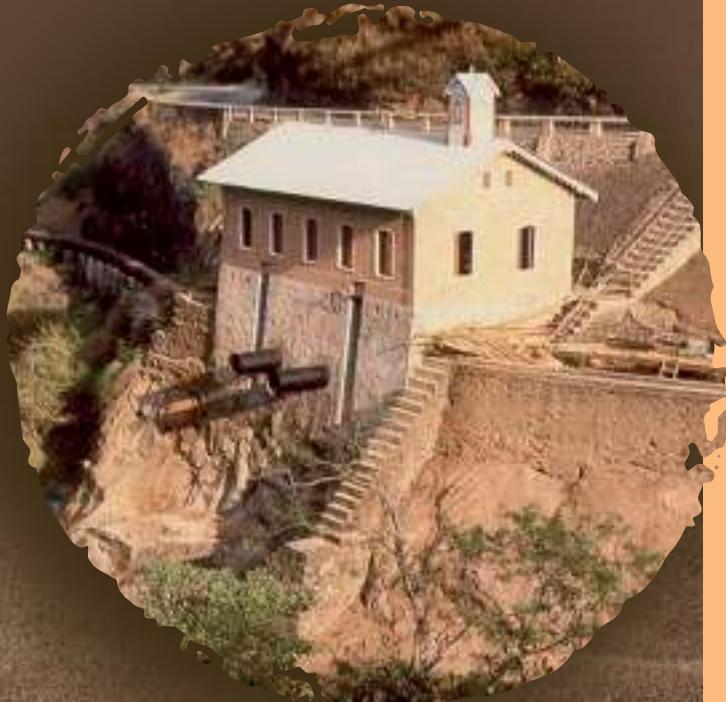
Essa obra simboliza um marco importante, permitindo que a população de Juiz de Fora e região, bem como todos os interessados, conheçam mais sobre este capítulo da história da energia elétrica no Brasil. Além disso, resgata-se o inestimável valor do trabalho visionário de Bernardo Mascarenhas e a contribuição do Centro de Ciências da UFJF para divulgar a ciência e preservar essa parte da história do país.

Resgatando a memória de Marmelos, a primeira Hidrelétrica da América do Sul: a participação do Centro de Ciências da UFJF

José Roberto Tagliati
ORGANIZADOR

Resgatando a memória de **MARMELOS,** a primeira Hidrelétrica da América do Sul

A participação do Centro de Ciências da UFJF



Copyright © 2025 Os Autores

Editores: José Roberto Marinho e Victor Pereira Marinho

Projeto gráfico e Diagramação: Horizon Soluções Editoriais

Capa: Horizon Soluções Editoriais

Imagem de capa: IEPHA - Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico

Texto em conformidade com as novas regras ortográficas do Acordo da Língua Portuguesa.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Resgatando a memória de Marmelos, a primeira hidrelétrica da América do Sul: a participação do Centro de Ciências da UFJF. / José Roberto Tagliati, organizador - São Paulo: LF Editorial, 2025.

Bibliografia.

ISBN: 978-65-5563-525-6

1. Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) 2. Energia elétrica - Brasil 3. Energia elétrica - Distribuição 4. Indústrias - Brasil 5. Mascarenhas, Bernardo, 1847-1899 6. Usina Hidrelétrica de Marmelos(Juiz de Fora, MG) I. Tagliati, José Roberto.

25-246731

CDD: 621.3121340981

Índices para catálogo sistemático:

1. Brasil: Usinas hidrelétricas: História: Engenharia 621.3121340981

Eliete Marques da Silva – Bibliotecária – CRB-8/9380

ISBN: 978-65-5563-525-6

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida sejam quais forem os meios empregados sem a permissão dos autores. Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104, 106 e 107 da Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Impresso no Brasil | *Printed in Brazil*



LF Editorial

Fone: (11) 2648-6666 / Loja (IFUSP)

Fone: (11) 3936-3413 / Editora

www.livrariadafisica.com.br | www.lfeditorial.com.br

CONSELHO EDITORIAL

Amílcar Pinto Martins

Universidade Aberta de Portugal

Arthur Belford Powell

Rutgers University, Newark, USA

Carlos Aldemir Farias da Silva

Universidade Federal do Pará

Emmánuel Lizcano Fernandes

UNED, Madri

Iran Abreu Mendes

Universidade Federal do Pará

José D'Assunção Barros

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Luis Radford

Universidade Laurentienne, Canadá

Manoel de Campos Almeida

Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Maria Aparecida Viggiani Bicudo

Universidade Estadual Paulista - UNESP/Rio Claro

Maria da Conceição Xavier de Almeida

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Maria do Socorro de Sousa

Universidade Federal do Ceará

Maria Luisa Oliveras

Universidade de Granada, Espanha

Maria Marly de Oliveira

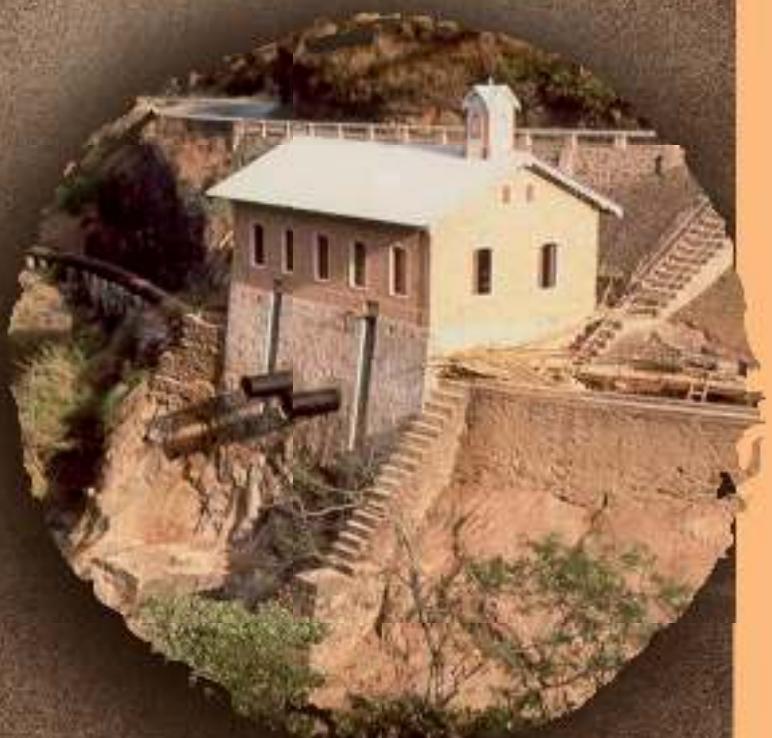
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Raquel Gonçalves-Maia

Universidade de Lisboa

Teresa Vergani

Universidade Aberta de Portugal



SUMÁRIO

Prefácio, 9

Introdução, 11

- Um livro para ser lido por todas as idades, 11
- O pioneirismo de Bernardo Mascarenhas na geração e distribuição de energia elétrica, 14
- A cidade de Juiz de Fora, 15
- Juiz de Fora antiga, 17
- O prédio onde funcionou a tecelagem de Bernardo Mascarenhas, 18
- A Usina de Marmelos, 19

Capítulo 1: Uma ideia genial, 23

Capítulo 2: Os primórdios, a Usina de Marmelos, a eletricidade, 37

- Um pouco da história da cidade de Juiz de Fora, 37
- Juiz de Fora e o Sistema Cafeeiro, 38
- Urbanização e industrialização, 42
- Juiz de Fora e o contexto nacional (1888/1889), 43
- Bernardo Mascarenhas: o empreendedor, 45
- Juiz de Fora e o processo de modernização: reflexões sobre a Usina Marmelos Zero e a Companhia Mineira de Eletricidade, 46
- O impacto da eletricidade em Juiz de Fora, 50
- De usina hidrelétrica a espaço cultural: uma breve contextualização, 52

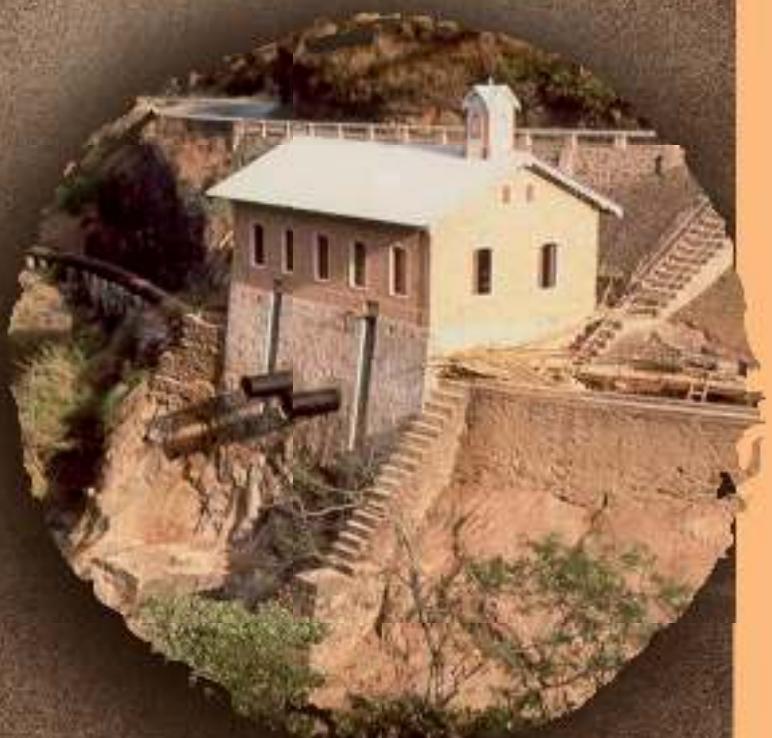
Capítulo 3: A geração de energia elétrica, 57

- Além das usinas hidrelétricas, 58
- Como funciona uma usina hidrelétrica, 58
- Motores e geradores, 60
- Transformadores, 62
- Transmissão da energia elétrica, 63
- Mais sobre as usinas hidrelétricas, 64
- Unidades geradoras de eletricidade no Brasil, 66
- A Usina de Marmelos Zero e o Rio Paraibuna, 67

Capítulo 4: O surgimento da eletricidade, 73

- Eletricidade em nossas vidas, 73
- Os primórdios da eletricidade e do magnetismo, 74
- Avançando um pouco mais com as “constatações elétricas”, 75
- Franklin, Coulomb e outros personagens, 78
- Das pilhas ao circuito elétrico, 84
- Surge o eletromagnetismo, 87
- Bernardo Mascarenhas e Marmelos Zero: Epopéia da Eletricidade na América do Sul, 91

Sobre os autores, 97



PREFÁCIO

É com imensa gratidão que colocamos esta obra para que a população de Juiz de Fora e região, assim como todos aqueles que se interessam, possam conhecer mais este capítulo da história da energia elétrica no Brasil e de como o Centro de Ciências pôde contribuir para sua preservação.

Nestas bem detalhadas páginas, mas também com uma maneira toda especial de envolvimento para todas as idades que as folheiam, encontraremos um pouco da história de um dos pioneiros da geração e distribuição da energia elétrica no Brasil e sua relação com a cidade de Juiz de Fora/MG, e poderemos aprender também um pouco mais sobre a ciência envolvida nessa história.

No início deste, encontramos um resgate histórico, preservando a memória para que todos possam saber que o que hoje temos em abundância foi fruto do trabalho incansável de muitas pessoas visionárias e arrojadas.

Mais adiante, um jeito todo especial de mostrar como se pode transformar sonhos em realidade. Os famosos quadrinhos, ou HQ's, que sempre encantam as crianças, mas que mostram que, na verdade, para brincar não há idade certa. Somos todos e sempre crianças.

E como não poderíamos deixar de fazer, praticar um pouco do que mais fazemos no Centro de Ciências, aparelho de extensão da UFJF, que em seu dia a dia traz a ciência nas mãos de quem o visita. Assim, o terceiro

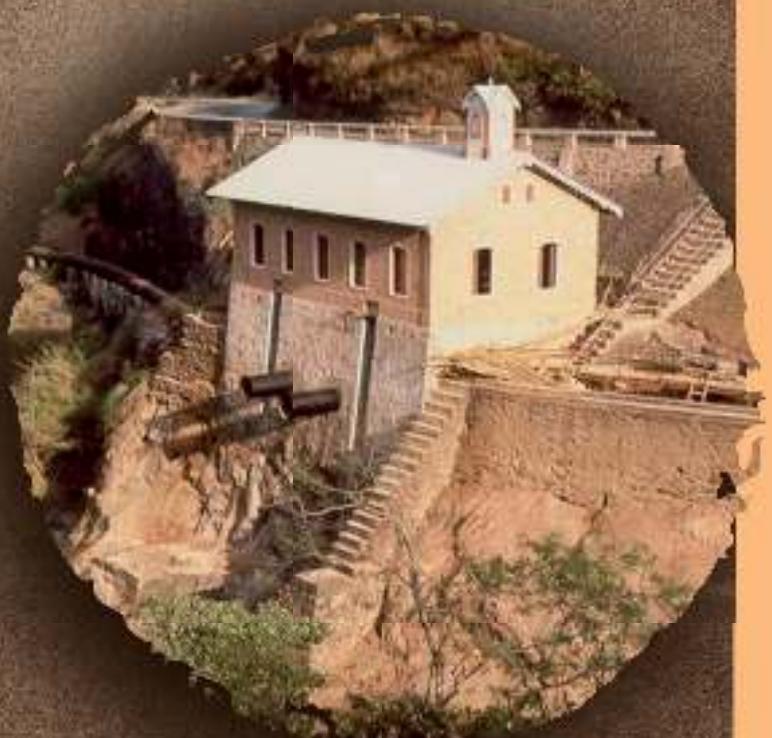
capítulo nos revela como funciona uma usina hidrelétrica e como a transformação de energia se faz aos nossos olhos, sem esquecer de como ela pode ser transmitida por quilométricos fios suportados pelos altos postes de concreto e metal que vemos em nossos campos e cidades e ao longo das estradas.

Por fim, como não deveria deixar de ser, este livro nos revela, de maneira envolvente, como pessoas de diversas áreas do conhecimento puderam, cada um de sua maneira e, às vezes, separados por longas distâncias geográficas, contribuir ao longo de mais de 500 anos para que a energia elétrica chegasse às mais diversas utilidades para nosso cotidiano e para aplicações específicas na medicina, engenharia e todas as outras áreas.

E não poderíamos deixar de registrar aqui a contribuição de José Roberto Tagliati, professor do departamento de Física da UFJF, que em sua maneira ímpar, pôde dar vida a esta obra tão importante, assim como não mediu esforços para que a memória e o espaço que abriga a usina de Marmelos Zero pudessem fazer parte das visitas escolares, assim como parabenizar também a atuação de cada professor e aluno da UFJF que esteve, em algum momento, presente neste projeto.

O Centro de Ciências da UFJF sente-se lisonjeado em poder contribuir para que esta obra possa chegar às mãos de alunos e alunas de todas as escolas de Juiz de Fora e região, assim como da população em geral, para que possamos reconhecer de mais essa forma como a ciência é uma ferramenta poderosa que beneficia a todos, contribuindo para um futuro mais saudável, justo e sustentável.

Marco Antônio Escher
Diretor do Centro de Ciências
Universidade Federal de Juiz de Fora/MG



INTRODUÇÃO

José Roberto Tagliati

Um livro para ser lido por todas as idades

Durante a primeira década dos anos 2000, estudantes bolsistas da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) atuaram como mediadores em visitas de escolares e comunidade em geral ao Museu de Marmelos Zero, em Juiz de Fora – Minas Gerais. Um convênio entre a UFJF e a CE-MIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) possibilitou, por um período de aproximadamente 10 anos, que milhares de pessoas pudessem visitar regularmente esse importante espaço histórico.

Os procedimentos de visitação se tornaram mais intensos a partir de 2006, quando foi inaugurado o Centro de Ciências da UFJF, e o Museu de Marmelos Zero passou a ser administrado por este.

Nesse período, alguns destes estudantes, membros de projetos da universidade de interação com a sociedade, e que tinham como espaço de ação o Museu de Marmelos, se empenharam na pesquisa e produção de textos para melhor divulgar a história de implementação da energia elétrica em Juiz de Fora. Assim, o trabalho dedicado desses estudantes, e a fundamental colaboração de técnicos em administração escolar e professores da UFJF, permitiram que esse livro fosse produzido.

A equipe envolvida na produção do livro se empenhou em torná-lo acessível para todas as idades. Apresenta-se um pouco da cidade de Juiz de Fora, uma versão divertida em quadrinhos de um recorte da trajetória de Bernardo Mascarenhas, bem como a descrição de aspectos históricos, tecnológicos e relações afins com o pioneirismo da tecnologia das usinas hidrelétricas em Juiz de Fora e na América do Sul.

Iniciaremos apresentando Bernardo Mascarenhas e a cidade de Juiz de Fora, local onde ele sonhou e desenvolveu sua colossal façanha.

O pioneirismo de Bernardo Mascarenhas na geração e distribuição de energia elétrica

A tarde cai, começa a noite, as lâmpadas começam a iluminar a cidade. Mas, se em algum momento acontece uma queda de energia e tudo fica escuro, todos sentem um grande incômodo. A falta de iluminação geralmente provoca reações nem sempre agradáveis.

A luz elétrica está tão atrelada às nossas vidas que, em geral, nem percebemos a diferença entre dia e noite. Esse comodismo é resultado de uma longa e fantástica história, a da iluminação elétrica, e um recorte muito importante e interessante dos caminhos da eletricidade encontra-se descrito nesse livro.

Até o final do século XIX, velas e sistemas alimentados a gás ou querosene eram praticamente os únicos responsáveis pela iluminação de residências, ruas e outros espaços. Hoje, ao acionarmos um interruptor para acender uma lâmpada, quando ligamos a televisão ou o computador, ou utilizamos o celular, nem percebemos que atitudes simples como estas só são possíveis devido à eletricidade, que após ser bem compreendida e aplicada revolucionou o mundo.

Vamos percorrer a trajetória de Bernardo Mascarenhas, bem como de muitas pessoas que contribuíram para que a eletricidade passasse a ser dominada e assim ter possibilitado um grande avanço para a humanidade em inúmeros setores.

Mas antes vamos descrever um embate que acontecia nos Estados Unidos, na mesma época em que Bernardo Mascarenhas, aqui no Brasil, se

encantava com a possibilidade de utilizar a eletricidade para alimentar as máquinas de sua tecelagem e iluminar a cidade onde morava.

No final do século XIX, o inventor da lâmpada incandescente, o genial Thomas Edison, travava nos Estados Unidos uma verdadeira batalha com outro cientista, o também genial Nikola Tesla. As usinas de Edison utilizavam a corrente contínua, mas estas só conseguiam suprir energia para distâncias pequenas. Por outro lado, a corrente alternada, defendida por Tesla, poderia, segundo ele, levar a energia elétrica por milhares e milhares de quilômetros, como ficou provado no final do confronto entre os dois brilhantes cientistas.

Na mesma época, bem longe da América do Norte, numa cidade brasileira, o industrial, engenheiro e empresário Bernardo Cândido Mascarenhas teve especial destaque, construindo uma Usina Hidrelétrica, que viria a gerar energia elétrica para iluminação pública da cidade e para as máquinas de sua fábrica de tecidos. O prédio onde funcionou a fábrica de tecidos existe até hoje, situado na Avenida Getúlio Vargas, na cidade mineira de Juiz de Fora. A cidade passou, durante um razoável período do século XX, por uma fase de grande progresso e movimentação no ramo da tecelagem, muito em função da atuação pioneira de Bernardo Mascarenhas.

Antes de mergulharmos na maravilhosa trajetória de Mascarenhas, vamos conhecer um pouco de Juiz de Fora, localizada na zona da mata mineira, distante a menos de 200 quilômetros da cidade do Rio de Janeiro.

A cidade de Juiz de Fora

Juiz de Fora é uma cidade mineira de porte médio que, como tantas outras no Brasil, conta com gente que estuda, trabalha, se diverte e contribui de forma significativa para o progresso do País.



Foto: Adriano Santos.

Quem quiser ver grande parte da cidade, pode ir até o Morro do Imperador, também conhecido por “Morro do Cristo”, e aí vai ter uma vista muito bacana do centro da cidade e de vários bairros.

A localização privilegiada de Juiz de Fora, próxima de Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, facilita o intercâmbio físico do município com estas importantes metrópoles. Atrativos capazes de impressionar os mais apurados olhares, realmente valem a pena serem visitados, como o Parque da Lajinha, o Jardim Botânico, a Universidade Federal e o Parque do Museu Mariano Procópio, que é patrimônio histórico, artístico, cultural e ambiental, reunindo flora, fauna e monumentos.

No centro de Juiz de Fora encontra-se o Cine-Theatro Central, um destaque do movimentado “calçadão” da Rua Halfeld. É também na parte central que lojas e centros comerciais são interligados por galerias que são uma marca da cidade. Vários shoppings que não ficam nada a dever a similares de grandes cidades do Brasil, com diversas e variadas opções, fazem de Juiz de Fora uma bela opção para passeios e compras.

Juiz de Fora antiga

A história de Juiz de Fora começa na época do Ciclo do Ouro, e devido à dificuldade de acesso, o lugar permaneceu praticamente intocado até o século XIX. A Zona da Mata, então habitada apenas pelos índios puris e coroados, foi desbravada com a abertura do Caminho Novo, estrada construída em 1707 para o transporte do ouro da região de Vila Rica (Ouro Preto) até o porto do Rio de Janeiro.



Fonte: site Juiz de Fora Ontem e Hoje: juizdeforasempre.comunidades.net.

A vila de Santo Antônio do Paraibuna surgiu no início do século XIX devido à ocupação por famílias de fazendeiros e colonos vindos da região de extração de ouro (Ouro Preto e Mariana) e posteriormente da região das vertentes (Barbacena e São João del-Rei). O município de Santo Antônio do Paraibuna desmembrou-se de Barbacena em 31 de maio de 1850 e foi elevado a Cidade do Paraibuna em 1856. Em 1865, a Cidade do Paraibuna passa a se chamar Juiz de Fora. O curioso nome de Juiz de Fora gera muitas dúvidas quanto à sua origem. O juiz de fora era um magistrado nomeado pela Coroa Portuguesa para atuar onde não havia juiz de direito. A versão mais aceita pela historiografia admite que um desses magistrados se hospe-

dou por pouco tempo em uma fazenda da região, passando esta a ser conhecida como a Sesmaria do Juiz de Fora. Mais tarde, próximo a ela, surgiria o povoado. A identidade exata e a atuação desse personagem na história local ainda são polêmicas.

Muitas famílias de outras regiões de Minas e do país se mudaram para Juiz de Fora a partir de meados do século XIX, ampliando as redes de negócio, o fluxo comercial e o comércio de escravos. Também chegaram os imigrantes alemães, italianos, portugueses, espanhóis, sírio-libaneses e algumas famílias inglesas. As primeiras famílias alemãs, por exemplo, começam a se mudar para a cidade em 1856.

A partir de 1890 os comerciantes, industriais e cafeicultores investem em transporte, comunicação, no sistema bancário, bem como na implementação de redes elétricas, buscando desenvolver a infraestrutura adequada ao crescimento industrial.

O prédio onde funcionou a tecelagem de Bernardo Mascarenhas

O prédio histórico no centro de Juiz de fora, que abrigou a Companhia Têxtil Bernardo Mascarenhas, foi uma fábrica de tecidos fundada em maio de 1888 por Bernardo Mascarenhas. As inovações implementadas pelo empreendimento, como uso de energia elétrica e emprego de mão de obra imigrante, formaram um aspecto determinante do progresso industrial da cidade. A fábrica encerrou suas atividades em janeiro de 1984, e o imóvel ficou fechado até que a Prefeitura de Juiz de Fora assumiu sua gestão, instalando ali, com o passar dos anos, o Mercado Municipal, um Centro Cultural e a Biblioteca Municipal, entre outros.



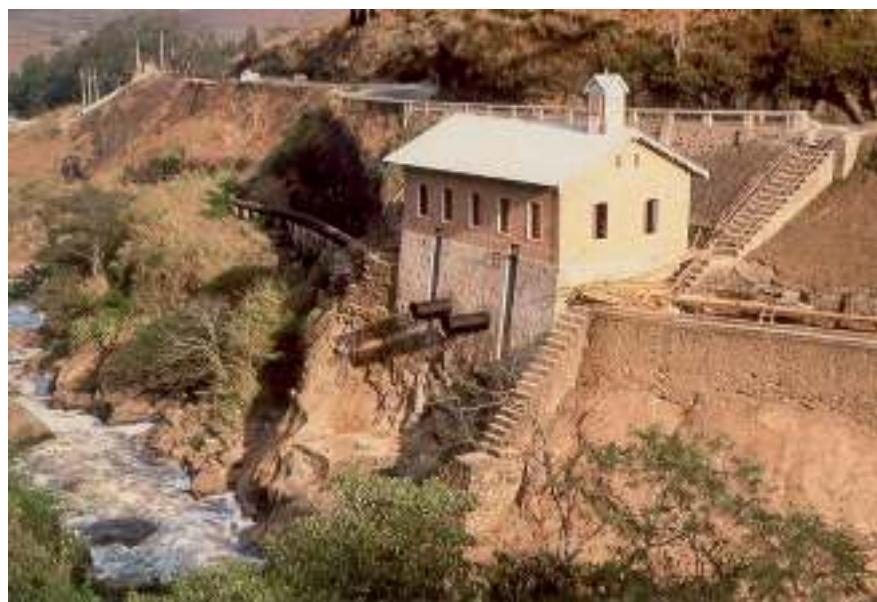
Prédio do CCBM (Centro Cultural Bernardo Mascarenhas). Fonte: FUNALFA/Divulgação.

Em 12 de setembro de 1991, um incêndio iniciado pela explosão do reator de uma lâmpada fluorescente destruiu dois andares do setor ocupado pelo mercado, causando grande prejuízo. Em 1997, o “Espaço Mascarenhas”, como a população assim o denominava, foi fechado para reforma e reaberto em 2000, totalmente restaurado. Atualmente, o prédio abriga o Centro Cultural Bernardo Mascarenhas (CCBM), promovendo relevantes manifestações artísticas da cidade e de outros centros do país. Além disso, anexo ao prédio, encontram-se instalados o Mercado Municipal e um conjunto de lojas, além de bares e restaurantes.

A Usina de Marmelos

No Rio Paraibuna, às margens da estrada União e Indústria, rodovia antiga ligando Juiz de Fora ao Rio de Janeiro, no bairro Retiro, município de Juiz de Fora, podemos ver o belo prédio da Usina Hidrelétrica de Marmelos, inaugurada em 1889.

O empreendimento foi idealizado por Bernardo Mascarenhas para atender não apenas as indústrias de tecidos do empresário, mas também para fornecer eletricidade à iluminação pública de Juiz de Fora.



Prédio da Usina de Marmelos Zero. Fonte: IEPHA - Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico.

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) adquiriu a hidrelétrica em 1980. Em 1983, a Usina de Marmelos foi tombada pelo patrimônio municipal de Juiz de Fora e transformada em espaço cultural, sendo instalado na edificação o Museu Usina de Marmelos Zero. Além das construções de época, o museu foi inaugurado abrigando instrumentos de levantamento topográfico, fotos, máquinas de escrever e o livro de contabilidade da Companhia Mineira de Energia. Faremos a seguir uma descrição da trajetória de Marmelos Zero.

Em 1886, Bernardo Mascarenhas e o banqueiro Francisco Batista de Oliveira recebem aprovação do município para explorar a Cachoeira dos Marmelos para produção elétrica. A construção teve início em fevereiro de 1889 pela firma americana Max Nothman & Co., e os equipamentos necessários para seu funcionamento foram importados da Westinghouse. A geração de energia teve início em agosto de 1889 e, no mês seguinte, em 5 de setembro, a usina foi inaugurada.

A usina de Marmelos era guarneida por uma barragem de 51 metros de largura e 2,4 metros de comprimento e, a princípio, utilizava dois gera-

dores com potência de 125 kW que operavam alternadores monofásicos em uma frequência de 60 hertz. No ano seguinte, a hidrelétrica fornecia energia a 180 lâmpadas. Com o passar do tempo, um terceiro gerador foi adicionado à usina, que passou a fornecer energia a mais de 700 lâmpadas e contribuir em projetos industriais e de utilidade pública. A Marmelos Zero foi desativada em 1896 com a construção de novas hidrelétricas, com capacidade de explorar melhor a cachoeira.

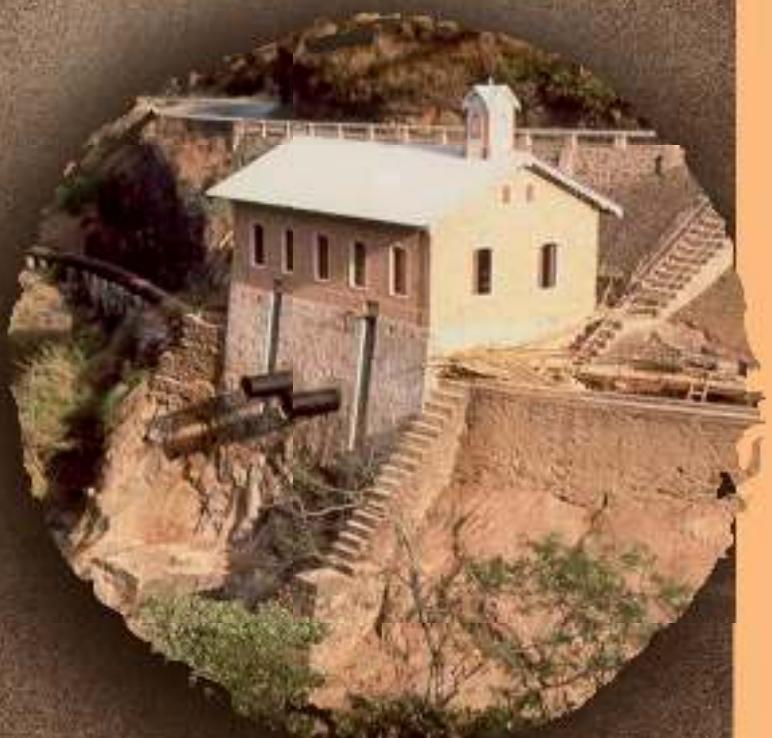
Em 2000 foi firmado um convênio entre a CEMIG e a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) para gerência do Museu de Marmelos. Em 2006, o Conselho Superior da UFJF aprovou em resolução o Centro de Ciências da instituição como responsável pelo referido Museu. O referido convênio, no entanto, tem sofrido interrupções devido a questões de gestão envolvendo a CEMIG, a UFJF e a Prefeitura de Juiz de Fora.

Visitar o “Museu de Marmelos” nos faz voltar no tempo, numa época de grande progresso, em que grandes homens modelavam nosso futuro. Bernardo Mascarenhas foi, sem dúvida, um homem à frente de seu tempo, demonstrando de maneira extraordinária uma visão futurista da eletricidade, essa fenomenal descoberta da ciência.

Esse livro tem a pretensão de despertar em seus leitores a importância da ciência, em particular da eletricidade, e sua imensa contribuição para o progresso da humanidade. Também para a importância de homens como Bernardo Mascarenhas e seus colaboradores, que, com sua busca de conhecimento, ousadia e visão futurista, foram determinantes para a evolução da sociedade de sua época.

Referências

- FUNALFA. Fundação Cultural Alfredo Ferreira Lage – Prefeitura de Juiz de Fora. Disponível em: <https://bit.ly/49UzJvG>.
- JUIZ DE FORA. Prefeitura de Juiz de Fora. Portal PJF. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/>.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. Centro de Ciências – UFJF. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/centrodecienicias/>.
- WIKIPÉDIA. Disponível em: <https://www.wikipedia.org/>.



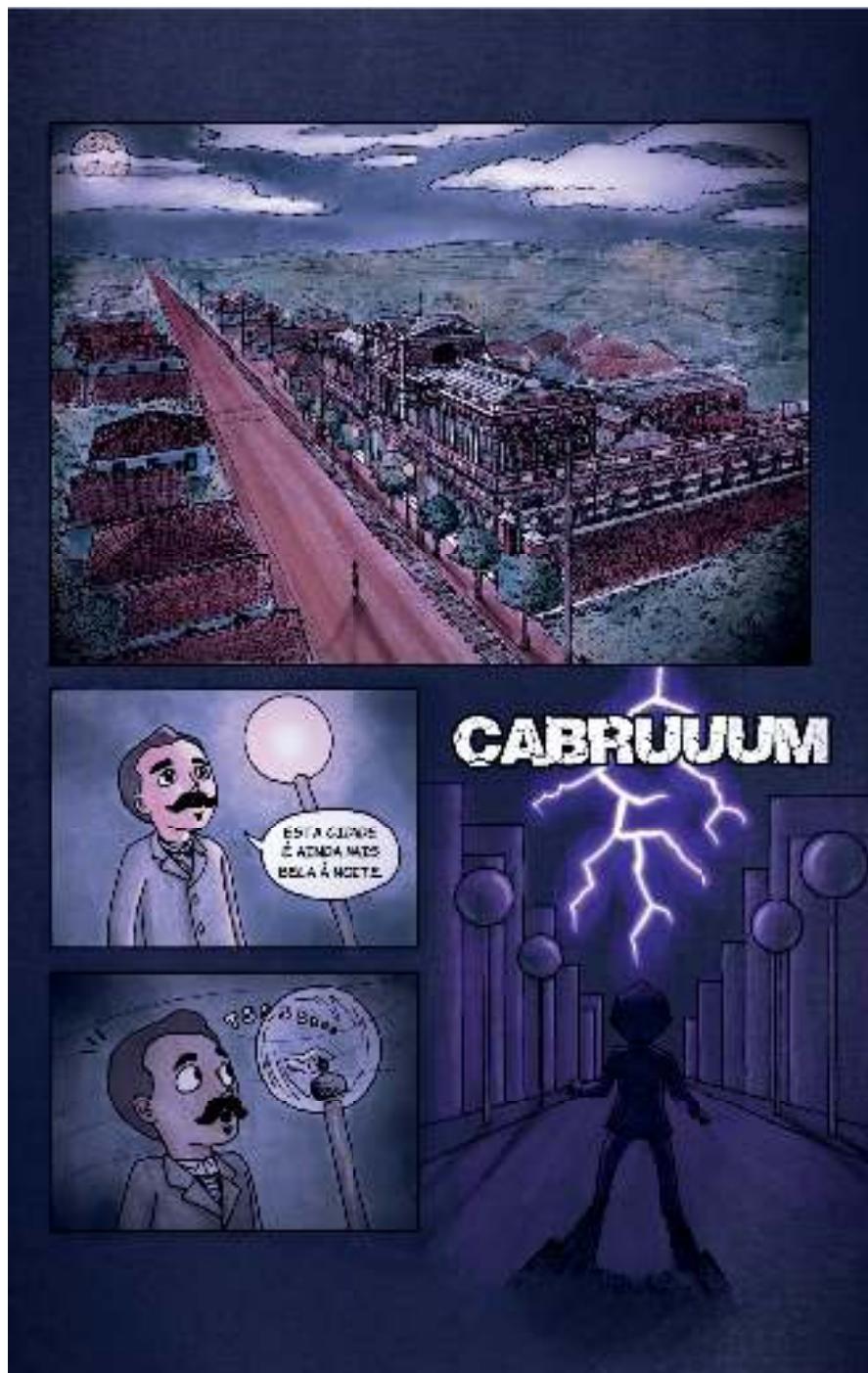
Capítulo I

UMA IDEIA GENIAL

Adriano Dias dos Santos (arte)

Lívia Caniato Portes (cores)

Este capítulo é uma obra de ficção livremente inspirada nos locais e pessoas reais representadas na história.















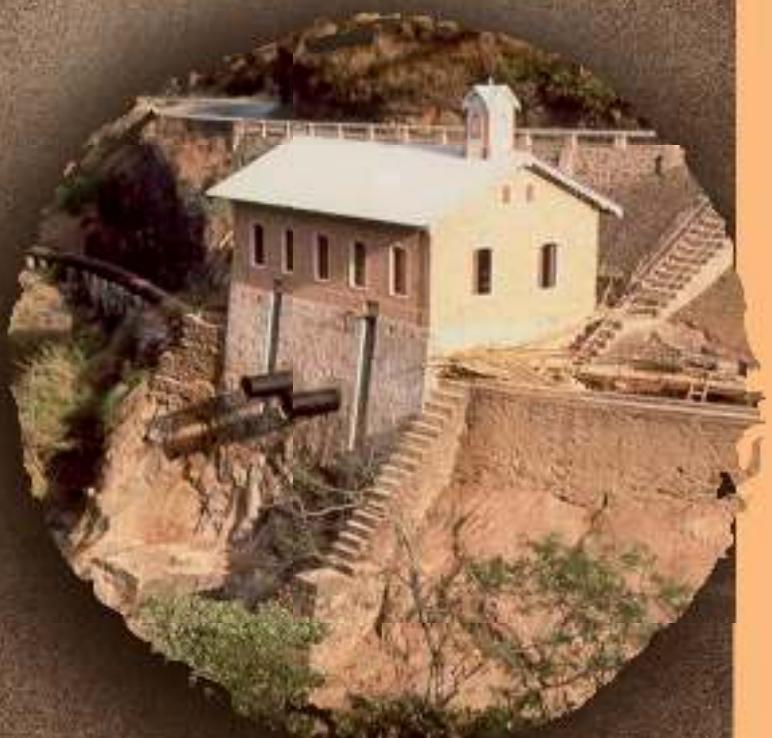












Capítulo 2

OS PRIMÓRDIOS, A USINA DE MARMELOS, A ELETRICIDADE

*Patrícia Muniz Mendes
Nívea Maria Leite Mendonça*

Um pouco da história da cidade de Juiz de Fora

No contexto da história de Minas Gerais, Juiz de Fora obteve um papel singular. Minas Gerais, a partir do final do século XVII e ao longo do século XVIII, foi uma região de expressiva relevância econômica para o restante da Colônia, cuja importância estava diretamente ligada ao descobrimento de metais preciosos, como ouro e diamantes.

Para transportar o ouro da região mineradora até o porto mais próximo, que ficava no Rio de Janeiro, foi preciso abrir caminhos, e dentre os vários caminhos abertos pelos bandeirantes se destaca aquele aberto pelo bandeirante Garcia Dias Paes. Este recebeu o nome de Caminho Novo, cuja construção foi iniciada em 1701, e que ligava a principal região mineradora – Vila Rica – passando longo trecho nas margens do Rio Paraibuna, até o porto do Rio de Janeiro, proporcionando assim o crescimento da cidade do Rio de Janeiro.

Na região da atual cidade de Juiz de Fora, o Caminho Novo percorreu sempre a margem esquerda do Rio Paraibuna e foi através deste caminho que efetivamente começava-se a escrever a história da cidade.

Ao longo desta estrada foram formados pequenos povoados agrícolas, tendo essas terras sido concedidas pelo rei português na forma de

sesmarias aos bandeirantes e aventureiros¹. Esses povoados eram paragem de tropeiros que passavam pela região. Em algumas localidades, as propriedades cresceram e se transformaram em fazendas². Um dos principais vilarejos da cidade se localizou no chamado Morro da Boiada – atual bairro Santo Antônio³.

Em 1835, o governador da província de Minas Gerais contratou o engenheiro alemão Henrique Guilherme Fernando Halfeld, que planejaria e construiria uma obra denominada Estrada do Paraibuna⁴. Este novo caminho, concluído em 1838, tinha o objetivo de encurtar a viagem da Capital da Província – Ouro Preto – até a Capital do Império, que se localizava no Rio de Janeiro, porém Halfeld aproveitou grande parte do caminho já existente realizado por Garcia Paes para o seu novo desvio. Com esta nova estrada ocupando o lado direito da margem do Rio Paraibuna, inaugurava-se um novo arraial que mais tarde se chamaria de Santo Antônio do Paraibuna.

Somente em 1850, o lugarejo foi elevado à categoria de Vila e mais tarde recebeu a atual denominação⁵.

Juiz de Fora e o Sistema Cafeeiro

Juiz de Fora está localizada na região da Zona da Mata Mineira, tendo sido esta uma importante região da economia cafeeira.

As primeiras plantações de café surgiram na cidade do Rio de Janeiro, e à medida que o consumo desta bebida se popularizava, houve necessidade de expandir a produção que ocupava grandes proporções de solo fértil. Chegou a atingir todo o Vale do Paraíba, penetrando em São Paulo e na Zona da Mata Mineira, nos vales dos Rios Pomba e Paraibuna, e atingindo também o Sul de Minas Gerais⁶.

1 NEVES, José Alberto Pinho; DELGADO, Ignácio José Godinho Delgado; OLIVEIRA, Mônica Ribeiro de (org.). Juiz de Fora: história, texto e imagem. Juiz de Fora: Editora FUNALFA, 2004. p. 7.

2 MAXWELL, Kenneth. *A devassa da devassa: a Inconfidência Mineira Brasil-Portugal (1750-1808)*. Tradução: João Maia. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 1977. p. 102.

3 LESSA, Jair. *Juiz de Fora e seus pioneiros (do Caminho Novo à Proclamação)*. Juiz de Fora: Editora UFJF; Editora FUNALFA, 1985.

4 GIROTTI, Domingos. *Industrialização em Juiz de Fora: 1850 a 1930*. Juiz de Fora: Editora UFJF, 1988. p. 97.

5 *Ibid.*, p. 98.

6 *Ibid.*, p. 27.

Minas Gerais, principalmente na Zona da Mata, iria recuperar a estagnada economia da província após o declínio da mineração, com a economia cafeeira vindo a aquecer as exportações na região, impulsionando o desenvolvimento e ocupação da Zona da Mata. Muitos fazendeiros que trabalhavam na cultura do café chegavam à região atraídos pelas condições favoráveis do solo. Mônica Ribeiro de Oliveira destaca que:

A Zona da Mata Mineira teve uma importância econômica na região ao longo do século XIX devido à sua proximidade com o Rio de Janeiro, o que possibilitou uma certa identificação da Zona da Mata com essa região não apenas no campo econômico, mas também, no campo social, cultural e político.⁷

Já Anderson Pires enfatiza que a Zona da Mata teve uma participação efetiva, chegando a alcançar níveis elevados na soma geral de participação de todo o Estado entre 1847 e 1851⁸. Além da produção de café, a Zona da Mata também produzia outros gêneros alimentícios como: feijão, milho, fumo, suínos, bovinos; porém a economia que mais sobressaiu como atividade foi a cafeicultura⁹.

A cidade de Juiz de Fora concentrava grandes e importantes fazendas de café; toda a produção das cidades próximas de Juiz de Fora como da própria cidade era estocada aqui, sendo posteriormente escoada para o Rio de Janeiro, onde era exportada. Juiz de Fora foi um dos municípios de maior produção de café da região da Mata, uma vez que havia muitas terras em matas virgens garantindo a expansão cada vez maior da economia.

O trabalho na lavoura era desempenhado pelos escravos; Juiz de Fora chegou a concentrar uma grande quantidade de escravos, contabilizando cerca de 20.000 escravos¹⁰.

7 OLIVEIRA, Mônica Ribeiro de. *Negócios de família: mercado, terra e poder na formação da cafeicultura mineira – 1780-1870*. Bauru: EDUSC; Juiz de Fora: Editora FUNALFA, 2005. p. 57.

8 PIRES, Anderson José. *Capital agrário, investimentos e crise da cafeicultura de Juiz de Fora – 1870-1930*. 1993. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Humanas e Filosofia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1993.

9 ROCHA, Cezar Henrique Barra. *Zona da Mata Mineira: pioneirismo, atualidade e potencial para investimento*. Juiz de Fora: Editora FUNALFA, 2008. p. 15.

10 GIROLETTI, Domingos. Op. cit., p. 32.

Com a expansão da produção chegando a níveis incríveis na quantidade de grãos de café, houve a necessidade de investir no setor de transportes para atender à crescente demanda. Este investimento no setor de transporte é chamado pelo professor Anderson Pires de “efeitos de encadeamento”¹¹.

Um dos grandes investimentos gerados pelo capital cafeeiro foi a construção da Rodovia União Indústria, por Mariano Procópio Ferreira Lage, no intuito de ligar Juiz de Fora a Petrópolis, mas antes da construção propriamente dita, Mariano precisou fundar a Companhia União Industrial responsável pelos trabalhos desenvolvidos na Rodovia. Percebe-se que a construção desta estrada facilitou ainda mais o escoamento da produção cafeeira. A estrada foi iniciada em 1856, sendo construída nos vales dos Rios Piabanga e Paraibuna¹². Foi a estrada mais moderna da época, e nela trabalharam principalmente imigrantes alemães que eram trabalhadores mais qualificados que os escravos; para instalação destes imigrantes foi criada a Colônia D. Pedro II subdividida em duas áreas, sendo uma colônia agrícola situada nos atuais bairros São Pedro e Borboleta e outra colônia, mais industrial, também chamada de Vilagem, local hoje do bairro Fábrica e adjacências.

Os imigrantes, ao contrário dos escravos, eram trabalhadores livres e possuíam formações ou habilidades como ferreiros, mecânicos e engenheiros, por exemplo.

A inauguração desta rodovia em 1861, contou com a presença ilustre da família imperial; a rodovia produziu um significativo impacto no processo de expansão da cafeicultura na cidade, como observou Oliveira. “Juiz de Fora, que já funcionava como centro catalizador da produção cafeeira regional, ampliou suas funções, tornando-se o polo econômico, político e social da Mata...”¹³

Já para Giroletti: “A rodovia revolucionou o sistema de transportes em Minas Gerais e abriria os horizontes promissores à produção, ao co-

11 PIRES, Anderson. *Op. cit.*

12 BASTOS, Wilson de Lima. *Mariano Procópio Ferreira Lage: sua vida, sua obra, descendência, genealogia*. Juiz de Fora: Editora Paraibuna, 1991.

13 NEVES, José Alberto Pinho; DELGADO, Ignácio José Godinho Delgado; OLIVEIRA, Mônica Ribeiro de (org.). *Op. cit.*, p. 56.

mércio, à indústria e ao desenvolvimento da cidade”¹⁴. Ou seja, a rodovia trouxe consigo um maior desenvolvimento para a região da Mata, pois eram 144 km de estrada macadamizada ligando Petrópolis a Juiz de Fora. A denominação macadamizada se deve ao termo macadame, um tipo de pavimento para estradas no qual são assentadas três camadas de pedras postas numa fundação com valas laterais para enxugo da água da chuva. O nome foi estabelecido em homenagem ao seu criador, o engenheiro escocês John Loudon McAdam, que criou no início do século XIX tal alternativa para pavimentação de estradas.

Portanto, a cidade de Juiz de Fora se mostrava uma região promissora, pois nela havia modelos diferenciadores das demais regiões cafeeiras, em toda a Zona da Mata Mineira, como observou Giroletti:

O desenvolvimento do processo de industrialização nesta cidade está relacionado com o desenvolvimento da cafeicultura e seus reflexos e acumulação de capital devido à organização da Companhia e a abertura da Rodovia União Indústria que, respectivamente, criaram em Juiz de Fora um mercado de mão de obra especializada e o transformaram num entreposto comercial de exportação e importação.¹⁵

Ao longo do século XIX, Juiz de Fora obteve um significativo sistema de transporte que atraiu para a cidade outros investimentos como mais tarde o surgimento de indústrias, embora ainda o café fosse predominante; a cidade também produzia outros tipos de alimentos destinados ao abastecimento local, o que favoreceu a diversificação da economia dentro do município.

Ora, com a abertura da rodovia, Juiz de Fora passou a deter o monopólio do transporte da região, que favoreceu muito os investimentos dos fazendeiros reunindo grande massa de uma elite no município, favorecendo a cidade no seu processo de industrialização.

Para atender a grande produção de café foi criada pela aquecida economia cafeeira duas importantes estradas de ferro, revolucionando assim

14 GIROLETTI, Domingos. *Op. cit.*, p. 34.

15 GIROLETTI, Domingos. *Op. cit.*, p. 122.

o sistema de transporte da época. A estrada de ferro Leopoldina, que seguia o sentido norte-sudeste, e a estrada de ferro D. Pedro II, que seguia no sentido Leste-Oeste, sendo partes deste trecho de estrada inserida em Juiz de Fora; no entanto, o capital gerado pelo sistema cafeiro era o que mais impulsionava o desenvolvimento da cidade.

A partir do desenvolvimento das linhas férreas foi estimulado positivamente o crescimento da produção, sendo que os capitais geraram riquezas nas mãos dos grandes fazendeiros, o que fez surgir na cidade a mencionada elite, que de certa forma, levou ao investimento em setores da urbanização e de crescimento econômico para a cidade.

Urbanização e industrialização

O processo de industrialização está intimamente ligado com a imigração alemã. Com a construção da rodovia União Indústria, Mariano Procópio utilizou a mão de obra dos imigrantes alemães, que por sua vez eram mais especializados no desenvolvimento de trabalhos que envolviam maior eficiência e maiores conhecimentos tecnológicos. Ao término da construção da rodovia 1861, muitos imigrantes continuaram morando na cidade, que por sua vez iniciaram novos empreendimentos na cidade, implantando o embrião do processo de industrialização. Ora, foi com os imigrantes que aconteceu o processo de transformação do trabalho, fato primordial para a introdução da industrialização.

Aproveitando as lacunas do mercado, muitos alemães montaram associações, oficinas e pequenas fábricas; outros colonos, no entanto, continuaram com o cultivo em suas propriedades (agricultura).

As pequenas fábricas foram tão bem-sucedidas que em pouco tempo elas se transformariam em grandes fábricas, figurando entre as principais as cervejarias, serrarias e oficinas de materiais de construção, dentre outras¹⁶.

Giroletti afirma que só foram possíveis esses empreendimentos graças não só à habilidade profissional dos imigrantes, mas também às poupanças acumuladas durante o período em que trabalharam como operários

16 GIROLETTI, Domingos. *Op. cit.*, p. 76.

para a Companhia União Indústria¹⁷. Foi a partir dos imigrantes que a cidade iniciou seu processo industrial da qual se destacaria anos mais tarde, mas, naquele momento, o café era considerado o principal produto responsável pelo crescimento econômico da cidade.

Com todos esses desenvolvimentos, tanto no setor agrícola como no industrial impulsionando a cidade, esta foi levada cada vez mais a se urbanizar, e com os investimentos foi incentivando o surgimento do comércio, aquecendo ainda mais o consumo da população, que se concentrava nas áreas mais urbanizadas da cidade.

Juiz de Fora foi palco de grandes investimentos que contribuíram positivamente para seu engrandecimento. Na década de 1880, a cidade já dispunha de telégrafo e telefone, agilizando desta forma a comunicação da cidade com os demais centros econômicos. O município também já tinha disponibilidade de rede de escolas como a Escola Agrícola¹⁸, que qualificava a mão de obra, embora muitos fazendeiros utilizassem ainda a mão de obra escrava.

Percebe-se que a cidade naquele momento, já possuía característica de uma cidade industrial.

Juiz de Fora e o contexto nacional (1888 / 1889)

Antes do final da década de 1880, a cidade, assim como todo o restante do território brasileiro, sofreria profundas transformações tanto no campo político como social. Analisaremos primeiramente, o impacto sofrido na sociedade devido à abolição.

Juiz de Fora concentrava muitas fazendas de café, sendo que a base da mão de obra desta produção era essencialmente escravista, mesmo com a chegada dos imigrantes, apontando assim para uma sociedade mais industrial. Os jornais da época noticiavam fugas de escravos e crimes cometidos por eles¹⁹. Mas as imagens se opunham entre o negro incapaz ao imigrante, implantado principalmente pelos políticos paulistas.

17 GIROTTI, Domingos. *Op. cit.*, p. 77.

18 CEMIG – UFJF. *Companhia Mineira de Eletricidade*. Belo Horizonte: Cemig, 1994. (Projeto Memória da Cemig). p. 80.

19 O PHAROL. *Juiz de Fora: [s. n.]*, 19 abr. 1877 – 10 maio 1877.

Através das leis abolicionistas muitos fazendeiros começavam a inversão da mão de obra escrava para a livre e assalariada. O movimento abolicionista se tornara cada vez mais forte no decorrer na década de 1880.

Nas vésperas da abolição, muitos senhores de escravos os mantinham em seu domínio; o café continuou sendo o principal produto de exportação e o preço do escravo era cada dia mais desvalorizado. Com a abolição assinada, uma grande massa de escravos foi libertada, mas eles não tinham para onde ir, uma vez que desempenhavam apenas atividade braçal, não tendo, portanto, qualificação para os trabalhos mais sofisticados. Muitos libertos da região optaram por permanecer nas fazendas onde eram escravos desenvolvendo novas relações de trabalho com seus antigos donos. Entretanto, havia naquele momento na cidade um grande contingente de libertos nas ruas em busca de trabalho. No entanto, a lei não previa nenhum tipo de proteção aos libertos²⁰.

Já no setor político, o século XIX passou por grandes modificações ocorridas na transição do Império para o começo da República.

A crise do Império foi resultado de vários fatores de ordem econômica, social e política que desembocaram na proclamação da República; a crise foi marcada por diversas questões, dentre elas a abolição da escravidão, que, de certa forma, indispuseram a sociedade contra a Monarquia, colaborando com o advento da República. Em Juiz de Fora havia muitos industriais, fazendeiros que já tinham se simpatizado com a República, que se ligariam posteriormente na formação de partidos políticos ou na sua filiação, mas esta transição foi menos sentida se comparada com a abolição.

Essa foi uma época de intensas transformações, que ajudaram a promover o desenvolvimento do município, pois novos investimentos iriam favorecer a cidade a se tornar pioneira na industrialização. E é nesse contexto que destacamos a participação de Bernardo Mascarenhas no processo de industrialização de Juiz de Fora.

20 GUIMARÃES, Elione Silva; GUIMARÃES, Valéria Alves. *Aspectos cotidianos da escravidão em Juiz de Fora*. Juiz de Fora: Editora FUNALFA, 2001.

Bernardo Mascarenhas: o empreendedor

Ao observarmos o processo de industrialização de Juiz de Fora, não podemos deixar de ressaltar a participação de Bernardo Mascarenhas nesse contexto. Então, vale apresentarmos a trajetória desse empreendedor.

Bernardo Mascarenhas nasceu em 1846 em Curvelo, no estado de Minas Gerais. Filho de Antônio Gonçalves da Silva Mascarenhas e de Policena Moreira da Silva Mascarenhas. O casal Mascarenhas teve ao todo treze filhos. Até os doze anos, Bernardo morou com seus pais e irmãos na fazenda de São Sebastião pertencente à família, localizada a cerca de quatro léguas de Tabuleiro Grande e a mais de dez léguas da cidade de Sete Lagoas. Depois estudou no internato do Caraça e concluiu o ensino em São João d'El Rei²¹.

Na fazenda da família Mascarenhas havia doze teares de madeira que produziam vestimentas para os escravos. Vale ressaltar que na Província de Minas, até cerca de 1865, não existia grandes fábricas de tecidos que concorressem com as indústrias estrangeiras, predominando a produção doméstica. Nesse cenário, a economia de Minas era fechada em si, e os produtos consumidos eram na sua maioria produzidos na mesma. Esse isolamento apresentou-se como um fator desfavorável e favorável ao mesmo tempo. A distância impedia que os tecidos mineiros fossem vendidos a preços competitivos no Rio de Janeiro, mas, por outro lado, protegia os produtos mineiros da concorrência dos fabricantes cariocas.

Tempos depois, na região de Curvelo e nas cidades próximas a ela – áreas mais centrais do Estado de Minas – foram se desenvolvendo indústrias destinadas à fabricação de tecidos. Em 1868, juntamente com seus irmãos Antônio e Caetano, Bernardo fundou a Fábrica Têxtil do Cedro, situada em Tabuleiro Grande, no município de Sete Lagoas.

Para tal empreendimento, Bernardo Mascarenhas viajou para os EUA e comprou o maquinário para a fábrica, que depois começaria a funcionar a todo vapor, e nesta fábrica os irmãos Mascarenhas tiveram uma grande prosperidade. Anos depois, em 1874, vendo o sucesso da fábrica, os irmãos e sócios decidem abrir uma outra fábrica na fazenda Cachoeira²²;

21 VAZ, Alisson Mascarenhas. *Bernardo Mascarenhas: desarrumando o arrumado: um homem de negócios do século XIX*. Belo Horizonte: Cedro, 2005.

22 *Ibid.*

para isso, Bernardo viajou para a Europa e novamente foi aos EUA para adquirir novas máquinas para sua nova fábrica; também essa nova fábrica geraria grandes lucros. Posteriormente, os irmãos propuseram a união das duas empresas.

Porém, havia entre os irmãos um desentendimento que comprometia a sociedade; Bernardo vendeu parte de suas ações para sua mãe Policeana²³ e se mudou em 1887 para Juiz de Fora, que já dispunha de muitas inovações da época, como fábricas, sistema de transportes sofisticados, ligação próxima com a Corte (RJ) e, além disso, já havia um moderno sistema bancário – Banco Territorial e Mercantil de Minas – criado pelo Barão de Santa Helena e Francisco Batista de Oliveira; essa economia bastante solidificada era fortemente devida à cafeicultura.

Numa segunda viagem aos Estados Unidos, Bernardo tomou conhecimento do emprego da eletricidade e teve a ideia de trazer para o Brasil a luz elétrica e a energia elétrica para a movimentação das máquinas têxteis e também para serviços de utilidade pública. Tais ideias foram recebidas na conjuntura nacional com certa desconfiança, mas ele não se deixou abalar e deu continuidade aos seus empreendimentos, sendo Juiz de Fora palco desse pioneirismo.

Juiz de Fora e o processo de modernização: reflexões sobre a Usina Marmelos Zero e a Companhia Mineira de Eletrocidade

Para dar continuidade aos empreendimentos, Bernardo Mascarenhas pretendia montar sua própria fábrica. Para isso, comprou um terreno nas proximidades do Rio Paraibuna, próximo também da rodovia União Indústria. Viajou para a Europa e também para os Estados Unidos, onde conheceu a nova fonte de energia, a eletricidade, e aí comprou o maquinário para sua fábrica em Juiz de Fora²⁴. Ao retornar à cidade, Bernardo se reuniu com um grupo de empresários e propôs a construção da CME

23 Ibid.

24 Ibid.

– Companhia Mineira de Eletricidade, conseguindo na câmara da cidade a permissão para a construção de uma usina hidroelétrica e o fornecimento desta nova fonte de energia²⁵.

Para esta construção, Bernardo Mascarenhas doou seu terreno próximo ao rio Paraibuna, onde, em 1888, seria erguido o prédio da usina que foi concluído no ano posterior, e adquiriu um outro terreno próximo à estação ferroviária, no qual, em 14 de maio de 1888, seria inaugurada a Tecelagem Bernardo Mascarenhas.

O prédio da primeira usina hidrelétrica da América do Sul – Usina Hidrelétrica Marmelos Zero – a gerar energia para o consumo público constituía-se de um único corpo edificado, de aproximados noventa metros quadrados, com cobertura de duas águas e utilizando alvenaria de pedra e tijolo. No interior da construção foi instalado um complexo sistema composto por dois dinamos, dispostos de tal maneira que trabalhassem em combinação ou de forma independente. Cada dínamo possuía força suficiente para sustentar 50 lâmpadas de arco de 1000 velas e 500 lâmpadas incandescentes de 16 velas. A usina também foi dotada por aparelhos medidores e reguladores do fornecimento de eletricidade. Vale ressaltar que a hidrelétrica se encontrava distante da parte central da cidade, sendo montado um complexo sistema para transportar a eletricidade por cerca de 6 km até a fábrica têxtil²⁶.

Tal empreendimento consistiu em um marco, pois Juiz de Fora foi uma das primeiras cidades a dispor de energia gerada por uma hidrelétrica. Vale lembrar que a primeira Usina de força elétrica a nível mundial foi criada em Nova Iorque em 1882, mas utilizando somente corrente contínua. No Brasil, a Usina de Marmelos Zero, datada de 1889, utilizava, além da corrente contínua, a corrente alternada, antes mesmo desta modalidade de energia ter sido consolidada. A partir de Marmelos aconteceu a difusão do uso da eletricidade em várias localidades, por meio de projetos de embelezamento e modernização das cidades. Sabemos que a capacidade de gerar energia elétrica é um dos indicativos de desenvolvimento econômico

25 Ibid., p. 331.

26 BARROS, Cleyton Souza. *Eletricidade em Juiz de Fora: modernização por fios e trilhos (1889-1915)*. 2008. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

e crescimento urbano e industrial²⁷. Hoje podemos perceber claramente o desenvolvimento e os desdobramentos da geração de energia e de sua difusão em qualquer lugar do mundo.

Não precisamos ir muito longe para percebemos como nossas vidas atualmente se encontram relacionadas com o uso da eletricidade. Basta que observemos o tipo de energia que os eletrodomésticos utilizam para funcionar, e mais, que tipo de energia abastece nossas casas e ruas, indústrias e outros. O Brasil se destaca pelos recursos hídricos, possuindo rios caudalosos propícios para a geração de energia hidrelétrica. De 1880 a 1910 foram construídas 30 usinas elétricas no Brasil, e atualmente podemos citar a Usina Hidrelétrica de Itaipu, localizada no rio Paraná, uma das maiores do mundo.

Voltando ao contexto de Juiz de Fora no século XIX, devemos destacar que devido à alta circulação de moeda na cidade, Mascarenhas, juntamente com outros empresários da cidade, dentre eles Francisco Batista de Oliveira, fundaram um outro banco: o Banco de Crédito Real, que facilitou ainda mais a circulação de capital para o município. Finalmente, em fevereiro de 1889²⁸, começaram a chegar as primeiras máquinas; ao mesmo tempo chegavam até a população rumores que sondavam os jornais, relacionados à natureza da energia. Bernardo teve que responder e esclarecer dúvidas à população referente à energia elétrica e enfrentou problemas quanto à instalação de postes e fios para iluminação e seu possível perigo devido ao cruzamento com fios das redes telefônicas; escreveu para os editores do Diário de Minas, rebateu tais insinuações²⁹. Bernardo teve que pessoalmente supervisionar a montagem dos maquinários, devido à falta de técnicos. Resolvido os percalços, Bernardo marcou, na câmara, a primeira experiência para a madrugada do dia 22 de agosto com a CME mantendo a data em sigilo. E então, no dia 22 de agosto de 1889, às 21 horas, foi realizada a experiência que deixou a população em êxtase. Foram necessários mais alguns ajustes, inclusive o parecer de um técnico vindo da Corte³⁰.

27 Ibid.

28 GIROTTI, Domingos. *Op. cit.*, p. 88.

29 VAZ, Alisson Mascarenhas. *Op. cit.*, p. 336.

30 Ibid.

A câmara da cidade marcou a inauguração oficial para o dia 05 de setembro daquele ano, com os jornais locais divulgando a data. E finalmente, no tão esperado dia 05 de setembro de 1889, às 19 horas, em frente a tecelagem de Bernardo Mascarenhas, ele mesmo ligou a luz³¹. Houve uma grande festa, com a presença das autoridades locais, empresários e a população, banda de música e muitos fogos que iluminaram a noite, além de um baile nos salões da loja Maçônica Fidelidade Mineira³².

No dia seguinte, todos os jornais noticiaram a iluminação; conforme a *Gazeta da Tarde*... “a luz é esplêndida, clara, fixa e perfeitamente igual”³³. A eletricidade como força motriz foi um marco fundamental para a história de Juiz de Fora, pois abriu caminhos para o desenvolvimento industrial e tecnológico, aumentando mais ainda os investimentos para a cidade.

Após a inauguração, Bernardo iniciou os preparativos para a instalação da eletricidade nas residências e indústrias. Contudo, à medida que aumentava os consumidores, crescia a demanda de mais energia e também as reclamações da população. Por isso, a CME investiu na construção de mais uma usina para sanar as necessidades de mais energia que a cidade precisava naquele momento. Portanto, em 1893, foi inaugurada a Usina I, bem próxima à usina Zero, que naquele momento conseguiu suprimir a demanda da cidade. Mais tarde, em 1915, foi inaugurada mais uma usina, chamada de Usina III, que tinha como objetivo atender a população e indústrias que cada vez mais se utilizavam, única e exclusivamente, da energia elétrica.

Bernardo faleceu no dia 09 de outubro de 1899 de um ataque cardíaco fulminante; ele tinha se transformado no verdadeiro impulsionador do desenvolvimento industrial da região, não só pela idealização e concretização do uso da energia elétrica, mas como também um excelente empresário, com a visão de um grande empreendedor, tipicamente capitalista, em cujos empreendimentos participou como acionista, tais como o Banco de Crédito Real, a Companhia Construtora Mineira e a Academia de Comércio³⁴; foi também um grande líder político da cidade.

Portanto, mesmo após sua morte, seu nome permaneceu intimamente atrelado à história de Juiz de Fora e ao seu desenvolvimento industrial.

31 MASCARENHAS, Nelson Lage. *Bernardo Mascarenhas: o surto industrial de Minas Gerais*. Rio de Janeiro: Aurora, 1954. p. 149.

32 VAZ, Alisson Mascarenhas. *Op. cit.*, p. 344.

33 *Ibid.*, p. 345.

34 *Ibid.*, p. 351.

O impacto da eletricidade em Juiz de Fora

A implementação da eletricidade como força motriz para Juiz de Fora veio a se somar aos empreendimentos que chegavam à cidade.

Considerada até os dias atuais como a principal cidade da Zona da Mata Juiz de Fora possuiu uma importância a nível nacional e estadual muito relevante. Foi a principal cidade de Minas Gerais durante o período áureo do café, entre 1850 e 1929. Pioneira em todos os níveis foi considerada “Manchester Mineira” pelo dinamismo industrial implementado pela Primeira Usina Hidroelétrica da América do Sul e dos primeiros motores movidos à eletricidade, conjuntamente com a primeira rodovia pavimentada (macadamizada) do continente - Rodovia União Indústria. Também foi considerada a “Atenas Mineira”, durante a belle-époque, período de intensa atividade cultural com a fundação da Academia Mineira de Letras e as primeiras escolas a nível básico técnico e superior do estado de Minas.³⁵

O café, como já descrito, ainda era um produto muito valorizado, principalmente devido ao seu mercado externo; daí criou-se um complexo cafeeiro que permitiu os efeitos encadeadores³⁶ provocados pelo setor exportador.

Com a economia aquecida, a cidade viu as instalações de suas primeiras fábricas, que prosperavam cada dia mais, adquirindo mais mercados para seus produtos, dentre esses produtos o tecido, artigo de custo elevado, mas conseguindo reduzir seu custo graças ao seu volume de produção. Minas Gerais produzia algodão e como o pagamento das taxas de transportes eram baixas, o preço deste produto também se tornava baixo. A cidade também presenciou o estabelecimento de relações, embora ainda restritas, entre indústrias e fazendeiros de café.

Mas nada causou tanto impacto como a instalação da energia elétrica na cidade, revolucionando e modernizando todas as atividades, com a superação dos precários e antigos lampiões.

35 ROCHA , Cezar Henrique Barra. *Op. cit.*, p. 24.

36 PIRES, Anderson. *Op. cit.*

Assim, no final do século XIX, Juiz de Fora dava grandes saltos em direção ao progresso, tendo como um dos fatores determinantes o fornecimento da energia elétrica. Nesse período foram registradas várias instalações de novas indústrias na cidade, certamente, devido ao início da utilização da eletricidade como força motriz.

Porém, apesar deste impacto positivo, a energia elétrica causou muitos transtornos como a crescente demanda do consumo de eletricidade, que não conseguia atender toda a população, ocasionando muitas reclamações; a qualidade do serviço era ainda precária e deixava muitas indústrias e domicílios sem energia e, somado a tudo isso, ainda havia o alto custo desta modalidade de energia³⁷.

Apesar disso, a energia elétrica contribuiu e muito para a cidade e sua população no que tange o seu desenvolvimento industrial, uma vez que Juiz de Fora foi, e ainda é, considerada como lócus para todo o Estado de Minas. Sua relevância está enraizada nesta formidável eclosão do surto industrial no município que foi palco de um extraordinário avanço tecnológico e científico de todo o país.

Quase após um século de existência, a CME foi adquirida pelas Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG) em 1980, incluindo os seus bens imóveis e instalações técnicas. Ao final do ano seguinte, dezembro de 1981, em função do início de uma obra de reforma em uma agência dos Correios, é lavrado um documento solicitando a preservação paisagística das antigas instalações da CME, situada ao lado da referida agência dos Correios. Em meados de 1982, dá-se início ao processo que culminaria no decreto de tombamento nº 2863, de janeiro de 1983, o qual insere no livro do tombo os dois edifícios da Rua Espírito Santo, no centro da cidade – conhecidos popularmente como os “castelinhos” da Cemig – bem como o edifício da primeira usina hidrelétrica da América Latina e suas instalações técnicas, localizado na Cachoeira dos Marmelos, no km 182 da estrada União e Indústria, bairro Retiro.

Ainda hoje podemos desfrutar do Patrimônio Arquitetônico e Cultural proveniente do século XIX percebido através do prédio da extinta fábrica têxtil, da Usina Marmelos Zero (hoje, espaço cultural), dos edifícios originários da Companhia Mineira de Eletricidade, dentre outros.

37 GIROTTI, Domingos. *Op. cit.*, p. 130.

De usina hidrelétrica a espaço cultural: uma breve contextualização

A constituição de patrimônios culturais é uma característica dos Estados modernos, que por meio de diversas ações, delimitaram um conjunto de bens do espaço público para serem preservados. A seleção do que seria legado às gerações futuras, de forma alguma foi passível de neutralidade, mas sim estiveram intimamente ligadas a opções políticas, ideologias, enfim, a discursos de poder.

Ao focarmos na cidade de Juiz de Fora, podemos perceber que parte significativa dos edifícios provenientes do período abordado foram preservados. Nesse sentido, o próprio espaço urbano de Juiz de Fora oferece uma importante oportunidade de se relativizar contextos dentro de uma mesma temporalidade, demarcar diversidades econômicas, sociais e produtivas, comparar momentos históricos, suas durabilidades, continuidades e rupturas. Estamos falando de uma cidade cuja história conjuga um forte capital agrário, escravocrata e exportador, com um exponencial capital urbano, industrial e assalariado. Um centro urbano no qual se conjugam fábricas de tecido e sobrados do tempo do baronato do café.

Se tratando da Usina Marmelos Zero, o prédio foi reutilizado, transformando-se em espaço cultural e aberto à visitação pública em 05 de setembro de 1989, nas comemorações do centenário de sua inauguração. Posteriormente, a CEMIG e UFJF assinam, no ano 2000, um protocolo de intenções que define as mútuas responsabilidades sobre a administração do museu. Em 2005, o IEPHA/MG inclui no livro do tombo o restante do Complexo Arquitetônico de Marmelos, ou seja, as usinas I e II e a Vila dos Operários, bem como o prédio Zero e todo o acervo do Museu Usina Marmelos Zero.

Vale ressaltar que nas sociedades contemporâneas as renovações nos diversos setores são cada vez mais velozes. Pode-se observar a insurgência de “movimentos preservacionistas”, “movimentos sociais” dentre outros, que se apropriam de diferentes discursos, ressaltando aspectos como: preservação, identidade e memória. Nesse contexto, como destaca Mário Chagas, o “museu está passando por um processo de democratização, de ressignificação e de devoração” (CHAGAS, s/r).

Pensando na multiplicidade de papéis do espaço museológico, neste caso o Museu Usina de Marmelos Zero, percebemos que o seu potencial pedagógico é relevante e profícuo para observações e reflexões. Como aponta Ramos:

(...) o museu sempre teve o caráter pedagógico – intenção, nem sempre confessa de defender e transmitir certa articulação de ideias, seja o nacionalismo, a classificação geral dos elementos da natureza, o elogio a determinadas personalidades, o conhecimento sobre certo período histórico, a chamada “consciência crítica”.³⁸

Logo, o museu não é um espaço neutro e ao reconhecer seu potencial educativo e polifônico se destaca como lugar de produção de conhecimento.

No contexto educacional percebemos a relevância dos diversos agentes enquanto mediadores de conhecimentos e as diversas possibilidades de se trabalhar o conteúdo escolar. Logo, os museus devem ser apreendidos como prolongamento das salas de aula, lócus que possibilita diálogos interdisciplinares, que instiga nos visitantes o olhar mais aprofundado dos objetos em exposição e no caso do Museu Usina Marmelos Zero, da própria edificação onde abriga a exposição permanente.

Em suma, o Museu Usina de Marmelos Zero e sua equipe interdisciplinar está atenta ao seu potencial pedagógico, procurando promover diálogos entre o presente e o passado, a história mundial, nacional e local. Também entre os agentes sociais consagrados, e os que participaram tão ativamente quanto os primeiros, mas não tem suas faces representadas em peças de bronze e seus nomes batizando ruas atuais. O discurso museal não é neutro e nossa função primordial é proporcionar aos nossos visitantes os diferentes pontos de vistas que compõem as Histórias.

38 RAMOS, Francisco Régis Lopes. *A danação do objeto: o museu no ensino de história*. Chapecó: Argos, 2004.

Referências

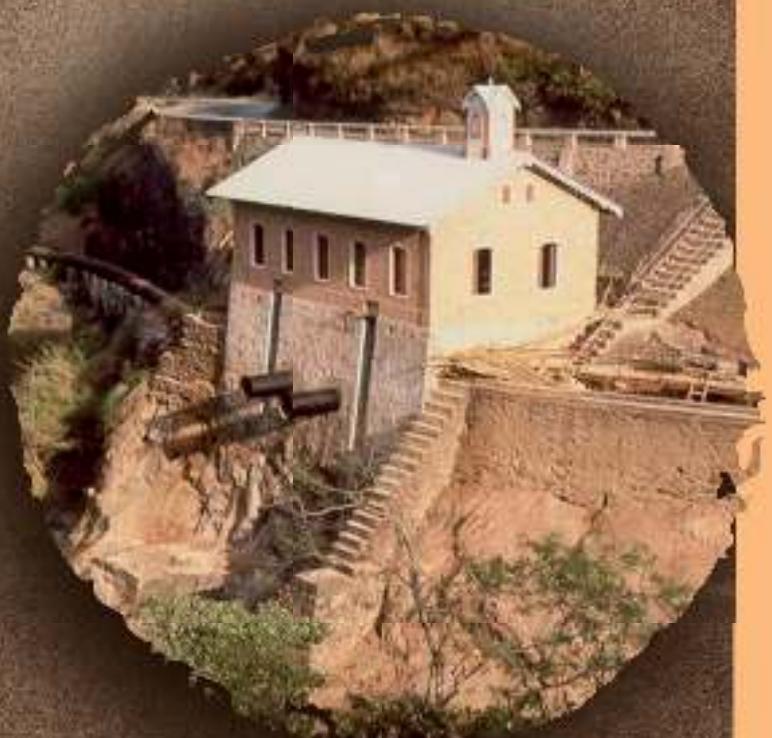
- BARROS, Cleyton Souza. **Eletricidade em Juiz de Fora:** modernização por fios e trilhos (1889-1915). 2008. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.
- BASTOS, Wilson de Lima. **Mariano Procópio Ferreira Lage:** sua vida, sua obra, descendência, genealogia. Juiz de Fora: Paraibuna, 1991.
- CEMIG – UFJF. **Companhia Mineira de Eletricidade. Belo Horizonte:** Cemig, 1994. (Projeto Memória da Cemig).
- GIROLETTI, Domingos. **Industrialização em Juiz de Fora:** 1850 a 1930. Juiz de Fora: Editora UFJF, 1988.
- GUIMARÃES, Elione Silva. **Múltiplos viveres de afrodescendentes na escravidão e no pós-emancipação:** família, trabalho, terra, conflito (Juiz de Fora – MG 1828-1928). São Paulo: Annablume; Juiz de Fora: Editora FUNALFA, 2006.
- GUIMARÃES, Elione Silva; GUIMARÃES, Valéria Alves. **Aspectos cotidianos da escravidão em Juiz de Fora. Juiz de Fora:** Editora FUNALFA, 2001.
- LESSA, Jair. **Juiz de Fora e seus pioneiros (do Caminho Novo à Proclamação).** Juiz de Fora: Editora UFJF; Editora FUNALFA, 1985.
- MARCOVITCH, Jacques. **Pioneiros e empreendedores.** São Paulo: Edusp, 2005.
- MASCARENHAS, Nelson Lage. **Bernardo Mascarenhas:** o surto industrial de Minas Gerais. Rio de Janeiro: Aurora, 1954.
- MAXWELL, Kenneth. **A devassa da devassa:** a Inconfidência Mineira Brasil-Portugal (1750-1808). Tradução: João Maia. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 1977.
- NEVES, José Alberto Pinho; DELGADO, Ignácio José Godinho Delgado; OLIVEIRA, Mônica Ribeiro de (org.). **Juiz de Fora: história, texto e imagem.** Juiz de Fora: Editora FUNALFA, 2004.
- O PHAROL. Juiz de Fora: [s. n.], 19 abr. 1877 – 10 maio 1877.
- OLIVEIRA, Mônica Ribeiro de. **Negócios de Família: mercado, terra e poder na formação da cafeicultura mineira – 1780-1870.** Bauru: EDUSC; Juiz de Fora: Editora FUNALFA, 2005.

PIRES, Anderson José. **Capital agrário, investimentos e crise da cafeicultura de Juiz de Fora – 1870-1930.** 1993. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Humanas e Filosofia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1993.

RAMOS, Francisco Régis Lopes. **A danação do objeto:** o museu no ensino de história. Chapecó: Argos, 2004.

ROCHA, Cesar Henrique Barra. **Zona da Mata Mineira:** pioneirismo, atualidade e potencial para investimento. Juiz de Fora: Editora FUNALFA, 2008.

VAZ, Alisson Mascarenhas. **Bernardo Mascarenhas:** desarrumando o arrumado: um homem de negócios do século XIX. Belo Horizonte: Cedro, 2005.



Capítulo 3

A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Thiago Luiz Linhares Priamo

A energia elétrica, apesar de invisível, é fundamental para a nossa sociedade. Ela está fortemente presente em nossas vidas, como na iluminação das ruas e residências, nos eletrodomésticos, nos aparelhos eletrônicos, no aquecimento da água, na refrigeração do ar, na indústria para funcionamento de máquinas em geral etc.

Portanto, a energia elétrica é a grande responsável pelo conforto e comodidade da vida moderna e foi a partir de sua utilização que muitas tecnologias puderam ser desenvolvidas.

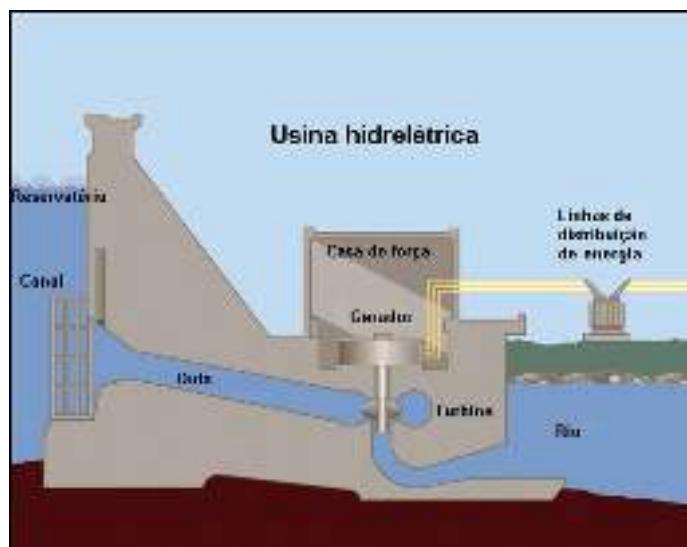
A geração da energia elétrica é realizada em usinas, que são construídas especificamente para este fim. Existem vários tipos de usinas de geração de energia, porém o princípio básico de funcionamento de todas elas é o mesmo. Uma força faz girar uma turbina que por sua vez aciona um gerador que “gera” a energia elétrica. Essa força pode ser gerada a partir da água, nas usinas hidrelétricas ou vapor nas usinas termelétricas, por exemplo. Mais tarde falaremos de outras formas de geração de energia.

Além das usinas hidrelétricas

O prefixo da palavra hidrelétrica, “hidro”, refere-se à água, de modo que essas usinas utilizam a água para gerar energia. A ideia de utilizar água como fonte de energia é antiga, sendo uma usina hidrelétrica comparável a um moinho de água gigante. Há mais de 2000 anos, os gregos utilizavam moinhos de água para transformar trigo em farinha. Estes antigos moinhos de água são como as turbinas modernas, que giram quando o fluxo de água atinge as lâminas da turbina hidráulica.

Como funciona uma usina hidrelétrica?

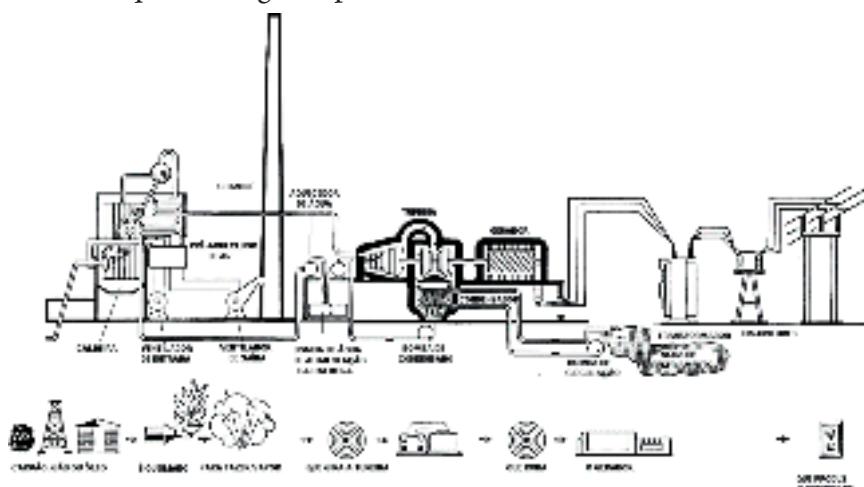
Primeiramente, as águas dos rios vão enchendo um enorme reservatório, delimitado por uma barragem de concreto, depois a água sai por tubos e dentro deles ela corre para a usina geradora, também chamada “casa de força”. A água passa em grande velocidade pela turbina, o movimento da água nas pás da turbina aciona o gerador, que está acoplado mecanicamente à turbina. Após passar pela turbina, a água retorna ao curso natural do rio, por isso dizemos que esse tipo de geração de energia é limpa e renovável, pois não degrada o meio ambiente nem consome matéria-prima de forma definitiva. Embora todas as formas de geração de energia elétrica afetem de alguma forma o meio ambiente, algumas causam um menor impacto ambiental, como é caso das hidrelétricas.



Fonte: adaptada de Wikimedia Commons: commons.wikimedia.org.

As usinas termelétricas, de modo análogo à palavra hidrelétrica, utilizam o prefixo “termo” da palavra termelétrica fazendo referência ao calor, com a água aquecida se transformando em vapor. O princípio de funcionamento é o mesmo da usina hidrelétrica, diferenciando-se apenas pela utilização de equipamentos apropriados ao aquecimento e refrigeração da água.

O esquema a seguir representa uma usina termelétrica:



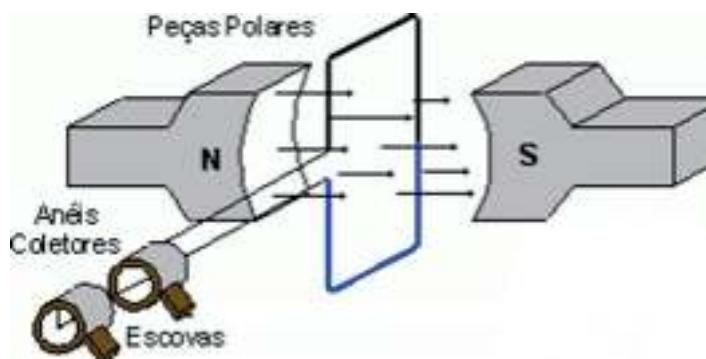
Fonte: adaptada de Alterima: www.alterima.com.br.

Outra forma de geração de energia elétrica é das usinas termonucleares, que são usinas termelétricas com um processo especial para o aquecimento da água, as quais utilizam urânio enriquecido para aquecer a água e transformá-la em vapor. Como o urânio é radioativo, este processo deve ser rigorosamente assistido, já que a exposição indevida desse elemento químico contamina o meio ambiente e causa sérios problemas à saúde humana. No Brasil existe uma usina termonuclear situada na cidade de Angra dos Reis no estado do Rio de Janeiro.

Motores e geradores

O funcionamento de motores e geradores é complexo, pois engloba conceitos e equações que são muito interessantes, mas que exigem conhecimentos específicos, geralmente dominados por técnicos, engenheiros e demais estudiosos da área. Vamos utilizar um esquema simplificado para podermos entender o seu princípio de funcionamento.

Observe o esquema a seguir, composto de dois imãs colocados a uma distância pequena, mas não o suficiente para eles se atraírem, tendo os polos invertidos voltados um para o outro, de modo que uma face representa o polo norte e a outra o polo sul. Entre estes imãs aparece um fluxo magnético, orientado por conta de uma convenção matemática do polo norte para o polo sul. Uma espira girante, que é um fio condutor geralmente de cobre, é colocada entre os imãs.



Fonte: adaptada de Motores, geradores e dinamômetros, do Eng. José Claudio Pereira: www.joseclaudio.eng.br.

Assim, motores e geradores elétricos são compostos de duas partes, uma parte rotativa denominada rotor e uma parte estacionária denominada estator. O ímã representa o estator da máquina e a espira representa o rotor.

Uma tensão (que pode ser chamada também de voltagem ou diferença de potencial-ddp) é induzida nos terminais da espira, sendo esta dependente do fluxo magnético, da velocidade de rotação da espira e de sua geometria.

Podemos definir motores elétricos como sendo máquinas elétricas que transformam energia elétrica em energia mecânica. Existem motores de corrente contínua (CC) e motores de corrente alternada (CA). Nos motores entramos com a potência elétrica e obtemos potência mecânica, que é rotação do eixo do motor.

Como exemplo, vamos utilizar o funcionamento um liquidificador. Quando ligamos este eletrodoméstico na tomada, estamos fornecendo potência elétrica a ele, e assim obtemos a rotação desejada para fazer girar as lâminas que estão acopladas ao eixo do motor; essa velocidade de rotação combinada com lâminas afiadas possibilita a Trituração dos alimentos.

Um modelo típico de motor pode ser visualizado na figura seguinte.



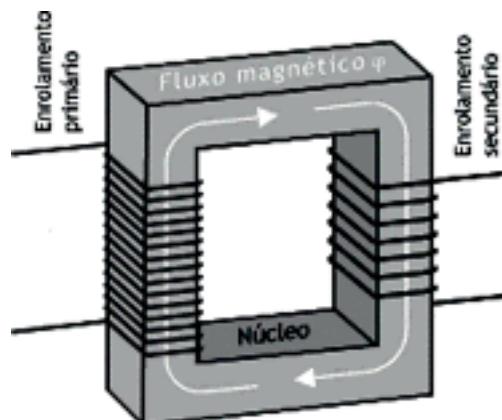
Fonte: adaptada de PxHere: pxhere.com.

De forma complementar, geradores elétricos são máquinas elétricas que transformam energia mecânica em energia elétrica. Os geradores são idênticos fisicamente aos motores, ou seja, a diferença entre ambos não está na estrutura, mas nos parâmetros de entrada e saída. Nos geradores, entramos com a potência mecânica, potência esta gerada, por exemplo, por uma turbina hidráulica, como as que vemos nas usinas, e obtemos potência elétrica, que são tensões e correntes obtidas quando ligamos um aparelho na tomada.

Transformadores

Os transformadores são máquinas elétricas estáticas, ou seja, nenhuma de suas partes se movimenta, como é o caso de motores e geradores. Esta máquina funciona com base no princípio da indução eletromagnética, sendo usada para transferir energia elétrica entre dois ou mais circuitos elétricos magneticamente acoplados, com mudança de tensão e corrente, mantendo a frequência constante.

A figura a seguir representa um transformador, que é constituído de duas bobinas montadas sobre um núcleo magnético; a bobina que recebe energia é denominada primária e a outra é denominada secundária. A corrente elétrica que passa pelo enrolamento primário induz uma tensão no enrolamento secundário.



Fonte: adaptada de www.mspc.eng.br.

O transformador, como todas as máquinas elétricas, apresenta perdas de energia útil, e essas perdas causam o seu aquecimento, podendo ser este aquecimento resfriado com óleo mineral. O transformador na figura a seguir apresenta uma carcaça protetora, dentro do qual foi colocado óleo mineral; as partes laterais são denominadas aletas e também servem para sua refrigeração.



Fonte: adaptada de A.cabine: www.acabine.com.br.

Transmissão da energia elétrica

A transmissão da energia elétrica deve ser bem planejada e estruturada devido ao fato de os grandes centros consumidores de energia em geral estarem muito afastados das usinas geradoras de energia. As usinas termelétricas podem ser construídas próximas aos centros consumidores, devido a não necessidade de condições ambientais para a sua implementação, porém a escolha do local de construção de uma usina hidrelétrica depende das características geológicas do ambiente, ou, em outras palavras, depende do potencial hidráulico do local. A geração hidráulica é responsável por grande

parte da geração de energia no Brasil, devido à privilegiada hidrografia de nosso País, além do fato de ser uma energia relativamente barata e limpa.

Para transmissão da energia elétrica são utilizados transformadores elevadores, pois elevando-se a tensão a corrente é diminuída, acontecendo menos perdas durante o percurso em função de menor taxa de conversão de energia elétrica em calor. Quando as redes de transmissão (imagem a seguir) se aproximam das cidades, a tensão é abaixada utilizando transformadores abaixadores, e a energia é distribuída para os consumidores primários, que são as indústrias. Finalmente, a tensão é novamente abaixada para atender aos consumidores primários, que são as residências.



Foto: Tony Boon. Fonte: Wikipédia: www.wikipedia.org.

Mais sobre as usinas hidrelétricas

As usinas hidrelétricas utilizam a água (energia hidráulica) para a geração de energia elétrica. Por isso, são consideradas fontes de energia renováveis e limpas, pois não se esgotam nem poluem o meio ambiente, diferen-

temente da queima dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, gás natural), que são fontes de energia altamente poluentes e não renováveis. Apesar disso, as usinas hidrelétricas podem causar alguns impactos ambientais, como desmatamento da área a ser inundada, perda da biodiversidade terrestre e aquática, inundação de grandes áreas de matas, que apodrecem debaixo d'água, permitindo a proliferação de mosquitos causadores de doenças. Pode acontecer também interferência na migração de peixes, mudanças no curso do rio após a barragem, perda de solos agricultáveis e de material arqueológico e riquezas pré-históricas alocadas no subsolo da área alagada, além do deslocamento de moradores nas áreas a serem inundadas.

De acordo com a Legislação Ambiental, o projeto de construção de uma usina hidrelétrica, assim como qualquer outro empreendimento que possa causar impactos ambientais, necessita de um Estudo Ambiental que engloba, entre outros, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Estes irão analisar os possíveis impactos ambientais de um determinado empreendimento e as medidas para diminuir seus efeitos. Tais estudos devem ser realizados por empresas de consultoria ambiental, contratadas pelo empreendedor. Com a elaboração desses estudos, o empreendedor os encaminha ao(s) órgão(s) ambiental(is) pertinente(s), que poderá(ão) ou não aprovará-los, assim como sugerir modificações. Caso aceito, o EIA/RIMA é colocado à disposição do público e realizada(s) audiência(s) pública(s) pelo(s) órgão(s) ambiental(is). O empreendedor apresenta o empreendimento e a empresa de consultoria apresenta o EIA/RIMA para o público presente. Após tais providências, o(s) órgão(s) ambiental(is) faz(em) exigências e concede(m) ou nega(m) a Licença Ambiental, que é um documento com prazo de validade definido no qual o(s) órgão(s) ambiental(is) estabelece(m) regras, condições, restrições e medidas de controle ambiental a serem seguidas pelo empreendimento que está sendo licenciado.

Para a construção de uma usina hidrelétrica, deve-se integrar a vazão do rio (volume de água transportado em determinado período de tempo) e os desníveis do relevo, naturais como as quedas d'água, ou artificiais, criados pelo próprio homem.

As usinas hidrelétricas, de acordo com o reservatório formado pela barragem, podem ser de dois tipos: usinas com reservatórios de acumula-

ção e usinas a fio d'água. As usinas com reservatório de acumulação permitem o acúmulo de grande quantidade de água, garantindo a geração de energia elétrica mesmo em períodos de estiagem (pouca água); já as usinas a fio d'água geram energia com o fluxo de água do rio, acumulando pouca ou nenhuma água, como foi o caso da Usina de Marmelos Zero. Essas últimas geram menos impactos ambientais do que as usinas com reservatório de acumulação.

Com relação à potência de uma usina hidrelétrica, essa pode ser classificada em três tipos, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel): Centrais Geradoras Hidrelétricas ou Minicentrais Hidrelétricas (com até 1 MW de potência instalada), Pequenas Centrais Hidrelétricas (entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada) e Usina Hidrelétrica de Energia (com mais de 30 MW). Para referência, devemos lembrar que 1 MW (1 megawatt) = 1000 KW (1000 quilowatts).

Unidades geradoras de eletricidade no Brasil

No Brasil, a geração de energia elétrica conta com as Centrais Geradoras Hidrelétricas, as Pequenas Centrais Hidrelétricas, e as Usinas Hidrelétricas. Também existem outras contribuições para a geração de eletricidade, como, por exemplo, as Centrais Geradoras Eolioelétricas (energia dos ventos), Centrais Geradoras Solares Fotovoltaicas (energia solar), Usinas Termelétricas de Energia (energia proveniente da queima de combustíveis fósseis) e Usinas Termonucleares (energia proveniente da fissão – quebra – de átomos de um elemento radioativo).

A grande participação de usinas hidrelétricas na geração de energia elétrica no Brasil se explica pelo fato de nosso país possuir muitos rios e um relevo acidentado, com grandes desniveis, contando assim com um enorme potencial hidráulico, o que favorece sobremaneira a implantação de usinas hidrelétricas.

Um grande potencial hidrelétrico instalado no Brasil está nas bacias dos rios Paraná e São Francisco, onde se localizam grande parte das maiores usinas hidrelétricas do país. Tal fato se dá porque os rios dessas bacias percorrem trechos com grandes desniveis, logo, favoráveis à implantação de

usinas hidrelétricas. Além disso, no caso da bacia do rio Paraná, vários de seus rios drenam as regiões Sudeste e Sul, que são grandes centros consumidores de energia elétrica.

A Usina de Marmelos Zero e o Rio Paraibuna

A Usina de Marmelos Zero está localizada na Estrada União & Indústria, no bairro Retiro, às margens do rio Paraibuna, no município de Juiz de Fora, em Minas Gerais.

O rio Paraibuna é o principal rio da cidade de Juiz de Fora. O nome “Paraibuna” vem de “Parayuna”, nome dado pelos índios Caxinoás que viviam na região de Juiz de Fora, e que significa “rio de águas escuras” pelo fato de o rio correr sobre rochas escuras. Ele nasce na serra da Mantiqueira, entre os municípios de Antônio Carlos e Bias Fortes (MG), a cerca de 1200 m de altitude, e deságua no rio Paraíba do Sul, no município de Três Rios (RJ). Possui um comprimento de aproximadamente 166 km desde sua nascente até sua foz, recebendo em seu curso vários afluentes. Corta a área central de Juiz de Fora no sentido geral Norte/Noroeste – Sul/Sudeste. O rio Paraibuna desempenhou um importante papel na história da cidade, pois propiciou sua ocupação inicial.

No trecho que perpassa Juiz de Fora, o Paraibuna possui uma pequena declividade, percorrendo trechos mais planos, de remanso. Logo após o bairro Vila Ideal, percorre trechos de corredeiras, possuindo um regime torrencial, apresentando várias quedas d’água, o que explica o interesse de Bernardo Mascarenhas em construir a Usina de Marmelos Zero naquele local.

O clima de Juiz de Fora é o tropical de altitude, caracterizado pela alternância de dois períodos diferentes: verão quente e chuvoso, entre os meses de outubro a março, e inverno frio e seco, entre os meses de abril e setembro. Assim, o rio apresenta grande volume de água nos períodos de chuva e menor volume de água nos períodos de estiagem.

Entre os municípios de Juiz de Fora e Ewbank da Câmara existe a barragem de Chapéu D’Uvas, que represa as águas do rio Paraibuna. A construção dessa barragem foi concluída em 1994, tendo por finalidade a regulação do volume de água do rio. Nos períodos de chuvas, suas compor-

tas são fechadas para acumular água e evitar que o rio provoque enchentes; já nos períodos de estiagem, suas comportas são abertas para aumentar o volume de água do rio e assim diminuir sua poluição de modo a aumentar a geração de energia elétrica nas usinas de Marmelos 1 e 2, Paciência (Usina 3) e Joasal (Usina 4).

Em 1940, após uma forte chuva, houve uma enchente do rio Paraibuna que alagou a área central da cidade, chegando até a Avenida Rio Branco. Após o ocorrido, foi feita a retificação do rio na área central da cidade, para que ele pudesse seguir com maior velocidade, evitando assim posteriores enchentes.

No curso do rio próximo à Usina de Marmelos Zero, podemos observar vários blocos de rocha, uns que se desprenderam das encostas (morfos) e outros que foram trazidos pelo rio, há milhares ou até milhões de anos atrás. Esses blocos de rocha também contribuíram para a formação das quedas d'água nesse trecho.

No entorno do museu, apesar de existirem algumas manchas de desmatamento, percebe-se considerável cobertura vegetal, com árvores nas margens do rio (matas ciliares) e vegetação mais baixa e outras árvores nas encostas. Na margem direita do rio, onde está localizado o museu, tem-se a Estrada União & Indústria, que interliga Juiz de Fora a Petrópolis. Já na margem esquerda do rio, há um pequeno bairro chamado Niterói e a presença da ferrovia D. Pedro II. Nesse trecho, observamos um corte na encosta, que foi feito justamente para abrir caminho para a construção da ferrovia.

Com relação à construção da Usina de Marmelos Zero, não há registros históricos de que havia uma preocupação com os possíveis impactos ambientais causados pela construção e operação da usina. As questões relacionadas à preocupação com os problemas e impactos ambientais em escala mundial só viriam a surgir na segunda metade do século XX.

A usina funcionou com um sistema de geradores com potência de 250 KW. Ela seria, dessa forma, enquadrada atualmente como uma Central Geradora Hidrelétrica, pois tinha uma potência inferior a 1 MW. Além disso, era uma usina a fio d'água, por sua barragem não acumular grande quantidade de água e ser utilizada apenas parte da água do fluxo do rio Paraibuna para movimentar suas turbinas. Aliado a essas questões, ela aproveitou as quedas d'água naturais do rio. Assim, devido aos fatores mencionados, acredita-se que a Usina de Marmelos Zero não teria causado grandes impactos ambientais.

As Usinas de Marmelos 1 e 2 se localizam a alguns metros da Usina de Marmelos Zero, próximas ao Grêmio Recreativo e Cultural dos empregados da Cemig (Gremig). Ao contrário da Usina Zero, onde funciona o Museu, as Usinas 1 e 2 ainda geram energia elétrica até a presente data, porém, a Usina 1 é dividida em 1A e 1B, e somente a 1B está ativada. A Usina 3 (Usina da Paciência), localizada no município de Matias Barbosa, e a Usina 4 (Usina de Joasal), localizada em Juiz de Fora, próximo ao município de Matias Barbosa, distantes alguns quilômetros da Zero, também se encontram em funcionamento. Suas respectivas potências são: Marmelos 1 e 2 – 4000 KW; Paciência – 4080 KW; Joasal – 8000 KW. A energia gerada nessas usinas abastece alguns bairros de Juiz de Fora e cidades como Matias Barbosa, Bicas, Mar de Espanha e Belmiro Braga, entre outras da região. Todas essas usinas, situadas às margens do rio Paraibuna, formam o Complexo de Marmelos e são administradas pela Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig.

Atualmente, um grave problema enfrentado pelo rio Paraibuna é o seu elevado grau de poluição, decorrente tanto do lançamento de esgoto doméstico e industrial produzidos pela cidade, como pelo hábito de várias pessoas de jogarem lixo e outros detritos em seu curso. O lançamento de esgoto é feito no próprio rio ou em seus afluentes. Devido a esses fatos, aliado à retirada da cobertura vegetal em vários trechos nas margens do seu curso, o Paraibuna é considerado um “rio morto” entre a cidade de Juiz de Fora e a Usina de Joasal, não apresentando condições de abrigar vida aquática. No trecho do rio Paraibuna, que passa pela Usina de Marmelos Zero, também percebemos, infelizmente, a grande quantidade de lixo presente em suas margens, trazida do centro da cidade pelo rio e que se acumulam nesse local.

Por conta desse cenário, é imperativo que sejam realizadas ações para que o rio Paraibuna seja despoluído. Além disso, deve haver uma conscientização por parte das pessoas para que não joguem lixo no rio, pois assim estarão contribuindo para a não degradação do Paraibuna e para a revitalização e preservação do meio em que vivemos.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 3. ed. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008. Antes disponível em: www.aneel.com.br. Acesso em: 1 maio 2009.

BASTOS, A. C. S.; ALMEIDA, J. R. de. Licenciamento Ambiental Brasileiro no Contexto da Avaliação de Impactos Ambientais. In: CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. **Avaliação e perícia ambiental.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

CEMIG. **Usinas.** Juiz de Fora: Cemig. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/usinas/>. Acesso em: 30 out. 2009.

CESAMA. **Rio Paraibuna.** Juiz de Fora: Cesama. Disponível em: <https://www.cesama.com.br/pesquisa-escolar/rio-paraibuna>. Acesso em: 30 out. 2009.

CHAPMAN, S. J. **Electric machinery fundamentals.** Nova York: McGraw Hill, 2005.

CONCEIÇÃO, A. L. da; BENETTI, B.; PINTO, D. A. **Estudos do meio: usinas hidrelétricas e impactos ambientais (versão preliminar)** – Roteiros da Usina Pedagógica. Rio Claro, SP: Museu da Energia – Usina-Parque do Corumbataí, 2005. (Roteiros didáticos).

FLORIANONET. **Setor Elétrico Brasileiro.** [S. l.]: FlorianoNet Ltda. Antes disponível em: <http://www.florianonet.com.br/eficienciaenergetica/setor.html>. Acesso em: 30 out. 2009.

FUCHS, R. D. **Transmissão de energia elétrica: linhas aéreas; teoria das linhas em regime permanente.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; Itajubá: Escola Federal de Engenharia, 1977.

HOWSTUFFWORKS. Disponível em: www.howstuffworks.com. Acesso em: 3 abr. 2010.

ÍSOLA, L.; CALDINI, V. **Atlas Geográfico Saraiva.** São Paulo: Saraiva, 2005.

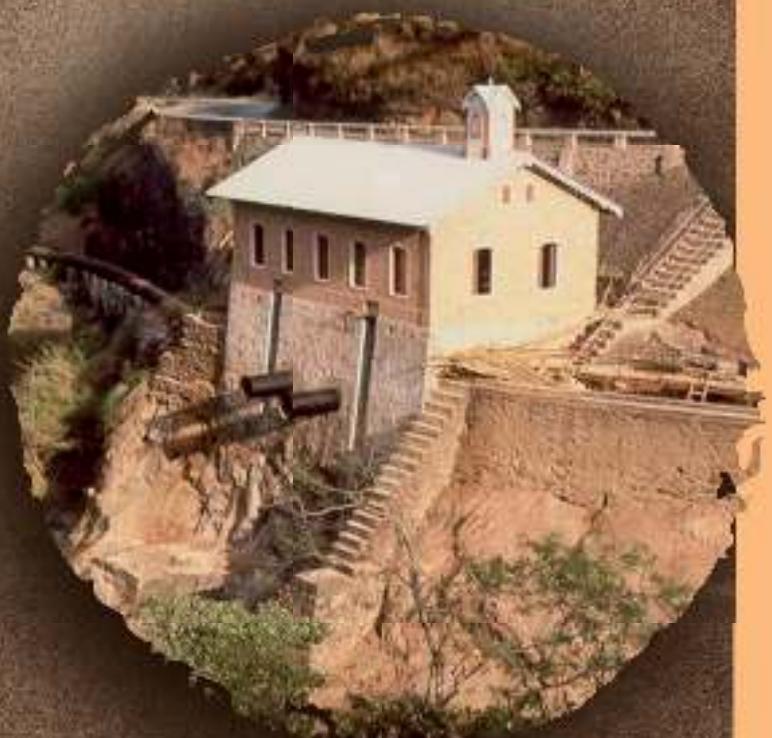
LICENCIAMENTO AMBIENTAL. **A importância do licenciamento ambiental.** Licenciamento Ambiental, [s. l.], 17 jun. 2008. Disponível em: <http://www.licenciamentoambiental.eng.br/a-importancia-do-licenciamento-ambiental/>. Acesso em: 3 abr. 2010.

MACHADO, P. J. O. **Notas de aula da disciplina de Hidrogeografia.** Juiz de Fora: Curso de Geografia – UFJF, 2007.

MOREIRA, J. C.; SENE, E. de. **Geografia Geral e do Brasil:** espaço geográfico e globalização. 3. ed. São Paulo: Scipione, 2007.

STAICO, J. **A bacia do rio Paraibuna em Juiz de Fora.** Juiz de Fora: Editora UFJF, 1976.

VALE, E. L. do; CHAVES, O. C. **Pequenas Centrais Hidrelétricas:** conceitos e impactos ambientais. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Aperfeiçoamento/Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.



Capítulo 4

O SURGIMENTO DA ELETRICIDADE

Rafael Schepper Gonçalves

José Roberto Tagliati

Eletricidade em nossas vidas

Em nosso dia a dia, estamos acostumados a lidar com vários aparelhos como televisores, chuveiros elétricos, computadores, celulares e tantos outros que vão surgindo a cada dia. No entanto, raramente nos questionamos sobre o princípio de funcionamento de cada um destes dispositivos, tão presentes em nossas vidas. Entretanto, é fácil percebermos que existe algo em comum a todos esses aparelhos, ou seja, eles precisam de eletricidade para funcionar.

Os fenômenos associados à eletricidade estão mais presentes no nosso cotidiano do que possamos imaginar. Por exemplo, nos raios – descargas elétricas que ocorrem entre duas nuvens ou entre nuvens e a terra. A eletricidade também está presente em todas as reações químicas, que ocorrem por meio de forças elétricas, ou nos estímulos elétricos que percorrem os nervos para nosso cérebro dar ordens a nossos músculos, e muitos outros exemplos que poderíamos enunciar.

Pelo que observamos até aqui, a eletricidade é tão importante e tão necessária para nós quanto o ato de respirar. E, baseando-nos em tal importância, julgamos ser necessário e essencial que o leitor tenha uma noção básica das origens e evolução dos conceitos vinculados à Eletricidade e ao Magnetismo.

Os primórdios da Eletricidade e do Magnetismo

Provavelmente, as primeiras observações sobre fenômenos elétricos foram realizadas pelos antigos gregos no século VI a.C. Entretanto, é possível que outros povos tenham também observado esses fenômenos. Contudo, os relatos mais antigos de que temos registros são os dos gregos. Possivelmente, o primeiro a fazer observações acerca de fenômenos elétricos tenha sido o filósofo grego Tales de Mileto (c. 624 – 546 a.C.). A primeira observação teria sido feita com um material chamado âmbar (elektron, do grego e de onde se origina a palavra eletricidade). O âmbar é resultante do endurecimento da seiva de uma espécie de árvore extinta há milhões de anos. Tales teria atritado um bastão de âmbar com um pedaço de lã ou pele de animal e percebeu que o bastão de âmbar adquiria a propriedade de atrair objetos “leves”, como, por exemplo, pedaços de palha, penas, fios de algodão e fios de cabelo.

É também na Grécia que encontramos as primeiras observações referentes aos fenômenos relacionados ao Magnetismo. Segundo Plínio, o Antigo (23 – 79 d.C.), a palavra magnetismo teria derivado do nome de um pastor de ovelhas grego, Magnes, que ficara fascinado ao notar que a ponta de seu cajado fora atraída por uma espécie de pedra que encontrara no caminho. A província grega onde Magnes teria vivido passou a ser denominada Magnésia, e o tipo de pedra que Magnes encontrara pelo caminho, pelo mesmo motivo, passou a ser chamada de magnetita.

Magnes, provavelmente, pode ser fruto da criação da mente de Plínio, mas o nome magnetita, dado à pedra com propriedades especiais, possivelmente advém do fato de a mesma espécie de pedra ter sido encontrada, a princípio, numa região da Grécia conhecida como Magnésia, que está situada próxima da costa grega banhada pelo Mar Egeu, na Tersália.

A origem do termo Magnetismo também é vinculada ao nome de uma região da Ásia Menor, uma cidade chamada Magnésia, a oeste da atual Turquia (na Lídia), onde tais pedras teriam sido achadas, isto talvez por existir já antes do século V a.C., o que nos dá fortes razões para crer que realmente o termo magnetismo tenha se originado nesta região. Independente da origem do termo, teriam sido os chineses os primeiros a realizarem aplicações das propriedades da magnetita, utilizando-as nas bússolas.

As propriedades associadas ao âmbar e à magnetita provocaram, desde as primeiras observações das mesmas, um grande fascínio sobre as pessoas. Porém, do século VI a.C. até o final do século XVI, não ocorreu nenhum progresso no que diz respeito à explicação científica dessas propriedades.

Avançando um pouco mais com as “constatações elétricas”

Até o final do século XVII, pouco se sabia a respeito da eletricidade; não tínhamos, sequer, uma distinção clara entre os fenômenos elétricos (eletrostáticos) e os fenômenos magnéticos (magnetostáticos). No entanto, em 1550, o matemático italiano Girolano Cardano (1501 – 1576), após realizar vários estudos, conseguiu estabelecer claramente as diferenças entre as propriedades do âmbar e as do ímã – provavelmente, o que despertou o interesse inicial de Cardano por esses estudos foram as supostas propriedades de valor medicinal que o âmbar teria.

Ainda no final do século XVII, o físico e médico inglês Willian Gilbert (1544 – 1603) publicou o seu famoso tratado *De Magnete*, composto de seis livros, nos quais reuniu seus estudos sobre os fenômenos elétricos e magnéticos (nesse tratado, Gilbert enfatizou a diferença entre os efeitos produzidos pelo âmbar e pelo ímã, sem citar os trabalhos de Cardano, embora parecer conhecê-los). Gilbert registra em *De Magnete* todos os fatos relevantes conhecidos sobre as manifestações elétricas e magnéticas e faz várias observações originais sobre elas.

Gilbert, fundamentando-se em suas experiências e retomando *elektron*, chamou de elétricos os materiais que se comportavam como o âmbar e de não elétricos os que não se comportavam. Gilbert declarava que certos corpos, quando atritados, emitiam um *effluvium* magnético, de natureza material, que seria liberado pelo calor produzido no corpo, através do atrito. Esse *effluvium*, segundo Gilbert, expandia-se em todas as direções e atuava sobre os corpos vizinhos e os atraía.

Por volta de 1602, o livro de Gilbert (*De Magnete*) já era conhecido na Itália, onde havia muita gente capaz de reconhecer a relevância dos seus trabalhos, como no caso do erudito jesuíta italiano Nicolo Cabeo (1586-

1650), que, por sua vez, tem seu nome associado à repulsão elétrica. O que despertou a atenção de Cabeo em *De Magnete* talvez tenha sido a hipótese levantada por Gilbert (vinculada ao magnetismo) sobre o movimento de rotação da Terra. Cabeo investigou possíveis equívocos e omissões nos trabalhos de Gilbert, acrescentando novos materiais à lista dos “elétricos” e concluiu que as hipóteses levantadas por Gilbert, sobre as origens do comportamento dos “elétricos”, estavam incorretas. Notou que, depois de determinados objetos tocarem em outros corpos eletrizados, eles normalmente se afastavam como se fossem repelidos, o que não tinha sido observado por Gilbert e poderia ter-se constituído na descoberta da repulsão elétrica, que não poderia ser explicada por meio da noção de *effluvium*, da maneira como Gilbert imaginara. Cabeo, porém, não compreendeu este fenômeno como sendo de repulsão elétrica, mas sim como se tivesse natureza mecânica. A primeira descrição da repulsão elétrica, compreendida como tal, foi feita por Thomas Brawne (1605-1682), em 1646.

Para Cabeo, a presença de ar seria essencial para que ocorresse a atração elétrica. Não tardou muito para que alguém resolvesse produzir o vácuo, em que tal hipótese pudesse ser testada. As primeiras tentativas foram realizadas na Accademia del Cemento (Academia de Experimentos)³⁹, de Florença, por volta de 1667, quando lá foram realizados experimentos para ver se o âmbar ou outros corpos elétricos requerem o ar como meio para exercerem suas atrações. A dificuldade de produzir vácuo impediu que os resultados obtidos pelos acadêmicos de Florença fossem conclusivos. No entanto, apesar deste aparente insucesso, eles descobriram que a atração elétrica era mútua, ao contrário do que Gilbert pensava.

Em 1675, na Inglaterra, Robert Boyle (1627-1691), com a ajuda de uma bomba de produzir vácuo, inventada na Alemanha pouco antes por Otto von Guerike (1602-1681), concluiu que a atração ocorre tanto no vácuo quanto na presença de ar.

Em seu trabalho sobre o Magnetismo (1269), o engenheiro militar francês Pierre de Maricourt, conforme nos conta José Fernando Moura Rocha, “compilou tudo que se sabia até então sobre Magnetismo e agregou a isto suas próprias experiências e observações. Ele foi também o primeiro a

³⁹ Esta academia foi fundada em 1657 pelos discípulos de Galileu e pode ser considerada como antecessora dos nossos modernos institutos de pesquisa, embora tenha durado poucos anos.

pôr em evidência uma das questões fundamentais do Eletromagnetismo: a questão dos *monopolos magnéticos* – ao observar que não podia isolar um polo ou carga magnética. Em 1931, entretanto, o físico inglês Paul A. Dirac (1902-1984), explorando alguns aspectos relativos às equações de Maxwell, apresentou argumentos bastante fortes a favor dos monopolos magnéticos.

A Eletricidade pouco se desenvolveu durante o século XVII, desde Gilbert. No entanto, novos caminhos seriam abertos no início do século XVIII⁴⁰, principalmente a partir da descoberta dos fenômenos da condução elétrica e da indução elétrica. Esses conceitos foram introduzidos na Física, em 1729, pelo inglês Stephen Gray (1666-1736). Neste ano, Gray comunicou sua importante descoberta de que a “virtude elétrica” de um tubo de vidro atritado pode ser transmitida a outros corpos com os quais ele está em contato e, então, dar-lhes a mesma propriedade de atração que possui o tubo atritado. O físico John Theophilus Desaguliers (1683-1744), que era um destacado membro da Royal Society, de Londres, comunicou esta descoberta à mesma e, posteriormente, Gray a publicou, junto com alguns novos experimentos, num artigo publicado na Revista *Philosophical Transactions* daquela sociedade. Foi como membro da Royal Society que Charles du Fay (1698-1739) (ou Dufay) ficou conhecendo os trabalhos de Gray.

Após analisar os trabalhos de Gray e realizar suas próprias experiências, Dufay descobriu, em 1734, a existência de duas espécies de eletricidade, hoje conhecidas como positiva e negativa e, na época, denominada por ele de eletricidade vítreia e eletricidade resinosa, respectivamente. Dufay observou que a repulsão ou atração de duas esferas dependia de como elas eram eletrizadas. A característica desses dois tipos de eletricidade é a de que um corpo com eletricidade vítreia repele todos aqueles com esta mesma eletricidade e atraí todos aqueles com eletricidade resinosa (algum tempo depois de Dufay, mostrou-se que um mesmo corpo pode adquirir, por atrito, uma ou outra eletricidade, dependendo do seu estado de polimento e da substância com que se atrita).

40 É importante ressaltar que o estudo intensivo dos fenômenos elétricos como descargas elétricas, choques etc., tornou-se possível devido à invenção e aperfeiçoamento de grandes máquinas elétricas e também pela recém inventada “garrafa de Leyden”.

O cientista francês Jean-Antoine Nollet (1700-1770) deu continuidade aos trabalhos de Dufay. Nollet foi um dos pesquisadores experimentais mais importantes de sua época; inventou diversos equipamentos para apresentar e demonstrar efeitos elétricos, sugeriu novas explicações para os fenômenos observados e também foi um escritor e professor muito talentoso.

Nollet, em 1745, levou ao conhecimento do público suas elucidações para os fenômenos elétricos, que foram amplamente aceitas não somente na França, mas também em outros países europeus. Nollet buscou explicar os fenômenos elétricos através do movimento, em sentidos opostos, de duas correntes de fluido elétrico, que estaria presente em todos os corpos, em todas as circunstâncias. Para Nollet, quando um corpo é excitado por atrito, parte deste fluido escapa por meio de seus poros, provocando uma *corrente efluente*, sendo que esta perda é compensada por uma *corrente afluente* do mesmo fluido vindo de fora. Esses dois tipos de correntes eram diferentes não apenas em sentido, mas também em velocidade e distribuição espacial. Nollet explicou os efeitos de atração e repulsão dos corpos leves próximos do corpo eletrizado, tendo como hipótese que eles eram capturados por duas correntes opostas de fluido elétrico.

As ideias de Nollet sobre eletricidade, ao serem apresentadas à Académie Royale des Sciences pela primeira vez em 1745 no texto “Conjectures sur les causes de l'électricité des corps”, foram imediatamente aceitas e reconhecidas.

Os escritos posteriores de Nollet foram considerados como relevantes contribuições para o desenvolvimento dos estudos relacionados à eletricidade.

Franklin, Coulomb e outros personagens

Por volta da metade do século XVIII, quando o Eletromagnetismo dava os primeiros passos, já havia uma influência muito grande das ideias relacionadas à Mecânica sobre vários ramos da Ciência, e era comum os cientistas realizarem generalizações de modelos mecânicos para tentarem explicar os fenômenos de outros campos da Física. Essa influência atingiu

ria o ramo da Eletricidade, a partir da concepção de que a eletricidade era um fluido que podia escoar por um condutor. Tal concepção aparece como consequência dos trabalhos de Gray e de Dufay, que deram origem a duas hipóteses diferentes para explicar o fenômeno da eletrização dos corpos. Uma delas, denominada teoria do fluido único, foi introduzida, em 1747, pelo físico estadunidense Benjamin Franklin (1706-1790) ao postular a existência de um fluido elétrico que poderia estar em excesso ou em falta nos corpos eletrizados. Conforme Franklin, caso o corpo estivesse com excesso de fluido, ele estaria eletrizado positivamente e isto seria representado pelo sinal (+) e, no caso contrário, ou seja, quando houvesse falta de fluido, seria representado pelo sinal (-). Segundo Franklin, a matéria elétrica era descontínua: “a matéria elétrica consiste de partículas extremamente sutis, pois ela pode penetrar na matéria ordinária”.

A outra hipótese era a teoria dos *dois fluidos*, baseada nos trabalhos de Dufay e defendida, em 1759, por Robert Symmer (1707-1763) e desenvolvida por T. Bergman (1735-1784). Segundo essa teoria, a matéria no estado neutro não mostra propriedades elétricas por possuir quantidades iguais dos dois fluidos imponderáveis, denominados de eletricidade positiva e eletricidade negativa. Um corpo seria considerado neutro se apresentasse a mesma quantidade de cada fluido e estaria eletrizado se tivesse excesso de um dos fluidos⁴¹.

A polêmica entre estas duas teorias demoraria para ser solucionada. Na segunda metade do século XIX, porém, a pesquisa sobre a natureza da eletricidade se intensifica e a ideia de seu caráter corpuscular é finalmente confirmada com a descoberta do elétron (partícula de carga negativa, por convenção). Para realização desta descoberta, contribuíram, entre outros, Wilhelm Eduard Weber (1804-1891) – considerado o precursor da chamada teoria eletrônica –, George J. Stoney (1826-1911) – que imaginou o termo “elétron” –, Joseph J. Thomson (1856-1940) – que mediu pela primeira vez, em 1897, a razão entre a carga e a massa do elétron – e H. A. Lorentz (1853-1928) – que, desde 1880, se dedicou ao estudo da teoria eletrônica da eletricidade.

41 Estas duas espécies de eletricidade eram chamadas de fluidos por serem extremamente móveis dentro de um corpo para outro. Propriedades dos fluidos como inércia, peso e elasticidade não lhes eram atribuídas.

Através da descoberta do elétron, verifica-se que a eletrização de um corpo ocorre quando ele perde ou recebe elétrons, e podemos afirmar que um corpo está carregado positivamente quando lhe faltam elétrons. Esta concepção se aproxima da ideia da falta do fluido de Franklin. Observe, no entanto, que a falta de elétrons deixa o corpo positivamente carregado, enquanto a falta do fluido de Franklin deixaria o corpo negativamente carregado. Note que nestas duas teorias está a origem do princípio da conservação da carga elétrica, na medida em que se supõe que a eletrização se dá por redistribuição e não pela criação do fluido.

Franklin realizou muitas contribuições para o entendimento da electricidade. Contudo, foram seus estudos associados à natureza elétrica dos raios e a invenção do para-raios que o tornaram famoso e reconhecido pela comunidade científica europeia. É importante deixar claro que essas descobertas não aconteceram subitamente depois da realização de um experimento, no caso o suposto experimento da pipa sugerido em 1752. Em muitas ocasiões, Franklin expôs suas ideias a respeito da natureza elétrica dos raios bem antes de propor o experimento da pipa, como pode ser notado em sua carta destinada a John Michell (1724-1793) de 29 de abril de 1749. Franklin relatou nesta carta 56 observações e suposições em direção a uma nova hipótese para explicar os vários fenômenos dos raios⁴²:

[...] O fogo elétrico ama a água, é fortemente atraído por ela e eles podem coexistir [...] 3. O ar é um elétrico por si só e quando seco não conduz o fogo elétrico [...] 4. A água quando eletrizada, os vapores que dela saem também são eletrizados e flutuam no ar na forma de nuvens que mantêm o fogo elétrico até encontrarem outras nuvens ou corpos não tão eletrizados, e então comunicam [o fogo elétrico] a eles [...] 33. quando as partículas eletrizadas da primeira nuvem próxima perdem seu fogo [elétrico], as partículas de uma outra nuvem próxima o recebem [...] A colisão ou solavanco dado no ar também contribui para derrubar a água, não apenas destas duas nuvens, mas também de outras próximas. Portanto a queda súbita da chuva imediatamente acende o relâmpago.

42 Benjamin Franklin citado por Silva e Pimentel, 2007, p. 4.

Nesta mesma carta, Franklin já afirmava que o relâmpago deveria ser um fenômeno elétrico, tanto que advertiu seus leitores de que montanhas altas, árvores, pináculos, mastros e chaminés atuariam como proeminências e pontas, e desta maneira atrairiam o fogo elétrico como se uma nuvem inteira se descarregasse ali. Franklin também alertou seus leitores sobre o perigo de, em meio a uma tempestade de relâmpagos, se abrigarem debaixo de uma árvore.

No dia 29 de julho de 1750, Franklin escreveu novamente a seu amigo Peter Collinson (1694-1768), relatando sua hipótese do fluido *elétrico único* abordada anteriormente, e sugerindo à Royal Society um experimento para analisar a natureza elétrica dos relâmpagos⁴³:

[...] Para determinar esta questão, se as nuvens que contêm o relâmpago são eletrificadas ou não, eu proporei um experimento para que se teste em um lugar onde possa ser convenientemente testado. No topo de alguma torre ou precipício, coloque uma guarita suficientemente grande para conter uma pessoa e um suporte elétrico. No meio deste suporte, coloque uma vareta de ferro curvada para fora da porta e com uma envergadura para cima de 20 a 30 pés e deixe sua extremidade bem pontiaguda. Se o suporte elétrico for mantido limpo e seco, o homem que estiver sobre ele deve ser eletrificado, quando uma dessas nuvens passar mais baixa e produzir faíscas enquanto a vareta atrai o fogo desta nuvem para si mesma. Se houver algum perigo ao homem (eu creio que não haverá nenhum), deixe-o em pé sobre o chão de sua caixa e de agora em diante, coloque próximo da vareta uma volta de arame com uma de suas extremidades afastadas e a outra envolvida em cera para que ele a segure; então a faísca, se a vareta estiver eletrificada, será lançada da vareta para o arame, sem afetá-lo.

Franklin não realizou o experimento descrito anteriormente, que na realidade era muito perigoso. Como ele havia descrito, a vareta estaria sobre um suporte e assim acumularia grande quantidade de eletricidade. Para que o experimentador sobreviva, a vareta deve estar aterrada, o que

43 Benjamin Franklin citado por Silva e Pimentel, 2007, p. 5.

não foi mencionado por Franklin. Os franceses Thomas François Dallibard (1703-1779) e o Conde de Buffon (1707-1788) decidiram realizar em uma pequena cidade próxima de Paris, Marly, o experimento proposto por Franklin. Eles montaram o experimento, e em 10 de maio de 1752, um assistente chamado Coiffier observou relâmpagos provocarem faíscas que saltavam entre o arame e a vareta. O experimento mencionado foi realizado várias vezes em Marly e também diante do rei Luiz XV que, pessoalmente, comunicou a notícia para Royal Society (com isso, Franklin ficou famoso na Europa, antes mesmo de se tornar famoso nos Estados Unidos).

Em uma carta datada de 19 de outubro de 1752, destinada a Collinson, Franklin propôs um segundo experimento para pôr à prova a eletrificação das nuvens, que é muito conhecido e que é muito mencionado em alguns livros didáticos: o experimento da pipa empinada em meio a um temporal. Em nenhum momento Franklin declara ter ele próprio feito este experimento, somente o relatando, mas tendo sido realizado por outrem.

Mas, se Franklin afirmou não ter feito o experimento da pipa, como surgiu a história de que ele o havia feito? Em 1767, o químico e pastor presbiteriano Joseph Priestley (1733-1804) publicou um livro que exerceu muita influência sobre a história da eletricidade, o *The History and Present State of Electricity*, no qual descreve o evento da pipa e, no final da descrição, Priestley diz que, temendo ser ridicularizado por seu possível fracasso, que geralmente ocorre na ciência, ele (Franklin) não comentou sua intenção de realizar este experimento a ninguém, exceto seu filho que o assistiu empinando a pipa.

No ano de 1766, Priestley trocou correspondências com Franklin, nas quais, possivelmente, expôs seu relato da experiência da pipa. Pelo que parece, Franklin aprovou o relato de Priestley que afirmava que o experimento tinha mesmo sido feito por Franklin. Contudo, as respostas das correspondências que Priestley recebera não foram conservadas. Entretanto, alguns historiadores, como um dos biógrafos de Franklin, Carl van Doren (1885-1950), expressa dúvidas sobre se, de fato, Franklin foi o primeiro a empinar a pipa e se realmente havia realizado o experimento.

Até o período em que Franklin publicou o livro *Experimentos e Observações sobre Eletricidade*, os fenômenos de natureza elétrica eram tratados somente de maneira qualitativa, não existindo, portanto, leis gerais

que abordassem esses fenômenos quantitativamente. Entretanto, por volta de 1767, numa carta a Priestley, Franklin destacava o fato de que um recipiente de metal isolado carregado eletricamente não retinha carga em sua parte interna.

No entanto, Priestley estava ciente do resultado da Mecânica Newtoniana de que a força gravitacional referente a uma esfera oca era nula em seu interior. Logo, Priestley alegou por hipótese – realizando uma comparação com a gravitação – que a força elétrica deveria, igualmente, diminuir com o inverso do quadrado da distância, tornando público, em 1767, os resultados de suas pesquisas no livro *A História e a Situação Atual da Eletricidade*. Contudo, é sabido que o químico e físico inglês Henry Cavendish (1731-1810) descobriu, em 1770, a lei do inverso do quadrado da distância, utilizando uma balança de torção, obtendo resultados muito parecidos com os que o físico francês Charles Coulomb (1736-1806) conseguiria atingir em 1785 – seus trabalhos inéditos foram ignorados até que o matemático e físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) os descobriu e publicou em 1789.

A hipótese de Priestley somente seria testada com relativa precisão quando Coulomb, fazendo uso de sua balança de torção, exprimiu a lei básica da Eletrostática – após descrever sua balança de torção, em suas memórias mostradas à *Académie de Sciences*, da França. Coulomb escreveu que a força repulsiva de duas pequenas esferas eletrizadas com a mesma eletricidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância [entre os centros das duas esferas].

Ainda no ano de 1785, Coulomb escreveu à *Académie de Sciences* que é possível podermos concluir que a atração mútua do fluido elétrico chamado positivo e do fluido elétrico ordinariamente chamado negativo é inversamente proporcional ao quadrado das distâncias.

Os esforços de Coulomb foram orientados, essencialmente, pela ideia de que a força entre dois corpos carregados eletricamente é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles, ideia que é consequência da associação com a força gravitacional. A comparação com a Lei da Gravitação Universal, em que a massa é tratada como uma propriedade intrínseca da matéria, também fez Coulomb julgar que o fluido elétrico poderia ser pensado como tendo uma massa elétrica, que seria uma propriedade essencial deste fluido. Para Roller, essa hipótese parecia ser tão eviden-

te por si mesma para Coulomb, que ele deduziu que a força elétrica entre dois corpos eletrizados é proporcional ao produto de suas massas elétricas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

Contudo, o fundamental interesse de Coulomb estava voltado para a relação entre a força e a distância, e não para as massas elétricas. No entanto, Coulomb demonstrou que a mencionada proporcionalidade, utilizando-se da experimentação, poderia ser usada para mostrar quanto fluido é retirado quando um corpo eletrizado é tocado por outro corpo não eletrizado. Na época de Coulomb, não existia nenhuma técnica para aferir a quantidade de carga de um corpo e a ideia de Coulomb para determinar relações entre cargas era muito engenhosa. Em primeiro lugar, ele demonstrou que, se uma esfera de metal carregada tocasse outra esfera de metal do mesmo tamanho, a princípio descarregada, a carga da primeira se distribuiria igualmente entre as duas esferas – por este mesmo método, Coulomb concluiu que se as cargas de duas esferas fossem diminuídas à metade, a força entre elas se reduziria a um quarto (é importante ressaltar que, curiosamente, Coulomb, àquela época, negava qualquer tipo de relação entre Eletricidade e Magnetismo).

Das pilhas ao circuito elétrico

Os trabalhos de Coulomb coroaram as pesquisas ligadas à eletricidade estática, e, com a descoberta do gerador eletroquímico de eletricidade pelo cientista italiano Alessandro Volta (1745-1827), no final do século XVIII, baseando-se nos trabalhos do cientista Luigi Galvani (1737-1798), também italiano, um outro (e novo) ramo da Eletricidade começa a tomar corpo e passaria a ser chamado de Galvanismo.

Desde os trabalhos de Gilbert praticamente não ocorreu nenhum progresso no estudo do Magnetismo, não obstante o relativo avanço no estudo da eletricidade. Dois fatos surgiram para mudar esta situação: primeiramente, a invenção da pilha de Volta, com a capacidade de produzir corrente contínua (é importante ressaltar que a característica mais relevante da pilha de Volta, à qual Volta chamou bateria, foi a possibilidade de produzir corrente elétrica aproximadamente constante durante um intervalo de tem-

po relativamente longo; uma outra característica era que, ao contrário da garrafa de Leyden, a pilha de Volta não precisava ser recarregada após cada utilização); e segundo, a descoberta da relação existente entre Eletricidade e Magnetismo, realizada pelo físico dinamarquês Hans C. Oersted (1777-1851), em 1820, utilizando a pilha de Volta – naquele período, Oersted era professor de Eletricidade (que significava eletrostática), Magnetismo (que se referia a antiga ciência dos ímãs, das agulhas magnéticas e do magnetismo terrestre) e Galvanismo (que tratava dos fenômenos produzidos pela corrente contínua) na Universidade de Copenhagen.

A criação da pilha de Volta foi causada pelas descobertas de Galvani, publicada em 1791 em seus *Comentários sobre a Força Elétrica nos Movimentos Musculares*. Na Universidade de Bolonha, na Itália, Galvani lecionava anatomia e ginecologia quando iniciou uma sequência de experimentos acerca das reações dos membros posteriores das rãs ao se aplicar sobre estes eletricidade estática. No entanto, Galvani não foi o primeiro pesquisador a estudar efeitos elétricos em animais. Antes de Galvani, outros estudiosos tinham descoberto fenômenos de natureza elétrica, como os que acontecem em diversas espécies de peixes.

A extensa série de estudos feitos por Galvani, entre 1780 e 1790, começou com uma descoberta acidental. Galvani, em 1780, havia deixado uma rã dissecada sobre a mesa de seu laboratório, onde se encontrava uma máquina de eletricidade estática, enquanto fazia outras coisas. Quando Galvani não estava presente, um de seus assistentes tocou, por acaso, a ponta de um bisturi nos nervos internos da coxa da rã, no momento em que a máquina de eletricidade estava provocando centelhas. Uma outra pessoa que estava no laboratório ficou surpresa, pois, quando a centelha era produzida na máquina, as patas da rã se moviam. Galvani, ao ser informado a respeito deste fato, de pronto repetiu a experiência, verificando o mesmo efeito. Contudo, Galvani não compreendeu o que estava ocorrendo e aquele acontecimento não se mostrou muito importante, mas o motivou a realizar vários outros experimentos.

Em torno de 1786, Galvani procurou observar se centelhas mais fortes, como as descargas que surgem durante as tempestades, causariam efeitos mais intensos que aqueles verificados. Em seu experimento, Galvani fixou as patas de uma rã em um gancho de latão e o pendurou em um

corrimão fora do laboratório. Observou, casualmente, que, mesmo sem relâmpagos, quando as patas da rã encostavam no ferro da grade, estas se moviam. Galvani, entretanto, não estabeleceu relação entre o que ele havia observado e os metais com os quais as patas da rã tinham contato e, equivocadamente, pensou que tal fenômeno era devido ao que ele chamou de “eletricidade animal”. Contudo, Volta, ao repetir as experiências que Galvani realizara, daria uma explicação sobre os efeitos observados e, por fim, interpretaria corretamente a chamada “eletricidade animal”, esclarecendo que tais efeitos eram puramente inorgânicos.

Como foi mencionado, a pilha de Volta produzia uma corrente elétrica praticamente constante e não necessitava ser recarregada depois de cada utilização, e foi justamente na época da invenção da pilha de Volta que o estudo dos fenômenos elétricos produzidos pela corrente elétrica passou a ser chamado de Galvanismo, distinguindo de Eletricidade, que estava relacionada à eletricidade estática.

Foi usando a pilha de Volta e o termopar de cobre-bismuto que o físico alemão George S. Ohm (1787-1854) fez vários experimentos através dos quais obteve suas leis, embora não as tenha escrito na forma matemática que conhecemos atualmente.

Fundamentando-se nos trabalhos do matemático e físico Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) acerca do fluxo de calor nos corpos, tornados públicos em 1822, Ohm, então professor de Matemática no Colégio dos Jesuítas, em Colônia, se propôs a estudar fenômenos elétricos. Nesta primeira fase de suas pesquisas, terminada em 1825, Ohm, além de criar o conceito de *intensidade de corrente elétrica*, substituindo a vaga ideia de quantidade de eletricidade, criou também o conceito de *resistência elétrica* que, para ele, estava relacionada com o tipo de material e com a forma (geometria) dos condutores.

Ohm fez uma série de novas experiências, e realizando uma comparação com a lei de Fourier para a condução do calor, elaborou a lei de proporcionalidade entre o fluxo elétrico (que era, para ele, análogo ao fluxo térmico) e a força eletromotriz (*fem*), a qual era verdadeira se a temperatura fosse mantida constante – estes estudos somente foram publicados de forma conclusiva em seu livro em 1827 (a ideia de *fem* foi criada por Ohm para tornar clara a ideia de tensão, elaborada por Franklin). Por outro lado, o

conceito de diferença de potencial elétrico entre duas extremidades de um condutor não foi utilizado pelo fato deste só ter sido melhor entendido a partir de 1828, depois dos trabalhos do matemático escocês George Green (1793-1841).

Logo após os trabalhos de Ohm, Heinrich F. E. Lenz (1804-1865), físico russo, concluiu que a resistência de um fio cresce com o aumento de sua temperatura e, em 1849, o físico alemão Gustavo R. Kirchhoff (1824-1887) escreveu, pela primeira vez, explicitamente, a relação matemática $V=RI$.

Os estudos relacionados a circuitos elétricos tiveram um considerável avanço na década de quarenta do século XIX. Os primeiros trabalhos conclusivos a respeito da dissipação de calor em um condutor percorrido por uma corrente elétrica foram obtidos, por exemplo, em 1841, pelo físico inglês James P. Joule (1815-1889), sendo publicados em um trabalho denominado *Sobre a Produção de Calor pela Eletricidade Voltaica*, no qual demonstrou que o calor dissipado por um fio condutor, em um determinado intervalo de tempo, era proporcional ao produto da resistência pelo quadrado da intensidade da corrente que circula neste. Antes de Joule, Ohm e o inglês Humphry Davy (1778-1829) tinham também realizado estudos sobre este mesmo problema, concluindo, equivocadamente, que o calor era proporcional à intensidade da corrente (em vez de proporcional ao quadrado da intensidade da corrente, como havia concluído corretamente Joule).

Ainda neste período (meados do século XIX), Kirchhoff, usando a lei de conservação da carga elétrica e a conservação da energia, elaborou a teoria geral das redes elétricas: a lei dos nós e a lei das malhas, chamadas *Leis de Kirchhoff*.

Surge o eletromagnetismo

Um dos acontecimentos mais importantes da história da Eletricidade e do Magnetismo aconteceu em 1820, quando Oersted verifica um interessante efeito: ele – Oersted – coloca uma agulha imantada paralelamente a um fio condutor. Ele liga em seguida as duas extremidades do fio aos terminais de uma pilha (que ele chamou de “aparelho galvânico”), fazendo assim passar uma corrente elétrica no fio. A agulha se desvia então de um certo

ângulo. O desvio é, diz Oersted, inversamente proporcional à distância do fio à agulha e função do que ele chama a “potência do aparelho galvânico”. Ele inverte em seguida os polos da pilha: a agulha se desvia novamente de um ângulo igual ao precedente, mas em sentido inverso. Nasce, então, a partir deste experimento, a ligação entre a Eletricidade e o Magnetismo: surge o Eletromagnetismo – ou, como o próprio Oersted escreve, em 1827, em um artigo para Encyclopédia de Edinburgh – “o eletromagnetismo foi descoberto no ano de 1820 pelo professor Hans Christian Oersted, da Universidade de Copenhagen”.

Durante toda a sua carreira como escritor, Oersted aderiu à opinião de que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos poderes que os elétricos. Ele não foi levado a isto pelas razões comumente alegadas a favor desta opinião, mas por um princípio filosófico, o de que todos os fenômenos são produzidos pelo mesmo poder original (Rocha, 2002) (no entanto, é necessário aclarar que, de certa forma, a relação entre Eletricidade e Magnetismo já era conhecida – embora não entendida – muito antes da célebre experiência de Oersted).

A descoberta de Oersted, como era esperado, trouxe várias consequências para os estudos associados à Eletricidade e ao Magnetismo, e foi seguida de uma série de experiências e descobertas. As mais significativas aconteceram pelas mãos do físico francês André Marie Ampère (1775-1836), considerado por Maxwell o “Newton da Eletricidade”. Ampère, desde setembro de 1820, verifica que dois fios condutores paralelos, atravessados por uma corrente elétrica e próximos um do outro, exercem entre si forças – de atração ou de repulsão – conforme os sentidos recíprocos das duas correntes. Neste mesmo mês, Dominique Arago (1786-1853) inventa o eletroímã, fazendo uma corrente elétrica atravessar um fio condutor enrolado em torno de um pedaço de ferro doce, e o físico inglês Michael Faraday (1791-1867) pesquisa os campos produzidos por circuitos de diferentes geometrias. Em 1821, Ampère inventa o galvanômetro. Este aparelho possibilita, devido à determinação quantitativa do efeito de dois elementos do circuito, um sobre o outro, a medida da intensidade da corrente elétrica – é importante registrar que Ampère, de setembro de 1820 a dezembro de 1823, publicou nada menos que 15 trabalhos sobre o tema, antes de tornar pública, por volta de 1825, sua *Teoria Matemática dos Fenômenos Eletrodinâmicos, Unicamente Deduzidos da Experiência*.

Em outubro de 1830, os franceses Jean B. Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841) anunciam importantes resultados sobre medições de força sobre um polo magnético nas proximidades de um fio condutor comprido pelo qual passa uma corrente. Segundo essas aferições, se a partir do polo for traçada uma perpendicular ao fio, a força sobre o polo é perpendicular a esta linha e ao fio, e sua intensidade é proporcional ao inverso do quadrado da distância (Rocha, 2002). Com base nestes resultados, Pierre Simon Laplace (1749-1828) elaborou a chamada *lei de Biot-Savart*.

Os trabalhos de Oersted, Ampère, Biot e Savart fizeram manifestar uma característica admirável neste novo tipo de interação física, pois, como comenta José Fernando Moura Rocha, “diferentemente da lei da gravitação universal de Newton e da Lei de Coulomb – que são exercidas na mesma linha que une duas quantidades – , a força entre o polo magnético e as pequenas porções do fio, por exemplo, é perpendicular à linha que une o fio ao polo magnético. Isto, de certo modo, contrariava a filosofia mecanicista da época, que tentava reduzir todas as ações do mundo a forças como a da gravitação universal”.

Faraday também realizou outra importante contribuição para o progresso do Eletromagnetismo: a descoberta da *indução eletromagnética*, que é criada por um campo magnético variável. Joseph Henry (1797-1878) descreveu a indução eletromagnética antes de Faraday, porém a tornou pública depois de Faraday. Ele estava ciente, fundamentando-se nas experiências de Oersted e de outros, que as correntes elétricas que não variam no tempo, ou seja, correntes elétricas estacionárias, produziam efeitos magnéticos. A partir disto, propôs a seguinte questão: será que o magnetismo produziria correntes elétricas? Em estudos cuidadosos, Faraday verificou que a resposta a esta questão é negativa. Entretanto, continuando com suas investigações, fazendo experimentos com dois fios enrolados em espiral em torno de um anel de ferro, observou, por acidente, que surgia uma corrente numa das bobinas sempre que se ligava ou desligava a chave que permitia o fluxo de corrente na outra bobina. Em outras palavras, toda vez que a corrente era variada num circuito, havia indução de corrente elétrica em outro circuito situado nas suas proximidades.

Depois de várias outras experiências para produzir este mesmo fenômeno, Faraday notou que uma palavra bastava para explicar este efeito: va-

riação! – e usando o conceito de *linhas de força*, resumiu seus resultados expressando que a variação das linhas de força magnéticas pode induzir uma corrente num circuito elétrico. Faraday usou a palavra *campo* para se referir à disposição e à intensidade das linhas de força no espaço. Desse modo foi criado e introduzido o conceito de *campo* na história da Física.

Em 1832, Joseph Henry realizou outra grande contribuição para o Eletromagnetismo, descobrindo o fenômeno da *autoindução*, ou seja, de uma corrente variável em uma bobina causar um efeito indutivo sobre ela mesma. Contudo, em 1834, o físico russo Lenz chegaria às mesmas conclusões de Faraday e Henry a partir, no entanto, de ações mecânicas em circuitos, utilizando o princípio da ação e reação de Newton. Lenz demonstrou que os efeitos de uma corrente induzida por forças eletromagnéticas sempre se opõem às mesmas forças, que ficou conhecida como lei de Lenz. Por meio de Lenz, completam-se as descobertas experimentais fundamentais do Eletromagnetismo. Entretanto, a sua estruturação matemática somente seria alcançada com o brilhante trabalho de Maxwell, em termos de quatro equações desenvolvidas entre 1855 e 1873 – antes de Maxwell, entretanto, por volta de 1845, o físico alemão Franz E. Newman (1798-1895) chegaria à expressão matemática da lei de Faraday.

Importante ressaltar que, segundo o próprio Maxwell,

seus trabalhos são uma tradução matemática do que ele considera ser as ideias de Faraday. Mas sua obra é de alcance inimaginável. No seu famoso tratado sobre Eletricidade e Magnetismo, ele consegue uma formulação matemática unificada das leis de Coulomb, Oersted, Ampère, Biot e Savart, Faraday e Lenz, expressando essas leis na forma de quatro equações, conhecidas, hoje, como equações de Maxwell.

Embora os trabalhos de Maxwell tenham sido bem aceitos pela comunidade científica da época, sua teoria não foi verificada enquanto ele estava vivo, como nos conta José Fernando Moura Rocha: “Em 1880, a Academia de Ciência de Berlim ofereceu um prêmio a quem conseguisse produzir por meios puramente elétricos as ondas (de luz?) previstas por Maxwell, o que seria uma prova de sua teoria”. A confirmação experimental seria obtida pela primeira vez, em 1887, pelo físico alemão H. Hertz (1857-

1894). Para isso, usou um circuito oscilante de pequenas dimensões, produzindo ondas de pequeno comprimento ($\lambda=0,3m$), chamadas hoje de ondas hertzianas ou ondas de rádio.

Hertz mostrou que essas ondas possuíam todas as propriedades das ondas de luz, isto é, podiam ser refletidas, refratadas, difratadas, polarizadas. Foi mostrado também que elas interferiam umas com as outras e também se propagavam com a velocidade da luz. E por terem sido produzidas por um circuito oscilante, sua origem era evidentemente eletromagnética. Nesta época, Hertz escreveu que as experiências descritas lhe pareciam em alto grau adequadas para remover as dúvidas sobre a identidade entre a luz, a radiação térmica e as ondas eletromagnéticas.

Como podemos observar, os trabalhos de Maxwell coroaram os estudos relacionados ao Eletromagnetismo. Pensava-se, àquela época, que quase nada poderia ser acrescentado a este tema. Contudo, sabemos que não foi o caso, pois, com o advento da Física Moderna, novos conceitos foram elaborados, como os relacionados à Eletrodinâmica Relativística ou à Eletrodinâmica Quântica.

Bernardo Mascarenhas e Marmelos Zero: Epopeia da Eletricidade na América do Sul

Trabalhos relacionados às pilhas e baterias, como os de Volta, Galvani e Daniel, entre outros, permitiram o estabelecimento de correntes elétricas contínuas. Thomas Edison, que construiu a primeira lâmpada incandescente comercializável, instalou a primeira estação de corrente contínua (DC) com ajuda do financista de Wall Street, John Pierpont Morgan, proporcionando à cidade de Nova York já ser iluminada com luz elétrica desde o final dos anos 1870. Edison construiu outras usinas elétricas, todas com corrente contínua, mas estas, em geral, só conseguiam levar a energia a distâncias da ordem de um quilômetro.

De outro lado, outro cientista, Nikola Tesla, baseando-se nos experimentos, observações e constatações de grandes nomes como Oersted, Faraday e Maxwell, com o apoio financeiro do empresário e engenheiro George Westinghouse, trabalhava paralelamente para ver implementada sua tese de corrente alternada (AC) para a geração e distribuição da energia elétrica.

Corrente contínua, ou DC (*direct current* do inglês), é quando o fluxo de elétrons se movimenta de maneira uniforme de um polo a outro no fio, ou seja, quando o circuito é ligado a uma bateria os elétrons se movimentam em um único sentido. Esta modalidade de corrente elétrica é amplamente utilizada em diversos aparelhos eletrônicos, em geral alimentados por pilhas e baterias de baixa voltagem. Tal corrente, no entanto, perde voltagem rapidamente, e desse modo se torna imprópria para situações de longas distâncias.

Corrente alternada, ou AC (*alternating current* do inglês), é quando o fluxo de elétrons dentro do fio ocorre de maneira a ter troca de sentido da corrente várias vezes por segundo. Quando a corrente muda o sentido, o mesmo acontece com o campo magnético em torno do condutor. Devido a essa alternância é possível usar a Lei de Faraday, o que significa que podemos aumentar ou diminuir à vontade a diferença de potencial. Além disso, a corrente alternada é mais fácil de gerar do que a corrente contínua, principalmente em máquinas rotativas como geradores e motores.

Então, no cenário do final do século XIX, Thomas Edison e Nikola Tesla começam a travar nos Estados Unidos uma verdadeira guerra para definição do melhor sistema de fornecimento de energia elétrica. Edison, tentando levar as ideias de Tesla ao fracasso, liderou uma campanha na mídia com o objetivo de desacreditar o sistema de corrente alternada, afirmando se tratar de uma tecnologia muito perigosa. Para comprovar sua tese, ele ordenou que seus técnicos fizessem sacrifícios de animais em praça pública e ainda utilizou como argumento de ataque a Tesla o fato de um criminoso condenado à morte ser eletrocutado numa cadeira elétrica usando corrente alternada.

Contudo, já se percebia naquela época que o sistema de geração, transmissão e distribuição de eletricidade em CA era nitidamente superior tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico. Mas era necessário provar isto. Isso aconteceu na Feira Mundial de Chicago, realizada em 1893 para comemorar o quarto centenário da chegada de Colombo à América. Foi um evento de grande porte que atraiu milhões de visitantes, o primeiro evento mundial a utilizar eletricidade em larga escala. E para decidir quem haveria de fornecê-la, a Comissão Organizadora recorreu a um processo licitatório.

Concorreram duas empresas, a General Electric Company (GE), empresa então recém-formada e capitaneada por Morgan e Edison, e a Westinghouse Company, de Tesla e Westinghouse. A proposta da GE mencionava valores da ordem de um milhão de dólares americanos (naquela época, um milhão de dólares americanos valia muito mais que hoje), dos quais a maior parte serviria para custear o cobre dos condutores de largo calibre exigido pelo uso da CC. A proposta da Westinghouse, que adotava o uso da CA, reduziu este valor à metade exclusivamente devido à economia alcançada pelo menor consumo de cobre.

Por conta do resultado da licitação, Edison, através de uma ordem judicial, proibiu que suas lâmpadas incandescentes, das quais detinha a patente, fossem usadas na Feira Mundial de Chicago, o que forçou Tesla a, em menos de três meses, conceber, patentear e fabricar um novo modelo de lâmpada. Criou um modelo mais eficiente que a lâmpada de Edison, do qual cerca de duzentas mil unidades foram fabricadas e instaladas nos pavilhões da Feira Mundial no curíssimo período de que dispunha. E assim quase todas as lâmpadas incandescentes acenderam simultaneamente, iluminando os prédios construídos para a Feira. Desse modo, a *guerra das correntes* chega a seu auge em 1893, claramente a favor de Tesla.

Para coroar o trabalho de Tesla, o famoso físico inglês Lord Kelvin, que liderava uma comissão internacional para usar o poder das Cataratas do Niágara, firmou, com a ajuda de empresários, um contrato com a Westinghouse Electric Corporation. Em 16 de novembro de 1896, o sistema entrou em funcionamento, ficando consolidada a utilização da geração de energia elétrica utilizando corrente alternada. A guerra das correntes chegava ao seu final, com a corrente alternada substituindo a corrente contínua, estendendo enormemente a área de cobertura, melhorando a eficiência da distribuição de energia.

De outro lado, o visionário Bernardo Mascarenhas, a milhares de quilômetros dos Estados Unidos, já havia construído alguns anos antes, na cidade de Juiz e Fora, a Usina de Marmelos Zero. É notório perceber a visão futurista de Mascarenhas, que, mesmo antes do desfecho da disputa entre Edison e Tesla, inaugurou Marmelos Zero em 5 de setembro de 1889,creditando na corrente alternada como uma solução definitiva para fornecer energia elétrica para todos, mesmo a grandes distâncias da usina geradora.

Embora outras iniciativas de utilização da corrente alternada, até anos antes do empreendedorismo de Bernardo Mascarenhas, tenham sido desenvolvidas no Brasil e na América do Sul, estas, em geral, se tratavam de centrais elétricas menores. Assim, Marmelos Zero, pelo fato de ser a pioneira em proporcionar energia elétrica pública em grande escala, passou a ser considerada a Primeira Usina Hidrelétrica da América do Sul.

Podemos perceber, então, o longo caminho trilhado pela eletricidade durante muitos anos e observarmos que, até chegar na sua plenitude, passou pelo sonho, empenho, observação, investigação e experimentação, envolvendo um sem número de situações e pessoas. Podemos assim perceber que a trajetória da humanidade é um processo complexo, mas gratificante, e o mais importante é acreditarmos no potencial do conhecimento. Considerar a evolução da ciência como construção humana é um dos pilares para buscarmos aprimorar sempre e cada vez mais os processos de ensino e aprendizagem e de educação como um todo.

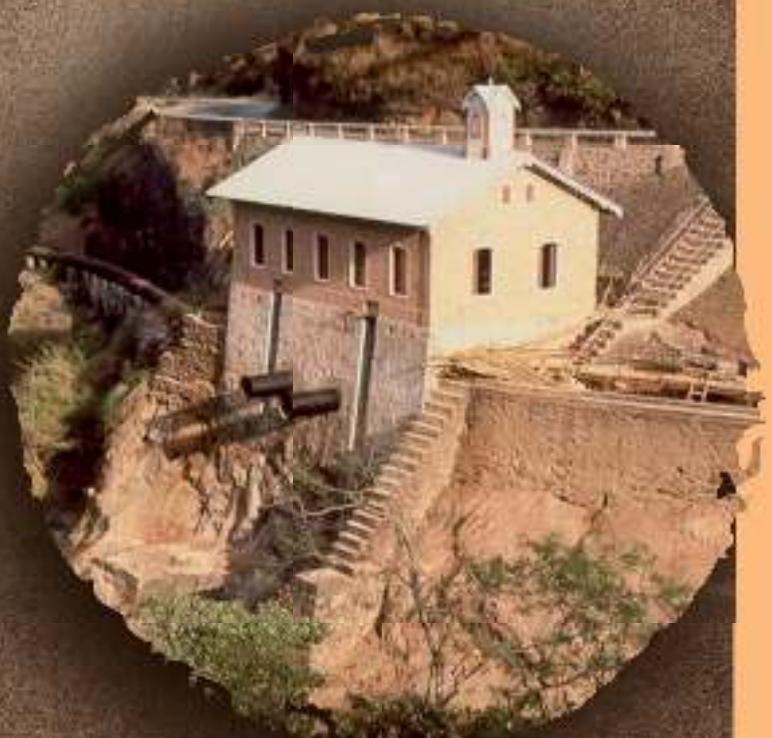
Concluindo esta obra, esperamos que o leitor tenha se familiarizado um pouco mais com a evolução das ideias vinculadas à Eletricidade e ao Magnetismo, bem como do legado de Bernardo Mascarenhas. Nosso propósito é que seja cada vez conhecido e valorizado o inusitado feito de Mascarenhas e que todos consigam, assim, apreender de forma lúdica e integrada, o conteúdo e objetivo deste livro.

Referências

- BASSALO, J. M. F. **Eletrodinâmica clássica**. São Paulo: Livraria da Física, 2007.
- NUNES, M.V. **Nikola Tesla: Uma Breve História do Mestre dos Raios** (Trabalho de Conclusão de Curso). UNESP, 2015
- ROCHA, J. F. (org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.
- ROSMORDUC, J. **Uma história da física e da química: de Tales a Einstein**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1985.
- SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da física**. v. 3. 2. ed. São Paulo: Atual Editora, 2005.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C. **Benjamin Franklin e a história da eletricidade em livros didáticos.** In: BATISTA, I. de L. et al. Atas do X EPEF: EPEF 20 anos. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2007. CD-ROM, Arquivo T0150-1.pdf

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros.** v. 2. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2006.



SOBRE OS AUTORES

José Roberto Tagliati

Professor Titular do Departamento de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Mestrado em Ensino de Física (USP) e Doutorado em Educação para a Ciência (UNESP). Pesquisador da área de Ensino com ênfase em Ciências da Natureza e colaboração em ações de divulgação e popularização da ciência. Foi um dos fundadores do Centro de Ciências da UFJF e seu primeiro Coordenador Geral (função atualmente denominada Diretor). Coordenou diversos projetos de extensão e treinamento profissional na UFJF, e projetos governamentais de iniciação à docência e formação continuada de professores da escola básica.

Adriano Dias dos Santos

Bacharel em Artes e Design pela Universidade Federal de Juiz de Fora, com ênfase em Desenvolvimento de Jogos Digitais pela Universidade Estácio de Sá. Foi bolsista de treinamento profissional no Centro de Ciências da UFJF e atualmente é Técnico Administrativo em Educação no mesmo local desde 2015. Colabora com o programa de extensão do Centro

de Ciências em diversas frentes, como Design, Comunicação, Mídias e Astronomia. Nos últimos anos, teve o privilégio de participar de exposições de histórias em quadrinhos ao lado de talentosos artistas da cidade, além de ilustrar livros de temática científica.

Lívia Caniato Portes

Graduação de Licenciatura em Pedagogia pela Universidade Federal de Juiz de Fora em 2021. Foi bolsista no Centro de Ciências da UFJF no período de 2015 a 2019. Durante a bolsa, atuou nas áreas de design, pintura, restauração de peças das exposições e ilustração de livros.

Patrícia Muniz Mendes

Doutora em Museologia pela Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, ULHT, Portugal (2020). Mestrado em Museologia e Patrimônio pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO / Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST (2013). Especialização em Gestão do Patrimônio Cultural pelo Instituto de Ensino Granbery / PERMEAR (2011) e em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia pelo Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST (2011). Bacharelado e Licenciatura em História pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2009). Atua nas áreas de Museologia (com ênfase em Museus Universitários), Gestão do Patrimônio Cultural, Arqueologia e História. Atualmente, é museóloga na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Nívea Maria Leite Mendonça

Doutora em História pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Mestrado em História pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Possui Licenciatura e Bacharelado em História pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Foi bolsista de treinamento profissional no projeto “Museu Usina Marmelos Zero” em parceria com a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig). Desenvolve pesquisa sobre as Ordens Terceiras do Carmo em Minas Gerais no período colonial.

Thiago Luiz Linhares Priamo

Licenciado e Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Foi bolsista de treinamento profissional no projeto “Museu Usina Marmelos Zero” do Centro de Ciências da UFJF em parceria com a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig). Atua como professor de Geografia nas redes pública e privada de ensino da Educação Básica e em cursos para concursos públicos.

Rafael Schepper Gonçalves

Doutorando no Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RIO). Mestre em Ensino de Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Licenciado em Física pela Universidade Federal de Juiz de Fora.



1^a. edição:

Janeiro de 2025

Tiragem:

300 exemplares

Formato:

16x23 cm

Mancha:

12,3 x 19,9 cm

Tipografia:

Open sans condensed 14

Arno Pro 11/12/25

Roboto Condensed 8/10

Impressão:

Offset 90 g/m²

Gráfica:

Prime Graph