



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO



PNE 2050

PLANO NACIONAL DE ENERGIA



VERSÃO PARA
CONSULTA PÚBLICA



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Transmissão de Eletricidade

A expansão do sistema de transmissão visa permitir que os agentes de mercado tenham livre acesso à rede, possibilitando um ambiente propício para a competição na geração e na comercialização de energia elétrica no sistema interligado. Também é importante para proporcionar a segurança e aumento da flexibilidade operacional da rede, bem como assegurar limites adequados na interligação entre os submercados, minimizando restrições de escoamento entre eles, resultando em melhor alocação dos recursos de geração por todo o País.

Perspectivas Tecnológicas

Dentro da perspectiva de maior necessidade dos requisitos de flexibilidade e controlabilidade, têm sido cada vez mais utilizados os dispositivos FACTS (*Flexible Alternating-Current Transmission System*), que são tecnologias baseadas em eletrônica de potência desenvolvidas com o objetivo de melhorar o controle e a estabilidade do sistema, possibilitando aumentar a capacidade de transferência de energia entre determinados pontos da rede. Dentre a diversidade de dispositivos FACTS disponíveis no mercado, os mais utilizados no sistema brasileiro são os compensadores estáticos SVC (*Static Var Compensators*). Outros dispositivos baseados em eletrônica de potência são os elos de corrente contínua – HVDC (*High Voltage Direct Current*), que apresentam uma crescente aplicação no nosso sistema.

Considerando que a expansão da oferta segue com uma tendência de maior distribuição espacial, principalmente devido à contratação das fontes renováveis que naturalmente seguem os locais/regiões de maior disponibilidade de recursos, a alternativa de sistemas HVDC multiterminal torna-se uma potencialidade de aplicação no sistema de transmissão brasileiro, uma vez que a possibilidade de instalação de três ou mais conversoras compartilhando um mesmo elo de transmissão permitiria, por exemplo, coletar a geração de, ao menos, dois pontos diferentes da rede e escoar a energia produzida para um ponto de grande concentração de carga.

Outro aspecto importante a ser observado diz respeito às dificuldades socioambientais e fundiárias para a expansão do sistema de transmissão, o que torna estratégico planejar a rede considerando alternativas de troncos de transmissão com capacidades operativas cada vez mais elevadas, seja em corrente alternada ou em corrente contínua, visando uma maior eficiência do uso das faixas de servidão. Dentro desse contexto, há uma gama de alternativas tecnológicas a serem exploradas nos estudos de expansão da transmissão, sendo possível citar:

- Linhas de transmissão em Ultra Alta Tensão (UAT), com tensão nominal igual ou superior à 1.000 kV;
- Condutores termorresistentes de alta ampacidade, podendo ser utilizados para a recapacitação de linhas de transmissão existentes ou em novos circuitos;
- Linhas de transmissão com configuração estrutural projetada para elevar a potência natural (*SIL-Surge Impedance Loading*); e
- Transmissão em corrente contínua com tecnologia VSC (*Voltage Sourced Converter*), que, diferentemente dos sistemas HVDC convencionais (em são do tipo LCC-*Line Commutated Converter*), é aplicável em redes mais fracas. Cabe ainda citar a perspectiva futura de aplicações híbridas para sistemas de transmissão longos, combinando as tecnologias LCC e VSC num mesmo elo de transmissão.

Aliado às diferentes perspectivas tecnológicas da expansão da rede, permanece subjacente o desafio de desenvolvimento de sistemas de controle que proporcionem a adequada segurança elétrica do sistema interligado cuja operação tenderá a se tornar inerentemente mais complexa. Nesse sentido, citam-se o desenvolvimento de sistemas mais sofisticados para o monitoramento e o apoio à decisão operativa em tempo real, assim como de funções mais avançadas para a proteção do sistema elétrico.

Ainda em relação às dificuldades socioambientais e fundiárias para a expansão do sistema de transmissão, observa-se uma forte potencialidade de aplicação de linhas subterrâneas de alta capacidade, além da utilização de subestações compactas isoladas a gás (*GIS – Gas Insulated Substation*), no caso de regiões metropolitanas ou de grandes capitais.

Referente ao acesso das fontes ao sistema de transmissão, chama-se a atenção para o impacto tecnológico que a exploração do significativo potencial eólico *offshore* da costa brasileira poderá acarretar. Por um lado, deve-se ponderar que os mercados *offshore* ainda se encontram em pleno desenvolvimento no mundo, tornando, assim, as estimativas de redução de custos dessa tecnologia bastante incertas. No entanto, espera-se que, a partir de determinado momento, surgirão oportunidades para o emprego de tecnologias de transmissão mais específicas, considerando subestações *offshore* e cabos submarinos.

Cabe destacar que, de uma forma geral, a decisão pela inserção de uma nova tecnologia no sistema de transmissão deve sempre considerar o grau de maturidade do seu desempenho técnico no mercado mundial, verificando também questões relacionadas aos custos envolvidos, dado que essas informações não constam do Banco de Preços de Referência da Aneel, sendo, portanto, necessária a obtenção dessas informações a partir de consultas formais junto aos fabricantes, além de verificar a hipótese de existência de algum monopólio de mercado, o que inviabilizaria, nesse caso, toda a competitividade do processo licitatório.

Por fim, os itens a seguir buscam sintetizar as principais perspectivas tecnológicas para a transmissão de eletricidade no Brasil nos próximos anos.

1. *Sistema de transmissão por cabos isolados*: desenvolvimento de novas tecnologias para a aplicação em cabos e acessórios de sistemas subterrâneos ou submarinos.
2. *Sistemas flexíveis de transmissão em corrente alternativa (FACTS)*: desenvolvimento de novas funções de controle para os equipamentos FACTS e interação com outros equipamentos de controle de grandezas elétricas.
3. *Supercondutores*: desenvolvimento de equipamentos com o emprego da tecnologia de supercondutores, como, por exemplo: limitadores de corrente de curto-circuito, cabos e aerogeradores.
4. *Estruturas, condutores e isoladores*: desenvolvimento de novos tipos de estruturas, condutores e isoladores, considerando a aplicação de novas tecnologias e mitigações do impacto ambiental.
5. *Equipamentos de alta tensão e subestações*: desenvolvimento de materiais mais avançados para a aplicação em equipamentos de alta tensão, bem como de soluções inovadoras voltadas à compactação dos arranjos físicos de subestações.
6. *Operação e manutenção dos sistemas de transmissão*: desenvolvimento de sistemas mais sofisticados para o apoio à decisão operativa em tempo real.
7. *Proteção, automação e controle do sistema de transmissão*: desenvolvimento de funções mais avançadas para a proteção do sistema elétrico.
8. *REI (Redes Elétricas Inteligentes)*: desenvolvimento de sensoriamento e monitoramento avançado em funções de transmissão.

Desafios Principais:

1. *Envelhecimento do sistema de transmissão*
Um grande desafio nas próximas décadas será a substituição da infraestrutura do sistema elétrico à medida que ela for envelhecendo. Para tanto serão necessários significativos investimentos, eventualmente superando a capacidade financeira das empresas, sendo necessário um planejamento do processo de substituição proporcionado por uma adequada gestão de ativos aliada a um correspondente instrumento regulatório. Além disso, para alguns equipamentos, o envelhecimento do sistema é potencializado pela inserção massiva de fontes renováveis variáveis na rede, o que implica ciclos de carregamento e operação distintos e mais severos quando comparados aos tradicionalmente considerados no dimensionamento e projeto originais dos equipamentos.

2. *Elevada complexidade socioambiental e fundiária para a expansão do sistema*

A elevada complexidade socioambiental e fundiária associada à expansão do sistema é bastante significativa em projetos de transmissão em regiões urbanas, na exploração do potencial hidrelétrico e na integração energética com países da América do Sul. Em regiões metropolitanas e cidades de porte médio a implantação de novos projetos de transmissão tem se tornado cada vez mais complexa do ponto de vista socioambiental e fundiário. Essa condição, que deverá se agravar no futuro, contribui para o risco de atrasos em relação à data de sua efetiva necessidade, implicando problemas elétricos que podem variar dependendo do propósito das instalações. Já no caso de aproveitamento do potencial da Região Amazônica, embora longas linhas de transmissão associadas sejam necessárias, não há, sob o aspecto técnico, entrave significativo para a implantação de novas UHEs. Por outro lado, a sua alta complexidade socioambiental pode, em última instância, acarretar descompassos indesejáveis entre geração e transmissão. Por fim, o aproveitamento dos excedentes energéticos de outros países da América do Sul pode requerer a implantação de linhas de transmissão que também podem envolver questões socioambientais e fundiárias complexas. Outra questão associada à maior complexidade ambiental está ligada aos efeitos decorrentes de mudanças climáticas já que elas podem alterar a amplitude das temperaturas regionais, os níveis de radiação solar, a intensidade dos ventos, a densidade do ar, a intensidade e frequência das chuvas e das descargas atmosféricas, entre outros. Alguns desses efeitos podem atenuar a capacidade de carregamento dos cabos condutores das linhas, gerando a necessidade de obras adicionais no sistema.

3. *Crescimento da participação de fontes variáveis não controláveis e de novas tecnologias na matriz elétrica*

O crescimento significativo das fontes variáveis não controláveis resultará na necessidade de antecipação do planejamento da transmissão em virtude dos seus prazos de instalação serem superiores aos praticados na geração. Por outro lado, com avanços tecnológicos em redes elétricas inteligentes (REI), geração distribuída (GD) e armazenamento de energia, espera-se que o sistema elétrico ganhe flexibilidade, torne-se mais dinâmico aos requisitos operativos instantâneos, e acomode variações de geração, principalmente por conta das fontes fotovoltaica e eólica, atuando inclusive como elemento facilitador da penetração desses recursos renováveis variáveis no sistema, para os quais, além da variabilidade, a incerteza quanto à previsibilidade será um elemento relevante a ser avaliado. Naturalmente, a incorporação das diferentes formas ou tecnologias de armazenamento trará uma nova dinâmica à operação do sistema elétrico, o que faz dessa questão um aspecto importante a ser considerado.

Recomendações:

1. *Introduzir mecanismos que favoreçam a adequada gestão de ativos pelas empresas transmissoras*

Em relação ao envelhecimento do sistema de transmissão, deve-se introduzir mecanismos regulatórios que propiciem uma gestão mais racional dos ativos pelas empresas transmissoras, incentivando-se o uso mais efetivo do período de vida útil física de cada instalação. Essa ação é importante para assegurar uma melhor distribuição temporal dos investimentos necessários no sistema, permitindo que as transmissoras tenham mais condições de implantar as obras associadas.

2. *Considerar a possibilidade de revitalização ou substituição de equipamentos como alternativa de expansão.*

Em relação ao envelhecimento do sistema de transmissão, caberá ao planejador avaliar, caso a caso, a oportunidade de se implantar instalações completamente novas e mais modernas, a serem objeto de novas concessões, em vez de substituir os equipamentos existentes ao final de sua vida útil. Um dos principais fatores envolvidos nessa decisão está relacionada com a capacidade e as condições de financiamento voltadas para a substituição dos equipamentos com vida útil ultrapassada.

3. *Aumentar a capacidade de transporte do sistema existente.*

Uma ação que já vem sendo efetuada e deve ser intensificada no futuro é a substituição dos cabos condutores das linhas de transmissão por outros de maior capacidade, eventualmente empregando-se materiais de condutividade mais elevada. Outra possibilidade, ainda pouco discutida no Brasil, mas bastante estudada em países com maiores complexidades socioambientais e fundiárias, consiste na conversão de linhas de corrente alternada em linhas de corrente contínua que, normalmente, apresentam maior capacidade de transmissão por conseguirem operar em pontos mais próximos do limite térmico dos cabos condutores.

4. *Desenvolver um ambiente mais favorável para a prestação dos serviços de transmissão*
 Outra ação a ser endereçada é o estabelecimento de um ambiente regulatório mais favorável para a prestação dos serviços de transmissão, particularmente os serviços ancilares. Essa ação tem o potencial de propiciar o desenvolvimento de novas tecnologias capazes, em último caso, de evitar a necessidade de expansão do sistema de transmissão. Nesse contexto, destacam-se, dentre outros, os sistemas de armazenamento de energia que, quando prestados pelo lado da demanda, podem resultar no remanejamento temporal da carga do sistema, reduzindo o máximo montante de energia que é exigido do sistema elétrico centralizado.
5. *Incentivar o acesso compartilhado das fontes ao sistema de transmissão.*
 Um aspecto importante a ser incentivado diz respeito ao acesso das fontes ao sistema de transmissão. É preciso que se avalie a criação de regras que estimulem o acesso dos agentes à rede elétrica de forma compartilhada no sentido de evitar a implantação individual de linhas de transmissão que, face às crescentes dificuldades socioambientais e fundiárias, pode comprometer a própria expansão sistêmica necessária para o escoamento da energia produzida. Os benefícios esperados por esta ação são ainda mais acentuados em se tratando de fontes com características complementares de despacho, como as fontes eólica e solar.
6. *Realizar estudos prospectivos de expansão da rede de transmissão contemplando soluções que privilegiem maior capacidade de transporte por corredor.*
 O planejamento deve seguir com a elaboração dos chamados estudos prospectivos de expansão da transmissão, que objetivam propiciar margem de escoamento no sistema elétrico para novos projetos de geração, aumentando a competitividade e a atratividade dos leilões de energia, além de minimizar possíveis efeitos de descompasso entre os empreendimentos de geração e transmissão. Esse tipo de estudo de expansão se inicia por uma ampla análise dos potenciais de geração cadastrados em leilões de energia nova, levantando informações como a localização de projetos e a sua potência instalada. Por meio do tratamento desses dados é possível identificar agrupamentos de projetos de uma mesma região, definir o seu potencial de geração, bem como mapear tendências de expansão, levando em conta a perspectiva de troncos de transmissão com capacidades operativas cada vez mais elevadas, seja em corrente alternada ou em corrente contínua, de particular interessa para possível aproveitamento do potencial hidrelétrico da Região Amazônica. Historicamente, a elevação da classe de tensão dos circuitos tem se mostrado uma solução bastante efetiva para alcançar esse objetivo. Em contrapartida, há que se ponderar a segurança elétrica do sistema face à maior probabilidade do maior impacto causado pela perda intempestiva dos elos transmissores de maior capacidade de transporte.
7. *Desenvolver instrumentos que facilitem as condições de implantação das novas instalações de transmissão*
 Diante da crescente complexidade socioambiental e fundiária, cabe avaliar a oportunidade de criação de instrumentos legais que instituem o direito de preferência de uso do solo para os projetos de transmissão recomendados. Em uma dimensão mais ampla, deve-se desenvolver melhor o conceito de “corredores de infraestrutura”, que correspondem a corredores de serviços públicos, planejados de forma integrada, e envolvendo a passagem de linhas de transmissão e distribuição, tubulações de água, esgoto e água pluviais, de gás, oleodutos e gasodutos, de fibra ótica e/ou televisão a cabo, e cabos de telefone.
8. *Aprimorar o processo de planejamento integrado dos sistemas de geração e de transmissão.*
 No tocante ao processo de elaboração dos estudos que subsidiam a definição das expansões dos sistemas de geração e transmissão, torna-se fundamental a aplicação de ferramentas apropriadas de simulação que permitam a representação detalhada da rede de transmissão e das novas tecnologias nos estudos de expansão da geração, com consideração de uma crescente variedade de cenários operativos, além de utilizar uma granularidade temporal horária nas simulações. Com essas e outras medidas, espera-se aprimorar o conhecimento sobre as potenciais necessidades do sistema, com estudos prospectivos da rede elétrica, otimizando a expansão integrada dos empreendimentos de geração e de transmissão.
9. *Introduzir mecanismos de sinalização locacional mais eficientes e eficazes.*
 Uma ação importante a ser efetuada consiste na introdução de mecanismos de sinalização locacional mais eficazes e eficientes, capazes de permitir uma melhor coordenação da expansão dos sistemas de transmissão e geração elétrica. Nesse sentido, cabe identificar mecanismos locais alternativos e avaliar os efeitos da sua eventual

adoção, com atenção à formação de preços no mercado de energia, à alocação de riscos e aos ajustes regulatórios necessários para sua implantação.

10. *Promover ações para integrar o sistema de transmissão com as redes de distribuição.*

O planejamento do sistema de distribuição precisará ser avaliado sob outra ótica, com estreita integração com a rede de alta tensão, contemplando a inversão da direção dos fluxos durante alguns períodos, ou seja, da rede de baixa/média tensão, na qual haverá geração distribuída, em direção às subestações de fronteira. Ademais, colaboração cada vez mais estreita entre as atividades de planejamento e de operação da rede de transmissão e de distribuição se antevê como necessária.

Mapa do Caminho – Sistema de Transmissão de Eletricidade

Desafios	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
Envelhecimento do sistema de transmissão	Introduzir mecanismos que favoreçam a adequada gestão de ativos pelas empresas transmissoras		
	Considerar a possibilidade de revitalização ou substituição de equipamentos como alternativa de expansão		
Elevada complexidade socioambiental e fundiária para a expansão do sistema	Aumentar a capacidade de transporte do sistema de transmissão existente.		
	Desenvolver um ambiente mais favorável para a prestação de serviços de transmissão		
	Incentivar o acesso compartilhado das fontes ao sistema de transmissão		
	Realizar estudos prospectivos de expansão da rede de transmissão contemplando soluções que privilegiem maior capacidade de transporte por corredor		
Crescimento da participação de fontes variáveis não controláveis e novas tecnologias na matriz elétrica	Desenvolver instrumentos legais que assegurem as condições de implantação das novas instalações de transmissão		
	Aprimorar o processo de planejamento integrado dos sistemas de geração e de transmissão		
	Promover ações para integrar o sistema de transmissão com as redes de distribuição		
	Introduzir mecanismos de sinalização locacional mais eficientes e eficazes		
	Promover ações para otimizar o aproveitamento do sistema de transmissão existente		