

Sistemas nacionais de transmissão: implantação e perspectivas

CARLOS ALMIR MORISSY

Chefe do Departamento de Transmissão da ELETROBRÁS. Engenheiro eletricista com mestrado pelo Rensselaer Polytechnic Institute, NY, EUA.

Distinguem-se, no Brasil, duas redes de transmissão ainda isoladas entre si, a saber: o sistema interligado das Regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste e o sistema interligado do Nordeste e parte da Região Norte (Pará).

Ao final de 1984, contava o país com extensa rede de transmissão associada a um parque gerador predominantemente hidráulico, com os seguintes comprimentos das linhas em operação, discriminados por nível de tensão, de 230 kV e acima:

kV	km
230	21.800
345	7.200
440	5.800
500	8.700
750	570

No Sudeste, extensa rede de 345 kV liga usinas hidrelétricas localizadas nos rios Grande e Paranaíba aos principais centros de carga — São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte — atingindo pontos extremos do sistema interligado, como Vitória e Brasília.

No Estado de São Paulo, em especial, troncos de transmissão em 440 kV, partindo das principais usinas da concessionária estadual (CESP), como Ilha Solteira, Jupia, Água Vermelha (bacia do Paraná) e Capivara (rio Paranapanema), demandam à Grande São Paulo e ao vale do Paraíba, passando por Bauru, Araraquara e Ribeirão Preto.

Sobrepondo-se a essas redes de 345 kV e 440 kV, esquemas de transmissão em 500 kV, destinados ao escoamento da energia gerada em outras usinas localizadas nos rios Grande e Paranaíba (Marimbondo, Itumbiara, São Simão e Emborcação), desenvolvem-se no sentido de Belo Horizonte e do Grande Rio, onde também se processa a integração da usina nuclear Angra I ao sistema Sudeste.

De Jupia, no rio Paraná, e Cachoeira Dourada, no Paranaíba, longos troncos radiais, nas tensões de 138 kV e 230 kV,

são utilizados para o suprimento aos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, destacando-se os polos de carga de Cuiabá, Campo Grande e Corumbá.

A presença de tensões de transmissão em valores próximos, como 345, 440 e 500 kV, reflete a evolução histórica do sistema Sudeste, anteriormente à execução de um planejamento integrado na área, coordenada pela ELETROBRÁS, hoje, a nível nacional. O Decreto nº . . . 73.080, de 05/11/73, estabeleceu em 500 kV o nível de tensão que se segue a 230 kV no país, admitindo-se expansões de redes existentes de 345 e 440 kV apenas quando técnica e economicamente justificadas.

Na Região Sul, os principais sistemas de transmissão desenvolvem-se em 230 kV e 500 kV, ligando usinas localizadas nos rios Iguaçu, Uruguai e Jacuí aos principais centros de consumo, como Curitiba, Porto Alegre, litoral catarinense e norte do Paraná. Até o momento, linhas de 138 e 230 kV mostraram-se adequadas à integração de centrais termelétricas a carvão ao sistema da Região Sul, destacando-se aquelas localizadas em Tubarão, no Sul de Santa Catarina, e Candiota, no Rio Grande do Sul.

Em 1982, estabeleceu-se forte a interligação elétrica entre o Sul e o Sudeste, ensejando o aproveitamento da diversidade hidrológica existente entre as bacias das duas regiões. Tal interligação consiste da antecipação de parte da primeira linha de 750 kV do sistema de transmissão em corrente alternada associada a Itaipu, desde Ivaiporã (PR) até Tijuco Preto (SP). Linhas de transmissão em 500 kV, interligando as usinas de Salto Santiago e Foz do Areia (rio Iguaçu), entre si e à subestação de Ivaiporã, completam a chamada interligação Sul/Sudeste.

Na Região Nordeste, longos circuitos nas tensões de 230 e 500 kV emanam de Paulo Afonso, principal complexo hidrelétrico implantado no rio São Francisco, em direção aos centros de carga de Salvador, Recife, Natal e Fortaleza. Extenso sistema de 230 kV, associado à usina de Boa Esperança, no rio Parnaíba, atende pólos de carga no

FIGURA 1



Maranhão e Piauí, destacando-se as capitais, São Luís e Teresina.

A chamada interligação Norte/Nordeste estende-se desde Sobradinho, no rio São Francisco, até as proximidades de Belém, passando por Boa Esperança, Presidente Dutra, Imperatriz, Marabá e Tucuruí. Esta interligação, ainda singela, entrou em operação em 1981 e, através de 1800 km de linhas de 500 kV, permitiu o suprimento aos citados centros de consumo com energia hidrelétrica e a conseqüente desativação dos parques geradores térmicos a óleo aí existentes.

Atualmente, com a entrada em operação de Tucuruí, em sua primeira etapa, será possível exportar, para o Nordeste, os eventuais excedentes de energia elétrica a serem produzidos nessa usina.

Na Região Norte, observa-se a existência de vários sistemas isolados, geralmente associados a parques geradores termelétricos a óleo. Dentre os centros de carga assim atendidos, destacam-se, pelo porte, Manaus e Porto Velho.

1. Perspectivas futuras

Alinham-se, a seguir, as principais expansões do sistema de transmissão nacional, previstas para implantação no próximo quinquênio, descritas em termos dos principais troncos de transmissão que as caracterizam.

No que concerne ao sistema interligado das Regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, destaca-se a implantação do esquema de transmissão associado a Itaipu. O tronco de corrente contínua, constituído por dois bipolos na tensão de ± 600 kV, com 830 km de extensão, ligando Foz do Iguaçu a São Roque, na Grande São Paulo, está programado para operação completa até 1987, quando deverá atingir sua capacidade final de transporte de 6.300 MW, equivalente à potência final instalada no setor de 50 Hz de Itaipu.

A primeira linha do tronco de corrente alternada em 750 kV será completada em 1987, mediante a construção do trecho Foz do Iguaçu-Ivaiporã e conexão, em Ivaiporã, à interligação Sul/Sudeste, já em serviço. Dois outros circuitos de 750 kV, interligando, da mesma forma, Foz do Iguaçu a Tijuco Preto, completam o esquema de corrente alternada associado ao setor de 60 Hz de Itaipu, com previsão de operação em 1989 e 1989/1990, respectivamente. A implantação de compensação série no tronco de corrente alternada possibilitará o es-

coamento dos 6300 MW a serem gerados na frequência de 60 Hz. Em conseqüência, será consideravelmente reforçada a interligação entre o Sudeste e o Sul.

Os terminais do sistema de transmissão de Itaipu localizados na Grande São Paulo — São Roque e Tijuco Preto — serão integrados ao sistema receptor da região, em 345 kV. Em adição, as linhas de 500 kV Tijuco Preto — Cachoeira Paulista e São Roque — Campinas, previstas para 1987/88 interligarão os troncos de Itaipu à rede de 500 kV do Sudeste, reforçando o suprimento ao Rio de Janeiro.

Em Minas Gerais, o sistema de 500 kV associado à usina de Emborcação será concluído em 1988, com a implantação da linha Emborcação-Neves. Complementando o esquema de suprimento à Grande Belo Horizonte, será implantada ainda em 1988, a linha de 500 kV Neves-Terminal Sul. O suprimento às áreas Norte e Sul do Estado será reforçado por expansões na rede de 345 kV.

Na Região Centro-Oeste, destaca-se a construção de um segundo circuito de 230 kV, desde Cachoeira Dourada (rio Paranaíba) até Cuiabá, com 800 km de extensão e previsão de operação em 1987. Ainda no Centro-Oeste, cabe mencionar o reforço do suprimento ao Centro e Meio-Norte de Goiás em 1988, na tensão de 230 kV, partindo de Brasília.

Como evento de maior importância

na Região Sul, situa-se a duplicação do circuito de 500 kV, desde as usinas do rio Iguaçu até Porto Alegre. Em 1987 será construído o primeiro circuito de 500 kV, de Ivaiporã à Londrina, para reforço da região norte do Paraná.

Objetivando melhorar o suprimento do Mato Grosso do Sul, será implantada longa linha de transmissão a partir de Cascavel, no Paraná, até o local onde será construída a hidrelétrica de Ilha Grande. Este circuito de 500 kV, operando inicialmente em 230 kV e previsto atualmente para 1987, será complementado pelas linhas de 230 kV Ilha Grande — Dourados, Dourados — Aquidauana, também em 1987.

O sistema interligado das Regiões Nordeste e parte da Norte, já contando com a integração de Tucuruí à interligação, será reforçado em 1988 com a duplicação do trecho entre esta usina e Presidente Dutra, no Maranhão, em 500 kV. Na mesma época e também em 500 kV, será duplicado o circuito Tucuruí-Belém. A duplicação do trecho Presidente Dutra — São Luís está prevista para 1986. O total do empreendimento contempla a construção de 1400 km de linhas de 500 kV, bem como a ampliação das subestações associadas.

Diversas linhas de 230 kV serão construídas no Nordeste, até 1988, objetivando o reforço do suprimento a Fortaleza, Natal, Teresina e Maceió.

FIGURA 2



Vale ressaltar, ainda, a implantação dos sistemas de 230 kV e 138 kV destinados a escoar a potência dos aproveitamentos de Samuel, em Rondônia e Balbina, próximo a Manaus. Tais usinas estão programadas para 1989 e 1987, respectivamente.

Dado o porte do potencial hidráulico ainda disponível no país, notadamente na Região Norte, estão em andamento estudos visando a avaliar, técnica e economicamente, a transmissão de grandes blocos de energia, desde aproveitamentos localizados na Amazônia até os principais pólos de carga das regiões Nordeste e Sudeste.

Montantes da ordem de 10 milhões de quilowatts e distâncias na faixa 2000-2500 quilômetros estão sendo considerados nos estudos em andamento.

Para esta transmissão a longas distâncias têm sido investigadas duas modalidades, a saber:

- transmissão em corrente contínua, em níveis de tensão acima de ± 600 kV;
- transmissão em corrente alternada, em níveis de tensão de 1000 kV ou superior (ultra-alta tensão).

Tais tensões estão sendo objeto de investigações técnicas na medida em que,

para as distâncias e blocos de energia considerados, estes são os níveis que apresentam soluções economicamente atraentes e com tecnologia obtida por extrapolação, em grande parte, daquela atualmente disponível no mundo ocidental.

Existem também outros problemas que, a seu tempo, serão analisados à luz da técnica disponível. Pode-se citar como exemplo, a travessia do rio Amazonas para os aproveitamentos da sua margem esquerda, a compactação de linhas de transmissão e o impacto ambiental de usinas e instalações naquela região.

2. Planejamento da transmissão

O planejamento do sistema de transmissão é coordenado pela ELETROBRÁS a nível nacional e, para sua execução, são utilizadas técnicas envolvendo:

- formulação de alternativas de transmissão para combinação de algumas hipóteses de evolução do mercado de energia elétrica e estratégias de desenvolvimento do parque gerador.
- estudos, via modelos computacionais modernos, de fluxo de potência, estabilidade de redes, curto-circuito e sobretensões.

- estudos econômicos visando à comparação de alternativas, considerando investimento e perdas.
- realimentação dos estudos energéticos com os custos de transmissão, de modo a subsidiar eventuais alterações nas estratégias de geração, notadamente no que respeita ao nível de motorização de usinas, capacidades de elos de interligação e localização de térmicas.

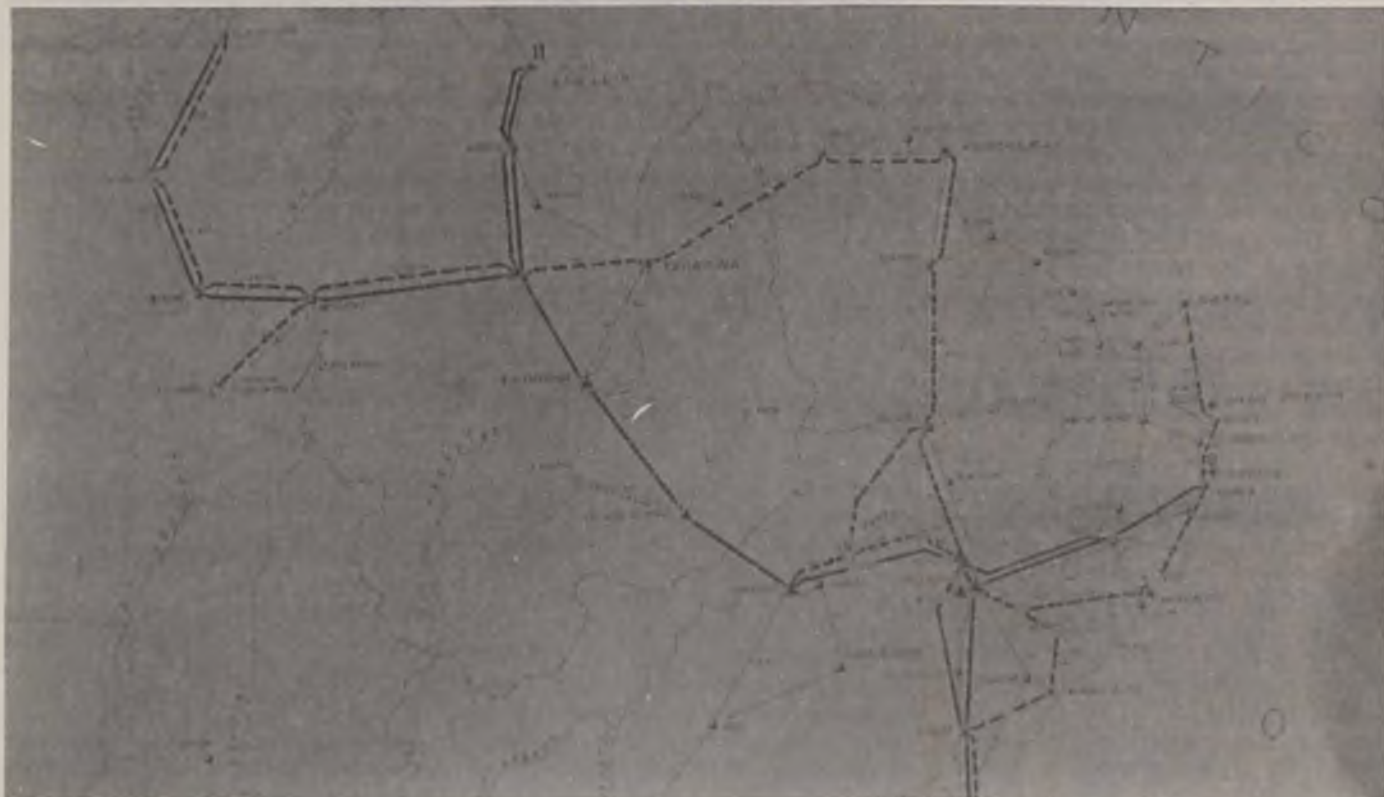
O processo de planejamento caracteriza-se por uma interação entre os estudos elétricos e energéticos, de forma a se obter a solução global mais econômica para a expansão do sistema eletro-energético.

Antes, efetua-se uma análise abrangente da transmissão, via modelo desenvolvido no país, buscando a configuração ótima do sistema de transmissão para uma dada hipótese de evolução do mercado e do parque gerador.

O critério dominante, ainda determinístico, impõe que nenhum corte de carga deve resultar de eventos tais como o desligamento de uma linha de transmissão dos troncos principais ou de um transformador de interligação.

Avalia-se também o efeito da perda de uma unidade geradora de grande porte, simulando-se, assim, as eventuais re-

FIGURA 3



servas ou paradas de unidades, por defeito ou para manutenção programada.

Concomitantemente, encontra-se em andamento a avaliação de dados e ferramentas disponíveis para análise de confiabilidade, buscando a definição de critérios e metodologias para uma abordagem probabilística do planejamento da transmissão.

Como a atividade de planejamento da expansão dos sistemas elétricos vem se tornando cada vez mais complexa, o MME, pela Portaria nº 1617, de 23.11.82, resolveu criar o Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos - GCPS, de âmbito nacional, tendo por finalidade estudar alternativas de desenvolvimento dos sistemas elétricos das concessionárias do respectivo serviço público e elaborar e apresentar pareceres e proposições no sentido de ajustar os programas de expansão dos mesmos, entre si e às diretrizes fixadas pela ELETROBRÁS, assegurando sua compatibilidade com a política energética governamental. O GCPS é coordenado pela ELETROBRÁS e nele têm participação as principais concessionárias de serviços de energia elétrica.

Sistemas de distribuição de energia elétrica

**HILTON PUERTAS
CARLOS ALBERTO MAYON
NOGUEIRA**

Hilton Puertas é Superintendente-Geral técnico da Distribuição da LIGHT. Engenheiro civil e eletricitista pela Universidade do Brasil, foi Superintendente de Engenharia e Planejamento da Distribuição da LIGHT e Superintendente Regional da mesma empresa.

Carlos Alberto Mayon Nogueira é Superintendente Regional da LIGHT. Engenheiro eletricitista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, foi Superintendente de Planejamento da Distribuição da LIGHT.

A distribuição de energia teve seu início no último quartil do século passado, podendo ser considerada como um marco a construção, por Thomas Alva Edison, em 1879, da primeira central elétrica para distribuição de energia à cidade de Nova Iorque.

No Brasil, o pioneirismo coube à cidade de Campos, que, em 1883, tornou-se a primeira da América do Sul a receber iluminação pública elétrica.

A distribuição elétrica, entretanto, somente veio a constituir-se em um serviço público relativamente amplo a partir da primeira década do século, inicialmente em São Paulo (1899) e, posteriormente, no Rio (1905).

Desde então, verificou-se um acelerado impulso ao novo serviço, que, se nos primeiros anos se dedicava predominantemente à iluminação pública e à tração elétrica (os tradicionais bondes), já na década de 20 estendia-se à cobertura do atendimento aos usos comercial, residencial e industrial. Basta dizer que por esta época estavam já construídos, no centro urbano daquelas duas cidades, sofisticados sistemas de distribuição subterrâneos, do tipo "network", que em essência nada diferem dos atualmente em operação.

A partir dos anos 60, a distribuição, incorporando as novas tecnologias disponíveis, vem desenvolvendo-se de forma acelerada, com o emprego de métodos computacionais, telecomando, etc.

1. Características Técnicas dos Sistemas de Distribuição

O Sistema Elétrico pode ser, de uma forma simplificada, subdividido nos seguintes segmentos:

- Geração
- Transmissão
- Estações de Transmissão
- Subtransmissão
- Subestações Distribuidoras (S/E's)
- Distribuição

Adotamos no presente texto o critério predominante de considerar a Distribuição como a parcela do sistema que tem origem nos disjuntores secundários das S/E's e término nos medidores de consumo de energia instalados nos consumidores.

O sistema distribuidor pode, por sua vez, ser assim decomposto:

a) circuitos primários de média tensão (13,8 kV e 34,5 kV), que levam a energia desde as S/E's até as proximidades imediatas dos consumidores;

b) transformadores de distribuição, instalados em postes ou câmaras subterrâneas, que baixam a tensão primária para sua utilização pelos consumidores;

c) rede secundária ou de baixa tensão (em geral 220-380 V, 127-220 V e 115-230 V), que transporta a energia dos transformadores de distribuição até os consumidores.

A interligação entre a rede secundária e as instalações dos consumidores é feita através de derivações chamadas *ramais de ligação*.

As tensões acima referidas foram padronizadas pelo Decreto-Lei nº 73080, de 05.11.73. Persiste, entretanto, a utilização de outras tensões, (como as de 6 kV, 20 kV, 25 kV), em face dos problemas inerentes à adequação dos sistemas distribuidores e dos equipamentos dos consumidores às voltagens normalizadas.

No campo da padronização, em geral, devem-se destacar, entre outras, as dificuldades enfrentadas na Distribuição, conseqüência de atividade ser originalmente encarada como problema local, sem enfoque nacional. Não obstante, vêm-se alcançando significativos progressos nos últimos anos, graças, em especial, aos esforços desenvolvidos no Comitê de