

AS HIDRELÉTRICAS EM SÃO PAULO: EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS E PROCESSOS

Andréa Santos da Silva

Resumo

O presente trabalho tem por finalidade oferecer um breve relato da história da geração de energia elétrica no estado de São Paulo, no período compreendido entre o final do século XIX, época do surgimento da primeira usina hidrelétrica no Estado, até os dias atuais, compreendendo também uma análise da evolução observada nas técnicas e processos envolvidos na geração desse tipo de energia.

Palavras-Chave

Energia elétrica, eletricidade, usinas hidrelétricas, tecnologia, engenharia civil, transmissão, transformador, turbina, gerador.

Introdução

Este trabalho pretende analisar a história das hidrelétricas no Estado de São Paulo e as técnicas e processos utilizados para a geração de energia elétrica desde o surgimento da primeira usina, nos últimos anos do século XIX, até os dias de hoje, e definir o quanto e de que modo essas técnicas e processos evoluíram e quais foram os resultados dessa evolução.

Para que pudesse ser concluído, foi fundamental a utilização do acervo bibliográfico da Fundação Patrimônio Histórico da Energia e Saneamento (FPHESP); também foi de grande ajuda a visita à Usina do Corumbataí, pertencente à Fundação, por possibilitar que o visitante conheça não só a história da energia elétrica no Estado, mas também veja de perto todas as instalações e equipamentos necessários para a geração de energia hidrelétrica; e, por último, foram pesquisados, na internet, sites com informações técnicas sobre energia e de empresas geradoras e distribuidoras.

Energia Elétrica – O Princípio

Andar por uma rua iluminada, acender uma lâmpada, ligar o chuveiro, assistir TV... ao efetuarmos esses atos tão rotineiros, dificilmente nos damos conta da longa trajetória que a eletricidade percorre até chegar às nossas casas. Mais ainda: não nos damos conta do longo caminho percorrido pela eletricidade desde sua descoberta, em plena Antigüidade, até os dias de hoje, quando é gerada em modernas hidrelétricas com o objetivo, entre outros, de prover o conforto de nossos lares.

A eletricidade, enquanto fenômeno físico, é conhecida desde a Antigüidade Grega, quando foi descoberta a propriedade do âmbar de atrair pequenas partículas de poeira ao ser submetido ao atrito. É da palavra *electron*, que significa âmbar em grego, que deriva o termo eletricidade.

O conhecimento dos fenômenos elétricos ficou por muito tempo restrito aos fenômenos rudimentares da eletricidade. Somente no século XVII foram registrados novos estudos sobre a eletrificação por atrito, devidos a Otto Von Guericke, que publicou em 1672 a descrição de uma máquina destinada a gerar cargas eletrostáticas. A partir daí, vários pioneiros deram sua contribuição para a história da eletricidade, possibilitando a geração e distribuição de energia elétrica como a conhecemos hoje:

1722 - Meio século depois da publicação dos estudos de Otto Von Guericke, Stephen Gray investigou as propriedades elétricas de várias substâncias e fez, pela primeira vez, a distinção entre condutores e isolantes térmicos;

1752 - Benjamin Franklin, estudando as características da eletricidade atmosférica, descobriu o pára-raios;

1800 – O físico italiano Alessandro Volta cria a primeira bateria do mundo. Pode-se dizer que esse foi o pontapé inicial para a geração de energia elétrica;

1831 – O físico inglês Michael Faraday concebeu o princípio do dínamo. Entretanto, a utilização industrial da eletricidade dependia da produção a baixos custos e, sobretudo, da transmissão à distância;

1867 – Werner Siemens, físico francês, inventa o dínamo. Marco inicial da indústria elétrica.

1867 - O engenheiro francês Aristides Berges aproveitou pela primeira vez a força hidráulica para gerar energia elétrica, instalando, numa serraria de sua propriedade, a primeira turbina movida por uma queda d'água;

1879 – Ao dotar a lâmpada incandescente de um filamento mais durável, Thomas Edison cria a lâmpada elétrica, fundamental para o desenvolvimento da indústria de energia elétrica;

1881/1883 - O francês Marcel Deprez demonstra a possibilidade de transportar energia a longa distância, por meio de alta tensão;

1882 – Por iniciativa de Thomas Edison, é inaugurada em Nova Iorque a primeira usina de força elétrica do mundo, fornecendo iluminação para casas e escritórios de Manhattan;

1888 - o engenheiro americano Westinghouse possibilitou a transmissão de energia através de grandes distâncias ao desenvolver a corrente alternada;

1888 -O físico iugoslavo Nikola Tesla inventa a corrente alternada, possibilitando a instalação de sistemas de iluminação nas ruas e casas de cidades inteiras;

1889 – São inventados o alternador e o transformador, permitindo a elevação ou a redução da tensão e tornando possível o emprego em larga escala da energia elétrica.

A Chegada da Energia Elétrica no Brasil

No Brasil, as primeiras experiências práticas com energia elétrica ocorreram ainda na época imperial, praticamente ao mesmo tempo em que ocorriam no resto do mundo. Grande entusiasta das novas tecnologias, D. Pedro II conheceu, em uma exposição na Filadélfia, EUA, em 1876, os aparelhos e processos inventados pelo norte-americano Thomas Edison para a utilização da luz elétrica. Com o intento de que esses novos inventos fossem logo introduzidos no Brasil, o Imperador concedeu a Thomas Edison o privilégio de trazê-los. Tão logo surgiam inovações e aperfeiçoamentos relacionados com a indústria de energia elétrica na Europa e nos Estados Unidos, estes iam sendo experimentados aqui.

Em 1883, apenas um ano depois de Thomas Edison ter iluminado a Pearl Street, em Nova Iorque, a cidade de Campos, Rio de Janeiro, instalou a mesma tecnologia, gerando eletricidade através de uma usina termoelétrica. Esta funcionava com uma máquina motriz a vapor que, acionando três dínamos, tornava possível a iluminação de 39 lâmpadas. Esse foi o primeiro serviço de iluminação por energia elétrica pública municipal do Brasil e da América do Sul. No entanto, a disseminação do uso da energia elétrica só teve início de fato no final do século XIX, já sob o regime republicano.

O Princípio da Geração de Energia Elétrica no Estado de São Paulo

Em 1885, dois anos após a inauguração dos serviços de iluminação elétrica de Campos, teve início em Rio Claro, São Paulo, o fornecimento de energia elétrica, visando a iluminação pública da cidade. Os serviços foram iniciados com 10 lâmpadas de arco, que funcionavam com a energia produzida por uma máquina a vapor, acionando um dínamo idêntico aos que operavam em Campos.

Essas usinas eram termoelétricas e eram alimentadas com carvão mineral que, por sua vez, era importado, ocasionando um alto custo para a geração de energia elétrica. Por outro lado, o Brasil é rico em recursos hídricos, que podem ser convertidos em fonte de geração de energia elétrica, assim, não demorou para que as usinas termoelétricas começassem a ser substituídas por usinas hidrelétricas.

A primeira usina hidrelétrica de São Paulo foi a da fábrica de tecidos Votorantim, em Sorocaba. Ali foi instalada uma usina térmica em 1889, a primeira para geração de energia elétrica do Estado e a primeira fonte de força motriz para a empresa Votorantim. Em 1892 foi inaugurada a usina hidrelétrica de Sorocaba, com 1050 HP, para ampliar o fornecimento para a indústria.

Ainda no final do século XIX, foram inauguradas várias outras usinas para geração de energia elétrica em São Paulo:

- Em 1895, foi concluída a Usina Hidrelétrica de Corumbataí, cujo principal objetivo era melhorar a qualidade da iluminação de Rio Claro. No entanto, devido a problemas técnicos, suas atividades foram paralisadas no dia seguinte ao de sua inauguração. O investimento realizado, virtualmente, não teve retorno e a Cia. Mecânica Rio Clarense,

empresa responsável pelo empreendimento, viu-se obrigada a leiloar seus bens. A usina voltaria a funcionar somente em 1900, sob a direção de uma firma alemã.

- Salto Grande ou Velha do Pinhal, em 1897, a maior construída no século XIX, pertencente a Cia. Mogiana de Força e Luz e com uma capacidade de 1250 HP, tinha como objetivo o fornecimento para estações ferroviárias e iluminação pública;

- Buritis, 2ª em importância no Estado, concluída em 1898 com capacidade de 1230 HP, pertencente a Cia. Força e Luz de Ribeirão Preto, fornecia energia para a iluminação pública de Ribeirão Preto e Igarapava;

- Luiz de Queiroz, concluída em 1893 no município de Piracicaba, na mesma fazenda onde estava sendo construída uma escola prática de agricultura, por obra do proprietário, o fazendeiro e agrônomo Luiz Vicente de Souza Queiroz. Tinha por finalidade fornecer energia para a fazenda, onde funcionava, além da escola, uma fábrica de tecidos, e para o município de Piracicaba.

Ainda no século XIX, foram construídas as usinas de Córrego Rico em Jaboticabal, Carioba em Americana e mais dez pequenas usinas termoelétricas para geração de energia para fábricas têxteis.

A Expansão da Energia Elétrica e a Opção pelas Usinas Hidrelétricas

No limiar do século XX, a energia elétrica não só era uma realidade como havia se tornado imprescindível para o progresso de qualquer cidade moderna.

Em São Paulo essa realidade não era diferente. A expansão da cafeicultura paulista proporcionou ao Estado um grande e rápido desenvolvimento, atraindo investimentos, especialmente de capital estrangeiro, e também foi responsável pelo rápido crescimento das atividades industriais, ao direcionar seus excedentes para essas atividades.

A expansão da cafeicultura criou ainda a necessidade da expansão da malha ferroviária e a ampliação dos portos, a fim de tornar possível o escoamento da produção, e provocou a dinamização dos serviços urbanos. O café foi também responsável pela introdução do trabalho assalariado no campo e por sua difusão na cidade, alargando o

mercado interno, criando um aumento na demanda por serviços públicos, incrementando as atividades industriais com a oferta de mão de obra barata e, assim, abrindo boas perspectivas para investimentos no campo de energia elétrica.

Até a virada do século, o predomínio na geração de energia era das usinas térmicas, alimentadas principalmente a carvão e destinadas ao fornecimento para serviços públicos de iluminação e para atividades como mineração, fabricação de tecidos e serrarias. A construção de grandes unidades geradoras de energia demandava um alto custo, e, por esse motivo, havia a preferência pela utilização de máquinas a vapor e pelo aproveitamento direto da força hidráulica, determinando a instalação das fábricas próximas a quedas d'água.

Esse cenário começou a ser alterado com a chegada do grupo Ligth, constituído em Toronto, Canadá, por iniciativa de um grupo de investidores com o objetivo de produzir, utilizar e vender eletricidade no Brasil, através de concessões para a exploração da mesma. A primeira usina hidrelétrica construída pela Ligth em São Paulo foi a da Cachoeira do Inferno, no rio Tietê. O material para a construção e instalação da usina foi todo importado dos Estados Unidos e transportado com grande dificuldade para o local da construção da usina, 33 km distante de São Paulo. O material era levado por ferrovias até a estação de Barueri e dali seguia por mais 13 km em carro de boi até o local das obras. Apenas quinze meses após o início da construção, em setembro de 1901, foi inaugurada a usina hidrelétrica do Parnaíba, atual Edgard de Souza, a primeira a utilizar uma barragem com mais de 15 metros de altura, um feito para a época. A usina entrou em funcionamento com duas turbinas Stillwell Bierce, acopladas a dois geradores General Electric de 1.000 kW cada um. Suas linhas de transmissão estendiam-se até a subestação de Paula Souza, na área central de São Paulo. A partir daí, sofreu sucessivas ampliações, provocadas pelo crescente aumento na demanda por energia elétrica em São Paulo: mais dois novos grupos turbina-gerador idênticos aos primeiros foram instalados e, posteriormente, outros grupos, formados por turbinas Escher Wiss e por geradores GE e Westinghouse e com capacidade de 2.000 kW. Juntamente com a expansão da usina, a Ligth construiu a represa de Guarapiranga, nas imediações de São Paulo. Em 1907, a represa era capaz de armazenar 196 milhões de m³ de água, garantindo os recursos hídricos necessários. A usina atingiu sua capacidade máxima em 1912 – 16.000 kW com oito turbinas. Nessa ocasião, a tensão nas linhas transmissoras foi elevada de 24.000 para 40.000V.

A demanda por energia elétrica em São Paulo continuou a crescer. No decorrer da década de 1910, verificou-se um grande aumento no número de indústrias na cidade, ao mesmo tempo em que o vapor era substituído pela energia elétrica nas fábricas de todo o país. Frente ao esgotamento da possibilidade de expansão da Usina do Parnaíba, restou à Ligth construir uma segunda hidrelétrica em São Paulo. O local escolhido foi o Salto do Itupararanga, em Sorocaba. A construção teve início em 1911 e em abril de 1912 entrou em operação uma usina provisória, com capacidade de 4.000 kW. A inauguração da usina foi em maio de 1914, e em agosto do mesmo ano ela já contava com 37.000 kW instalados. Essa usina, com uma barragem de 415 m de comprimento e 35 m de altura, chegou a ser a quinta maior do mundo. Foram utilizados equipamentos importados dos Estados Unidos, similares aos da usina do Parnaíba. Hoje em dia, a hidrelétrica Itupararanga pertence à CBA – Cia. Brasileira de Alumínio.

Ao mesmo tempo em que a Ligth construía grandes hidrelétricas, diversas outras empresas construía, no interior de São Paulo, pequenas centrais elétricas, algumas destinadas a fornecer energia para um único município. No censo realizado em 1920, São Paulo contava com 65 instalações hidrelétricas e apenas 19 termoelétricas.

A opção pelo uso de energia hidrelétrica foi intensificada na década de 1920, devido às dificuldades na importação do carvão mineral utilizado nas usinas termoelétricas, causadas pela Primeira Guerra Mundial.

Ainda na década de 1920, São Paulo conheceu a primeira crise energética de sua história, provocada pela estiagem ocorrida entre 1924 e 1925, que reduziu em cerca de 40% a vazão dos rios Tietê e Sorocaba e provocou uma drástica redução na oferta de energia elétrica, o que levou a prefeitura a determinar o racionamento.

Para tentar superar a crise, a Ligth atacou de duas maneiras: ampliando ao limite máximo a capacidade das unidades geradoras existentes – Itupaparanga recebeu mais uma turbina, o que resultou em um reforço de 19.000 kW e deu início à construção de novas usinas hidrelétricas de grande porte.

A primeira usina hidrelétrica construída pela Ligth nessa fase foi a de Rasgão, no rio Tietê, na região de Pirapora do Bom Jesus. A obra foi iniciada em outubro de 1924 e finalizada em tempo recorde, apenas 11 meses depois, em setembro de 1925. Em novembro contava com uma capacidade instalada de 22.000kW e com duas linhas de transmissão que transportavam a energia gerada para a usina de Parnaíba.

Nessa época, acelerada pela crise, iniciou-se a maior realização do grupo Light: a construção da usina de Cubatão (atual Henry Borden), no município de mesmo nome. Na verdade, o projeto da usina fazia parte de outro, bem maior, chamado Projeto da Serra, que compreendia além da própria usina, a instalação de um sofisticado sistema de barragens e reservatórios destinados a represar as águas do Rio Grande e do Rio das Pedras, lançando-as, através de grandes tubos adutores, numa queda de mais de 700 metros, para o acionamento das turbinas da usina de Cubatão. A represa resultante do projeto é a que hoje conhecemos como Billings. Para a realização do projeto, foram contratados cerca de 4000 trabalhadores e utilizadas máquinas modernas e de grandes dimensões. O projeto teve início em abril de 1925 e em outubro de 1926 a primeira unidade geradora entrou em funcionamento, com capacidade instalada de 28.000 kW; Em 1927, a Light foi autorizada a aumentar a capacidade de suas usinas da serra, com a utilização das águas dos rios Tietê e Pinheiros, à jusante da Capital. O projeto se viabilizou com a canalização do rio Pinheiros e a construção das usinas elevatórias de Traição (Cidade Jardim) e Pedreira (Santo Amaro), para lançar as águas do Tietê na Billings. A cota da represa do Rio Grande foi elevada em 14m, passando a 747m. Com esse método, a capacidade da Usina de Cubatão foi significativamente ampliada, sem a necessidade da construção de novas barragens. Em março do mesmo ano foi inaugurada a segunda unidade geradora, dobrando a capacidade da usina, em janeiro de 1928, a capacidade foi aumentada em mais 20.000 kW, com a inclusão de novas geradoras no sistema. A instalação desse complexo representou um acréscimo de 70% na capacidade total da Light instalada em São Paulo, e não só superou a crise, como propiciou um excedente na demanda de energia elétrica. A usina de Cubatão foi a maior construída no Brasil na primeira metade do século XX.

A partir de 1930, toda a sociedade brasileira passou por profundas modificações. A revolução de 1930, que levou Getúlio Vargas ao poder, conduziu o país a um importante processo de modernização de todos os setores da sociedade. O modelo de desenvolvimento econômico adotado pelo novo governo foi baseado na industrialização, que cresceu em ritmo acelerado de 1933 a 1939. A Segunda Guerra fez diminuir esse ritmo, devido às dificuldades de importação de máquinas, equipamento e matéria-prima para a indústria mas, ao mesmo tempo, fez com que o governo Vargas tomasse importantes decisões para a continuidade do processo de industrialização do país.

Nesse período, a indústria de energia elétrica ganhou uma importância ainda maior. O setor passou por profundas mudanças, devido à crescente preocupação do

poder público em regulamentar suas atividades. Ao mesmo tempo, o crescimento do setor industrial e a aceleração da urbanização do país provocaram um crescimento da demanda por energia elétrica bem acima do crescimento da capacidade de geração, fazendo com que, no início dos anos 40, já houvesse um prenúncio de escassez e de uma nova crise de energia, o que levou o governo a tomar iniciativas pioneiras no campo da geração de energia elétrica. Nesse contexto, foi promulgado o Código de Águas, que, entre outras coisas, regulamentou a exploração dos recursos hídricos no país e o regime de autorizações e concessões para os aproveitamentos hidrelétricos.

O Código de Águas e a política do governo de Getúlio Vargas fizeram com que, nas décadas de 1930 e 1940, o setor de energia elétrica permanecesse praticamente paralisado. Em São Paulo, houve apenas investimentos em projetos já iniciados, como a ampliação da potência geradora da Usina de Cubatão. Em 1945, as usinas do grupo São Paulo Light tinham uma capacidade geradora instalada de 366.000 kW e produziram 1 bilhão e 870 milhões de kWh, representando 38% da produção do país, calculada em 4,9 bilhões de kWh.

Dentro do projeto de ampliação da Usina de Cubatão, em 1952 foram iniciados os trabalhos de construção de Cubatão II, usina subterrânea construída nas proximidades da primeira. As primeiras unidades geradoras entraram em funcionamento em 1956 e a usina foi totalmente concluída em 1961, com uma capacidade total instalada de 390.000 kW. Paralelamente, foram realizadas as obras da barragem de Pirapora e da estação elevatória de Edgard de Sousa.

São Paulo só ganhou uma nova usina hidrelétrica em 1951, ano em que foi iniciada a construção da Usina de Salto Grande, no Rio Paranapanema, na divisa com o Paraná, que também foi a primeira a ter administração estadual. A primeira unidade geradora entrou em operação em 1958. A segunda usina construída no sul do Estado nesse período foi a de Jurumirim – as obras foram iniciadas em 1956 e concluídas em 1962. A terceira foi a de Xavantes, situada entre Jurumirim e Salto Grande, concluída em 1970. Outras duas usinas foram construídas na bacia do Rio Pardo – Limoeiro, concluída em 1958 e Euclides da Cunha, que entrou em funcionamento dois anos depois. Em 1959 foram iniciadas as obras da usina de Graminha, também no Rio Pardo. Na década de 1960 entraram em funcionamento as usinas de Barra Bonita e Bariri, ambas no curso do Rio Tietê.

A partir da década de 1960, diversas usinas hidrelétricas de médio e grande porte foram construídas em São Paulo para atender a sempre crescente demanda de energia.

Nessa década, foi iniciada a construção do complexo Urubupungá, que previa a instalação de duas grandes usinas – Jupiá e Ilha Solteira, que juntas teriam uma capacidade geradora de 3,9 milhões de kW. Nessa altura, o Brasil já havia adquirido conhecimento e tecnologia suficientes para proceder a instalação de uma usina hidrelétrica sem a necessidade da presença de técnicos e engenheiros estrangeiros. A usina de Jupiá foi construída com tecnologia inteiramente brasileira; os dois primeiros geradores entraram em funcionamento em 1969 e a usina foi concluída em 1974. Possui 14 unidades geradoras com turbinas Kaplan com potência instalada de 1.551,2 MW e dois grupos turbina-gerador, para serviço auxiliar, com potência instalada de 4.750 kW em cada grupo. Sua barragem tem 5.495 m de comprimento e seu reservatório tem 330 km². A usina dispõe de eclusa que possibilita a navegação no Rio Paraná e a integração hidroviária com o Rio Tietê.

A Usina de Ilha Solteira forma, juntamente com Jupiá, o sexto maior complexo hidrelétrico do mundo. Foi concluída em 1978 e hoje é a maior usina de São Paulo e a terceira maior do país. Constitui um marco na história da engenharia nacional, dado o arrojo e as dimensões do projeto, que resultaram em vários problemas operacionais e técnicos. Sua potência instalada é de 3.444,0 MW e tem 20 unidades geradoras com turbinas tipo Francis. É uma usina com alto desempenho operacional que, além da produção de energia elétrica, é de fundamental importância para o controle da tensão e frequência do Sistema Interligado Nacional. Sua barragem tem 5.605 m de comprimento e seu reservatório tem 1.195 km² de extensão.

Em 1978 foi concluída a Usina de Paraibuna, no município de mesmo nome. A usina localizada no Rio Paraibuna, tem potência total instalada de 85 MW e duas unidades geradoras com turbinas tipo Francis. A área total do seu reservatório é de 224 km², composta pelo reservatório de Paraibuna que tem 177 km², o qual é interligado ao reservatório de Paraitinga, com 47 km². As barragens de Paraibuna e Paraitinga, concluídas em 1977, estão entre as mais altas do Brasil, com 104 m de altura. O vertedouro tulipa está localizado na barragem de Paraitinga. A principal finalidade do reservatório da UHE Paraibuna é regular a vazão do Rio Paraíba do Sul, responsável pelo fornecimento de água para várias cidades do Vale do Paraíba e do Estado do Rio de

Janeiro. Os reservatórios da Usina Hidrelétrica Paraibuna e da Usina Hidrelétrica Jaguari são os principais reguladores das vazões do Rio Paraíba do Sul.

A Usina Jaguari entrou em funcionamento em 1977. Está localizada no município de São José dos Campos. Sua potência instalada é de 27,6 MW distribuída por duas unidades geradoras com turbinas Francis. Seu reservatório tem 56 km² de extensão e sua principal finalidade é permitir o controle da vazão do Rio Paraíba do Sul, que é o fornecedor de água de várias cidades, tanto do Vale do Paraíba, no Estado de São Paulo, quanto do Estado do Rio de Janeiro.

Já na década de 1990 foi construída a Usina Três Irmãos, entre os municípios de Andradina e Pereira Barreto. A primeira unidade geradora entrou em funcionamento em 1993. Possui cinco unidades geradoras com turbinas Francis e potência instalada de 807,50 MW. A quinta unidade geradora entrou em funcionamento em janeiro de 1999. Sua barragem tem 3.640 m de comprimento e seu reservatório mede 785 km². Possui duas eclusas para navegação. O Canal Pereira Barreto, com 9.600 m de comprimento, interliga os reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos, propiciando a operação energética integrada dos dois aproveitamentos hidrelétricos, além de permitir a navegação entre os tramos norte e sul da Hidrovia Tietê-Paraná.

Em 1998 foi concluída a primeira etapa da instalação da Usina Porto Primavera, no município de Rosana. Sua barragem, a mais extensa do Brasil, tem 10.186,20 m de comprimento e seu reservatório, 2.250 km². A primeira etapa do enchimento do reservatório, na cota 253,00 m, foi concluída em dezembro de 1998 e a segunda etapa, na cota 257,00 m, em março de 2001. Em Outubro de 2003, entrou em operação a unidade geradora 14, totalizando assim, 1.540 MW de potência instalada. As três primeiras unidades completaram a entrada em operação em março de 1999. Dispõe de eclusa para navegação no Rio Paraná.

Além das usinas citadas, outras foram construídas no período no Estado. Hoje São Paulo conta com 33 usinas hidrelétricas de médio e grande porte e aproximadamente 100 PCH's. A opção do Brasil pelas usinas hidrelétricas, em detrimento das termelétricas, se deu devido a dois fatores: geográfico e econômico. Geograficamente, o Brasil possui a maior bacia hidrográfica do mundo, com um incomparável potencial de geração de energia elétrica. Economicamente, as usinas hidrelétricas têm um alto custo de instalação, estimado entre US\$ 1.000,00 e US\$

1.500,00/kWh, porém o custo de operação é baixo, cerca de US\$ 25,00/ MW, uma vez que usa a força motriz da água, disponível na natureza, logo, gratuita. Para se ter uma idéia, o custo de produção de uma termoeletrica a carvão fica em torno de US\$ 50,00/MW, a gás, entre US\$ 50,00 e US\$ 80,00/MW, a energia nuclear US\$ 150,00/MW e, a mais cara, a energia solar US\$ 600,00/MW.

Tecnologia – Equipamentos e Engenharia

A construção e instalação de uma usina hidrelétrica demanda conhecimentos técnicos avançados e a utilização de máquinas e equipamentos pesados. Cada projeto tem características próprias, e necessita de equipamentos sob encomenda que podem levar até dois anos para serem entregues (turbinas, geradores, transformadores). Isso significa um grande aporte de capital.

As principais indústrias de equipamentos elétricos pesados são estrangeiras – americanas e européias – e surgiram ainda no século XIX. No final da década de 1890, as principais indústrias do setor eram: General Eletric (1892), Grupo Morgan, American's Foreign Power Company Inc. (AMFORP), Westinghouse Eletric Manufacturing Co. (E.U.A.), Siemens (1874) e AEG (1883), ambas da Alemanha, Brown Boveri (Suíça), ASEA (Suécia) e Philips (Holanda).

Ao optar pela instalação de usinas hidrelétricas, o Brasil passou a importar equipamentos dessas indústrias. Por ocasião da 2ª Guerra Mundial, surgiu uma grande dificuldade nas importações, o que levou o governo Getúlio Vargas a criar, em 1944, a Comissão da Indústria de Material Elétrico (CIME), que previa a criação de uma companhia de economia mista para a fabricação de material elétrico no país – projeto esse que ficou no papel.

Na década de 1950, várias empresas estrangeiras decidiram instalar indústrias de material elétrico no Brasil, a maioria em São Paulo. Em 1955, o grupo francês Schneider, apoiado pelo BNDE, instalou em Taubaté/SP a Mecânica Pesada, para a fabricação de turbinas, comportas e outros equipamentos mecânicos. Em 1957, a empresa suíça Brown Boveri inaugurou uma fábrica em Osasco e em 1962 foi a vez da General Eletric inaugurar uma fábrica em Campinas. Em 1963 A Siemens instalou no país uma unidade para a fabricação de transformadores de grande potência e hidrogeradores. Além dessas

empresas, vieram também a Bardella, J.M. Voith, Codima, Villares, ASEA, Dedini. A instalação dessas empresas não só trouxe para o Brasil a tecnologia necessária para a instalação de hidrelétricas, como também gerou uma economia de divisas de 40,2 milhões de dólares em 1959, 48 milhões em 1960 e 56,5 milhões em 1961.

Nos fins da década de 1960, o país assistiu a um novo período favorável da economia. A expansão da indústria de energia elétrica nesse período atraiu ou fez surgir novas empresas do setor: Transformadores União (Associação da AEG-Telefunken e Siemens), Furukawa (indústria japonesa de fios), Alsthom (empresa francesa de equipamentos eletromecânicos, que adquiriu o controle da Mecânica Pesada). A instalação dessas empresas permitiu que o Brasil atingisse, em 1984, o índice de 90% de nacionalização nos fornecimentos de equipamentos hidrelétricos, 50% nos termoelétricos não nucleares, 85% nas subestações e 95% nas redes de distribuição e linhas de transmissão.

Enquanto na área de equipamentos pesados o Brasil depende de multinacionais, na área de engenharia civil para a construção de hidrelétricas, o país já é totalmente auto-suficiente. A expansão do setor permitiu a nossos técnicos e engenheiros não só absorverem conhecimentos suficientes para elaborar e realizar projetos para a construção de usinas, reservatórios e barragens, como também desenvolver novas técnicas. Um exemplo é a aplicação da mecânica das rochas – técnica de escavação de galerias bastante aplicada em hidrelétricas. Os engenheiros brasileiros iniciaram o uso dessa técnica em 1942, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em São Paulo, simultaneamente aos países desenvolvidos.

Hoje, o Brasil está no mesmo nível dos países desenvolvidos no que tange a obras de engenharia civil para construção de usinas hidrelétricas, e é capaz de produzir quase todo o material pesado necessário. Quanto à tecnologia de ponta, as grandes empresas nacionais do setor elétrico vêm criando centros de pesquisa que procuram desenvolver técnicas próprias de nível internacional, onde têm conseguido um certo sucesso.

Construção de Usinas Hidrelétricas

Do seu surgimento, no final do século XIX, até os dias de hoje, as usinas hidrelétricas evoluíram muito, a começar pelo seu tamanho: de pequenas centrais hidrelétricas, muitas vezes construídas para alimentar uma única fábrica, para empreendimentos gigantescos, capazes de sozinhas gerarem energia elétrica para várias cidades e de atender a sempre crescente demanda. Seu princípio de funcionamento é o mesmo de mais de cem anos atrás, porém o gigantismo das usinas modernas e os altos custos envolvidos nos projetos exigem que seu planejamento, sua construção e instalação sejam feitos por técnicos e engenheiros altamente qualificados.

Devido aos altos investimentos efetuados para a instalação de uma usina hidrelétrica, desde o início do projeto, os engenheiros envolvidos têm papel fundamental, pois cabe a eles procurar meios de minimizar os custos de produção, implantação, operação e manutenção, utilizando para isso técnica e criatividade. O dimensionamento adequado do projeto deve garantir que os benefícios estimados nas análises econômicas sejam efetivamente auferidos. Para isso, deve-se desenvolver estudos hidrológicos e energéticos criteriosos, base fundamental para garantir a segurança da obra, os benefícios estimados e o retorno esperado do empreendimento. Nesse aspecto, é imprescindível uma ampla pesquisa de campo englobando estudos hidrológicos - disponibilidade hídrica, sedimentologia, vazões ambientais e a segurança das barragens - e estudos energéticos, pois o rendimento das turbinas e geradores irá depender da vazão e da queda líquida do local escolhido, sendo que a altura da queda d'água encontra-se intimamente ligada aos aspectos topográficos da região.

A partir desses estudos, os engenheiros vão decidir pelo tipo e tamanho de reservatório e barragem a ser construída, levando em conta aspectos técnicos e econômicos, sempre buscando os melhores resultados com investimentos menores.

As barragens de hidrelétricas podem ter três finalidades: concentração do desnível do rio para produzir uma queda, criação de um grande reservatório capaz de regularizar o deflúvio, elevação do nível de água. Uma barragem pode atender a uma ou mais dessas finalidades. As barragens também podem servir para navegação, controle de cheias e irrigação.

Turbinas Hidráulicas

Peça fundamental na geração de hidroenergia, a turbina hidráulica é o resultado da evolução da roda d'água, cuja primeira utilização data de, pelo menos, um século antes de Cristo. A primeira turbina hidráulica surgiu em 1832, desenvolvida por Fourneyron. Até então, existiam dois tipos de roda d'água: o horizontal e o vertical, que tinham como limitações o aproveitamento parcial do potencial de queda d'água disponível, a exigência de grandes dimensões por unidade de potência e o fato de apresentarem baixo rendimento. A turbina representou uma grande evolução nesse sistema, pois trouxe novos parâmetros de eficiência energética, tamanho reduzido e maior capacidade de aproveitamento da energia potencial das quedas d'água, chegando a atingir a quase totalidade.

O desenvolvimento das turbinas hidráulicas trouxe novas possibilidades de exploração da hidroenergia, permitindo se produzir energia em quantidades muitas vezes superiores com instalações bem menores, além de poder explorar potenciais antes adversos como as quedas de grande altura e baixa vazão. Existem dois tipos de turbinas:

- **Turbinas de Ação:** A água é orientada contra as pás das turbinas sob a forma de jatos, assim a pressão de entrada é igual à pressão de saída. O seu modo de funcionamento permite-lhes estar emersas, ou seja, funcionam ao ar livre.
- **Turbinas de Reação:** Este tipo de turbinas tem uma constituição diferente das anteriores e os seus elementos são o rotor (roda móvel), difusor, distribuidor e a câmara de entrada ou voluta. O seu modo de funcionamento também é diferente sendo a principal distinção o fato de que estas turbinas estão totalmente imersas.

O tipo de turbina a ser utilizado em uma hidrelétrica depende de alguns parâmetros, como a altura e a vazão disponíveis no local escolhido. Devem ser levados em consideração também alguns dados técnicos, como a rotação da máquina em função do número de pólos do gerador elétrico e a altura de sucção. Esses parâmetros determinarão o tipo de rotor adequado ao aproveitamento em questão.

Hoje existem vários modelos de turbinas. As mais utilizadas no Brasil são as turbinas tipo Pelton, tipo Francis e tipo Kaplan ou Axial.

A turbina Pelton é uma turbina de ação cuja principal característica é a velocidade do jato de saída, que pode chegar de 150 a 180 m/s, dependendo da queda. É utilizada para grandes quedas – alturas que vão de 150 à 2000 metros. Para que seja usada em pequenas quedas, é necessário que sejam efetuadas algumas modificações: aumento no número de jatos, utilização de rotores gêmeos e bifurcação de uma única tubulação, de modo a instalar duas turbinas. Por isso, para alturas menores é recomendado o uso da turbina Francis.

No Brasil, a turbina Pelton é utilizada em várias centrais hidrelétricas, principalmente nas PCH's, porém o número é bastante reduzido quando comparado às tradicionais Francis e Kaplan.

A turbina Francis foi idealizada em 1849 e a primeira unidade foi construída em 1873, passando desde então por aperfeiçoamentos constantes. Tem sido aplicada amplamente devido às suas características cobrirem uma larga escala de rotação. Atualmente se constroem para grandes aproveitamentos, podendo ultrapassar a potência unitária de 750MW. As turbinas construídas em 1980 não obtinham um rendimento superior a 85%, hoje se consegue 92% de eficiência. Um exemplo da ampla aplicação da Francis é a Binacional Itaipú com 18 turbinas Francis com diâmetro de roda de 8.60m, potência de 750MW unitária e peso de 310 toneladas cada.

A turbina Axial tradicional, também chamada de propeller, consiste basicamente de um rotor, similar a hélice de navio, ajustada internamente na continuação de um conduto, com o eixo saindo do conjunto no ponto em que a tubulação muda de direção. A entrada da água é regulada por palhetas diretrizes. As turbinas axiais, nas quais torna-se possível a variação dos passos das pás do rotor são chamadas de turbinas propeller de pás variáveis ou, como são mais conhecidas, turbinas Kaplan. No Brasil a turbina Axial tem seu uso bastante difundido, aparecendo no inventário das usinas hidrelétricas de pequeno porte como a mais usada depois da turbina Francis.

A região Centro-Oeste do Brasil é a que apresenta melhores condições de aplicação devido às características hidrológicas ali existentes. Contudo deve-se salientar que a turbina Kaplan é a que apresenta o maior custo em relação ao KW instalado, quando comparada com as tradicionais, Francis simples e Pelton.

Geradores

Em 1831, tanto Michael Faraday, no Reino Unido, como Joseph Henry, nos Estados Unidos, demonstraram, cada um a seu modo, mas simultaneamente, a possibilidade de transformar energia mecânica em energia elétrica. O gerador de Faraday consistia num disco de cobre que girava no campo magnético formado pelos pólos de um ímã de ferradura e produzia corrente contínua. Um ano depois, outro pesquisador obteve corrente alternada valendo-se de um gerador com ímãs e enrolamento de fio numa armadura de ferro. Somente cerca de cinquenta anos depois das experiências de Faraday e Henry foram obtidos geradores comercialmente aproveitáveis. Devem-se tais conquistas às contribuições de Thomas Edison, Edward Weston, Nikola Tesla, John Hopkinson e Charles Francis Brush.

No fim do século XIX, a invenção da lâmpada elétrica e a instalação de um sistema prático de produção e distribuição de corrente elétrica contribuíram para a rápida evolução dos geradores e motores elétricos. A partir de pequenos geradores, simples aparelhos de pesquisa em laboratório, foram construídos alternadores e dínamos de pequena potência e, finalmente, gigantescos geradores. A potência dos geradores utilizados nas grandes usinas hidrelétricas chega a centenas de Mw.

Transformadores e Transmissão a Longa Distância

O grande aumento da demanda por energia elétrica fez com que as PCH's fosse gradativamente substituídas por grandes e modernas usinas hidrelétricas. Essas usinas, em geral, são construídas longe dos grandes centros consumidores, o que implica transmitir a energia gerada a grandes distâncias. Para que isso fosse possível e viável, foi necessário desenvolver uma tecnologia capaz de “transportar” energia elétrica de maneira eficiente, de modo a evitar grandes perdas.

A solução encontrada foi a utilização de transformadores elevadores e abaixadores de tensão. Dessa forma, um transformador é colocado na saída da usina geradora, próximo ao início da linha de transmissão, com o objetivo de elevar a tensão e diminuir a corrente, diminuindo as perdas de energia, e um segundo transformador é colocado no final dessa linha, em uma subestação, geralmente próxima aos centros consumidores, para reduzir a tensão da energia a níveis adequados para a utilização

pelos consumidores. Essa energia então é enviada para a rede secundária, passando por transformadores instalados em postes nas ruas para, então, chegar ao consumidor final.

Os principais tipos de transformadores são:

Transformador de distribuição: encontrado nos postes e entradas de força em alta tensão (industriais), são de alta potência e projetados para ter alta eficiência (da ordem de 99%), de modo a minimizar o desperdício de energia e o calor gerado. Possui refrigeração a óleo, que circula pelo núcleo dentro de uma carapaça metálica com grande área de contato com o ar exterior. Seu núcleo também é com chapas de aço-silício, e pode ser monofásico ou trifásico (três pares de enrolamentos).

Transformadores de potencial: encontra-se nas cabines de entrada de energia, fornecendo a tensão secundária de 220V, em geral, para alimentar os dispositivos de controle da cabine - relés de mínima e máxima tensão (que desarmam o disjuntor fora destes limites), iluminação e medição. A tensão primária é alta, 13.8 Kv ou maior. O núcleo é de chapas de aço-silício, envolvido por blindagem metálica, com terminais de alta tensão afastados por cones salientes, adaptados a ligação à cabines. Podem ser mono ou trifásicos.

Conclusão

O processo básico utilizado atualmente nas hidrelétricas paulistas para geração de energia elétrica não difere muito do que era usado no início do século XX. A principal distinção fica por conta do gigantismo moderno. A transmissão à distância, por exemplo, já havia sido dominada no início dos anos 1930, com o uso de transformadores, porém dificilmente alguém naquela época poderia imaginar que, setenta anos depois, São Paulo teria 500.000 Km de fios para transmissão de energia elétrica – distância superior à da Terra à Lua, que é de 380.000 km.

A maior evolução na instalação de usinas hidrelétricas ocorreu exatamente devido ao desenvolvimento da transmissão à distância. Antes dessa técnica ser dominada, a energia chegava somente a locais próximos às usinas, e as fábricas que necessitavam de energia elétrica tinham que se instalar nas proximidades destas. Com o

desenvolvimento das linhas de transmissão, tornou-se possível transportar energia elétrica a longas distâncias e distribuí-la para ruas, casas e indústrias.

Houve também uma grande evolução do Brasil no que diz respeito à construção e instalação de usinas hidrelétricas. Até a primeira metade do século XX, eram utilizados, quase que exclusivamente, equipamentos importados e mão-de-obra especializada (engenheiros e técnicos) também importada. A partir da segunda metade do século XX, grandes indústrias de material elétrico pesado instalaram filiais no país, o que possibilitou que, na década de 1980, o Brasil atingisse um índice de nacionalização de 90% no fornecimento de equipamentos para hidrelétricas. Além disso, o setor de engenharia do país domina todas as técnicas necessárias para a construção de represas, barragens e usinas.

Bibliografia

Panorama do setor de energia elétrica no Brasil. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. Rio de Janeiro, 1988.

LORENZO, Helena Carvalho. Eletrificação, Urbanização e Crescimento Industrial no Estado de São Paulo (1880 / 1940). Tese de doutoramento defendida na UNESP, 1993.

Energia e Desenvolvimento – 70 anos Da Cia. Paulista de Força e Luz – CPFL. Governo do Estado de São Paulo, 1982.

MOTOYAMA, Shozo (org.). Tecnologia e Industrialização no Brasil – Uma Perspectiva Histórica, UNESP, 1993.

CABRAL, Ligia Maria Martins (org.). Energia elétrica no Brasil, 500 anos. Centro Memória da Eletricidade no Brasil. Rio de Janeiro, 2000.

MACHADO, Carlos F. de Souza (org.). Pequenas centrais hidrelétricas no Estado de São Paulo. Páginas & Letras. São Paulo, 2004.

SCHREIBER, Gerhard Paul. Usinas Hidreletricas – Edgar Blucher. São Paulo, 1978

<http://www.cpf.com.br>

<http://www.cesp.com.br>