



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC  
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ  
ENGENHARIA CIVIL**

**ANDERSON LUIZ ABREU DE ARAÚJO**

**FONTES, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA:  
COM ÊNFASE NA SUSTENTABILIDADE.**

**UBÁ/MG  
2022**

**ANDERSON LUIZ ABREU DE ARAÚJO**

**FONTES, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA:  
COM ÊNFASE NA SUSTENTABILIDADE.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Me. Livia Souza de Oliveira

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre esteve ao meu lado, abençoando, protegendo e me guiando nessa longa jornada.

Agradeço a minha família, esposa, filho, filha, pai e irmã por todo apoio, paciência, compreensão e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, e por compreenderem as ausências muitas vezes necessárias.

A todos meus amigos, que com certeza deixaram essa caminhada mais leve e divertida.

Agradeço a todos os professores, por terem transmitido seus conhecimentos e sempre estarem dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado.

Agradeço a orientadora e professora Lívia pela paciência e dedicação para a conclusão desta etapa.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, muito obrigado.

## RESUMO

A energia elétrica é uma das fontes de energia mais importantes e usadas pela sociedade. Esta pode ser resultante de várias fontes de energia, denominadas energias preambulares, ou seja, aquelas que estão disponíveis na natureza, e que com o constante uso surgem as preocupações com as questões ambientais, obrigando-nos torná-la cada vez mais eficaz e sustentável. Sobre as linhas de transmissão e os elementos que contituem esta estrutura, considerando que esta é a parte do sistema elétrico de potência mais vulnerável a falhas elétricas, pôde ser exposto ao longo do trabalho a importância do estudo nessa área, apresentando seus componentes e a relevância de cada um deles na estruturação e proteção, para que se tenha um fornecimento contínuo de energia elétrica. Neste contexto, o presente trabalho irá abordar aspectos gerais das fontes geradoras (hidráulica, eólica, fotovoltaica, geotérmica, biomassa, lixo, maré, gás natural, carvão mineral e nuclear) e do sistema elétrico de potência e apresentar os principais elementos que constituem as linhas de transmissão (subestação elevadora, torres, condutores, cabos de guarda, sistema de aterramento, esferas de sinalização, para raios, isoladores, subestação abaixadora e distribuição). Abordará também a busca de um novo sistema energético sustentável, ou seja, que prioriza o uso dos recursos naturais com impactos negativos mínimos no meio ambiente; e o desenvolvimento desses recursos de forma econômica, no sentido de permitir sua disponibilidade para as futuras gerações. Pode-se concluir que em âmbito nacional, as fontes de energia renováveis são abundantes e ainda pouco exploradas, tendo em vista que a sociedade só tem benefícios com o uso das mesmas, tais como: baixo impacto na natureza, baixo custo e grande índice de disponibilidade, por se tratar de fontes inesgotáveis.

**Palavras-chaves:** Energia elétrica. Sustentável. Distribuição. Linhas de transmissão.

## ABSTRACT

Electrical energy is one of the most important energy sources used by society. This can be the result of various energy sources, called preambular energies, that is, the ones that are available in nature, and that with constant use, concerns about environmental issues arise, forcing us to make it increasingly effective and sustainable . About the transmission lines and the elements that constitute this structure, considering that this is the part of the electric power system most vulnerable to electrical failures, the importance of the study in this area could be exposed throughout the work, presenting its components and the relevance of each one of them in the structuring and protection, in order to have a continuous supply of electrical energy. In this context, this work will address general aspects of generating sources (hydraulic, wind, photovoltaic, geothermal, biomass, garbage, tide, natural gas, mineral coal and nuclear) and the electric power system and present the main elements that constitute the transmission lines (elevating substation, towers, conductors, guard cables, grounding system, signaling spheres, lightning bolts, insulators, lowering and distribution substation). It will also address the search for a new sustainable energy system, that is, one that prioritizes the use of natural resources with minimal negative impacts on the environment; and the development of these resources in an economical way, in the sense of allowing their availability for future generations. It can be concluded that at the national level, renewable energy sources are abundant and still little explored, considering that society only benefits from their use, such as: low impact on nature, low cost and high rate of availability, as they are inexhaustible sources.

**Key words:** Electric energy. Sustainable. Distribution. Transmission lines.

## 1 INTRODUÇÃO

Com sua inquestionável importância para o desenvolvimento mundial, a energia elétrica é uma das fontes mais importantes usadas pela sociedade, que pode ser resultante de várias fontes de energia, denominadas energias primárias, ou seja, aquelas que estão disponíveis na natureza. A matriz elétrica nacional é composta por 78,1% de energia renováveis, que são aquelas obtidas por meio de fontes que não causam grandes impactos negativos ambientais e 21,9% não renováveis, que são aquelas obtidas por meios esgotáveis, como combustíveis fósseis por exemplo.

O uso de energia elétrica vem aumentando ao longo dos anos e, simultaneamente, surgem as preocupações com as questões ambientais, o que vem tornando a forma de utilização dessa energia, cada vez mais eficaz e sustentável.

Sob este tema, a busca de um novo sistema energético sustentável, tem como prioridade o uso dos recursos naturais com menores impactos negativos no meio ambiente; e o desenvolvimento destes recursos de forma econômica, no sentido de permitir sua disponibilidade para um futuro longo, é de suma importância. Neste caso, o consumo de energia focado no modelo sustentável por meio de fontes alternativas de energias renováveis, como solar, eólica, geotérmica, hidrelétrica e biomassa, assume papel primordial para o setor energético nacional.

A intensificação do uso da energia elétrica é algo totalmente provável, introduzida a partir de decisões apropriadas tanto no projeto de uma instalação como na operação da mesma. Uma instalação elétrica tem plenas condições de fornecer o mesmo nível de serviço, de segurança, com redução do consumo da energia elétrica.

A energia elétrica percorre longas distâncias, desde a geração até o consumo, passando por sistemas de transmissão e distribuição. A interrupção no fornecimento de eletricidade, causa grandes problemas para a sociedade.

Para a construção de um sistema elétrico de potência completo, desde a geração até a disponibilização em nossas residências, é necessário um investimento financeiro considerável, uma vez que os equipamentos necessários possuem grande valor. O SEP(sistema elétrico de potência) está sujeito a vários contratempos que podem comprometer a qualidade do sistema. Portanto, mais

importante que buscar retorno econômico, é necessário operar de maneira segura e confiável.

Neste contexto, o presente trabalho irá abordar aspectos gerais das fontes geradoras (hidráulica, eólica, fotovoltaica, geotérmica, biomassa, lixo, maré, gás natural, carvão mineral e nuclear) e do sistema elétrico de potência e apresentar os principais elementos que constituem as linhas de transmissão (subestação elevadora, torres, condutores, cabos de guarda, sistema de aterramento, esferas de sinalização, para raios, isoladores, subestação abaixadora e distribuição). Abordará também a busca de um novo sistema energético sustentável, ou seja, que prioriza o uso dos recursos naturais com impactos negativos mínimos no meio ambiente; e o desenvolvimento desses recursos de forma econômica, no sentido de permitir sua disponibilidade para as futuras gerações.

Pode-se concluir que em âmbito nacional, as fontes de energia renováveis são abundantes e ainda pouco exploradas, tendo em vista que a sociedade só tem benefícios com o uso das mesmas, tais como: baixo impacto na natureza, baixo custo e grande índice de disponibilidade, por se tratar de fontes inesgotáveis.

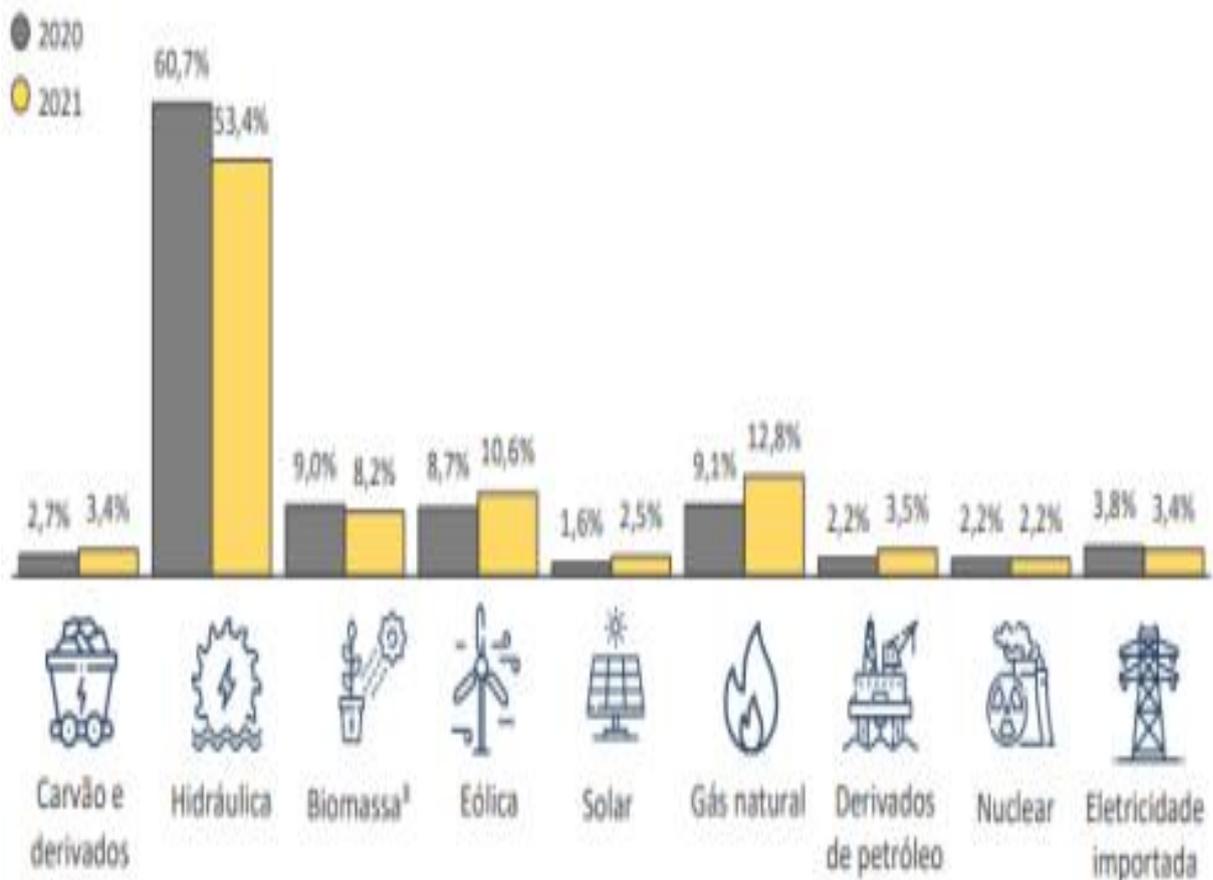
O estudo foi feito mediante pesquisa bibliográfica, artigos, monografias e revistas eletrônicas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Cenário Elétrico Nacional

A energia elétrica é uma das fontes de energia mais usadas hoje em dia, e pode ser proveniente de várias fontes, as energias primárias, ou seja, aquelas que estão disponíveis na natureza. A matriz elétrica brasileira é formada por 78,1% de energias renováveis, que são aquelas que não causam grandes impactos ambientais e não podem ser esgotadas, como por exemplo energia solar; e 21,9% não renováveis, que são aquelas extraídas por meios esgotáveis, como combustíveis fósseis. A matriz elétrica brasileira, de acordo com a FIG 1 abaixo, é composta em sua maioria por fontes hidráulicas, sendo que essa é responsável por 53,4% de toda a energia elétrica produzida no país, seguida pelas energias eólica e solar que apresentam 10,6 e 2,5%, consecutivamente (EPE, 2022).

Figura 1-Matriz Elétrica do Brasil.



Fonte: EPE (2022).

O uso de energia elétrica vem crescendo ao longo dos anos, e com isso surgem as preocupações com as questões ambientais, colocando foco na forma de utilização, cada vez mais eficaz e sustentável. Esse grande consumo e suas novas formas de utilização vem sendo objeto de estudos de forma geral (CASTRO, 2015).

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), o conceito de energia pode ser usado de formas diferentes. A energia é um dos meios mais usados e pode ser aplicado em vários temas como mecânica, química e termodinâmica. Nas aplicações científicas, esse conceito tem uma alta definição e está ligado ao potencial específico de realização de trabalho. Qualquer coisa que esteja aquecendo, movendo, por exemplo, está gastando energia.

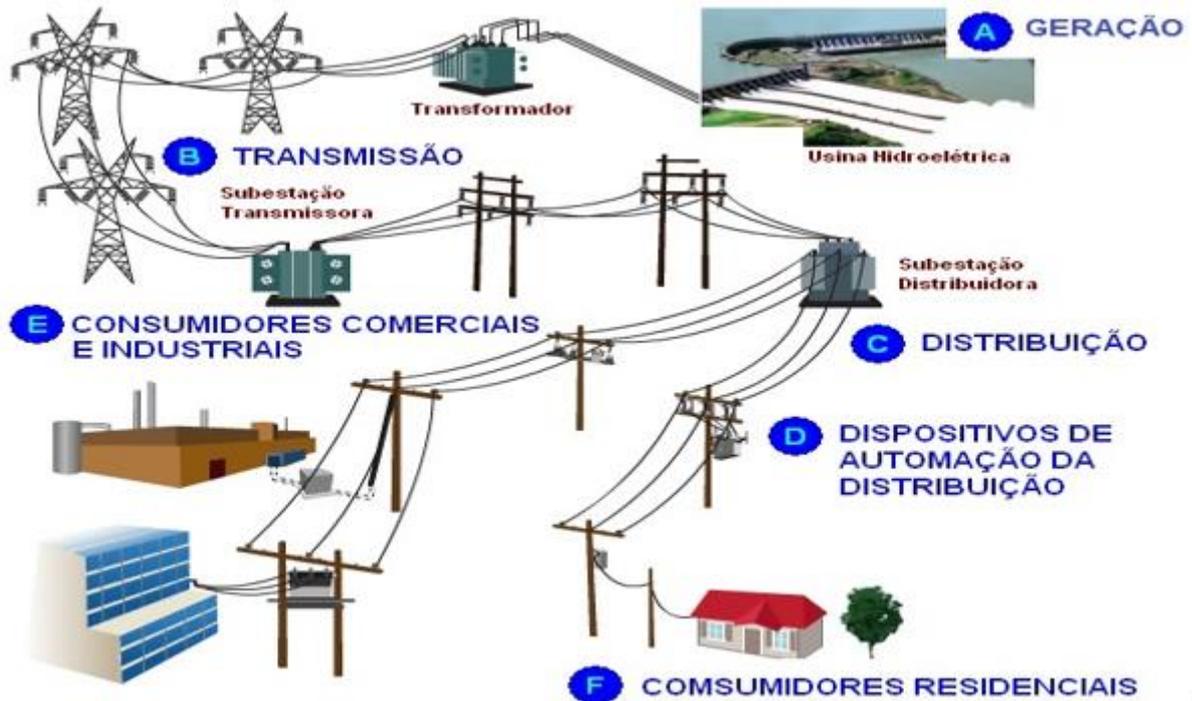
Sob este tema, há busca de um novo recurso energético sustentável, ou seja, que priorize o uso dos recursos naturais, com impactos negativos menores ao ambiente; e o desenvolvimento desses recursos de forma viável economicamente, bem como, de maneira apropriada, no sentido de permitir sua disponibilidade para as futuras gerações (BARBOSA, 2014). Neste intento, o consumo de energia pautado no modelo sustentável por meio de fontes alternativas de energia, ou fontes modernas, onde se encaixam as energias renováveis, como solar, eólica, geotérmica, hidrelétrica e biomassa, assume papel de suma importância para o setor energético nacional (FARIAS; MARTINS; CÂNDIDO, 2021).

A energia elétrica percorre longas distâncias, desde a geração até o consumo, passando por sistemas de transmissão e distribuição. Quando há interrupção no fornecimento de eletricidade, grandes problemas são causados para a sociedade. Isso ocorre por estar atrelados às atividades com o uso constante de energia (JUNIOR; FURLANETO; PREARO, 2009).

Para a construção de um sistema elétrico de potência (SEP) completo, desde a geração até a disponibilização em nossas residências é necessário um investimento financeiro considerável, uma vez que os equipamentos necessários possuem grande valor. O SEP está sujeito a vários contratempos que podem comprometer a qualidade do sistema. Portanto, mais importante que buscar retorno econômico, é necessário operar de maneira segura e confiável (ZANETTA, 2006).

Sistemas Elétricos de Potência (FIG. 2) são grandes sistemas de energia constituídos por usinas geradoras, linhas de transmissão e sistemas de distribuição (ZANETTA, 2006).

Figura 2 – Esquema do SEP



Fonte: SILVA, 2020

## 2.2 Principais Fontes Geradoras de Energia Elétrica

### 2.2.1 Hidráulica

As usinas hidrelétricas são compostas, basicamente, por barragem, casa de força, vertedouro e sistema de captação e adução de água, sendo que funcionam em conjunto e de maneira integrada. A barragem interrompe o curso normal do rio e desvia para um determinado local formando grandes reservatórios, que estocam a água e permitem a formação de grandes quedas. Essas produzem força, que é utilizada para movimentar turbinas e acionar o gerador elétrico (PANZERA, GOMES e MOURA, 2010).

### 2.2.2 Eólica

Para a produção de energia elétrica, são utilizadas turbinas, também conhecidas como aerogeradores, e para a realização de trabalhos mecânicos, cata-ventos de diversos tipos.

A energia dos ventos pode ser explicada, em termos físicos, como a energia cinética formada nas massas de ar em movimento. Seu aproveitamento é feito por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação. (ALVES, 2006).

### **2.2.3 Fotovoltáica**

A energia solar fotovoltaica, conversão de energia solar em eletricidade, é uma fonte de eletricidade limpa pois o seu funcionamento não tem emissão indesejáveis, é renovável, devido à natureza inesgotável do sol. Tem, além disso, outras vantagens como por exemplo, o longo tempo de vida dos seus equipamentos que duram por volta de 30 anos, a sua baixa manutenção e as suas modularidade e portabilidade (WANDERLEY; CAMPOS, 2013).

### **2.2.4 Geotérmica**

Energia Geotérmica é a energia armazenada abaixo da superfície da terra na forma de calor, proveniente da radiação solar incidente na crosta terrestre e das altas temperaturas existente no núcleo da Terra (FERREIRA, 2013). Ela ainda se apresenta disponível em todas as estações do ano, independente das modificações climáticas (VOSGUERITCHIAN, 2006). Dessa forma, a Energia Geotérmica é uma fonte de energia limpa e disponível para uso, o que nos permite considerá-la essencial para combater o consumo de combustíveis fósseis e reduzir o gás carbônico lançado para a atmosfera (RABELO, 2002).

### **2.2.5 Biomassa**

No contexto da matriz energética, a biomassa, se insere nas energias renováveis e vem se destacando com a incorporação de novas possibilidades de exploração e utilização. As biomassas podem ser rotuladas em “biomassas modernas” e “biomassas tradicionais”. As biomassas modernas compreendem os biocombustíveis (etanol e biodiesel), derivados do bagaço de cana-de-açúcar, da madeira de reflorestamento e de outras fontes, desde que aproveitadas de modos sustentáveis e com métodos tecnológicos eficientes e avançados. As chamadas

biomassas tradicionais são aquelas empregadas de maneira rústica, geralmente utilizadas para suprir a classe residencial (aquecimento de ambientes e alimentação) em comunidades isoladas. Pode-se enfatizar os resíduos florestais, a madeira de desflorestamento e os dejetos de animais (VICHI e MANSOR, 2009; DHILLON e WUEHLISCH, 2013).

### **2.2.6 Lixo**

Transformar o lixo em fonte de energia, porque tem-se em abundância e representa um transtorno para a sociedade consumista, é objetivo primordial. O lixo que faz parte do nosso dia a dia é um problema que só pode ser resolvido de forma coletiva. O Brasil possui grande potencial para gerar energia elétrica a partir de resíduos sólidos e a alternativa poderia aumentar a atual oferta do país em 50 milhões de megawatt hora por ano, a preço competitivo. Para se ter uma idéia, este número representa mais de 15% do total de energia elétrica produzida no país, totalizando  $\frac{1}{4}$  do que gera a usina hidrelétrica de Itaipu (Oliveira, 2002).

### **2.2.7 Maré**

As marés são oscilações rítmicas do nível do mar, causadas pela atração gravitacional do sol e da lua e rotação da Terra, e eventualmente, por eventos meteorológicos. A onda de maré transporta consigo grande quantidade de energia, sendo potencialmente uma fonte de energia para as atividades humanas. A conversão da energia das marés para uso humano é muito antiga, havendo relatos da época romana sobre sua utilização para a moagem de grãos. Os aproveitamentos mais comuns das oscilações de marés têm como objetivo a conversão da energia hidráulica em energia elétrica (FERREIRA, 2007).

### **2.2.8 Gás Natural**

Atualmente, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2020), as maiores termelétricas do país, em termos de potência de geração e que utilizam o gás natural como combustível, são: Porto de Sergipe I, Ternorio, Tarmomacaé, Norte Fluminense, Porto de Pecém I, Mauá 3, Termopernambucana,

Baixada Fluminense e Cuiabá. Destas, destaca-se a Usina Termoelétrica Porto de Sergipe I, que é considerada a maior termelétrica do Brasil e da América Latina, com capacidade para gerar energia para cerca de 16 milhões de pessoas (BRASIL, 2020b). Estes dados mostram e comprovam a importância das usinas térmicas a gás natural para auxiliar no suprimento energético nacional.

### **2.2.9 Carvão Mineral**

O carvão mineral ou carvão de pedra, é uma rocha sedimentar de coloração escura, formada por uma complexa e variada mistura de componentes orgânicos fossilizados ao longo de milhões de anos, característica dos combustíveis fósseis. Estes componentes são restos de vegetação pré-histórica que se acumularam em pântanos ou regiões lodosas, sob uma lâmina de água, com o passar do tempo, estes depósitos foram cobertos por argilas e areias (gerando bacias sedimentares), essa cobertura gradual levou a um aumento da temperatura e da pressão que expulsou o oxigênio e o hidrogênio do meio, concentrando o carbono, este processo chamado carbonização (BORBA, 2001; SIECESC, 2016; MODERNA PLUS, 2016).

Atualmente o carvão mineral, fica atrás apenas do petróleo na matriz energética mundial (carvão 23,3 % e petróleo 35,7 %), destacando que para produção de energia elétrica o carvão é o principal recurso, ultrapassando o petróleo do petróleo como fonte de energia está em cerca de mais 40 anos e a do carvão mineral ainda ultrapassa os 200 anos (BORBA, 2001).

### **2.2.10 Nuclear**

Basicamente, a fissão/fusão de nucleotídeos libera uma quantidade enorme de calor, na faixa dos milhões de graus Celsius, vaporizando a água instantaneamente. Este processo gera vapor e, por sua vez, este gera pressão. Assim movem-se as turbinas; movem-se os eixos das turbinas que giram dentro de uma estrutura que contém um ímã em forma de arco;

movem-se os elétrons dos metais gerando uma corrente elétrica muito alta, tanto no que tange a voltagem, quanto a amperagem. A grosso modo, para que a energia nuclear se transforme em energia elétrica é necessário uma usina nuclear. Trocando em miúdos, esta usina possui um reator no qual ocorrerá uma fissão

nuclear de forma controlada. A fissão nuclear gera muito calor, sendo necessário refrigerar o reator. A seu turno, a refrigeração do reator é feita através de um circuito fechado que superaquece. O calor desta água é transferido através de vasos trocadores de calor para outra água que se aquece ao ponto de vapor. Este vapor é utilizado para acionar turbinas que estão ligadas aos geradores elétricos (BARROS, 2006).

## **2.3 Etapas de um Sistema Elétrico de Potência**

### **2.3.1 Subestação Elevadora**

A energia elétrica presente nos sistemas de potência é gerada em usinas e essas usinas podem ser hidroelétricas, térmicas, eólicas, entre outras. No entanto, essa energia gerada não apresenta níveis de tensão adequados para o transporte a longas distâncias através das linhas de transmissão. Sendo assim, se faz necessário a presença de uma subestação central de transmissão, esse tipo de subestação se encontra localizada nas proximidades das usinas geradoras de energia elétrica, e tem como objetivo principal elevar os níveis de tensão elétrica, com o intuito de garantir o transporte mais eficiente do fluxo de potência gerado. Esse tipo de subestação também é conhecido como subestação elevadora. É localizada na saída das usinas geradoras. Elevam as tensões para níveis de transmissão, visando diminuir a corrente e, conseqüentemente, a espessura dos condutores e as perdas. Esta elevação de nível tensão é comumente utilizada para facilitar o transporte da energia, a diminuição das perdas do sistema e melhorias no processo de isolamento dos condutores (D. SOUSA, 2017).

### **2.3.2 Transmissão**

As linhas de transmissão têm como sua principal função transportar a energia elétrica produzida nas fontes geradoras até as subestações abaixadoras, próximas aos centros consumidores (CAMINHA,1977). Como no Brasil as maiores fontes geradoras são as usinas hidrelétricas e normalmente ficam afastadas dos centros de carga, necessita-se de uma longa linha de transmissão e, devido ao grande comprimento, essas linhas estão susceptíveis a defeitos causados por vandalismo,

descargas atmosféricas, defeitos que motivam curtos circuitos, queimadas e fortes ondas de ventos. São utilizados alguns dispositivos de segurança, como cabos guarda instalados na parte superior das torres, para-raios de sobretensão contra ondas vindas de descargas atmosféricas ou surtos de manobras e disjuntores associados a relés de proteção (FILHO; MAMEDE, 2011)

### **2.3.3 Subestação Abaixadora**

Para que o fluxo de potência gerado seja transmitido de forma eficiente através das linhas de transmissão por vários quilômetros, é necessário um aumento de tensão por meio da subestação central de transmissão. A potência gerada ao chegar nas barras dos grandes centros de consumo deve ser novamente convertida em outros níveis de tensão. Desta vez para níveis de tensão menores, essa transformação ocorre em subestações situadas ao final das linhas de transmissão, que por sua vez estão próximas de áreas onde haverá grande consumo de energia elétrica. Essas subestações são denominadas de subestações receptoras de transmissão. Também são conhecidas como subestações abaixadoras. Localizada nas periferias dos centros consumidores elas diminuem os níveis de tensão, para que ao se aproximar dos centros urbanos possa evitar inconvenientes para a população (rádio interferência, campos magnéticos intensos e faixas de servidão muito grandes) (LEÃO, 2009).

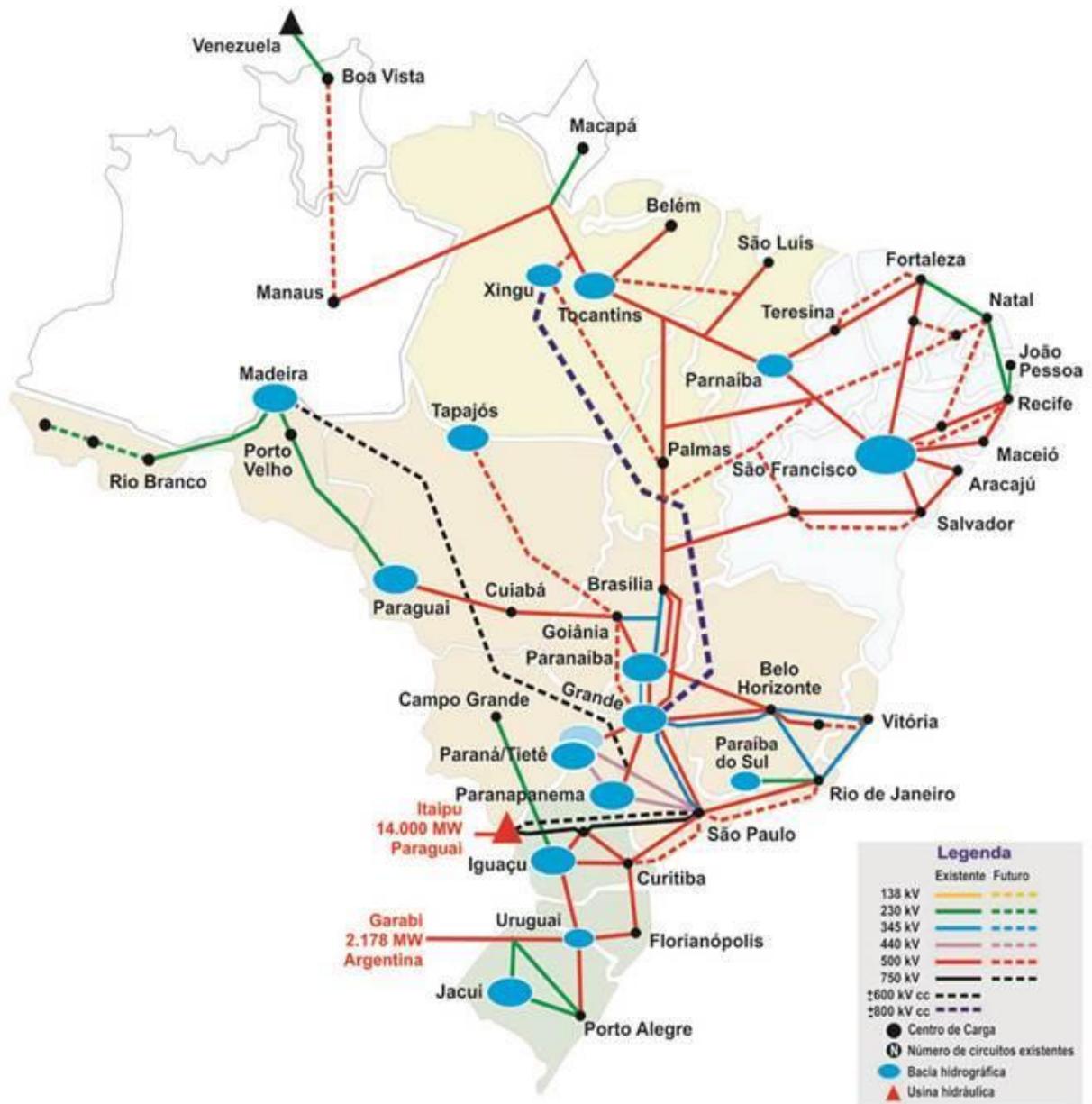
### **2.3.4 Distribuição**

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável pela regulamentação do setor elétrico no Brasil, portanto regulamenta o sistema de distribuição, o qual é composto pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em níveis de alta tensão (entre 69 kV e 230 kV), média tensão (entre 1 kV e 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a 1kV). A agência define o sistema de distribuição como um segmento do setor elétrico que promove o rebaixamento da tensão advinda da transmissão em um patamar adequado para o fornecimento da energia elétrica para o usuário final (ANEEL 2018).

Zhang *et al.* (2009) citam que a complexidade da rede de distribuição (FIG. 3) está aumentando com a inovação tecnológica, o crescimento da geração distribuída,

com fontes renováveis, e cargas que adicionam um fator de imprevisibilidade como os veículos elétricos e veículos híbridos. Mas o sistema atual possui controle limitado, pouco poder de manobra, pouco controle de potência reativa e pouca capacidade de correção de fator de potencia (FP). A introdução de geração distribuída poderia afetar na qualidade da energia entregue e a eficiência da geração. A geração distribuída pode produzir também impacto na confiabilidade do sistema e na infraestrutura existente com possibilidade de extrapolar certos limites de operação.

Figura 3 – Sistema Interligado Nacional



Fonte: SCT, 2015

## 2.4 Elementos de Uma Linha de Transmissão

### 2.4.1 Torres

As torres são os pilares de sustentação do sistema de transmissão de energia elétrica. Essas grandes estruturas tem como função a ancoragem dos cabos e o distanciamento dos circuitos entre si. Existe uma grande variedade de torres. Normalmente são de aço galvanizado e podem ser classificadas como autoportantes, que são sustentadas pela própria estrutura, ou estaiadas, que são sustentadas por cabos de aço tensionados e engatados em estruturas no solo (ABNT-NBR 5422).

### 2.4.2 Condutores

Os condutores devem obter uma boa resistência ao esforço mecânico, alta condutividade elétrica, baixo peso específico, elevada resistência à oxidação e baixo custo. Eles são dimensionados para suportarem potência compatível com sua capacidade térmica. Esses cabos podem ser de alumínio, liga alumínio-aço, e alumínio com alma de aço. Usa-se o alumínio por ser de menor valor comercial(SILVA-2020). Os condutores utilizados com maior frequência nos projetos de transmissão são os seguintes:

- A) AAC (“*all aluminum conductor*”): esse cabo é composto por vários fios de alumínio encordoados;
- B) AAAC (“*all aluminum alloy conductor*”): igual o AAC, porém neste caso são utilizadas ligas de alumínio de alta resistência. É o cabo com menor relação peso/carga de ruptura e menores flechas, mas é o de maior resistência elétrica entre os citados;
- C) ACSR (“*aluminum conductor steel-reinforced*”): chamados de cabos CAA. Composto por camadas concêntricas de fios de alumínio encordoados sobre uma alma de aço, que pode ser um único fio ou vários fios encordoados;
- D) ACAR (“*aluminum conductor, aluminum alloy-reinforced*”): é composto de maneira idêntica aos cabos do tipo ACSR, porém ao invés de se utilizar alma com cabos de aço, utiliza-se alma com fios de alumínio de

alta resistência mecânica. Assim, a sua relação peso/carga de ruptura fica ligeiramente maior do que a do cabo ACSR.

### **2.4.3 Cabos de Guarda**

Os cabos de guarda são instalados no topo das torres, acima dos condutores, e têm como principal função promover a segurança dos condutores contra descargas atmosféricas. Normalmente são cabos de alumínio com alma de aço, também podem conter em seu núcleo um conjunto de fibras ótica (SILVA, 2020).

As descargas atmosféricas causam sérias perturbações nas redes de transmissão, induzindo surtos de tensão que chegam a centenas de quilovolts (Kv), podendo provocar danos materiais nas estruturas atingidas por ela e colocando a vida de pessoas e animais em risco. Na ausência desses cabos, a corrente das descargas tem de escoar por apenas dois caminhos, já com a presença dos cabos, haverá mais caminhos para o escoamento da corrente (ATLANTIC, 2011).

### **2.4.4 Sistemas de Aterramento**

O aterramento é de extrema importância para qualquer instalação que envolva eletricidade. Esse sistema é constituído por hastes ou cabos ligados propositalmente ao solo. Esses elementos, geralmente, são feitos de aço galvanizado ou aço banhado a cobre. O sistema de aterramento é responsável pelo escoamento de correntes anormais, que ocorrem sobre linhas de transmissão. É adotado o solo para o escoamento das correntes de surto, devido o potencial nulo, isto é, ausência de tensão, que contribui para um caminho que ofereça menores obstáculos à passagem da corrente (KINDERMANN, 2011). Segundo Visacro (2002) a premissa básica para o desenvolvimento de um projeto de aterramento de linhas de transmissão é o conhecimento da resistividade do solo. O condutor aterrado deve ser capaz de suportar, por um certo tempo, as correntes originárias de descargas atmosféricas, como também a corrente de curto circuito dimensionada da linha de transmissão. Existe dois métodos de aterramento comumente utilizados, o primeiro é o uso de eletrodos locados perpendicularmente em relação à face do solo, conhecido como hastes de aterramento ou eletrodos dispostos na vertical . O segundo e mais utilizado em aterramento de linha de transmissão, é conhecido

como método em contrapeso. Os eletrodos são colocados horizontalmente sob o solo. De acordo com a NBR 5422 (ABNT, 1985) fica a critério da proprietária da linha a escolha do método de aterramento utilizado. Visa-se sempre aliar um ajuste técnico/econômico entre os variados fatores envolvidos.

#### **2.4.5 Esferas de Sinalização**

As esferas têm como objetivo sinalizar a presença de cabos aéreos, para evitar acidentes com aeronaves ou outros equipamentos aéreos. Geralmente são na coloração alaranjada e feitas de resina e fibra de vidro. São colocadas com espaçamentos pré-definidos em estruturas com altura superior a 150 metros, conforme estabelece a norma NBR 15237 (ABNT, 2005).

#### **2.4.6 Para-Raios**

Os para-raios são instalados em paralelo com a cadeia de isoladores e possuem propriedades não lineares, que fornecem um caminho de baixa impedância para as correntes e limitam os níveis de sobretensão transitórias que se estabelecem nos terminais das cadeias dos isoladores (GIAROLA, 2016). Com a ausência dos para-raios, as sobretensões que eventualmente atinjam os equipamentos elétricos, podem causar o rompimento dielétrico e trazer danos às instalações, além de danos pessoais e ao meio ambiente.

#### **2.4.7 Isoladores**

Os isoladores servem para fixar os condutores às estruturas, mantendo o isolamento necessário entre eles, evitando a dissipação de energia através da estrutura da torre. Normalmente, esses equipamentos são discos feitos de vidro, porcelana ou polímeros, devem garantir a rigidez dielétrica e suportar o peso dos cabos (CHINELATTO; SOUZA, 2004).

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo do trabalho é apresentar as principais fontes geradoras de energia elétrica, transmissão e distribuição. Sobre as linhas de transmissão e os elementos que contituem esta estrutura, considerando que esta é a parte do sistema elétrico de potência mais vulnerável a falhas elétricas, pôde ser exposto ao longo do trabalho a importância do estudo nessa área, apresentando seus componentes e a relevância de cada um deles na estruturação e proteção, para que se tenha um fornecimento contínuo de energia elétrica.

Pode-se concluir que em âmbito nacional, as fontes de energia renováveis são abundantes e ainda pouco exploradas, tendo em vista que a sociedade só tem benefícios com o uso das mesmas, tais como: baixo impacto na natureza, baixo custo e grande índice de disponibilidade, por se tratar de fontes inesgotáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-NBR 5422 – **Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica – Procedimento – 1985**

ATLANTIC. **Componentes de uma Linha de Transmissão**. 2011. Atlantic.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica**. Brasília, Brasília: Aneel, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉ-TRICA (Brasil)-ANEEL. 1º Ed. Brasília-DF: **Atlas de energia elétrica do Brasil: Energia Hidráulica**,2019.

ALVES, Jose Jakson Amancio. **Estimativa da Potência, Perspectiva e Sustentabilidade da Energia Eólica no Estado do Ceará**. Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Pós-Graduação em Recursos Naturais. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) 163p, 2006.

ANEEL. 2015. **Aneel amplia possibilidades para micro e minigeração** distribuída. Disponível em: [www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidad e=895](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidad e=895) .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16819:2020 – **Instalações elétricas de baixa tensão: eficiência energética**,2020.

BARBOSA, G. G. **Recursos Naturais Renováveis e Produção de Energia**. Revista Política Hoje, v. 23, n. 1, p. 193-215, 2014.

Borba RF (2001) **Carvão mineral** - Balanço mineral brasileiro.

BARROS, P.M. **“Energia Nuclear - Uma opção inevitável para Portugal”**, 22 de fevereiro de 2006,

CAMINHA, A. C. **Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

CASTRO, Degmar Felgueiras. **Eficiência Energética Aplicada a Instalações Elétricas Residenciais**. 2015. 138 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CHINELATTO, A. L.; SOUZA, D. P. F. **Cerâmica**. 50, 62-68, 2004.

D. Sousa and R. Castro, **“O Sistema de Energia Elétrica,2017.”**

DHILLON, R. S.; WUEHLISCH, G. V. **Mitigation of global warming through renewable biomass.** Biomass and Bioenergy, v. 48, p. 75-89, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz energética e elétrica.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>.

FARIAS, M. E. A. C.; MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. **Agenda 2030 e Energias Renováveis: sinergias e desafios para alcance do desenvolvimento sustentável.** Research, Society and Development, v. 10, n. 17, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsdv10i17.23867>.

FERREIRA, R. M. da S. do A. **Aproveitamento da energia das marés: estudo de caso Estuário do Bacanga, MA.** Dissertação (Mestrado em Engenharia naval e oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

FILHO, J. M.; MAMEDE, D. R. **Proteção de Sistema Elétricos de Potência.** Rio de Janeiro: LTC, 2011.

JUNIOR, C. M.; FURLANETO, C. J.; PREARO, L. C. **A energia elétrica e as fontes alternativas de energia na gestão das empresas.** EnANPAD, 2009. n. 2, 2009.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, José Mario. **Aterramento Elétrico.** 4. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2011. 214 p.

LEÃO, R. P. S. GTD - **Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.** Universidade Federal do Ceará (Apostila). Ceará, p. 37. 2009.

OLIVEIRA, B. L. **Lixo que vale ouro.** Tese de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

PANZERA, Arjuna C., GOMES, Artur E.Q., MOURA, Dácio G. 2010. Moura. **Impactos ambientais da produção de energia elétrica.** Educação Ambiental Centro de Referência Virtual do Professor - SEE-MG / setembro 2010.

. **Serviço Público de Transmissão de Energia Elétrica, SCT.** 2015. **Agência Nacional de Energia.** Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/transmissao5>>.

SILVA, Andre Costa . **Sistemas elétricos de potência e proteção de linhas de transmissão** . [manuscrito] / Andre Costa Silva. - 2020.

ZANETTA, L. C. **Fundamentos de Sistemas Elétricos de Potência.** 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

ZHANG, J.; CHENG, H.; WANG, C. **Technical and economic impacts of active management on distribution network.** International Journal of Electrical Power and Energy Systems, v. 31, n. 2–3, p. 130–138, 2009.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial.** Química Nova, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009

VISACRO, S., **"Aterramentos Elétricos: Conceitos Básicos, Técnicas de Medição e Instrumentação, Filosofias de Aterramentos"**, livro, Artliber Editora Ltda, São Paulo, SP, 2005.

WANDERLEY, A. C. F.; Campos, A. L. P. S.; 2013. **Perspectivas de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Rio Grande do Norte**. Holos, v. 3, p. 3-14.