

REVISITANDO A HISTÓRIA DA ENGENHARIA ELÉTRICA

Paulo D. Battaglin^a; Gilmar Barreto^b

RESUMO

Este trabalho mostra a evolução do conhecimento sobre a Engenharia Elétrica. As contribuições deste trabalho procuram evidenciar os principais fatos que revelam os benefícios desta evolução para a sociedade humana, através da utilização da Eletricidade e do seu ensino. A Eletricidade está em estado latente na natureza e seu potencial tem sido descoberto e desenvolvido pelos seres humanos através dos milênios. A sua utilização nos primórdios pelas civilizações antigas, o desenvolvimento do conhecimento sobre ela e suas aplicações elementares, bem como a descoberta da inter-relação das várias formas de Eletricidade na natureza são exemplos disto, e são abordados neste trabalho. Os fundamentos da Engenharia Elétrica são a base do estado da arte e o seu ensino estruturado tem cooperado para a formação rigorosa de profissionais.

Palavras-chave: Engenharia Elétrica. História. Fundamentos. Ensino de Engenharia.

ABSTRACT

This project presents the knowledge evolution concerning the Electrical Engineering. The collaborations of this project have the task to disclosure key realities that point out benefits to human society, through the applications of Electricity and its teaching. Electricity has been latent in nature and human beings have discovered and developed its potential through millenniums. Electricity utilization by ancient civilizations in the beginnings, its basic knowledge development and applications, as well as the interconnection among Electricity's shapes in nature are true examples of that, and are covered in this project. Electrical Engineering fundamentals have been some keystones to state of art. The Electrical Engineering's fundamentals are base for the state-of-the-art and the Electrical Engineering well endowed teaching has cooperated for a build-up of high level professional people.

Keywords: Electrical Engineering. History. Fundamentals. Engineering Education.

^a Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC, Departamento de Máquinas Componentes e Sistemas Inteligentes – DMCSI – Av. Albert Einstein, 400 – Cidade Universitária Zeferino Vaz – Barão Geraldo – Campinas - SP, CEP: 13083 – Brasil - paulodav@dmcsi.fee.unicamp.br

^b Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC, Departamento de Máquinas Componentes e Sistemas Inteligentes – DMCSI – Av. Albert Einstein, 400 – Cidade Universitária Zeferino Vaz – Barão Geraldo – Campinas - SP, CEP: 13083 – Brasil - gbarreto@dmcsi.fee.unicamp.br

INTRODUÇÃO

Com o objetivo de abordarmos a História da Engenharia Elétrica, apresentamos o desenvolvimento do conhecimento sobre a Eletricidade e suas aplicações em ordem cronológica desde os primórdios da humanidade, e evidenciamos o processo de construção dos fundamentos da Engenharia Elétrica, também tratamos sobre o histórico dos medidores utilizados na Engenharia Elétrica. A história da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica é citada e fazemos considerações sobre o ensino da Engenharia Elétrica.

Os fatos históricos relativos à Engenharia Elétrica têm sido registrados na literatura especializada muitas vezes em âmbito regional, outras vezes são registrados fatos importantes que ocorreram em um determinado período de tempo.

O objetivo deste trabalho é incorporar estes fatos de maneira ordenada e em ordem cronológica.

PRIMÓRDIOS DA HISTÓRIA DA ENGENHARIA ELÉTRICA

Os *Sumérios* tinham conhecimento sobre a existência da Eletricidade e sobre materiais condutores como o cobre, a prata e o ferro, isto em torno de 2500 AC. Este povo fazia aplicação deste saber para a deposição de prata sobre vasos de cobre, conforme as peças descobertas ao sul do Iraque e analisadas pelo arqueólogo alemão Dr. Wilhelm Konig. Estes vasos eram utilizados em rituais sagrados. Estas informações sobre a Eletricidade são dignas de registro na literatura especializada de Eletricidade e Engenharia Elétrica, embora a descoberta da eletrodeposição ou galvanização tenha sido atribuída a Galvani somente em 1780, aproximadamente 4.200 anos após os Sumérios. (KANANI, 2004).

Os *Partias*, dinastia descendente dos Sumérios na Mesopotâmia, viveram no período do século III AC. Eles conheciam a Eletricidade, os materiais condutores dela como o ferro e o cobre, os materiais isolantes como o betume e a argila seca e, construíram a chamada Bateria de Bagdá, Figura 1, encontrada no sítio arqueológico da vila de Khujut Rabu em Bagdá. Esta bateria era utilizada para gerar a Eletricidade. Esta descoberta também foi realizada pelo Dr. Konig, embora a invenção da bateria elétrica seja

atribuída a Volta somente em 1801 da nossa era, aproximadamente 2.100 anos após os Pártias. (JARVIS, 1960)



Figura 1 - Bateria de Bagdá

Os *Chineses* conheciam a Eletricidade originada da pedra magnetita e construíram agulhas magnéticas aproximadamente em 2637 AC, no período do Imperador Huan-Ti. O primeiro texto chinês conhecido escrito em 1080 DC trata sobre a bússola magnética, um século antes da primeira menção desta na Europa. De acordo com o livro “Ming Xi Bi Tan” escrito pelo cientista astrônomo Shen Kua no século XI, durante a Dinastia Song existiam vários tipos de agulhas magnéticas em bússolas chinesas: a flutuante de ferro em formato de peixe, a colher de magnetita - Figura 2, a seca, e a suspensa por fio de seda. Dentre os vários tipos de bússolas as mais utilizadas são a Ssu-Nan no período 475-221 AC, a San-He em 1127, e a Luo Pan, cujos padrões observados nesta bússola ancestral formam as bases das bússolas Luo Pan utilizadas pelos chineses na atualidade para orientação geográfica. Os chineses desenvolveram técnicas de magnetizar o ferro, que foram utilizadas na construção de agulhas magnéticas mais precisas para as bússolas. (KUO-SHENG, 2010)

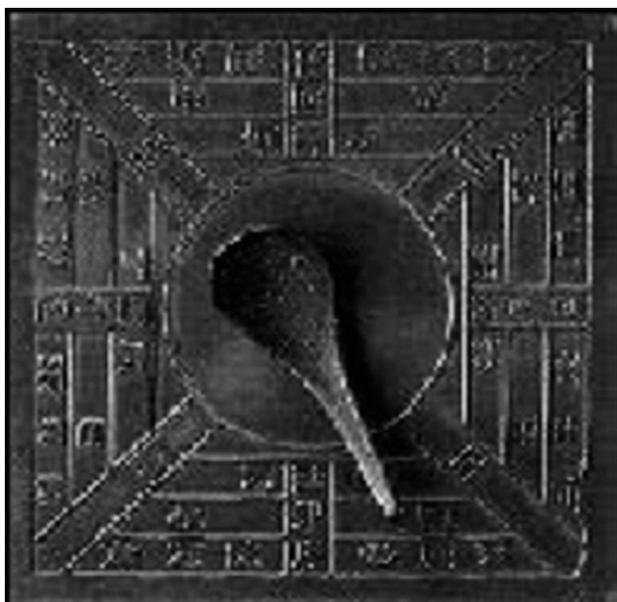


Figura 2 - Bússola Chinesa com agulha em forma de colher

Os Gregos conheciam os ímãs ou a magnetita e construíram uma bússola no período 624-558 AC, que era utilizada nas navegações pelo Mar Mediterrâneo. O conhecimento e a aplicação da Eletricidade em forma de magnetismo nessas bússolas eram disseminados entre os chineses e gregos. Também neste período os gregos conheciam as propriedades da resina vegetal chamada de âmbar, a qual ao ser atirada adquiria a propriedade de atrair corpos leves, conforme os escritos de Tales de Mileto, um dos sete sábios da Grécia. Há registros históricos que evidenciam contatos entre os Gregos e os Chineses através da Índia, no Século V, AC. Nesta época os Chineses conheciam as propriedades eletrostáticas do âmbar trazido da Birmânia e da Malásia. A Eletricidade estática era conhecida na Ásia. (NEEDHAM, 1962). A bússola foi trazida da China pelos Árabes para o Ocidente, e se tornou conhecida como instrumento útil à navegação; e a partir disto os fenômenos magnéticos começaram a ser alvo de pesquisas, devido aos contatos que ocorreram durante a batalha do Rio Talas, região atual do Uzbequistão, em 751 DC

e no Século IX nas colônias de Canton e Hangchow.

Na França, em 1269, Pierre Pèlerin de Maricourt fez experimentos com ímãs e escreveu a “Carta sobre o Magneto de Pedro Peregrino de Maricourt para Sygerus de Foucaucourt, Militar”, chamada simplesmente “Epístola do Magneto”. A carta é endereçada a Suggesterius (Syger, Sygerius), cavaleiro de Foucaucourt, seu amigo e vizinho. Ela explica como identificar os pólos de uma bússola, descreve as leis da atração e repulsão magnéticas, bem como a descrição de bússolas, as quais poderiam direcionar seus passos para qualquer lugar do mundo. A visão que Pièrre tinha e que transmitiu ao seu amigo, sobre as possibilidades de utilização da bússola eram extraordinárias para a época. Pièrre aprimorou a bússola apoiando a agulha de magnetita sobre um pivô e, colocou sua montagem no centro e sobre uma escala circular graduada com as direções geográficas. Seu trabalho foi muito divulgado na Idade Média, servindo como base para o aprimoramento da bússola magnética utilizada nas grandes navegações. A base do trabalho sobre o magnetismo desenvolvido por William Gilbert no século XVI foi baseado na Epístola de Magneto. Portanto, faz-se necessário salientar que os experimentos realizados por Pièrre bem como a divulgação dos resultados foram tão importantes, que a sua menção deve ser incluída na literatura especializada de Engenharia Elétrica, embora estes estudos sejam atribuídos a Gilbert, em 1801, aproximadamente 532 anos depois. (LOCKER, 2006).

Na Inglaterra, William Gilbert, além de ratificar os resultados obtidos por Pièrre, também elaborou e desenvolveu o conceito de espectro de campo magnético, em 1801. O trabalho de Gilbert foi importante, pois facilitou visualizar a distribuição das linhas magnéticas ao redor dos pólos magnéticos. Este resultado serviu como base para os experimentos de Oersted. (RONAN, 1983). Os acontecimentos relatados nesta seção são apresentados na Figura 3.

PRIMÓRDIOS DA HISTÓRIA DA ENGENHARIA ELÉTRICA										
China	Suméria	China	Grécia	China	Mesopotâmia					
Primeiro Registro	Vasos sagrados Galvanização	Magnetita Agulha Magnética	Âmbar Magnética Bússola	Bússola Si-Nan	Bateria de Bagdá					
Bússola	Cobre e prata									AC
2637 AC	2500 AC	1000AC	624-558AC	475-221AC	300 AC					0
DC										
Idade Média										
0										
500										
1000										
Renascimento										
Período das Grandes Navegações					Idade Moderna					
China	Árãbia	Itália	Grécia	Portugal	Gilbert Inglaterra	Von Guericke Alemanha	S. Gray Inglaterra	Musschenbroek Holanda	F. Aepinus Alemanha	
Bússola San-He	Bússola com pedra de cevar	Bússola com Rosa dos Ventos	Bússola com 12 rumos	Bússola e a Declinação Magnética	Espectro Campo Magnético	Máquina eletrostática	Corrente Elétrica	Condensador	Indução Eletrostática	
1127		1300		1537	1601	1663	1729	1745	1760	
1001	1190	1269	1368	1405-1433	1620-1629	1706	1733	1752	1770	
1ª. Bússola na Europa		Magnetismo	Bússola Chinesa	Navegações Chinesas		Atração de corpos úmidos	Máquina elétrica de vidro	Eletricidade positiva e negativa	Pára-raios Máquina Eletrostática	Capacitor ajustável
<i>Naturalis Rerum</i>		<i>Epistola de Magnete</i>	Feng-Shui							
Neckman Inglaterra		Pierre Pölerin França	China		Nicolo Cabeo Itália	Hawksbee Inglaterra	Du Fay França	B. Franklin EUA	H. Cavendish Inglaterra	

Figura 3 - Primórdios da História da Engenharia Elétrica

HISTÓRIA DOS FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA ELÉTRICA

Durante o período que abrange os Séculos XVIII e XIX, cientistas e inventores da Europa e da América do Norte estavam mais próximos geograficamente entre si, em comparação aos gregos, árabes e chineses na antiguidade; além de dispor de meios de comunicações mais rápidos como navios com bússolas aperfeiçoadas, telégrafo e telefone. Desta forma, os resultados de experimentos e invenções eram divulgados nos ambientes científicos da época em países como a Alemanha, Croácia, Dinamarca, Escócia, Estados Unidos, França, Inglaterra, Itália e Rússia de maneira eficiente. Em consequência destes dois fatores (menores distâncias geográficas e meios de comunicações mais rápidos) aconteceu um desenvolvimento mais eficaz do conhecimento sobre a Eletricidade e suas aplicações.

Este desenvolvimento através dos milênios até este período evidenciou expansão do conhecimento e suas aplicações, nas áreas da eletrostática, eletrodinâmica, magnetismo e eletromagnetismo. Estes são *Fundamentos da Engenharia Elétrica*. (GILLISPIE, 1970)

Houve desenvolvimento na modelagem matemática dos fenômenos abordados pela Engenharia Elétrica, *Descrição dos seus Fundamen-*

tos, e o exemplo abrangente são as equações de Maxwell desenvolvidas no final do Século XIX. (MAXWELL, 1954). A figura 4 ilustra a foto de Maxwell.



Figura 4 - James Clerk Maxwell

A história dos parâmetros utilizados pela Engenharia Elétrica registra a nomeação destes em homenagem aos descobridores. Instituições internacionais compostas por representantes de vários países agruparam estes parâmetros

HISTÓRIA DOS MEDIDORES DA ENGENHARIA ELÉTRICA

Medidas elétricas é uma área de conhecimento da Engenharia Elétrica que sempre estará demandando pesquisa e desenvolvimento, com o objetivo de melhorar a qualidade da aplicação que necessita de processamento de informação. O desenvolvimento de técnicas modernas de medidas elétricas contribui para ter-se uma solução melhor de projeto.

A partir do Século XVIII houve desenvolvimento de métodos de medidas, do conceito de qualidade nas medidas e da teoria de medidas elétricas, que foram incorporados aos instrumentos. (SYDENHAM, VOL.2, 1986).

Os instrumentos de medidas elétricas construídos no século XVIII eram chamados de eletrômetros e eletroscópios. Estes foram projetados e construídos por cientistas como Musschenbroek (garrafa de Leiden), Lichtenberg (câmara de Lichtenberg) e Coulomb (balança de torção e o plano de prova), os quais evidenciaram que seus estudos estavam concentrados na área de conhecimento da Eletrostática. A realização de experimentos quantitativos da Eletricidade com seus efeitos sobre corpos carregados eletricamente, possibilitaram estabelecer unidades de medidas eletrostáticas. Por exemplo, foi estabelecida a unidade de medida de carga elétrica chamada algum tempo depois de Coulomb.

Já os instrumentos de medidas elétricas construídos no século XIX por Poggendorf e Schweigger (galvanômetro multiplicador), Thompson e Harris (medidor de potencial elétrico), D'Arsonval e Deprez (galvanômetro de bobina móvel), Ohm (bobina de resistência elétrica), Wheatstone e Thompson (ponte de resistências) possibilitaram estudos na área do conhecimento da Corrente Elétrica.

A quantidade de Eletricidade (termo utilizado na época) que fluía por condutores elétricos, foi medida. A partir destes experimentos foi possível estabelecer uma escala de intensidade de medidas para o medidor deste fluxo de Eletricidade, bem como medir a dificuldade que o condutor oferecia à passagem deste, a resistência elétrica e estabelecer unidades de medidas para estas grandezas. Como exemplo, a unidade de medida de resistência elétrica foi estabelecida e chamada algum tempo depois de Ohm.

Com a descoberta da corrente alternada no final do século XIX, as atenções dos cientistas

concentraram-se no desenvolvimento e construção de instrumentos de medidas elétricas este novo tipo de corrente elétrica.

Destacam-se Oliver Shallenberger (voltímetro para corrente alternada), e Maxwell e Wien (ponte de impedâncias com resistência, indutância e capacitância), Galileo Ferraris (medidor de energia elétrica para corrente alternada), Wattímetros e frequencímetros. Estes instrumentos de medidas passaram a ser utilizados nos laboratórios de padronização de unidades de medidas e nas indústrias.

Os dispositivos utilizados nos instrumentos de medidas elétricas foram no início do Século XX parcialmente substituídos pelos circuitos eletrônicos, que utilizavam as válvulas termiônicas naquela ocasião. Posteriormente, estes dispositivos foram sendo substituídos pela eletrônica gradativamente, a qual proporcionou melhorias consideráveis nos circuitos destes instrumentos.

Com o passar do tempo, os métodos eletrônicos de medidas demonstraram ser precisos e úteis em medidas que antes só eram realizadas por instrumentos elétricos. Em 1970, com a descoberta dos semicondutores, novas tecnologias foram incorporadas aos instrumentos de medidas elétricas, principalmente aos sensores que fazem a detecção do sinal a ser medido.

Atualmente ambos os métodos e instrumentos são amplamente utilizados em muitas áreas. (MAXWELL, 1954).

Desde o Século XVIII notamos nos registros históricos a preocupação dos cientistas com a precisão dos instrumentos de medidas elétricas utilizados em seus experimentos, pois eles buscavam obter a medida real das grandezas observadas. A invenção de instrumentos com melhorias, o estabelecimento de padrões de medidas, a invenção de instrumentos calibradores e a criação do Sistema Internacional de unidades foram resultados importantes em resposta à busca desta precisão nas medidas. (FLOYD, 1997).

Há algumas décadas, a tecnologia de estado sólido foi descoberta e começou a ser utilizada em circuitos de instrumentos de medidas elétricas, o que possibilitou um aprimoramento sem precedentes destes quanto às suas características de detecção e processamento de sinais, bem como a redução de custo.

Os componentes eletrônicos têm sido incluídos gradualmente nos instrumentos de medidas elétricas, os quais tornaram estes mais precisos, rápidos e flexíveis.

Tem ocorrido aprimoramento de técnicas de ensino nos cursos de Engenharia Elétrica, o que proporciona conseqüentemente, aprimoramento no nível de aprendizado dos estudantes do curso

de graduação e incentivo ao prosseguimento na carreira acadêmica nos cursos de pós-graduação.

Os temas sobre a história do ensino da Engenharia Elétrica estão ilustrados na Figura 9. (PERKINS, 1998)

Ensino da Engenharia Elétrica				
1797	1824	1840	1876	1876
Escola Politécnica de Paris	Escola Municipal de Tecnologia de Manchester	Universidade Eletrotécnica de São Petersburgo	Faculdade Universidade de Bristol	Universidade de Tecnologia de Munique
França	Grã-Bretanha	Rússia	Grã-Bretanha	Alemanha
1884	1885	1886	1886	1891
Instituto Massachusetts de Tecnologia - MIT Boston	Universidade de Cornell Ithaca	Universidade do Missouri Milwaukee	Universidade Imperial de Tokyo Departamento de Engenharia Elétrica Japão	Universidade de Wisconsin Wisconsin
Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Japão	Estados Unidos
				
1893	1893	1905	1907	1908
Universidade de Sydney Engenharia Elétrica	Universidade de Stanford Palo Alto - Califórnia Estados Unidos	Universidade da Cidade do Cabo Departamento de Engenharia Elétrica África do Sul	Escola Politécnica da USP Engenharia Elétrica São Paulo Brasil	Universidade de Xi'an Jiatong Escola de Engenharia Elétrica China
Austrália	Estados Unidos	África do Sul	Brasil	China
1911	1913	1951	1966	1967
Escola Politécnica do RJ Engenharia Mecânica e de Eletricidade Rio de Janeiro Brasil	Instituto Eletrotécnico e Mecânico Itajubá - MG Brasil	Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA Engenharia Eletrônica São José dos Campos Brasil	Faculdade de Engenharia da UNICAMP Campinas - SP Brasil	Universidade de Brasília Departamento de Engenharia Elétrica Brasília - DF Brasil

Figura 9 - Ensino de Engenharia Elétrica

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando nos tópicos apresentados neste trabalho, nós acreditamos que o aprimoramento do ensino de graduação da Engenharia Elétrica possa ocorrer com a elaboração e implantação de duas propostas:

1) “Criação da disciplina História da Engenharia Elétrica”

Esta disciplina poderá ter um programa que capacite os estudantes de graduação a compreenderem profundamente o processo histórico da Engenharia Elétrica.

2) “Criação de um Museu de Engenharia Elétrica na Universidade”

Esta proposta visa criar um local destinado a preservar, estudar e apresentar inicialmente aos estudantes coleções de obras, bens culturais

e científicos e desenvolvimento tecnológico relacionados com a história da Engenharia Elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUMGARTNER, PATRICK; BURTSCHER, MARTIN; GSCHWEND, MARIO; The History of Electrical Engineering, Microsoft Encarta, Data Becker Lexikon, NOK and Siemens, 1999.

BATTAGLIN, PAULO DAVID; Contribuições sobre a Gênese da Engenharia Elétrica, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Agosto 2010.

BATTAGLIN, PAULO DAVID; BARRETO, GILMAR; Contribuições sobre a Gênese, o Presente e o Futuro da Engenharia Elétrica, COBENGE 2010, Fortaleza, Ceará, de 12 a 15 de Setembro de 2010.

BATTAGLIN, PAULO DAVID; BARRETO, GILMAR; Contributions Concerning to Beginnings, Present and Future of the Electrical Engineering, Atilim Univer-

sity, International Engineering Education Conference (IEEC 2010), Antalya, Turkey, November 4-6, 2010.

FLOYD II, H. LANDIS; NENNINGER, BRIAN J., Personnel Safety and Plant Reliability Considerations in the Selection and Use of Voltage Test Instruments, IEEE Transactions on Industry Applications, v. 33, number 2, March/April 1997.

GRAY, STEPHEN; Conduction and Insulation, Philosophical Transactions of the Royal Society - 1729, number, p. 1731-1732. Biblioteca do Instituto de Física Gleb Wataghin, Unicamp, Campinas, SP.

JARVIS, C. MACKECHNIE; An early electric Cell, Journal of the Institute of Electrical Engineers, June, p. 356-357, 1960.

KANANI, NASSER; The Parthian Battery: Electric Current 2000 years Ago? Fachzeitschrift des VINI, Eugen Gahname Leuze Verlag, Saul/Würt, Germany, 2004.

KUO-SHENG CHENG, Ph.D.; Historical Review of Electrical Engineering Development, Institute of Biomedical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan city, Republic of China or Taiwan, 2010.

LOCKER, ANNE; Peter the Pilgrim, IET Communications Engineer—From the Archives, August/September 2006, UTC from IEEE.

MAXWELL, JAMES CLERK; Treatise on Electricity and Magnetism, Volumes 1 and 2, Dover Publications Inc., New York, NY, USA, 1954.

MORAES, JOSÉ CARLOS T. B. – Organizador; 500 Anos de Engenharia no Brasil, Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.

NEEDHAM, JOSEPH; WANG LING, Science and Civilization in China, Volume 4, Part 1, Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, 1962.

PERKINS, WILLIAM R. – IEEE Life Fellow; Introduction of a Brief History of Electrical Engineering Education; Proceedings of IEEE, Volume 86, Number 8, August 1998.

RONAN, COLIN A.; The Cambridge Illustrated History of the World's Science; Cambridge University Press; Cambridge, England; 1983.

SYDENHAM, P.H.; Handbook of Measurement Science, Practical Fundamentals, Volume 2, School of Electronic Engineering-South Australian Institute of Technology, John Wiley & Sons Edited, Chichester, England, 1986.

TERMAN, FREDERICK E.- IEEE Fellow; A Brief History of Electrical Engineering Education, Proceedings of IEEE, Volume 86, Number 8, pp. 1792, August 1998.

VALIVACH, P. E.; Basic Stages of the History of Electrical Engineering and Possible Prospects for its Developments, Russian Electrical Engineering, Volume 80, Number 6, pp. 350-358, Allerton Press Inc., 2009.

DADOS DOS AUTORES

Paulo David Battaglin



Graduado em Engenharia Elétrica (1976) pela Escola de Engenharia Mauá-SP; MBA em Gestão Empresarial (2006) pela Fundação Getulio Vargas-SP; Mestre em Engenharia Elétrica (2010) pela Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da UNICAMP-

-Campinas; Estudante de Doutorado na área de Automação em Engenharia Elétrica na Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da UNICAMP. Tem experiências em Engenharia Elétrica, com ênfase em desenvolvimento de micromotores, sistemas de comunicações entre computadores e ensino de Engenharia Elétrica.

Gilmar Barreto



Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (1982), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1986) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas

(2002). Atualmente é professor da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Eletrônica Industrial, Sistemas e Controles Eletrônicos, atuando principalmente nos seguintes temas: sistemas nebulosos, sistemas multivariáveis, controle, otimização multiobjetiva e eletroquímica e ensino de engenharia. É autor do Livro Veículos Elétricos em co-autoria com o Prof.Dr. Celso Pascoli Bottura.