



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA



## FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

## COURSE OUTLINE

<b>CÓDIGO / COURSE CODE :</b>		<b>COMPONENTE CURRICULAR / COURSE TITLE :</b> Estudos Avançados sobre Qualidade da Energia Elétrica no Âmbito do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição da ANEEL / Advanced Studies on Power Quality within the Scope of Module 8 of ANEEL's Distribution Procedures		
<b>UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE / ORGANIZATION :</b> Faculdade de Engenharia Elétrica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica Faculty of Electrical Engineering - Postgraduate Program in Electrical Engineering				<b>SIGLA / ACRONYM :</b> FEELT - PPGEELT
<b>CH TOTAL TEÓRICA / LECTURE HOURS :</b> 45 horas / hours	<b>CH TOTAL PRÁTICA / LABORATORY HOURS :</b> 0 horas / hours	<b>CH TOTAL / TOTAL HOURS :</b> 45 horas / hours	<b>CRÉDITOS / CREDITS :</b> 3	<b>TIPO / TYPE:</b> Optativa / Elective
<b>Curso / Degree :</b> Mestrado e Doutorado / Master and PhD		<b>Requisito / Requirement :</b> Sem requisitos / No Requirements		

## 1. OBJETIVOS / STUDY GOALS

- Compreender os princípios teóricos fundamentais relacionados à qualidade da energia elétrica, abrangendo conceitos de distorção harmônica, desequilíbrios de tensão, flutuações de tensão, variações de tensão de longa e curta duração, e demais fenômenos associados.
- Analisar as normas e regulamentações vigentes no contexto da qualidade da energia elétrica, identificando suas implicações práticas e critérios de conformidade.
- Aplicar métodos e ferramentas de medição para avaliar a qualidade da energia elétrica em diferentes contextos, considerando ambientes industriais, comerciais e residenciais.
- Sintetizar estratégias avançadas de atenuação de problemas relacionados à qualidade da energia elétrica, integrando soluções tecnológicas e boas práticas de Engenharia Elétrica.
- Analisar estudos de casos complexos relacionados a distúrbios na qualidade da energia elétrica, identificando causas, impactos e propondo soluções inovadoras.
- Avaliar criticamente as tecnologias emergentes no campo da qualidade da energia elétrica, considerando sua aplicabilidade e benefícios nas condições específicas de operação, notadamente no que diz respeito ao processo de medição da energia elétrica ativa e reativa para efeito de faturamento.
- Aplicar normas internacionais e metodologias avançadas para a avaliação e melhoria contínua da qualidade da energia elétrica em sistemas complexos de distribuição.
- Compreender as interações entre sistemas elétricos e equipamentos sensíveis aos diferentes fenômenos da qualidade da energia elétrica, desenvolvendo uma visão abrangente dos desafios e oportunidades associados.

Esses objetivos abrangem desde a compreensão básica até a aplicação avançada de conhecimentos, permitindo que os alunos alcancem um entendimento sólido e aprofundado sobre a qualidade da energia elétrica, capacitando-os para enfrentar desafios complexos na área.

- Understand the fundamental theoretical principles related to power quality, encompassing concepts of harmonic distortion, voltage imbalances, voltage fluctuations, long and short-duration voltage variations, and other associated phenomena.
- Analyze the current standards and regulations in the context of power quality, identifying their practical implications and compliance criteria.
- Apply measurement methods and tools to assess power quality in different settings, considering industrial, commercial, and residential environments.
- Synthesize advanced strategies for mitigating issues related to power quality, integrating technological solutions and best practices in Electrical Engineering.
- Analyze complex case studies related to disturbances in power quality, identifying causes, impacts, and proposing innovative solutions.

6. Critically evaluate emerging technologies in the field of power quality, considering their applicability and benefits in specific operating conditions, particularly concerning the active and reactive power measurement process for billing purposes.
7. Apply international standards and advanced methodologies for the continuous assessment and improvement of power quality in complex distribution systems.
8. Understand the interactions between electrical systems and equipment sensitive to different phenomena of power quality, developing a comprehensive view of associated challenges and opportunities.

These objectives range from basic understanding to the advanced application of knowledge, enabling students to achieve a solid and in-depth understanding of power quality, and empowering them to tackle complex challenges in the field.

## 2. EMENTA / COURSE CONTENTS

Aspectos gerais do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição da ANEEL, com ênfase no impacto dos diferentes fenômenos da qualidade da energia elétrica nas perdas técnicas da distribuição e, principalmente, nos processos de medição de energia elétrica para efeito de faturamento de consumidores de baixa, média e alta tensão. Análise do impacto da qualidade da energia elétrica nos diferentes processos de uso final, seja na indústria, comércio ou instalações residenciais.

General Aspects of Module 8 of ANEEL's Distribution Procedures, with an emphasis on the impact of different power quality phenomena on distribution technical losses, particularly in the processes of electric power measurement for billing purposes in low, medium, and high voltage consumers. Analysis of the impact of power quality on various end-use processes, whether in industry, commerce, or residential installations.

## 3. PROGRAMA / PROGRAM

**1. Revisão dos conceitos elementares associados com a Qualidade da Energia Elétrica, com base no módulo 8 do PRODIST, contemplando os fenômenos de Distorções Harmônicas de Tensão e Corrente, Desequilíbrios de Tensão, Flutuações de Tensão e Variações de Tensão de Curta e Longa Duração.**

**2. Aspectos práticos da qualidade da energia elétrica em sistemas de distribuição de energia elétrica.**

**3. A quantificação das perdas técnicas no âmbito da qualidade da energia elétrica em sistemas de distribuição.**

**4. Impacto dos padrões de redes de distribuição em média tensão na qualidade da energia elétrica.**

**5. Aprimoramento dos desenvolvimentos analíticos relacionados com os principais fenômenos da Qualidade da Energia Elétrica.**

**6. Medição da energia elétrica em consumidores BT, MT e AT conectados às redes de distribuição de energia elétrica com enfoque no significado físico da potência elétrica em condições senoidais, não senoidais, balanceadas ou desbalanceadas.**

6.1. Análise dos conceitos elementares de potência em condições senoidais para circuitos elétricos monofásicos.

6.2. Análise dos conceitos elementares de potência em condições senoidais e balanceadas para circuitos elétricos trifásicos.

6.3. Análise da potência elétrica em circuitos monofásicos em condições não-senoidais.

6.4. Análise da potência elétrica em circuitos trifásicos em condições não-senoidais.

6.5. Análise da potência elétrica em circuitos trifásicos em condições desbalanceadas.

6.6. Análise da potência elétrica em circuitos trifásicos em condições senoidais e desbalanceadas.

6.7. Análise da potência elétrica em circuitos trifásicos em condições não-senoidais e desbalanceadas.

6.8. Implementação dos diferentes conceitos de potência elétrica em ambiente de programação Matlab-Simulink®.

6.9. Apresentação dos princípios da medição da energia elétrica e seus impactos no contexto da Qualidade da Energia Elétrica.

6.10. Tipos de medidores.

6.11. Métodos de medição energia ativa.

6.12. Métodos de medição de energia reativa.

**7. Implementação computacional dos protocolos para quantificação dos diversos indicadores associados com a Qualidade da Energia Elétrica no âmbito do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST.**

7.1. Introdução sobre medição da qualidade da energia elétrica.

7.2. Aspectos gerais dos sistemas de medição de parâmetros da qualidade da energia elétrica (precisão, exatidão, taxa amostral, tempo de agregação, conversão AD).

7.3. Normas nacionais e internacionais existentes sobre ao tema.

7.4. Protocolos de cálculo de valores eficazes.

7.5. Protocolos de cálculo dos indicadores associados à distorção harmônica de tensão e corrente.

7.6. Protocolos de cálculo dos indicadores associados com o desequilíbrio de tensão e corrente.

- 7.7. Protocolo de cálculo dos indicadores de flutuação de tensão.
- 7.8. Protocolos de cálculo dos atributos das variações de tensão de curta duração.
- 7.9. Desenvolvimento e implementação computacional dos protocolos de quantificação dos diversos indicadores de QEE.
- 7.10. Resposta em frequência de transformadores de corrente e de potencial.

1. Review of elementary concepts associated with Power Quality, based on Module 8 of PRODIST, covering phenomena such as Harmonic Voltage and Current Distortions, Voltage Imbalances, Voltage Fluctuations, and Short and Long-Duration Voltage Variations.

2. Practical aspects of power quality in electrical distribution systems.

3. Quantification of technical losses in the scope of power quality in electrical distribution systems.

4. Impact of medium-voltage distribution network standards on power quality.

5. Enhancement of analytical developments related to key Power Quality phenomena.

6. Electric power measurement in low, medium, and high voltage consumers connected to electrical distribution networks with a focus on the physical meaning of electric power under sinusoidal, non-sinusoidal, balanced, or unbalanced conditions.

- 6.1. Analysis of elementary power concepts under sinusoidal conditions for single-phase electrical circuits.
- 6.2. Analysis of elementary power concepts under sinusoidal and balanced conditions for three-phase electrical circuits.
- 6.3. Analysis of electric power in single-phase circuits under non-sinusoidal conditions.
- 6.4. Analysis of electric power in three-phase circuits under non-sinusoidal conditions.
- 6.5. Analysis of electric power in three-phase circuits under unbalanced conditions.
- 6.6. Analysis of electric power in three-phase circuits under sinusoidal and unbalanced conditions.
- 6.7. Analysis of electric power in three-phase circuits under non-sinusoidal and unbalanced conditions.
- 6.8. Implementation of different electric power concepts in the Matlab-Simulink® programming environment.
- 6.9. Presentation of the principles of electric power measurement and its impacts in the context of Power Quality.
- 6.10. Types of meters.
- 6.11. Methods for measuring active power.
- 6.12. Methods for measuring reactive power.

7. Computational implementation of protocols for quantifying various indicators associated with Power Quality in the scope of Module 8 of the Distribution Procedures - PRODIST.

- 7.1. Introduction to power quality measurement.
- 7.2. General aspects of power quality parameter measurement systems (precision, accuracy, sampling rate, aggregation time, AD conversion).
- 7.3. Existing national and international standards on the topic.
- 7.4. Protocols for calculating effective values.
- 7.5. Protocols for calculating indicators associated with harmonic voltage and current distortion.
- 7.6. Protocols for calculating indicators associated with voltage and current imbalance.
- 7.7. Protocol for calculating voltage fluctuation indicators.
- 7.8. Protocols for calculating attributes of short-duration voltage variations.
- 7.9. Development and computational implementation of protocols for quantifying various Power Quality indicators.
- 7.10. Frequency response of current and voltage transformers.

#### 4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA / TEXT BOOK

1. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.** Brasília - DF: ANEEL, 2021.
2. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 5 – Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura.** Brasília - DF: ANEEL, 2021.
3. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição.** Brasília - DF: ANEEL, 2021.
4. SANTOSO, S. **Fundamentals of Electric Power Quality.** [S.l.]: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016.
5. EMANUEL, A. E. **Power Definition and the Physical Mechanism of Power Flow.** 1ª Edição [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2010. 405 p. ISBN 978-0470660744.

6. BOLLEN, M; GU, Irene. **Signal Processing of Power Quality Disturbances**. [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2006. 888 p. ISBN 978-0471731689.

7. DUGAN, R; MCGRANAHAN, M *et al.* **Electrical Power Systems Quality**. 3ª Edição [S.l.]: McGraw-Hill, 2012. ISBN 978-0071761550.

1. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. Brasília - DF: ANEEL, 2021.

2. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 5 – Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura**. Brasília - DF: ANEEL, 2021.

3. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição**. Brasília - DF: ANEEL, 2021.

4. SANTOSO, S. **Fundamentals of Electric Power Quality**. [S.l.]: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016.

5. EMANUEL, A. E. **Power Definition and the Physical Mechanism of Power Flow**. 1ª Edição [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2010. 405 p. ISBN 978-0470660744.

6. BOLLEN, M; GU, Irene. **Signal Processing of Power Quality Disturbances**. [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2006. 888 p. ISBN 978-0471731689.

7. DUGAN, R; MCGRANAHAN, M *et al.* **Electrical Power Systems Quality**. 3ª Edição [S.l.]: McGraw-Hill, 2012. ISBN 978-0071761550.

#### 5. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR / ADDITIONAL READING

1. NOVAIS, I. F; MACEDO, J. R. Assessment of the Performance of Active Energy Meters Under Unbalanced Conditions. **IEEE Access**, vol. 11, pp. 56526-56537, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3278595.

2. XAVIER, G. L.; MIYASAKA, G.; SILVÉRIO, E. T. *et al.* An update on the performance of reactive energy meters under non-sinusoidal conditions. **Electrical Engineering**, vol. 102, p. 1881 - 1891, 2020. DOI: 10.1007/s00202-020-00970-3.

3. MACEDO, J. R.; XAVIER, G. L.; GONDIN, I. N. *et al.* An update on the performance of active energy meters under non-sinusoidal conditions. **Electrical Engineering**, vol. 102, p. 1785 - 1794, 2020. DOI: 10.1007/s00202-020-00991-y.

4. IEC. **IEC 61000-4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto**, 2009.

5. IEC. **IEC 61000-4-30 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods**, 2021.

6. IEC. **IEC 61000-4-15 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications**, 2010.

7. IEEE. **IEEE Std. 519-2014 - Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems**, 2014. p. 1-29. DOI: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.

1. NOVAIS, I. F; MACEDO, J. R. Assessment of the Performance of Active Energy Meters Under Unbalanced Conditions. **IEEE Access**, vol. 11, pp. 56526-56537, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3278595.

2. XAVIER, G. L.; MIYASAKA, G.; SILVÉRIO, E. T. *et al.* An update on the performance of reactive energy meters under non-sinusoidal conditions. **Electrical Engineering**, vol. 102, p. 1881 - 1891, 2020. DOI: 10.1007/s00202-020-00970-3.

3. MACEDO, J. R.; XAVIER, G. L.; GONDIN, I. N. *et al.* An update on the performance of active energy meters under non-sinusoidal conditions. **Electrical Engineering**, vol. 102, p. 1785 - 1794, 2020. DOI: 10.1007/s00202-020-00991-y.

4. IEC. **IEC 61000-4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto**, 2009.

5. IEC. **IEC 61000-4-30 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods**, 2021.

6. IEC. **IEC 61000-4-15 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications**, 2010.

7. IEEE. **IEEE Std. 519-2014 - Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems**, 2014. p. 1-29. DOI: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.

#### 6. APROVAÇÃO / APPROVAL

Ficha de Disciplina homologada na 366ª Reunião Ordinária do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Curricular Component approved at 366th Regular Board Meeting of the Postgraduate Program in Electrical Engineering.

PROF. DR. LUIZ CARLOS GOMES DE FREITAS  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Head of the Postgraduate Program in Electrical Engineering  
Portaria de Pessoal UFU Nº 3675, de 30 de Junho de 2023

PROF. DR. SÉRGIO FERREIRA DE PAULA SILVA  
Diretor da Faculdade de Engenharia Elétrica  
Director of the Faculty of Electrical Engineering  
Portaria de Pessoal UFU Nº 1225, de 31 de Março de 2021



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Carlos Gomes de Freitas, Coordenador(a)**, em 02/02/2024, às 13:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5153586** e o código CRC **7C6FC00D**.