



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE**  
**CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



**FELIPE ALVES PINHEIRO SOUSA**

**ANÁLISE DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E**  
**AUTOMAÇÃO**

**Ouro Preto**

**2018**

**FELIPE ALVES PINHEIRO SOUSA**

**ANÁLISE DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Luiz F. Rispoli Alves

Ouro Preto  
Escola de Minas – UFOP  
Dezembro/2018



Monografia defendida e aprovada, em 12 de dezembro de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



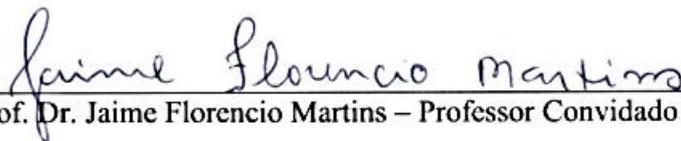
---

Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves - Orientador



---

Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado



---

Prof. Dr. Jaime Florencio Martins – Professor Convidado

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”*

*Charles Chaplin*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus pela força que me fez chegar até aqui. À minha mãe que sempre acreditou em mim e por todo apoio e amor incondicionais. Aos meus irmãos Gustavo, Gisele e Fábio, sempre me ajudando quando eu precisei. À minha Dindinha Carminha por tudo que fez por mim, serei eternamente grato. À minha namorada Paula por sempre estar ao meu lado, me apoiando com todo carinho e serenidade. Aos meus amigos de Ponte Nova e Ouro Preto e à minha casa, a República Kome Keto e todos seus moradores e ex-alunos.

Agradeço à Escola de Minas e seus grandes educadores pela paciência, ensinamentos e experiências passados a mim em especial aos professores Agnaldo e Rispoli por mostrar uma nova visão.

A todos vocês meu muito obrigado!

## RESUMO

A energia elétrica é essencial para o desenvolvimento da sociedade, sendo um dos tipos mais utilizados no mundo. Dada essa dependência, é fundamental que sua geração, transmissão e distribuição seja feita de acordo com os padrões nacionais e internacionais estabelecidos, a fim de que o consumidor não sofra com os seus distúrbios. Para isso, os órgãos nacionais devem verificar constantemente sua qualidade e fiscalizar as concessionárias, para que a energia elétrica chegue ao seu destino dentro dos valores estabelecidos. E além de fiscalizar, devem buscar constantemente soluções que melhorem cada vez mais o produto, como o sistema de transmissão de alta tensão em corrente contínua. Este trabalho tem como objetivo apresentar os aspectos da energia elétrica no Brasil, abordando a estrutura do sistema elétrico nacional e as competências cabíveis a cada organização, as normas aqui criadas, os distúrbios que afetam a qualidade, suas origens e possíveis soluções para o seu aperfeiçoamento.

**Palavras Chave:** Qualidade da energia elétrica, normas, distúrbios

## **ABSTRACT**

Electrical energy is essential for the development of society, being one of the most used types in the world. This dependence shows how important it is that the generation, transmission and distribution be made in accordance with established national and international standards, so that consumers do not suffer from their disturbances. Because of this, the national institutes must constantly check their quality and inspect the concessionaires, so that the electric energy reaches its destination within the established values. And in addition to overseeing, they must constantly seek solutions that improve the product more and more, such as the high voltage transmission system in direct current. This academic work aims to present the aspects of electric energy in Brazil, showing the structure of the national electric system and the competences that are applicable to each organization, the norms created here, the disturbances that affect quality, their origins and possible solutions for their improvement.

**Keywords:** Electrical energy quality, rules, problems

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Atual estrutura do Setor Elétrico Nacional .....	18
Figura 2: Sistemas de transmissão.....	21
Figura 3: representação do triângulo de potências .....	25
Figura 4: Afundamento de tensão.....	27
Figura 5: Elevação de tensão .....	27
Figura 6: Valores de DEC e FEC da CEMIG ao longo dos anos.....	28
Figura 7: Evolução DEC Brasil (2008-2015).....	29
Figura 8: Evolução DEC Brasil (2008-2015).....	29
Figura 9: Diferença entre uma torre HVDC e HVAC (Gomez et al. 2011).....	32
Figura 10: Representação das <i>smart grids</i> .....	35

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil comparando março de 2017 com março de 2018.....	20
---	----

## LISTA DE SIGLAS

ABRADEE	- Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	- Balanço Energético Nacional
CCEE	- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEMIG	- Companhia Energética de Minas Gerais
CMSE	- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	- Conselho Nacional de Política Energética
DEC	- Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
FEC	- Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
GQEE	- Grupo de Estudos da Qualidade de Energia Elétrica
HVAC	- High Voltage Alternating Current
HVDC	- High Voltage Direct Current
IEC	- <i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	- <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
MME	- Ministério de Minas e Energia
ONS	- Operador Nacional do Sistema Elétrico
PNE	- Plano de Eficiência Energética
PRODIST	- Procedimentos de Distribuição
QEE	- Qualidade da Energia Elétrica
SIN	- Sistema Interligado Nacional

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivos .....	14
1.1.1	Objetivo geral .....	14
1.1.2	Objetivo específico .....	14
1.2	Justificativa do Trabalho .....	14
1.3	Metodologia.....	14
1.4	Estrutura do Trabalho .....	15
<b>2</b>	<b>A DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL .....</b>	<b>16</b>
2.1	Histórico da corrente contínua e corrente alternada .....	16
2.2	A evolução do setor elétrico nacional até os dias atuais .....	17
2.3	O Sistema Interligado Nacional .....	19
<b>3</b>	<b>QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>22</b>
3.1	Normas internacionais de qualidade da energia .....	22
<b>3.1.1</b>	<b>IEC (International Electrotechnical Commission).....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.2</b>	<b>IEEE (<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>).....</b>	<b>23</b>
3.2	Normas nacionais de qualidade de energia .....	24
3.3	Distúrbios da rede elétrica .....	30
3.4	HVDC e a qualidade de energia elétrica .....	31
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>34</b>
4.1	Evolução da eletrônica e o surgimento dos ruídos .....	34
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, a humanidade viveu na ausência da energia elétrica. Vários afazeres diários não eram feitos com a mesma facilidade que é possível de se fazer hoje. Por vários séculos, se viveu sem aparelhos considerados básicos atualmente, como o chuveiro elétrico ou a geladeira. Entretanto, isso não impediu o seu desenvolvimento e grandes avanços foram surgindo ao longo dos séculos pois o homem foi capaz de criar inúmeros mecanismos capazes de reduzir o esforço e aumentar seu conforto. Dentre as diversas descobertas importantes, podem ser citadas o fogo, ferramentas básicas e a roda. Mas, sem dúvida, um grande progresso aconteceu com o surgimento da eletricidade.

De acordo com Filippo Filho (2017), a energia elétrica trouxe grandes mudanças no dia-a-dia das pessoas, evidenciando o quão se depende da mesma. Na indústria, por exemplo, é elemento essencial: nos últimos 20 anos, o custo da energia aumentou significativamente, fazendo o país sofrer racionamento, trazendo sérias implicações econômicas e sociais e afetando fortemente a produção industrial. Em outras ocasiões, o desabastecimento elétrico rondou o país, mostrando que a garantia da continuidade do fornecimento com qualidade é primordial para as atividades industriais.

O termo qualidade da energia elétrica (QEE) se refere a uma medida de quão bem a energia elétrica pode ser consumida, incluindo características de continuidade do seu fornecimento e de conformidade com parâmetros considerados desejáveis para uma operação segura, como distorções, flutuação de tensão, entre outros (DECKMAN; POMILIO, 2017). De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2017 da Empresa de Pesquisa Energética, órgão vinculado ao Ministério de Minas de Energia do Governo Federal, 260 mil residências ainda não possuem energia elétrica, indo contra a definição de qualidade.

No entanto, aqueles que possuem o acesso à energia elétrica também podem sofrer com problemas como a interrupção no seu fornecimento, que pode ocorrer por várias razões, atingindo ruas ou bairros. Em alguns casos mais graves, pode acontecer a queda de energia em regiões em uma escala maior, bem como municípios ou até estados, como o blecaute decorrido em 2009 no Brasil e no Paraguai ou em 2010 no Nordeste e nos estados do Pará e Tocantins. Maia (2011) releva que na indústria uma paralisação pode trazer prejuízos financeiros enormes, citando alguns casos:

- Controle de tráfico aéreo: perda de controle em um grande aeroporto pode custar US\$15.000/minuto;
- DuPont (empresa química dos EUA): economizou US\$75 milhões/ano implementando solução de qualidade de energia;
- Indústria automotiva: interrupções momentâneas custam em torno de US\$10 milhões/ano;
- Em uma indústria alimentícia brasileira o prejuízo foi de R\$ 840.000,00 em 2010.

Diante deste contexto, é fato que a energia elétrica deve ter parâmetros satisfatórios para que se obtenha uma boa qualidade a fim de se evitar transtornos e prejuízos e atingir o máximo de pessoas com o acesso à eletricidade. Para isso, são necessárias políticas que busquem a melhoria da sua qualidade na geração, transmissão e distribuição.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Analisar o atual cenário do sistema elétrico nacional e os aspectos que o compõe.

### **1.1.2 Objetivo específico**

Fazer um estudo sobre a qualidade da energia elétrica no Brasil, abordando o assunto desde o fornecimento da eletricidade até os parâmetros e distúrbios que o caracterizam, apresentando possíveis soluções para esses problemas.

## **1.2 Justificativa do Trabalho**

A justificativa do trabalho se dá pelo interesse em aprofundar o conhecimento sobre um dos diversos temas relacionados à energia elétrica e pela possibilidade de aplicar o aprendizado no dia-a-dia, a fim de diminuir distúrbios na rede para aumentar a qualidade.

## **1.3 Metodologia**

A coleta de dados para este trabalho se constituiu a partir de uma revisão bibliográfica da literatura e da análise de documentos. Foram consultados livros, artigos acadêmicos, regulamentos, normas técnicas e leis das agências que normalizam a energia elétrica no Brasil que auxiliaram na organização da sua estrutura.

As fontes foram selecionadas de acordo com a relevância sobre o assunto e, com o conteúdo coletado, o material foi melhor examinado. Assim, pode-se ter informações mais específicas para preparação e elaboração deste trabalho.

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está dividido em quatro capítulos.

O primeiro é a introdução, em que é realizada uma apresentação sobre o assunto seguido do objetivo, justificativa e metodologia utilizada.

No segundo capítulo encontra-se um breve histórico sobre a energia elétrica e a estrutura do sistema elétrico nacional e suas formas de geração de energia. É feito um esclarecimento sobre a função do governo federal juntamente aos órgãos vinculados a este e o funcionamento do Sistema Integrado Nacional, que interliga toda a malha de transmissão do Brasil.

No terceiro capítulo, explica-se a qualidade da energia elétrica e seus parâmetros. Logo após, fala-se sobre os distúrbios que afetam a rede e soluções para melhoria da mesma.

No penúltimo é feito um estudo de caso sobre um dos problemas que perturba a rede elétrica com suas causas e possíveis soluções

Nos últimos capítulos estão a conclusão e as referências bibliográficas.

## 2 A DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Neste capítulo será feito um histórico da energia elétrica seguido da sua estrutura no Brasil, desde o papel do governo por meio das agências reguladoras e suas normas até o sistema elétrico nacional e suas características. Serão também tratadas as diferentes formas de geração de energia, encerrando este assunto.

### 2.1 Histórico da corrente contínua e corrente alternada

Segundo Silva (2011), Nunes (2015) e Moreira (1996), há séculos atrás, quando começaram as primeiras aplicações práticas envolvendo a eletricidade, a corrente contínua (CC) era utilizada. Várias descobertas importantes foram feitas em corrente contínua, como as de Galvani, Oersted, Ohm e Àmpere. A primeira matriz energética no mundo, localizada em Nova Iorque, foi construída por Thomas Edison e teve sua operação iniciada em 1882, fornecendo corrente contínua em 110V em um raio de aproximadamente 1,6 km para 59 clientes.

Em 1884, Nikola Tesla, um cientista de nacionalidade sérvio-croata, começou a trabalhar com Edison na função de melhorar o desempenho dos geradores de corrente contínua. Contudo, tempos depois, ele deixou a empresa de Edison e abriu seu laboratório, onde começou a desenvolver sistemas de corrente alternada, apresentando, anos mais tarde, um novo sistema de corrente alternada para motores e transformadores. Tal sistema chamou atenção de George Westinghouse, que o contratou para a sua empresa fabricante de equipamentos elétricos, a Westinghouse Electric Co. Com isso, uma rivalidade entre Tesla e Edison foi surgindo, com cada um defendendo um lado.

Edison começou, então, uma campanha contra a corrente alternada e, na tentativa de provar o perigo do seu uso, ordenou experimentos cruéis, como a execução por meio da eletrocussão de uma elefanta em um parque de diversões e de um criminoso na cadeira elétrica, este último considerado um fracasso. O fim dessa disputa aconteceu quando a Westinghouse construiu um sistema que utilizava o poder das Cataratas do Niágara para gerar energia elétrica com o sistema de corrente alternada de Tesla, sendo finalmente aceito.

Por fim, a corrente alternada substituiu a contínua na geração e distribuição de energia, se estendendo por milhares de quilômetros de distância e melhorando a eficiência e segurança da sua

emissão. No entanto, as vantagens da corrente contínua não foram esquecidas, sendo usada mais tarde também na transmissão em alta tensão, a chamada HVDC (High Voltage in Direct Current), que será abordada no próximo capítulo.

## **2.2 A evolução do setor elétrico nacional até os dias atuais**

De acordo com a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – ABRADDEE (2018), o desenvolvimento do setor elétrico nacional pode ser dividido em cinco fases. A primeira tem início em 1889, com a proclamação da República, e vai até o ano de 1930, com a produção de produtos primários para exportação, sendo a principal fonte de energia o carvão natural. A mudança começou com o processo de urbanização, causado pelo crescimento da indústria do café, que resultou no aumento do consumo de energia elétrica para a iluminação pública.

O segundo período durou entre os anos de 1930 e 1945 e nele ocorreram o enfraquecimento do modelo agrário/exportador, o aumento no processo industrial e uma maior regulação do setor elétrico pelo Estado.

Embalado pela segunda fase, a presença do Estado no terceiro período foi ainda maior, com a criação de estatais em diversos segmentos da indústria, como Furnas Centrais Elétricas S.A. (1957) e a Eletrobrás (1954), durando até o fim da década de 1970.

O quarto período se iniciou em 1980 e foi marcado pela forte crise da dívida externa brasileira, resultando em altos cortes em gastos e investimentos pelo governo. Essa situação fez com que novas propostas para o setor elétrico surgissem.

Com isso, a partir da década de 1990, caracterizando o último período que dura até os dias atuais, o setor elétrico nacional passou por várias mudanças que transformaram o cenário no Brasil. O estado passou a ter o papel de regulador e deixou para trás o de executor, criando autarquias como a ANEEL e privatizando empresas mantendo a formulação de políticas como atribuição do Ministério de Minas e Energia (MME) com a colaboração do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e do Congresso Nacional.

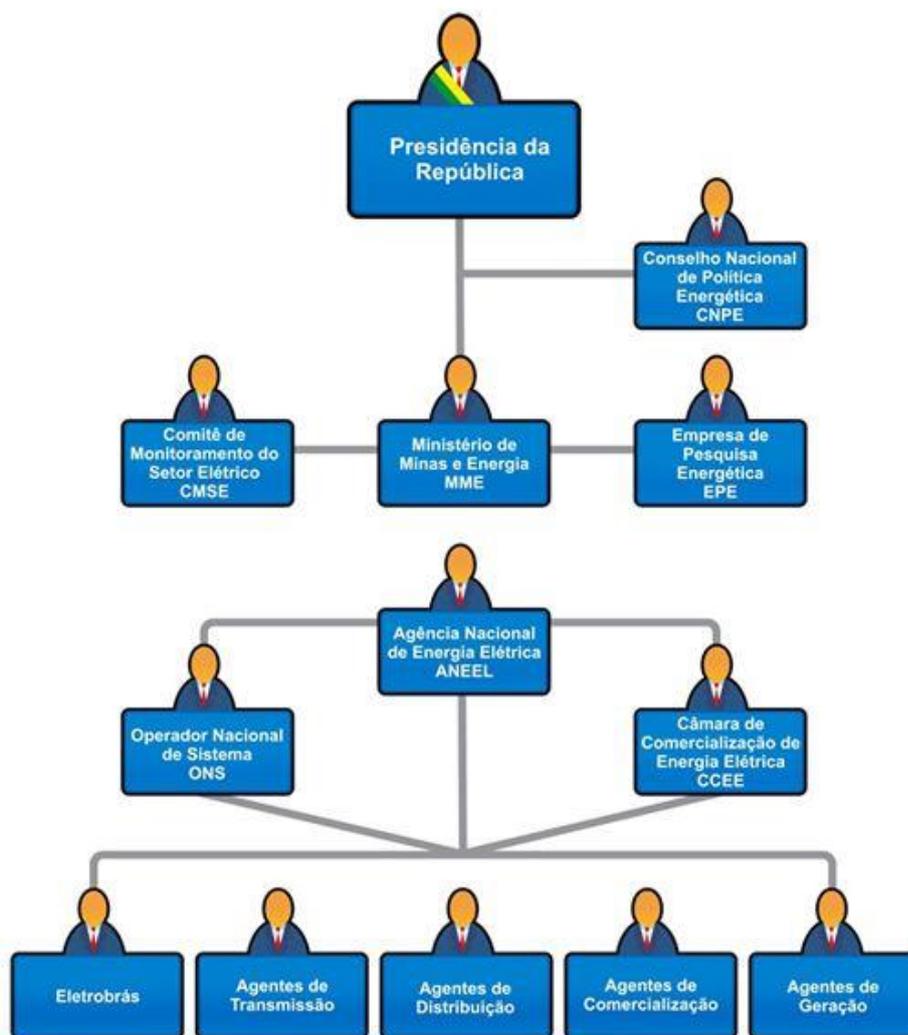


Figura 1: Atual estrutura do Setor Elétrico Nacional. Fonte: ABRADÉE (2018)

De acordo com a ANEEL (2011) a atual organização do setor elétrico nacional é composta pelas seguintes entidades:

- **Ministério de Minas e Energia:** formula, planeja e implementa as ações do governo federal no âmbito da política energética nacional;
- **Conselho Nacional de Pesquisa Energética:** formula as políticas nacionais e diretrizes de energia que visam o aproveitamento racional dos recursos energéticos do Brasil, a revisão periódica da matriz energética e o estabelecimento de diretrizes para programas específicos;
- **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico:** acompanha e avalia permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o país;

- **Empresa de Pesquisa Elétrica:** presta serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a auxiliar o planejamento do setor energético e elabora os planos de expansão da geração e transmissão da energia elétrica. Os principais resultados são divulgados no Balanço Energético Nacional (BEN) e no Plano Energético Nacional (PNE);
- **Agência Nacional de Energia Elétrica:** regula e fiscaliza a produção, transmissão, distribuição e a comercialização da energia elétrica, conforme as políticas do governo federal, além de elaborar, aplicar e atualizar os Procedimentos de Distribuição;
- **Operador Nacional do Sistema Elétrico:** coordena e controla a operação da geração e transmissão da energia elétrica do SIN (Sistema Interligado Nacional);
- **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica:** viabiliza e comercializa a energia elétrica no SIN e administra os contratos de compra e venda deste e sua contabilização e liquidação.

Com toda essa estrutura, consequência da reforma ocorrida na década de 90, a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica passaram a ser administrados por diferentes agentes, formando assim o Sistema Interligado Nacional (SIN).

### 2.3 O Sistema Interligado Nacional

Criado em 1998, o Sistema Interligado Nacional é definido pela ANEEL (2014) na resolução normativa nº 622 de 19 de agosto de 2014 como um “conjunto de instalações e de equipamentos que possibilitam o suprimento de energia elétrica nas regiões do país interligadas eletricamente, conforme regulamentação aplicável”. Em outras palavras, é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, formando o sistema de produção e distribuição de energia elétrica.

O SIN é dividido em quatro subsistemas: Sudeste/Centro, destacando-se por possuir o maior consumo de energia, Sul, Nordeste e Norte, relevante por fornecer energia por pelo menos nove meses ao ano. Atualmente, segundo a ABRADÉE, somente 1,7% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN, os chamados sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica. Nesses casos, muitos deles de difícil acesso, os sistemas são abastecidos por centrais geradoras a óleo diesel, embora também abriguem pequenas centrais

hidrelétricas, centrais geradoras hidrelétricas e termelétricas movidas a biomassa. Fornecem energia para cerca de 3% da população em uma área que se estende por aproximadamente 40% do território nacional, alcançando 1,3 milhão de consumidores. A maior concentração desses sistemas está localizada em Manaus (LOPEZ, 2013).

A maior parte dessa energia é gerada por fontes hidráulicas, correspondendo estas a 67,8% da capacidade total, de acordo com dados da ONS de 2018. Logo em seguida vem as térmicas com 27,5% e as eólicas com 7,9%. Por último fica a fonte de energia solar com apenas 0,9%.

Fonte	Mar/2017	Mar/2018			Evolução da Capacidade Instalada Mar/2018 / Mar/2017
	Capacidade Instalada (MW)	Nº Usinas	Capacidade Instalada (MW)	% Capacidade Instalada	
<b>Hidráulica</b>	<b>98.110</b>	<b>1.389</b>	<b>101.361</b>	<b>63,7%</b>	<b>3,3%</b>
UHE	92.605	221	95.619	60,1%	3,3%
PCH + CGH **	5.498	1.124	5.698	3,6%	3,6%
CGH GD	7	44	43	0,03%	505%
<b>Térmica</b>	<b>43.354</b>	<b>3.140</b>	<b>43.793</b>	<b>27,5%</b>	<b>1,0%</b>
Gás Natural	13.009	167	12.994	8,17%	-0,12%
Biomassa	14.250	553	14.614	9,19%	2,6%
Petróleo	10.326	2.275	10.293	6,47%	-0,3%
Carvão	3.613	26	3.727	2,34%	3,2%
Nuclear	1.990	2	1.990	1,25%	0,0%
Outros ***	150	30	150	0,09%	0,0%
Térmica GD	16	87	25	0,02%	53,2%
<b>Eólica</b>	<b>10.374</b>	<b>565</b>	<b>12.548</b>	<b>7,9%</b>	<b>21,0%</b>
Eólica (não GD)	10.364	511	12.538	7,88%	21,0%
Eólica GD	10,168	54	10	0,01%	1,4%
<b>Solar</b>	<b>94</b>	<b>25.042</b>	<b>1.355</b>	<b>0,9%</b>	<b>1342,7%</b>
Solar (não GD)	25	93	1.130	0,7%	4509%
Solar GD	69	24.949	226	0,1%	226%
<b>Capacidade Total sem GD</b>	<b>151.829</b>	<b>5.002</b>	<b>158.753</b>	<b>99,8%</b>	<b>4,6%</b>
<b>Geração Distribuída - GD</b>	<b>103</b>	<b>25.134</b>	<b>304</b>	<b>0,2%</b>	<b>196%</b>
<b>Capacidade Total - Brasil</b>	<b>151.932</b>	<b>30.136</b>	<b>159.058</b>	<b>100,0%</b>	<b>4,7%</b>

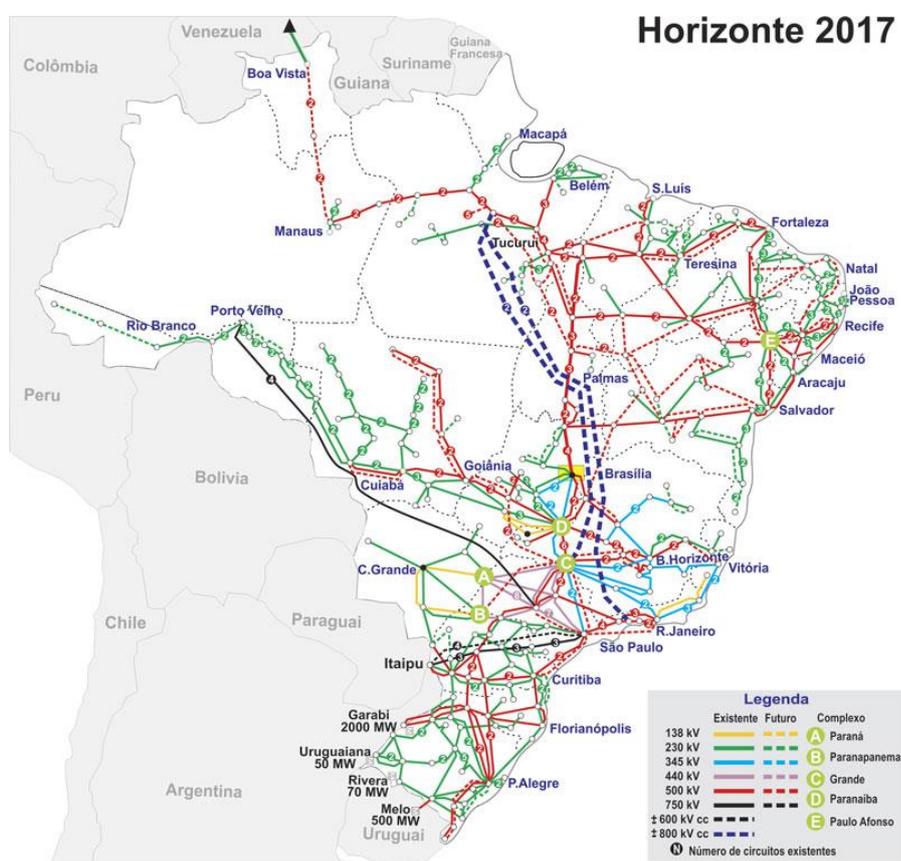
**Tabela 1: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil comparando março de 2017 com março de 2018. \*GD: geração distribuída. Fonte: ONS (2018)**

Como a maior parte das fontes vem das usinas hidrelétricas, a quantidade de energia gerada depende do regime de chuvas nas bacias hidrográficas, que variam entre as regiões, devido ao tamanho do território brasileiro. Entretanto, com a integração do SIN, a distribuição entre as regiões

se torna eficaz e reduz essa dependência dos períodos chuvosos, permitindo que uma região com abundância de água possa fornecer à outra, equilibrando o sistema. Para isso, o ONS conta com cinco Centros de Operações espalhados pelo país, coordenando, supervisionando e controlando a operação de toda matriz energética brasileira, tendo um total de mais de 49 mil intervenções anuais para que tudo funcione de maneira precisa.

Para o transporte da energia, há os sistemas de transmissão e distribuição, regulados pela ANEEL. O primeiro segmento conta com mais de 50 concessionárias (ABRADEE,2016) administrando e operando em uma extensão total de 141.388 km de linhas de transmissão, segundo fontes da ONS, com projeção de 185.484 km em 2023. A tensão transportada é superior a 230 kV, levando aos centros de distribuição e aos grandes consumidores.

O segmento da distribuição recebe essa energia e leva aos pequenos e médios consumidores por meio das concessionárias, operando e administrando as linhas de tensão abaixo dos 230 kV, principalmente as de média e baixa tensão, fazendo com que chegue nas residências, comércio, nas ruas das cidades e nas pequenas indústrias.



**Figura 2: Sistemas de transmissão. Fonte: ONS (2017)**

### **3 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA**

Conforme Xavier (2016) relata, para a implantação de um sistema de monitoramento da qualidade da energia elétrica, é necessário saber os padrões de operação do sistema elétrico exigidos pelas normas criadas pelos órgãos nacionais e internacionais. Mais que isso, as normas estabelecem um padrão sobre os sistemas de medição a fim de que não haja diferenças nas medições realizadas por esses. No entanto, as regras dos diversos institutos ainda não foram unificadas e, por enquanto, são utilizadas normas nacionais e recomendações internacionais. Tal fato prejudica os consumidores, pois estes adquirem determinados equipamentos previstos para utilização sob certas condições no país de origem, diferentes das condições locais, podendo trazer danos ao equipamento devido ao mau funcionamento (Santos, 2011). No Brasil, a ANEEL é encarregada de regular e fiscalizar a rede elétrica e, em 2009, publicou os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

Dessa maneira, neste capítulo serão abordadas as legislações que regem sobre a QEE tanto no Brasil quanto no mundo, os distúrbios que afetam a rede e algumas ações importantes para a energia fique dentro dos padrões permitidos.

#### **3.1 Normas internacionais de qualidade da energia**

Dentre as instituições que estabelecem padrões para a QEE, há duas que merecem destaque: a IEC e a IEEE.

##### **3.1.1 IEC (International Electrotechnical Commission)**

Fundada em Londres em 1906 e atualmente sediada em Genebra, na Suíça, a IEC tem como objetivo cooperar nas questões internacionais relacionadas a normalização nos campos elétrico e eletrônico. Seus membros são conhecidos como Comitês Nacionais, um por país, composto por representantes de todas as áreas interessadas na área de eletrotecnologia no nível nacional, como a indústria, agências governamentais, associações de comércio, usuários finais e desenvolvedores de normas. Seu objetivo é auxiliar a redução das barreiras técnicas ao comércio causadas por diferentes critérios de certificação em diferentes países. Removendo significantes atrasos e custos dos múltiplos

testes e aprovações permite à indústria ser mais rápida e mais competitiva para o mercado com seus produtos (IEC, 2018).

Um importante conjunto de normas é a família IEC 61000, referente à compatibilidade eletromagnética (EMC, *eletromagnetic compatibility*). “A EMC declara que um equipamento não deve sofrer interferências nem interferir no correto funcionamento de outros equipamentos situados no mesmo ambiente” (LOPEZ, 2013). Sua estrutura é dada da seguinte maneira:

- **Parte 1: Geral**

Apresenta os conceitos básicos (princípios fundamentais, definições e terminologia);

- **Parte 2: Ambiente**

Explica o procedimento para descrição e classificação do ambiente onde o equipamento será utilizado;

- **Parte 3: Limites**

Mostra os limites de emissão de distúrbios e quão imune cada equipamento está;

- **Parte 4: Técnicas de teste e medição**

Fornece os procedimentos para o projeto de equipamentos de medição e monitoramento dos distúrbios da QEE e seus procedimentos de teste;

- **Parte 5: Guias de instalação e mitigação**

Apresenta as diretrizes para a instalação de modo a aumentar a imunidade contra distúrbios que prejudiquem o funcionamento dos equipamentos;

- **Parte 6: Normas genéricas**

Expõe os padrões de emissão e imunidade a distúrbios em ambientes variados;

- **Parte 9: Informações diversas**

### 3.1.2 IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)

O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos foi fundado nos Estados Unidos em 1963 e, em 2017, possuía até então 417.429 membros no mundo todo, segundo seu relatório anual, incluindo engenheiros, cientistas, pesquisadores e outros profissionais. Detém extrema importância no desenvolvimento de normas e estudos da engenharia nos campos da elétrica, eletrônica e computação. No Brasil, possui mais de 40 ramos estudantis nas universidades.

Segundo o Relatório Técnico da Fundação de Apoio Universitário (2014), as normas IEEE não apresentam uma documentação estruturada quando comparada à IEC. No entanto, sua compreensão é mais compreensível, tornando-se uma referência mais utilizada. As principais normas IEEE utilizadas em relação à QEE são: IEEE 519, recomendações práticas para controle de harmônico em sistemas elétricos, e IEEE 1159, recomendações práticas para medição e interpretação das informações relacionadas ao distúrbio causador de problemas de QEE.

### **3.2 Normas nacionais de qualidade de energia**

No Brasil, o Operador Nacional do Sistema Elétrico em conjunto com a ANEEL criou o Grupo de Qualidade de Energia Elétrica (GQEE) para estabelecer padrões na medição da QEE. O GQEE é formado por técnicos e especialistas e tem a função de estabelecer critérios gerais para mensurar a QEE.

Em 2009, a ANEEL publicou os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), consolidando as diretrizes sobre a QEE nos sistemas de distribuição do Brasil. Esse documento estabelece medidas para a relação entre os vários agentes que fazem parte do sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Segundo a ANEEL (2016), seus principais objetivos são: garantia de uma operação segura, eficiente, confiável e de qualidade por parte dos sistemas de distribuição; propiciar o acesso aos sistemas de distribuição, assegurando tratamento não obrigatório entre os agentes; disciplinar os procedimentos técnicos para as atividades relacionadas ao planejamento da expansão, à operação dos sistemas de distribuição, à medição e à qualidade da energia elétrica; estabelecer requisitos para os intercâmbios de informações entre os agentes setoriais; assegurar o fluxo de informações adequadas à ANEEL e disciplinar os requisitos técnicos na interface com a Rede Básica, complementando de forma harmônica os Procedimentos de Rede. É composto por 8 módulos:

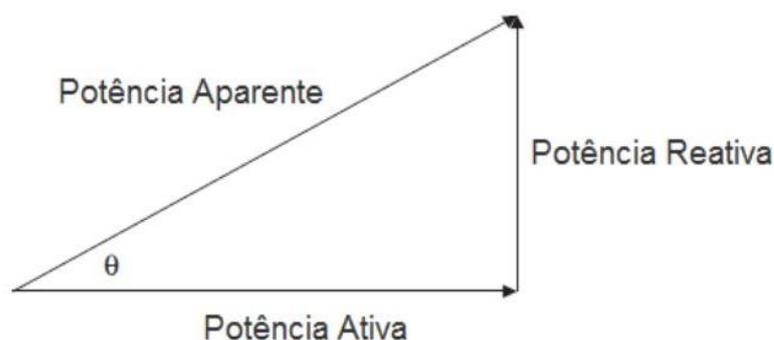
- **Módulo 1: Introdução**
- **Módulo 2: Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição**
- **Módulo 3: Acesso ao Sistema de Distribuição**
- **Módulo 4: Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição**
- **Módulo 5: Sistemas de Medição**
- **Módulo 6: Informações Requeridas e Obrigações**
- **Módulo 7: Cálculo de Perdas na Distribuição**
- **Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica**

O módulo 8 se refere especificamente à QEE, o qual estabelece os métodos relacionados à esta, abordando 3 aspectos: a qualidade do produto, a qualidade do serviço prestado e a qualidade do tratamento de reclamações. Sua abrangência engloba os consumidores, centrais geradoras, distribuidoras, agentes importadores ou exportadores de energia elétrica, transmissora detentoras de Demais Instalações de Transmissão e o ONS (ANEEL,2018).

Na qualidade do tratamento das reclamações, que estabelece os limites anuais do indicador de Frequência Equivalente de Reclamação (FER) para as distribuidoras.

Em relação à qualidade do produto, o PRODIST trata os seguintes aspectos: tensão em regime permanente; fator de potência; harmônicos; desequilíbrio de tensão; flutuação de tensão; variação de frequência e variações de tensão de curta duração. Todas as definições que se seguem estão de acordo com as definições dadas pela ANEEL e encontram-se no módulo 8 da PRODIST.

- **Fator de potência:** O valor do fator de potência é definido como a relação as potências ativa e aparente e representa a eficiência no uso da energia.



**Figura 3: representação do triângulo de potências**

Os padrões exigidos pela ANEEL são de que o fator de potência deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 1,00 e 0,92 capacitivo. De acordo com Rocha (2016), o uso de controladores automáticos de fator de potência é comum, que atuam conectando e desconectando bancos de capacitores. Seu valor é registrado pela concessionária e, caso esteja fora do limite estabelecido, é uma multa é aplicada ao usuário. Entretanto, o uso correto do banco de capacitores mantém o fator de potência dentro do valor exigido.

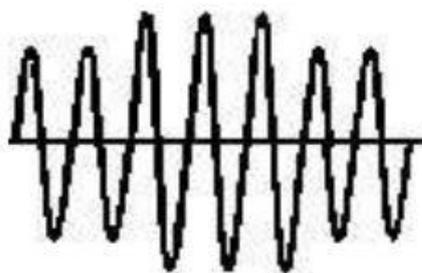
- **Harmônicos:** conforme a ANEEL, as distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental. Sua medição deve ser feita através das tensões fase-neutro para sistemas estrela aterrada e fase-fase para demais configurações (SANTOS, 2011).
- **Desequilíbrio de tensão:** desequilíbrio de tensão é o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de  $120^\circ$  entre as tensões de fase do mesmo sistema. Os consumidores são responsáveis por equilibrar as cargas para que o equilíbrio de tensão permaneça adequado para as várias condições de funcionamento do sistema elétrico (ROCHA, 2016).
- **Flutuação de tensão:** a flutuação de tensão é a variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea. Sua alteração varia normalmente entre 90% e 110% da tensão nominal e, embora pequena, resulta em uma variação do fluxo luminoso, chamado de cintilamento, causando desconforto visual, redução do nível de concentração, fadiga e irritabilidade nas pessoas e afetando o funcionamento de alguns equipamentos elétricos. A qualidade da tensão do sistema de distribuição quanto a esse fenômeno avalia o incômodo causado pela cintilação luminosa (ROCHA, 2016).
- **Variação de frequência:** os limites para a variação de frequência dos sistemas de geração e distribuição estão situação entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Quando ocorrem, as instalações de geração devem garantir com que seu valor retorne ao intervalo compreendido entre 59,5 Hz e 60,4 Hz em no máximo trinta segundos para que o equilíbrio carga-geração se recupere. Caso seja preciso, pode haver a interrupção da geração ou da carga para que o equilíbrio seja

reestabelecido, considerando que a frequência: mantenha seu valor entre 56,5 Hz e 66 Hz; permaneça por no máximo 30 segundos acima de 62 Hz e 10 segundos acima de 63,5 Hz ou abaixo de 58,5 Hz e 5 segundos abaixo de 57,5 Hz (ANEEL, 2018).

- **Variações de tensão de curta duração:** variações de tensão de curta duração (VTCD) são desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo de no máximo três minutos. Junto com as interrupções, as VTCD são os agentes mais causadores de parada nos processos industriais. Há dois tipos: afundamento de tensão e elevação de tensão. O afundamento de tensão ocorre quando seu valor eficaz é igual ou superior 0,1 pu (sistemas por unidade) e inferior a 0,9 pu quando comparado à tensão de referência. A elevação de tensão, por sua vez, ocorre quando esse valor é superior a 1,1 pu.



**Figura 4: Afundamento de tensão**



**Figura 5: Elevação de tensão**

Na qualidade do serviço, além de estabelecer seus procedimentos, há dois parâmetros importantes são os indicadores de continuidade de conjunto de unidades consumidoras: a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC).

- **Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC):** intervalo de tempo que cada unidade consumidora sofreu descontinuidade na distribuição de energia elétrica. É expresso seu valor médio em horas e centésimos de hora.
- **Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC):** número de interrupções ocorridas em cada unidade consumidora. É expresso seu valor médio de interrupções e centésimos do número de interrupções

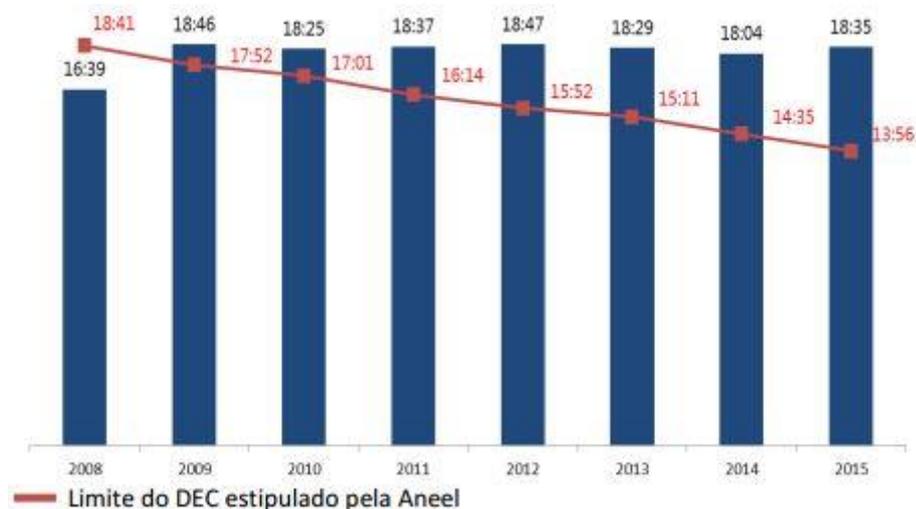
No estado de Minas Gerais, a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) terminou o ano de 2017 com os valores de DEC e FEC abaixo dos limites estabelecidos pela ANEEL, gerando uma economia de R\$ 7,6 milhões de reais pagos em compensações aos consumidores., segundo dados do Relatório Anual de Sustentabilidade da CEMIG (2017).



**Figura 6: Valores de DEC e FEC da CEMIG ao longo dos anos. Fonte: CEMIG (2017)**

Entretanto, no Brasil, o DEC apresentou uma piora ao longo dos anos. Segundo estudos do Sistema Firjan de 2016, apesar do limite ter se reduzido devido às políticas adotadas pela ANEEL, o indicador apresentou valores acima do estipulado, resultando num total de mais de 18 horas sem energia elétrica.

Por sua vez, o FEC mostrou uma melhora com o passar dos anos, mostrando que a consumidor brasileiro ficou, em média, 9,86 vezes sem luz sendo, ainda assim, um número alto para um país que procura se manter economicamente competitivo.



**Figura 7: Evolução DEC Brasil (2008-2015). Fonte: CEMIG (2017)**



**Figura 8: Evolução DEC Brasil (2008-2015). Fonte: CEMIG (2017)**

Esses indicadores apresentam ainda uma certa fragilidade, pois não leva em consideração as interrupções com tempos inferiores a 3 minutos e não distingue a classe dos consumidores, ou seja, não registram se a interrupção ocorreu no setor residencial, comercial, rural ou industrial. Essa interrupção tem diferentes impactos, dependendo da área em que ocorre. Na indústria, por exemplo seu efeito negativo leva grandes a grandes perdas financeiros. O chamado custo da Interrupção (CI) representa o prejuízo de um consumidor resultante da interrupção sem aviso prévio. Além desse, há o custo social da energia não suprida (CENS) que corresponde aos custos diretos e indiretos

decorrentes da energia não fornecida. Esses dois parâmetros são relevantes para o planejamento do investimento na rede e dos esquemas tarifários (SINAPSIS, 2016).

### 3.3 Distúrbios da rede elétrica

Assim como a interrupção do fornecimento de energia elétrica afeta a qualidade da energia elétrica, há outros distúrbios que atrapalham o funcionamento da rede e podem danificar os equipamentos conectados a esta. Abaixo segue um resumo de diferentes distúrbios, suas descrições, causas e consequências:

<b>Distúrbio</b>	<b>Descrição</b>	<b>Causa</b>	<b>Efeito</b>
<b>Interrupções</b>	Interrupção total da alimentação elétrica	Curto-circuitos, descargas atmosféricas e outros acidentes	Queda do sistema, dano de equipamentos, perda de dados
<b>Transientes</b>	Distúrbio na senoide resultando em um rápido e agudo aumento de tensão	Descargas atmosféricas, manobras da concessionária e de grandes cargas e banco de capacitores	Travamento, perda de memória e erros de processamento e queima de placas eletrônicas
<b>Subtensões/ Sobretensões</b>	Subtensões são responsáveis por 87% de todos os distúrbios elétricos	Queda/partida de grandes equipamentos, curto-circuito e falhas em equipamentos	Perda de dados e erros de processamento, desligamento de equipamentos, oscilações em motores com redução da vida útil
<b>Ruídos</b>	Sinal indesejado de alta frequência que altera o padrão da senoide	Interferência de estações de rádio e TV, operação de equipamentos eletrônicos	Travamento, perda de memória e erros de processamento, recepções de áudio e vídeo distorcidas

<b>Harmônicos</b>	Alteração da senoide causada por frequências múltiplas da fundamental	Fonte de alimentação ininterrupta, reatores eletrônicos, inversores de frequência, retificadores	Sobreaquecimento de cabos e equipamentos, diminuição da performance de motores
<b>Variações de tensão de longa duração</b>	Variações de tensão com duração maior que 1 minuto	Equipamentos e fiação sobrecarregados, utilização incorreta dos transformadores	Desligamento de equipamentos, sobreaquecimento de motores e lâmpadas, redução da vida útil dos equipamentos

Tabela 1: Resumo dos distúrbios elétricos (LOPEZ, 2013)

### 3.4 HVDC e a qualidade de energia elétrica

Com os distúrbios que atingem a rede elétrica, a busca por novas soluções tem crescido muito nos últimos anos, afinal, é necessário atender o crescimento da demanda sem que haja o risco de apagões ou diminuição da perda de energia. Na procura por soluções alternativa, o sistema de corrente contínua em alta tensão, ou do inglês *High Voltage Direct Current* (HVDC) tem se mostrado um caminho de alto potencial e benefícios econômicos e sociais.

Os sistemas em corrente alternada eram o único meio utilizado para a transmissão de energia. Entretanto, suas conexões eram, em geral, de extensão geográfica limitada e havia, ainda, a dependência de gerações locais. Com o avanço dos estudos sobre o transporte de energia em corrente contínua, foi constatado que esse sistema era viável, permitindo a conexão de sistemas de longas distâncias. Assim, os sistemas HVDC passaram a ter mais importância (VASCONCELOS, 2014).

Segundo dados do IEEE de 2012, a China possui mais de 35 projetos de HVDC, número que está relacionado ao crescimento econômico do país e sua grande extensão territorial, dadas as suas vantagens de transmissão. Contudo, encontra-se hoje no Brasil o maior sistema HVDC do mundo: o Rio Madeira. Esse sistema permite que as usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau abasteça o estado de São Paulo. Por meio de duas estações conversoras, uma em Porto Velho,

Rondônia e outra em Araraquara, São Paulo, essa transmissão é feita por meio de 2375 km de extensão. Além do Complexo Rio Madeira, Garabi, e Itaipu também utiliza o sistema HVDC.

O crescente uso desse tipo de sistema está aliado a diversas vantagens em relação ao sistema de corrente alternada, sendo elas sociais e na qualidade da energia transmitida. Na questão ambiental, as torres de transmissão HVDC ocupam uma área menor pois precisam somente de dois cabos, um para cada polo para transportar a energia, enquanto o sistema de corrente alternada necessita de três cabos, se tratando de um sistema trifásico. Igualmente, permite a integração de sistemas em frequências diferentes, como ocorre em Guarabi. O Paraguai trabalha com a frequência de 50 Hz enquanto que no Brasil é de 60 Hz (Rudervall, Charpentier, Sharma. 2000). Também podem ser citados os ruídos audíveis da transmissão em CA, que é sempre constando, diferentemente da rede CC, que apresenta somente ruídos aleatórios (SATO, 2013). E no caso da qualidade da energia, vários aspectos do sistema HVDC superam os de corrente alternada, segundo Oliveira (2015). São eles:

- **Limites de estabilidade:** o limite de transmissão do sistema CA reduz conforme sua extensão e os ângulos das tensões aumentam. Como não ocorre defasagem angular no HVDC, não há esse problema;
- **Controle de tensão:** o sistema CA demanda um controle de potência reativa para manter a tensão constante a medida em que a energia é transmitida. Como o HVDC não necessita de potência reativa, seu controle de potência se torna mais fácil;
- **Transmissão por cabos a longas distâncias:** o sistema CA não é viável para uso em longas distancias em cabos subterrâneos por causa do seu efeito capacitivo, problema que não acontece no HVDC.

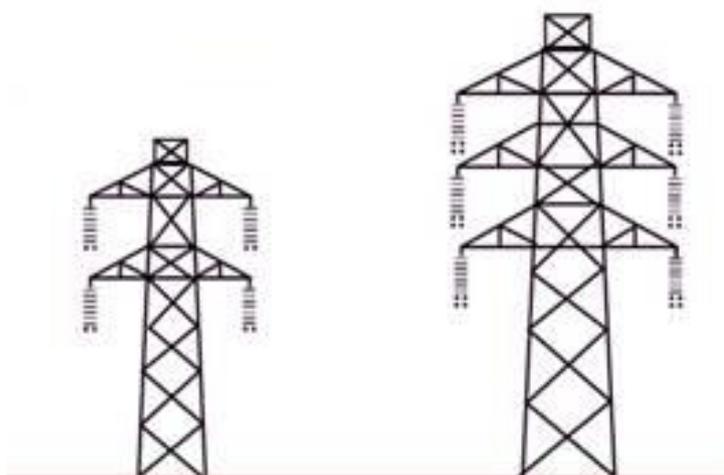


Figura 9: Diferença entre uma torre HVDC e HVAC. Fonte: Gomez et al. (2011)

Em busca de mais melhorias no sistema de transmissão do Brasil, no fim de 2017 entrou em funcionamento a primeira linha de transmissão Ultrahigh Voltage Direct Current (UHVDC) do país, na ordem de 800 kV. Chamada de UHVDC Xingu-Estreito, tem seu início no Pará e chega até o sul de Minas Gerais, totalizando 2076 km. O empreendimento beneficia mais de 20 milhões de pessoas e leva maior segurando ao SIN, principalmente nos períodos em que o nível dos reservatórios das hidrelétricas estão mais baixo, resultando em pouca oferta de energia (BMTE, 2017).

Mesmo com as inúmeras vantagens em relação ao sistema HVAC, a corrente contínua também apresenta algumas desvantagens, sendo a principal delas o seu alto custo de instalação. Apesar do gasto de uma linha de transmissão ser basicamente o valor dos cabos, as unidades conversoras que compõe o sistema ainda é uma tecnologia muito cara. No entanto, ainda é mais vantajoso utilizá-la para longas distâncias quando comparadas à corrente alternada. (LOPEZ, 2013)

## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será realizado um breve estudo sobre um dos distúrbios da qualidade da energia elétrica: o ruído. Será abordado o seu surgimento com a chegada dos equipamentos eletrônicos, seus efeitos na rede e possíveis soluções para atenuação do ruído.

### 4.1 Evolução da eletrônica e o surgimento dos ruídos

Em conjunto com a compatibilidade eletromagnética, um outro conceito muito importante relacionado à qualidade é o da suscetibilidade eletromagnética, que se refere à capacidade que um equipamento tem de se manter imune às interferências eletromagnéticas. Com o advento dos dispositivos eletrônicos e as instalações elétricas, por vezes, mal projetadas, os ruídos foram surgindo e hoje trazem danos a esses equipamentos e a rede elétrica. “A larga utilização da eletrônica digital operando em altas frequências e grandes velocidades, em grande variedade de equipamentos, aumentou significativamente a sensibilidade em relação à interferência eletromagnética” (LOPEZ, 2013).

O ruído é um distúrbio causado pelos circuitos internos dos equipamentos como os industriais e comerciais, de comunicação (estes geram a interferência por radiofrequência), sistemas de potência, máquinas e eletrodomésticos. Outras circunstâncias para o aparecimento dos ruídos são de causas naturais. Os ruídos danificam aos poucos os equipamentos sujeitos a eles. Na indústria, por exemplo, pode atrapalhar a comunicação entre diferentes dispositivos, apagar dados subitamente ou até queimar alguém componente do sistema.

Para reduzir esse ruído, podem ser utilizados filtros, blindagem eletromagnética e um método de aterramento eficaz. No entanto, para um melhor resultado, é necessário também a gestão em tempo real aliada a uma gestão inteligente da energia elétrica.

Por isso, um conceito que vem crescendo nos últimos anos é o das redes elétricas inteligentes, ou *smart grids*, que consiste na utilização de dispositivos digitais nas redes transportadoras de energia. Esse sistema possibilita uma geração, transmissão e distribuição mais eficaz da energia e tem como um dos seus principais componentes o medidor eletrônico inteligente, mais eficiente que o medidor convencional, pois com ele é possível o monitoramento remoto da

qualidade da energia, enviando e recebendo mensagens, eventos e alarmes em tempo real. Com isso, como benefícios as *smart grids* tem: auto recuperação em caso de quedas, resistir a ataques físicos e cibernéticos, melhorar a qualidade da energia, maior envolvimento do mercado, entre outros (MME, 2010).



**Figura 10: Representação das *smart grids*. Fonte: Governo de São Paulo (2017)**

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia elétrica é indispensável para a vida do homem. Seu papel é fundamental para o funcionamento da sociedade como um todo: sem ela, seria impossível realizar várias tarefas, desde simples até mais complexas. E para que continue suprindo as necessidades humanas, não pode haver problemas no seu fornecimento. Para isso, as instituições nacionais e internacionais, incluindo o governo federal, devem fiscalizar as empresas que fazem a energia chegar até o consumidor.

Para manter a qualidade da energia, há vários parâmetros que devem ter seus limites respeitados. O Brasil é um dos maiores geradores de energia do mundo, possuindo em seu território duas das maiores hidrelétricas existentes. E, por isso, tem um conjunto de normas bem definidas estipuladas conforme os padrões nacionais. Diante desse cenário, é imprescindível que a qualidade da energia elétrica aqui circulada esteja de acordo com as normas estipuladas, principalmente se tratando de um país que cujo potencial de desenvolvimento é enorme.

No entanto, nos últimos anos o Brasil tem sofrido com quedas de energia, o que pode ser reflexo da qualidade da energia que circula pelo país. Todavia, o governo, em parceria com os órgãos relacionados ao setor elétrico, tem buscado alternativas para melhorar o sistema de transmissão, como a instalação de sistemas HVDC para facilitar o caminho entre a geração e a distribuição.

Dessa maneira, o trabalho abordou os diferentes aspectos do setor elétrico brasileiro e mostrou o funcionamento da sua estrutura e os problemas que a acompanham, assim como as suas possíveis soluções. Com isso, conclui-se que o Brasil possui um sistema elétrico eficiente, mas que também é importante a busca por melhorias, para que o consumidor possa usar uma energia elétrica cada vez mais limpa.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o estudo voltado aos distúrbios, procurando meios mais simples e baratos de atenuá-los para que possam ser utilizados em pequenas aplicações, como nas residências, além de poder agregar mais o aprendizado.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução normativa nº 622**. Brasília, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Setor Elétrico: Visão geral do setor**, 2016. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor/>>. Acesso em: 29 jul. 2018.

BELO MONTE TRANSMISSORA DE ENERGIA. **Primeiro bipolo de transmissão de 800 kV UHVDC entra em operação com dois meses de antecedência**. 2017. Disponível em <<http://www.bmte.com.br/primeiro-bipolo-de-transmissao-de-%C2%B1800-kv-uhvdc-entra-em-operacao-com-dois-meses-de-antecedencia/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

COMISSÃO ELETROTÉCNICA INTERNACIONAL. **Bem-Vindo à IEC**. Disponível em: <[https://www.iec.ch/about/brochures/pdf/about\\_iec/welcome\\_to\\_the\\_iec-p.pdf](https://www.iec.ch/about/brochures/pdf/about_iec/welcome_to_the_iec-p.pdf)>. Acesso em: 3 set. 2018.

COMISSÃO ELETROTÉCNICA INTERNACIONAL. **Structure of IEC 61000**. 2008. Disponível em: <[https://www.iec.ch/emc/basic\\_emc/basic\\_61000.htm](https://www.iec.ch/emc/basic_emc/basic_61000.htm)>. Acesso em: 3 set. 2018.

DECKANN, Sigmar Maurer.; POMILIO, José Antenor. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica**. 2017. Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/>>. Acesso em: 22 set. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) E MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Anuário estatístico de energia elétrica** 2017. Rio de Janeiro: EPE e MME. 2017.

FILIPPO FILHO, Guilherme. A importância da eletricidade para a indústria brasileira. **Canal do Técnico**, 2017. Disponível em: <<https://canaltecnico.somosensinotecnico.com.br/importancia-eletricidade-industria>>. Acesso em 13 de setembro de 2018.

FIRJAN. **Propostas para melhorar a qualidade da energia elétrica para a indústria no Brasil**.

2016. Disponível em: < <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/propostas-para-melhorar-a-qualidade-da-energia-eletrica-para-a-industria-no-brasil.htm>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Qualidade na energia elétrica**. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Artliber Editora, 2013.

MERCADOS DE ENERGIA CONSULTORIA. **Avaliação dos custos relacionados às interrupções de energia elétrica e suas implicações na regulação**. Buenos Aires, Argentina. 2016

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório Smart Grids**. Brasília. 2010.

MOREIRA, S. V. Nikolas Tesla, o inventor no seu ambiente de criação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 28., 2005. Rio de Janeiro. Anais... São Paulo: Intercom, 2005. CD-ROM.

NUNES, Marcus Vinícius. **Nikola Tesla**: uma breve história do mestre dos raios. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Física) – Universidade Estadual de São Paulo, Presidente Prudente, 2015. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/149282>>. Acesso em: 29 jul 2019.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **O Sistema em números**. 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 7 ago. 2017.

ROCHA, Joaquim Eloir. **Qualidade da energia elétrica**. 2016. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/joaquimrocha/qualidade-da-energia-eletrica>>. Acesso em: 8 nov. 2018.

RUDERVALL, R. CHARPENTIER, J. P. SHARMA, R. High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission Systems Technology Review Paper. In: Energy Week 2000. 2000, Washington, D.C. EUA. Disponível em: < <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/hamerly1/docs/energyweek00.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

SIEMENS. **Smart grid – a rede elétrica inteligente do futuro**. 2012. Disponível em < <https://www.siemens.com.br/desenvolvimento-sustentado-em-megacidades/smart-grid.html>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

SILVA, Márcio Thelio Fernandes. **Projeto e desenvolvimento de um padrão para alta tensão em corrente contínua na faixa de 1 kV a 50 kV**. 2011. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <

[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=17889@1](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=17889@1)>. Acesso em: 30 nov. 2018.

SUELA, Faiossander. **Medicação de ruídos eletromagnéticos irradiados em sistemas de geração fotovoltaica**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-AJ5QT2>>. Acesso em: 26 set. 2018.

VASCONCELOS, Leandro Almeida. **Metodologia para representação de sistemas de transmissão em corrente contínua multiterminais no problema de fluxo de potência**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/ppee/files/2015/02/Dissertacao-Leandro-Vasconcelos-PPEE.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2018.

XAVIER, Marcos Vinícius Eloy. **Sistema de monitoramento de alto desempenho da qualidade da energia elétrica**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. Disponível em: <[https://www.ppgee.ufmg.br/diss\\_defesas\\_detalhes.php?aluno=1199](https://www.ppgee.ufmg.br/diss_defesas_detalhes.php?aluno=1199)>. Acesso em: 30 ago. 2018.

Certifico que o aluno Felipe Alves Pinheiro Sousa, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado "Análise da energia elétrica no Brasil", efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.



---

Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves  
Orientador

Ouro Preto, 15 de janeiro de 2019