

2ª EDIÇÃO • REVISADA

ENTENDA A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA

MÓDULO III

GERAÇÃO



i|ABRADEE
INSTITUTO ABRADÉE DA ENERGIA

2019

SUMÁRIO

MÓDULO III

04

Como se produz
eletricidade?

06

O princípio de
funcionamento

08

Fontes primárias
de energia

24

Como se classificam
os agentes geradores
no Brasil?

24

Concessionários
do Serviço Público
de Geração

25

Produtor Independente
de Energia

25

Autoprodutores
de Energia





COMO SE PRODUZ
ELETRICIDADE?

O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A produção de energia elétrica é, na verdade, uma transformação de um tipo de energia em outro. Segundo as leis da física, energia não pode ser criada, mas apenas transformada, como, por exemplo, a transformação de energia cinética (energia do movimento) em energia elétrica ou a de energia elétrica em calor, luz ou movimento.

No caso da geração de energia elétrica, o equipamento que permite essa transformação é o próprio gerador elétrico. Na grande maioria dos geradores, há um rotor, que é a parte móvel, ou girante do equipamento, e o estator, que é a parte fixa. Basicamente, o rotor precisa ser girado por “alguém” para que se produza eletricidade, transformando energia cinética em energia elétrica por meio de interações eletromagnéticas entre rotor e estator.

A questão, então, passa a ser encontrar uma fonte primária de energia que possa ser transformada em energia cinética, ou movimento, e posteriormente em energia elétrica. Essa fonte primária pode ser uma queda d’água, a queima de combustíveis fósseis, como óleo ou gás, uma reação nuclear, o vento, as marés, etc. Contudo, existem geradores específicos que não possuem partes móveis, como é o caso das placas fotovoltaicas (energia solar), das baterias químicas ou outras formas menos convencionais. As fontes primárias de energia serão melhor descritas a seguir.





Uma questão importante em relação à geração de energia elétrica é que ela só pode ser produzida ao mesmo tempo em que é consumida ou imediatamente armazenada. Entretanto, o seu armazenamento, por exemplo, por meio de baterias químicas, ainda não é economicamente viável, tornando o sistema elétrico muito inflexível com relação ao balanço energético, não havendo margens para desequilíbrios entre produção e consumo.

A unidade mais usual de medição de energia elétrica é o kWh (Kilo Watt-hora), podendo ser medida também em seus múltiplos, o MWh (Mega Watt-hora) ou o GWh (Giga Watt-hora). Existe também outra unidade muito importante relacionada ao uso da eletricidade, que é a da potência elétrica, usualmente medida em kW, MW, ou GW. Ao contrário do kWh, que é uma medida volumétrica, o kW é uma medida de fluxo instantâneo, referente ao máximo pico de consumo, e muito importante para o dimensionamento dos equipamentos elétricos.

Para uma melhor compreensão da diferença entre kWh e kW, unidades que são frequentemente confundidas, podemos lançar mão da analogia com o consumo de água. O kWh é análogo ao volume de água consumido, assim como o kW é análogo à vazão de água, que é uma medida de fluxo instantâneo. Desse modo, é possível consumir a mesma quantidade de água (mesmo volume) em maior ou menor tempo (respectivamente com menor ou maior vazão). Assim como ocorre nos sistemas de fornecimento de água, maiores fluxos (maiores vazões) vão exigir maior estrutura física: maiores dutos no caso da água, ou fios condutores com maior capacidade, no caso da eletricidade.





FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA

A seguir, serão descritas as principais fontes primárias de energia que podem ser transformadas em energia elétrica. Para maior elucidação, essas fontes serão subdivididas em renováveis e não renováveis¹. As fontes renováveis, muito desejadas atualmente devido às questões climáticas e de sustentabilidade socioambiental, são aquelas que provêm de recursos naturalmente reabastecidos, e que funcionam a partir de um ciclo de uso e renovação da fonte primária. Já as fontes não renováveis são aquelas em que não é possível reabastecer a “matéria-prima” original.

FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA

ENERGIA HIDRÁULICA

A energia hidráulica é aquela proveniente da energia potencial gravitacional, a partir do aproveitamento de uma queda d’água, seja ela natural ou artificial. A estrutura convencional de uma usina hidrelétrica é composta, basicamente, por uma barragem, um sistema de captação e adução de água, a casa de força e o vertedouro. A barragem tem por função obstruir o curso normal do rio e formar o reservatório da usina. Além de armazenar a água, os reservatórios também regularizam a vazão dos rios em períodos de chuva ou estiagem.

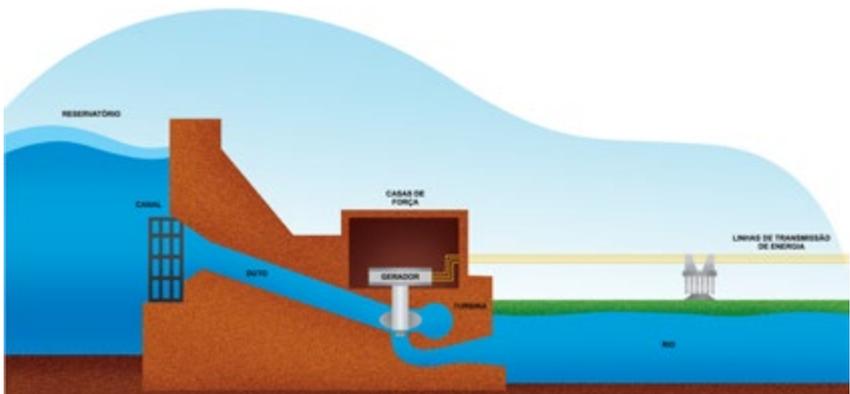
Outros tipos de usinas hidroelétricas podem ser construídos com reservatórios reduzidos, denominadas de

¹Essa classificação se refere à escala temporal de renovação da matéria prima. O petróleo poderia ser considerado renovável, mas numa escala temporal muito maior que a da vida humana. Da mesma forma, a energia solar pode ser considerada finita em bilhões de anos.

usinas “a fio d’água”. Essas usinas reduzem as áreas alagadas, minimizando o impacto ambiental do aproveitamento. Porém, como consequência, a capacidade de estocagem da água também é reduzida, o que pode comprometer a geração durante períodos de estiagem.

Os sistemas de captação e adução de água são compostos por dutos ou canais para levar a água até a chamada casa de força. É na casa de força que estão as turbinas da usina, compostas de um conjunto de pás capazes de fazer girar um eixo conectado ao gerador. São as turbinas, por meio dos geradores elétricos, que transformam a energia cinética² em energia elétrica. Após passar pela turbina, a água retorna ao curso natural do rio pelo canal de fuga da usina.

Existem diferentes tipos de turbinas, dependendo da altura da queda e da vazão da água. Os tipos mais utilizados de turbinas são: Pelton, Francis, Kaplan e Bulbo. Por fim, há o vertedouro d’água. Seu papel é permitir o escoamento da água sempre que o nível do reservatório ultrapassar o limite de projeto. Frequentemente, o vertedouro é acionado quando há excesso de vazão



²A energia cinética é obtida pela transformação da energia potencial gravitacional em movimento.

(por conta do excesso de chuva), mas também quando a demanda por energia elétrica se reduz, resultando em excesso de oferta de energia primária.

Praticamente, 63% da energia gerada no Brasil é de origem hidrelétrica, com 64% da capacidade instalada do parque gerador nacional. A energia hidráulica é proveniente de grandes usinas geradoras, como, por exemplo, a usina de Itaipu e Belo Monte, que, juntas, respondem sozinhas por aproximadamente 9% da capacidade instalada de geração no país. Há, ainda, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), que são usinas geradoras de 5 MW até 30 MW de potência instalada, e as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), microusinas hidrelétricas com capacidade instalada inferior a 5 MW.

BIOMASSA

A chamada biomassa é a matéria-prima de origem vegetal ou animal (orgânica), que pode ser utilizada para gerar energia mecânica, térmica ou elétrica em um ciclo de renovação de curto-prazo. No caso do aproveitamento para a produção de eletricidade, encontram-se várias tecnologias de aproveitamento, sendo que todas elas preveem a conversão da matéria-prima em um produto intermediário, o qual será utilizado para acionar, ou girar o rotor de um gerador elétrico.

Uma forma muito simples de utilização da biomassa, porém não muito eficiente, é a sua queima direta para a produção de calor e vapor d'água. Conseqüentemente, o vapor possibilitará o acionamento de uma turbina a

vapor conectada mecanicamente a um gerador elétrico.

Contudo, as tecnologias mais utilizadas no aproveitamento da biomassa preveem um processo de cogeração, que é a produção de dois ou mais energéticos a partir de um único processo, utilizado por setores industriais. A cogeração tem sido bastante utilizada no Brasil por meio do aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar em usinas de produção de açúcar e álcool. As principais tecnologias de aproveitamento da biomassa são: ciclo a vapor com turbinas de contrapressão, ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração e ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa.

ENERGIA EÓLICA

A energia eólica consiste no aproveitamento direto das correntes de ventos para o acionamento de turbinas conectadas a geradores elétricos. De forma semelhante ao que ocorre em uma usina hidrelétrica, a força dos ventos é a responsável pela realização de trabalho mecânico nas pás da turbina eólica (energia cinética), a qual é transformada em energia elétrica por meio do gerador.

Esse tipo de aproveitamento teve um crescimento mundial vertiginoso nos últimos anos, dado que a capacidade instalada cresceu aproximadamente 500% nos últimos dez anos. Os argumentos favoráveis à energia eólica são muitos: trata-se de uma energia limpa, segura, perene e barata, com preços compatíveis aos de uma usina hidrelétrica de grande porte.

Uma questão importante a se compreender em relação à energia eólica é que ela é uma fonte energética intermitente, pois está submetida à presença de ventos. Sendo assim, um país não poderia depender exclusivamente de geradores eólicos, pois, como sabemos, ainda não é economicamente viável armazenar energia elétrica (nem os ventos) para regularizar a produção.



ENERGIA SOLAR

A energia solar é a fonte primária mais abundante no planeta, e vem se tornando cada vez mais utilizada para a geração de eletricidade. Existem basicamente duas tecnologias para o aproveitamento elétrico da energia solar: o sistema heliotérmico e o fotovoltaico. O sistema heliotérmico funciona por meio da transformação da radiação solar em calor para a formação de vapor e consequente realização de trabalho mecânico em uma turbina conectada a um gerador. Esse calor também pode ser utilizado para o aquecimento de água, como já bastante difundido no Brasil.

Já o sistema fotovoltaico tem um princípio de funcionamento muito diferente. Seu equipamento principal, a célula fotovoltaica, é constituída de silício, assim como a grande maioria dos componentes eletrônicos. Sob certas condições construtivas, o silício é capaz de captar a luz solar e transformá-la diretamente em eletricidade, sem estágios intermediários. Esse sistema é um dos poucos que não conta com partes móveis, como o rotor dos geradores convencionais. As células fotovoltaicas são comumente confundidas com as placas de aquecimento de água, as quais não têm nenhuma relação com geração de energia elétrica aqui descrita.

As placas fotovoltaicas têm uma eficiência muito baixa, de 10% a 15%, o que contribui muito para o preço ainda elevado desta solução tecnológica. A capacidade instalada dessa tecnologia tem crescido muito na última década, mas ainda assim é pequena - corresponde apenas a 1,2% da capacidade instalada nacional.

No entanto, a energia solar fotovoltaica possui uma característica que a diferencia ainda mais das outras formas de ge-

ração elétrica. Como sua matéria prima é abundante e não localizada, há a possibilidade de utilizá-la diretamente no consumidor, muito comumente a partir da instalação dos painéis nos telhados das residências e locais comerciais.

Assim como ocorre com a energia eólica, a energia solar também é uma fonte intermitente, obviamente porque depende da presença da luz solar. Da mesma forma que ocorre com a eólica, também não seria possível depender exclusivamente da energia solar, o que torna necessária a conexão à rede elétrica. Em locais remotos, todavia, onde não há rede elétrica, o sistema solar pode funcionar acoplado a baterias, as quais ainda são bastante caras e possuem baixa durabilidade.

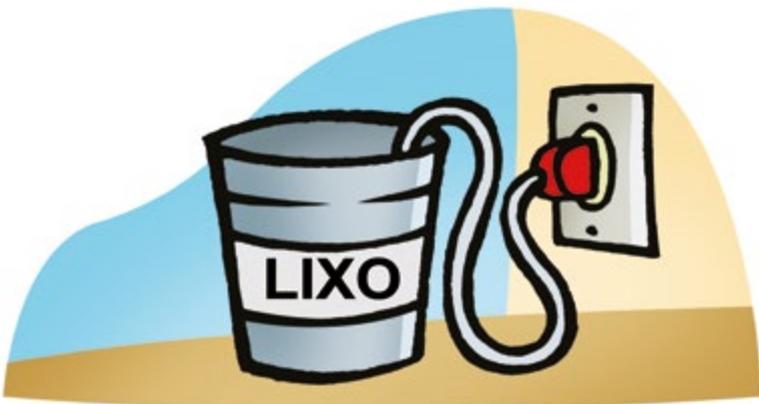
A energia solar fotovoltaica é a principal fonte dentre as classificadas como microgeração distribuída. Recentemente, a ANEEL publicou resolução que permite aos consumidores a instalação de painéis solares conectados à rede elétrica, tornando possível a compensação de energia com a rede (net metering), como se ela fosse uma imensa bateria. Pode-se imaginar que um eventual crescimento maciço desse tipo de solução resultaria numa quebra de paradigma para o setor elétrico, exigindo mudanças profundas, tanto técnicas quanto regulatórias.



BIOGÁS

O biogás é o chamado “gás do lixo”, produzido pela decomposição de matéria orgânica proveniente de dejetos urbanos, industriais e agropecuários. Sua produção é originada a partir da ação de micro-organismos anaeróbicos, que digerem a biomassa dos dejetos, produzindo assim um composto gasoso formado por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), oxigênio (O_2) e gás sulfídrico (H_2S).

O poder calorífico do biogás permite a queima, que pode ser utilizada tanto para a geração de calor como eletricidade, geralmente por meio de turbogeradores de ciclo simples ou combinado. O aproveitamento do lixo para a produção de energia elétrica é ecologicamente eficiente porque se utiliza de gases que seriam liberados na atmosfera, como o gás metano.



ENERGIA GEOTÉRMICA

A energia geotérmica é aquela obtida pelo aproveitamento do calor existente no interior do planeta. As principais formas de utilização dessa energia advêm da exploração dos gêiseres (nascentes termais que entram em erupção periodicamente) e também do calor existente no interior das rochas para o aquecimento de água.

De qualquer maneira, a energia geotérmica é empregada na geração de eletricidade a partir do uso do calor natural do interior da Terra, por meio de uma turbina a vapor. Embora conhecida desde 1904, a utilização desse tipo de energia tem sido lenta e com pequeno número de unidades geradoras em poucos países. No Brasil, por exemplo, não há nenhuma unidade em operação.

ENERGIA DAS MARÉS

A geração de energia elétrica a partir do mar abarca, principalmente, o aproveitamento das marés, das ondas e das correntes marítimas. A energia elétrica pode ser produzida a partir da energia cinética (maremotriz) produzida pelo movimento das águas ou pela energia potencial derivada da diferença do nível do mar entre as marés baixa e alta. A maior parte das tecnologias utilizadas mundialmente nesse aproveitamento ainda estão em fase de desenvolvimento, com custos não competitivos.

FONTES NÃO RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA

GÁS NATURAL

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos encontrada no subsolo, podendo ou não estar associada ao petróleo. O principal componente químico do gás natural é o metano, assim como ocorre com o biogás. O aproveitamento do gás natural para a produção de energia elétrica pode ser dado pela geração exclusiva de energia elétrica ou pela cogeração, que engloba também a utilização do calor em processos industriais.

Inicialmente considerado um estorvo à produção de petróleo, pois exigia procedimentos de segurança e manipulação que encareciam a prospecção, a utilização do gás natural para a geração elétrica tem crescido de forma muito acentuada em todo o mundo a partir dos anos 1980. No Brasil, esse crescimento coincide com o início das importações de gás natural da Bolívia, onde as reservas são as maiores da América Latina.

A cadeia de produção do gás natural se inicia na sua exploração, seguindo para a exploração, que é a construção de infraestrutura para a operação e perfuração do poço, produção, processamento, transporte e, por fim, a distribuição, que é a entrega do gás natural para o consumidor final.

DERIVADOS DE PETRÓLEO

Os derivados de petróleo, sejam eles em estado sólido ou líquido, são utilizados para a geração de energia elétrica por meio das chamadas termelétricas. Em resumo, a geração pode ocorrer de duas maneiras básicas: a partir do uso do calor da queima, em ciclos térmicos a vapor, ou a partir da queima direta do combustível, em centrais motogeradoras.

Dentre os derivados de petróleo mais utilizados na geração termelétrica, destacam-se o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), o óleo diesel e o óleo combustível. Mundialmente, os derivados de petróleo são usualmente utilizados em usinas termelétricas complementares, acionadas em horários de pico ou em momentos de interrupção para manutenção dos sistemas convencionais. Os termogeradores também são usados para fornecer energia a sistemas isolados da rede elétrica ou em áreas remotas.

No Brasil, as termelétricas abastecidas a derivados de petróleo são utilizadas, principalmente, para compor as opções de despacho centralizado do Operador Nacional do Sistema (ONS). O despacho de uma termelétrica no momento presente economiza água nos reservatórios das hidrelétricas no futuro. Assim, as termelétricas tornam-se variáveis de controle do sistema hidrotérmico brasileiro, excetuando-se aquelas consideradas inflexíveis, dada a natureza de seus contratos para o fornecimento de gás (chamados contratos *take or pay*).

ENERGIA NUCLEAR

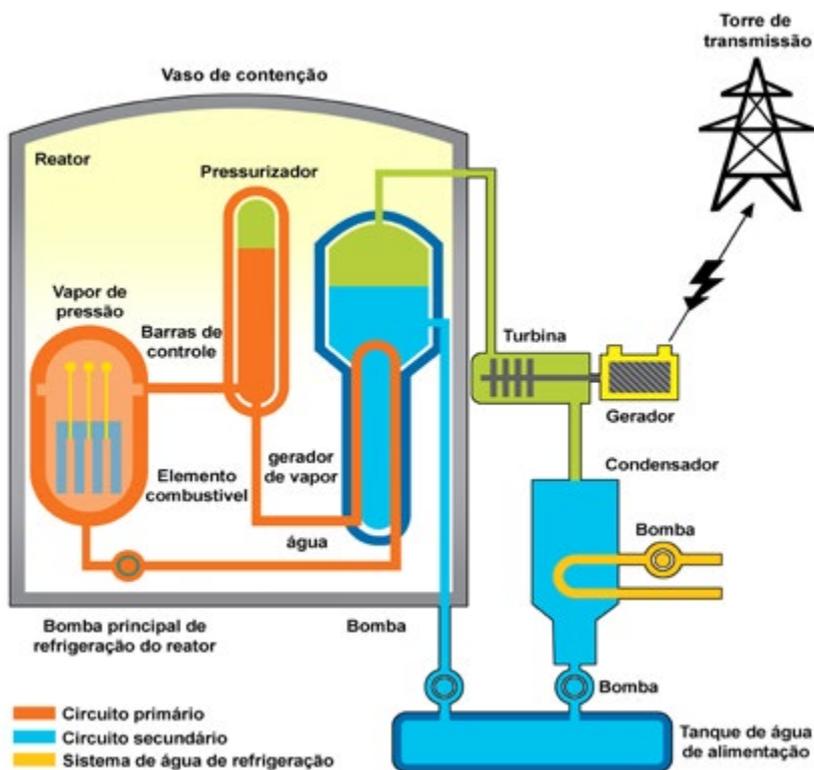
A energia nuclear é aquela proveniente de uma reação nuclear, ou seja, de um processo de transformação de núcleos atômicos. Basicamente, existem duas tecnologias de aproveitamento da energia nuclear: a fissão nuclear, que é o processo pelo qual ocorre uma reação em cadeia de fissões nucleares, e a fusão nuclear, que é um processo ainda experimental, a partir do qual núcleos de um elemento são fundidos para formar outro elemento.

Apesar de muito complexa sob o ponto de vista do controle das reações nucleares, a geração de eletricidade é obtida por meio de uma tradicional máquina a vapor, de forma muito parecida com o que ocorre nas termelétricas. A reação nuclear libera quantidades muito grandes de calor, que é aproveitado para transformar a água em vapor e, por meio de trabalho mecânico, fazer girar uma turbina acoplada mecanicamente a um gerador elétrico.

Não fosse o problema do lixo nuclear, que é o resíduo resultante das reações nucleares, e do risco de acidentes, que quando ocorrem são catastróficos, a energia nuclear teria vantagens muito significativas em relação à energia termelétrica de origem fóssil, já que não há emissões de CO_2 em uma planta nuclear.

No Brasil, existem duas usinas term nucleares em funcionamento: Angra I e Angra II, localizadas em Angra dos Reis, Rio de Janeiro, e controladas pela Eletronuclear, empresa subsidiária da Eletrobras. A operação de Angra III, ainda em construção, está prevista para início

em 2026. Com ela, a participação da capacidade nuclear instalada no Brasil deve passar de 1,2% para 2,1% em relação à capacidade instalada total de geração.



CARVÃO MINERAL

No mundo, o aproveitamento mais usual do carvão mineral é na geração de energia elétrica a partir de usinas termelétricas. Como ocorre também com outros energéticos térmicos, há ainda o aproveitamento industrial para a geração de calor utilizado em processos de produção, como fabricação de vidros, secagem de produtos, cerâmicas, etc.

Pesquisas abrangendo processos tecnológicos que extraiam um maior aproveitamento do poder calorífico do carvão, como a sua gaseificação, têm sido desenvolvidas em âmbito mundial. No entanto, o método tradicional de queima para produção do vapor continua sendo o mais utilizado.

O carvão mineral tem sido utilizado em larga escala em países como China, Estados Unidos e Índia, responsáveis por mais de 67% do consumo mundial de carvão mineral. No Brasil, no entanto, o minério representa apenas 3% em relação à produção total de energia elétrica, com um consumo que não passa de 0,4% em relação ao consumo mundial de carvão mineral.



COMO SE CLASSIFICAM OS AGENTES GERADORES NO BRASIL?

Os geradores de energia elétrica são organizados de acordo com a seguinte classificação:

CONCESSIONÁRIOS DO SERVIÇO PÚBLICO DE GERAÇÃO

São concessionários do serviço público de geração, que é um serviço público de responsabilidade do Governo Federal, os agentes que possuem permissão, autorização ou concessão mediante licitação do Poder Concedente, no caso, a União. O agente pode ser pessoa jurídica ou consórcio de empresas para a exploração e prestação de serviços de geração de energia elétrica. Atualmente, existem 109 agentes concessionários do serviço público de geração no Brasil, sendo caracterizados, em sua maioria, por grandes usinas hidrelétricas, dentre elas a usina de Itaipu.

PRODUTOR INDEPENDENTE DE ENERGIA

Os produtores independentes de energia são também agentes individuais ou reunidos em consórcio, a partir de concessão, permissão ou autorização do Poder Concedente, mas que produzem e comercializam energia elétrica por sua conta e risco, diferentemente dos concessionários de serviço público. No Brasil, existem aproximadamente 1.700 produtores independentes de energia, geralmente com capacidade de produção bem menor que a dos concessionários de serviço público. Nesta categoria, encontram-se as PCHs, as termelétricas e as centrais eólicas.

AUTOPRODUTORES DE ENERGIA

Os autoprodutores de energia elétrica são aqueles agentes, também sob concessão, permissão ou autorização do Poder Concedente, que produzem energia elétrica para o seu próprio consumo. Esses consumidores também podem vender energia excedente, desde que autorizados pela ANEEL. No Brasil, atualmente, existem mais de 580 autoprodutores de energia, dentre os quais um bom número de usinas de álcool e açúcar, que se utilizam da biomassa para cogeração. Também é muito comum o uso de usinas termelétricas de pequeno porte, seja para uso pleno ou apenas durante o horário de ponta, no qual a

energia das concessionárias de distribuição é mais cara. Os autoprodutores também têm benefícios para a parcela de energia que trafega no sistema elétrico, pois são isentos do pagamento dos encargos CDE e Proinfa.

ASPECTO TÉCNICO

A energia elétrica é gerada a partir de uma transformação energética, na qual uma fonte primária de energia é transformada em energia elétrica. As fontes primárias dividem-se em renováveis e não renováveis, dependendo do ciclo de renovação da matéria prima utilizada no processo. No Brasil, a maior fonte primária de energia é hídrica, por meio do aproveitamento de quedas d'água.



ASPECTO REGULATÓRIO

No Brasil, os geradores podem ser concessionários de serviço público, produtores independentes de energia e autoprodutores. Em todos os casos, o agente necessita de concessão, autorização ou permissão do Poder Concedente para funcionar. O órgão nacional responsável por autorizar e fiscalizar os agentes de geração é a ANEEL. Existe também uma política de incentivo às fontes alternativas de energia, com desconto entre 50% e 100% na TUSD-transporte para geradores e consumidores dessa modalidade.



EXPEDIENTE

A principal razão de existir da ABRADÉE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica - é atuar como facilitadora nas relações entre as distribuidoras de energia elétrica (suas associadas) e os demais agentes que atuam no setor elétrico brasileiro. A Associação reúne 42 concessionárias de distribuição de energia elétrica - estatais e privadas - atuantes em todas as regiões do país e que juntas são responsáveis pelo atendimento a 99,8% dos consumidores brasileiros.

Com sede em Brasília, a ABRADÉE tem, entre suas atribuições, prestar serviços de apoio a suas associadas nas áreas técnica, comercial, econômica, financeira e institucional. Cabe à Associação, ainda: promover cursos e seminários; editar publicações; e trocar informações com entidades nacionais e internacionais, visando ao desenvolvimento e à capacitação de seus associados, bem como à defesa dos interesses do setor de distribuição de energia elétrica.

Presidente **Nelson Fonseca Leite**

Diretor **Marco Delgado**

EXPEDIENTE

Redação **Fábio Sismotto El Hage**

Revisão **Denis Antonelli**

Design **Thaís Resende de Brito**

Coordenação **Leny Iara Vasem Medeiros**



i|ABRADEE
INSTITUTO ABRADEE DA ENERGIA