

XII SEPOPE
20 a 23 de Maio 2012
May – 20th to 23rd – 2012
RIO DE JANEIRO (RJ) -
BRASIL

XII SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO E EXPANSÃO ELÉTRICA

XII SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING

Análise do Impacto da Inclusão de *FACTs* e *Smart Wires* no Planejamento da Expansão da Transmissão

Ricardo Perez

PSR

Djalma Falcão

COPPE/UFRJ

Gerson Couto

PSR

RESUMO

Em sistemas hidrotérmicos como é o caso do Brasil, os despachos econômicos para a operação do sistema variam completamente ao longo do ano devido à hidrologia associada a cada bacia hidrográfica de diferentes regiões do país. Portanto, o plano de expansão da transmissão precisa ser robusto o suficiente para suprir a demanda com cenários de despachos completamente diferentes ao longo do ano e dado que somente alguns destes caminhos estão sendo utilizados a cada instante, o nível de carregamento do sistema brasileiro é de fato baixo e inferior à média internacional.

A conjunção dos fatos supracitados resulta em altos investimentos em circuitos para atender cenários de despacho diferentes e baixo nível de carregamento nos mesmos ao longo do ano.

Com a introdução de *FACTs* e *Smart Wires* no sistema, a reatância das linhas de transmissão torna-se variável, viabilizando portanto, um maior controle do fluxo de potência ativa que flui nos circuitos e maior flexibilidade operativa frente a diferentes cenários de despacho. A finalidade principal deste trabalho consiste em analisar o impacto da variabilidade da reatância das linhas de transmissão no planejamento da expansão da transmissão e o impacto financeiro associado.

Assim, pretende-se primeiramente apresentar o funcionamento dos equipamentos supracitados e as diferenças na formulação do problema de planejamento da expansão baseado no modelo linearizado básico que adota reatância fixa nos circuitos, em relação ao modelo híbrido que permite tratar reatância variável nas linhas de transmissão candidatas.

Posteriormente será realizado um estudo de caso baseado no sistema IEEE24-Bus com diferentes cenários de despacho e linhas candidatas. Obtêm-se em seguida os planos de expansão do caso exemplo quando as linhas de transmissão candidatas apresentam reatâncias fixas. Serão comparados os custos totais dos planos de expansão associado a cada cenário de despacho isolado com relação ao plano de expansão robusto para o atendimento de todos os cenários (sendo as reatâncias, em todos estes casos, fixas).

Como os custos destes equipamentos que viabilizam a flexibilidade operativa ainda não são perfeitamente conhecidos e necessitam de sedimentação da tecnologia para ganho de escala econômica que viabilizará estimativas mais realistas dos custos associados, serão efetuadas diversas simulações com o modelo híbrido com o intuito de se verificar quão mais caros podem ser os mesmos em relação aos circuitos convencionais que ainda assim resultam em um plano de expansão mais barato que o composto apenas por circuitos convencionais.

KEYWORDS

Planejamento da transmissão, modelos de otimização MIP, *FACTs*, *Smart Wires*.

1. Introdução

Há três razões principais para o carregamento do sistema de transmissão ser inferior a 100%. A primeira está relacionada à redundância da rede por razões de confiabilidade. A segunda é devido à necessidade de uma “folga” para se precaver contra as incertezas nos cenários de oferta e demanda futuros. Como consequência destas incertezas, os planos de transmissão tendem a ser “robustos”, isto é, com alguma sobre capacidade em relação ao plano que seria feito com previsão perfeita do futuro. A terceira razão é a necessidade de criar caminhos alternativos para o transporte de energia devido a diferentes padrões de produção de energia por parte dos geradores.

A primeira razão (confiabilidade) predomina em países com mercados maduros e base térmica, como é o caso da Inglaterra. A segunda razão (robustez devido à incerteza) é típica de países emergentes, como Peru, Chile e Turquia. Finalmente, a terceira razão (cenários de geração variados) se soma à segunda em países emergentes com base hidrelétrica como o Brasil e Colômbia, ou seja, o sistema de transmissão deve ser capaz de acomodar diversos padrões de transferência de blocos significativos de energia entre regiões (a região Sul envia para a região Sudeste, o Norte envia para o Nordeste e Sudeste e assim por diante).

Outra questão importante atrelada ao planejamento da expansão consiste no fato de que a decisão de adicionar um equipamento candidato ao plano de expansão é binária, ou seja, ou o equipamento é adicionado ou não. Na prática, não é possível construir uma linha de transmissão com qualquer capacidade desejada. A razão é que os equipamentos que compõem esta linha em geral são produzidos em módulos de diferentes capacidades. Por exemplo, para determinar a capacidade térmica (em MVA) de uma linha de transmissão em corrente alternada, o planejador tem à sua disposição variáveis de decisão de natureza claramente discreta, como a especificação do número de circuitos paralelos ou do arranjo de condutores utilizados para o circuito.

A conjunção destes fatos resulta em altos investimentos em circuitos para atender cenários de despacho diferentes e baixo nível de carregamento nos mesmos ao longo do ano.

Com a introdução de *FACTs* e *Smart Wires* no sistema, a reatância das linhas de transmissão torna-se variável, viabilizando portanto, um maior controle do fluxo de potência ativa que flui nos circuitos e maior flexibilidade operativa frente a diferentes cenários de despacho.

Baseando-se nos fatos supracitados, este artigo tem como objetivo principal analisar o impacto técnico-econômico da reatância das linhas de transmissão ser fixa ou variável no planejamento da expansão da transmissão.

2. Variação da Reatância Série das Linhas de Transmissão

Nessa seção serão apresentados os equipamentos que motivam este trabalho, e as vantagens de sua aplicação nas linhas de transmissão. A propriedade dos equipamentos apresentados é de mudar a reatância série da linha de transmissão, propriedade a qual será simulada no modelo híbrido cuja metodologia está presente na seção 3.2 deste artigo.

Smart Wires foram propostos em 2010 [1], são equipamentos denominados *DFACTs* (*Distributed Flexible AC Transmission Systems*) e representam uma solução para variar o fluxo de potência em sistemas de transmissão malhados através da instalação de equipamentos distribuídos ao longo da linha.

O componente responsável por essa flexibilidade é conhecido como *Distributed Series Reactance* (DSR) ou Reatância Série Distribuída (RSD). Esse equipamento é um pequeno módulo acoplável na linha de transmissão como mostra a Figura 1, sem necessidade de desligamento da mesma que contém entre outros componentes, uma reatância com interruptor. Esta pode ser programada para entrar em série com o circuito a partir de um valor de corrente, sendo prevista tanto a possibilidade da operação com valores fixos, bem como o recebimento de *setpoints* através de comunicação remota. Ademais, o controle do disparo pode ser feito de forma gradual, para que nem toda reatância seja adicionada na linha de uma vez.

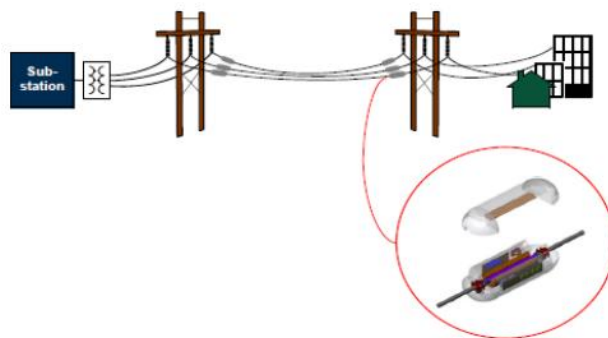


FIGURA 1 – Reatâncias Série Distribuídas

Dessa forma, este equipamento se configura como um elemento passivo de controle da linha, sem necessidade de operação externa. Esse equipamento pode ser feito também com uma capacitância em série, para diminuir a reatância da linha quando necessário.

O efeito sistêmico imediato é o aumento do nível de carregamento médio do sistema, pois no caso da rede conter linhas com *Smart Wires*, obtém-se a almejada flexibilidade operativa demandada para atender diversos cenários de despacho. Assim, o investimento em construção de novas linhas que serviriam para suportar somente períodos de alto carregamento e/ou cenários de despacho de curta duração, pode ser postergado em função dos *Smart Wires* permitirem um aproveitamento maior dos recursos já existentes. Essa vantagem é especialmente atrativa no caso do sistema interligado brasileiro, que segundo análises realizadas em [2], o nível de carregamento médio do sistema brasileiro é de aproximadamente 30%.

No que se refere a custos de investimento, estima-se hoje em dia que um módulo com potência de 10kVA custe US\$1000. Para compensação de 10% da reatância da linha, seriam necessários para 138, 345 e 765kV, 1.4, 7.2 e 40 módulos por milha de linha, respectivamente. Como exemplo, para compensação de uma linha de 200 milhas de 345 kV, seriam necessários em torno de 150 módulos, ou 150 mil dólares. O cálculo é feito atualmente com base na relação entre quantos módulos de determinada potência a linha sob análise para que se alcançar grau de compensação da reatância almejado [1].

Com base nas premissas de custos explicitadas acima, a Figura 2 apresenta a comparação da estimativa de investimento na expansão da transmissão com e sem *Smart Wires* obtida em [1], utilizando-se o sistema IEEE39-Bus como estudo de caso.

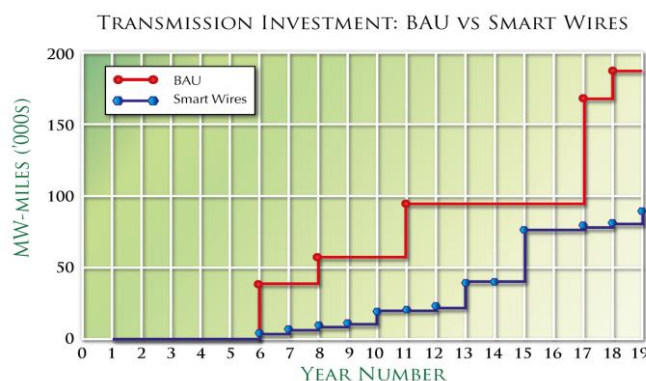


FIGURA 2 – Investimentos na expansão do sistema, com e sem *Smart Wires* (adaptada de [1])

Pode-se observar que ao final do ano 19, a estimativa de investimento em expansão da transmissão no caso contendo *Smart Wires* é aproximadamente 48% menor que a estimativa do caso *BAU* (*Business As Usual*), ou seja, sem estes equipamentos.

Acredita-se que esta modularidade da tecnologia é a grande chave da questão para viabilizar ganhos de escala econômica. Esta padronização é a uma das grandes vantagens em relação aos equipamentos

FACTs tradicionais, pois estes são fabricados sob especificações desejadas para aplicações específicas, o que resulta em maiores custos e *lead times*.

A tecnologia dos *Smart Wires* ainda está sendo desenvolvida e aprimorada e consequentemente os custos associados ainda não são completamente conhecidos. Há a necessidade de sedimentação da tecnologia no âmbito comercial e ganho de escala econômica que viabilizarão estimativas mais realistas dos custos associados.

Assim, o que se objetiva neste trabalho não é a inserção de custos, ainda incertos, relativos aos *Smart Wires* no problema de planejamento da expansão, e sim, a obtenção de um teto máximo de custos associados que certifique a viabilidade econômica de sua aplicação. Em suma, planos de expansão que englobam *Smart Wires* não podem ser mais caros que planos robustos convencionais que atendem todos os cenários de despacho.

3. Os Modelos de Planejamento da Expansão da Transmissão

3.1. Modelo Linearizado Básico

O modelo de planejamento da expansão da transmissão em questão é baseado no fluxo de potência linearizado, o qual pode ser escrito da seguinte forma:

Primeira lei de Kirchhoff (KCL, Kirchhoff Circuit Law):

$$S f + g = d$$

Sendo S a matriz de incidência barras x circuitos, f o vetor que expressa os fluxos nos circuitos, g o vetor de gerações nas barras e d o vetor de cargas nas barras.

Segunda Lei de Kirchhoff (KVL – Kirchhoff Voltage Law):

$$f = |\gamma| x S' \theta$$

Sendo $|\gamma|$ a matriz diagonal em que os elementos representam a susceptância dos circuitos da rede; x é um vetor de variáveis binárias que representa as decisões de investimento em novos circuitos, ou seja, $x_k = 1$ se o circuito está construído na solução e $x_k = 0$ caso contrário; S' é a matriz transposta da matriz S e θ o vetor de ângulos de tensões nas barras.

As restrições do modelo de expansão completam-se com a representação das capacidades dos circuitos na rede de transmissão da seguinte forma:

$$-x |\bar{f}| \leq f \leq |\bar{f}| x$$

Sendo $|\bar{f}|$ é uma matriz diagonal em que os elementos representam a capacidade de transporte de cada um dos circuitos, existentes e candidatos.

Adicionando as restrições apresentadas anteriormente à função objetivo (minimizar os custos de investimento), o problema de planejamento da expansão da rede da transmissão pode ser formulado por:

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K c_k x_k$$

Sujeito a:

$$S f^n = d^n - g^n$$

$$f^n = \gamma x S' \theta^n$$

$$-|\bar{f}| x \leq f^n \leq |\bar{f}| x$$

Onde $k = 1, \dots, K$ indexa os circuitos candidatos; $c_k = 1, \dots, K$ são os respectivos custos de investimento (em \$); $x_k = 1, \dots, K$ são as variáveis binárias associadas à construção ($x_k = 1$) ou não ($x_k = 0$) do candidato k ; $n = 1, \dots, N$ indexa os cenários de despacho (geração e demanda).

É importante notar que o problema de expansão da transmissão, como formulado anteriormente, é um problema de otimização não linear, resultado do produto entre a variável de decisão de investimento em novos circuitos x e o ângulo das tensões, representado por θ . Esta não linearidade – produto entre variáveis – pode ser tratada através de uma reformulação do problema com o uso de restrições disjuntivas, como será ilustrado a seguir.

3.1.1. Formulação disjuntiva

A não linearidade do produto das variáveis de decisão de investimento e do ângulo das tensões na restrição KVL pode ser solucionada através de uma reformulação do problema com o uso de uma restrição disjuntiva da seguinte forma:

$$-M_k (1 - x_k) \leq f_k - \gamma_k (\theta_{i_k} - \theta_{j_k}) \leq M_k (1 - x_k) \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Onde M_k é a constante disjuntiva, $i_k - j_k$ são os índices das barras terminais do circuito k , e K o conjunto de circuitos candidatos. Tal restrição pode ser interpretada do seguinte modo: se $x_k = 1$ (circuito candidato é construído) $f_k - \gamma_k (\theta_{i_k} - \theta_{j_k}) = 0$, ou seja, a restrição KVL está representada para k . Por outro lado, caso o candidato k não seja construído ($x_k = 0$) o valor da constante disjuntiva deve ser suficientemente grande para garantir que a restrição KVL esteja relaxada, ou seja, não seja representada no modelo de expansão.

Esta formulação disjuntiva é responsável por contornar a característica não convexa do modelo de expansão quando este é formulado através do modelo clássico fluxo de potência linearizado. Em [6], foi derivada uma técnica para determinar valores ótimos para a constante disjuntiva.

3.2. O Modelo Híbrido

Quando os equipamentos *FACTS* e *Smart Wires* são introduzidos no sistema, a reatância das linhas de transmissão torna-se variável, viabilizando portanto, um maior controle do fluxo de potência ativa que flui nos circuitos e maior flexibilidade operativa frente a diferentes cenários de despacho. Consequentemente o modelo híbrido, proposto inicialmente em [3], necessita conter diferenças na modelagem do problema em relação ao modelo linearizado básico para contemplar a seguinte restrição:

$$0 \leq \gamma \leq \bar{\gamma}$$

Multiplicando os termos da restrição acima por $\Delta\theta$, pode-se substituir $\gamma\Delta\theta$ por uma variável I (que denota uma injeção) e reformular o problema da seguinte forma:

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K c_k x_k$$

$$Sf^n + I^n = d^n - g^n$$

$$-\bar{\gamma} \Delta\theta^n \leq I^n \leq \bar{\gamma} \Delta\theta^n$$

$$-|\bar{f}| x \leq I^n \leq |\bar{f}| x$$

Assim, para circuitos existentes na rede, a KVL é mantida exatamente como no modelo linearizado básico, porém, para candidatos, ela é reformulada com a variável I , como explicitado acima.

Há ainda duas outras restrições adicionadas ao problema as quais são plausíveis de serem apresentadas. Estas certificam que se um candidato j foi adicionado em paralelo com um circuito existente k , o fluxo no candidato, em cada cenário de despacho n , deve ser igual ao do existente. Sua formulação é apresentada abaixo:

$$I_j^n - f_k^n \leq |\bar{f}|(1 - x_j)$$

$$I_j^n - f_k^n \geq |\bar{f}|(1 - x_j)$$

Quando o circuito for construído, $x_j = 1$, e portanto as duas restrições são aplicadas e o fluxo no candidato adicionado se torna igual ao do existente, caso contrário tornam-se redundantes e consequentemente não têm efeito.

4. Caso Base – IEEE24-Bus

O sistema IEEE24-Bus é um sistema desenvolvido para testes em sistemas elétricos de potência e consiste originalmente de 24 barras, 41 circuitos e 8550MW de demanda [4,5]. Tanto os dados dos circuitos existentes e candidatos do sistema, como também os quatro cenários de despacho G1, G2, G3 e G4 que serão utilizados neste trabalho, foram retirados de [5].

A aplicação do modelo híbrido no planejamento da expansão do sistema supracitado faz sentido quando há novos corredores de transmissão, fazendo com que a variação da reatância nestes ramos atinja a flexibilidade operativa almejada nos diferentes cenários de despacho. Assim, para aumentar ainda mais o número de novos corredores além dos apresentados nas referências [4,5], foram removidos os circuitos entre as barras 11-13, 16-19, 17-22, 15-21, 12-23, 10-11 e 9-12. A configuração do sistema sob análise, ou seja, topologia contendo circuitos existentes (linhas contínuas) e candidatos (linhas tracejadas) é apresentada abaixo:

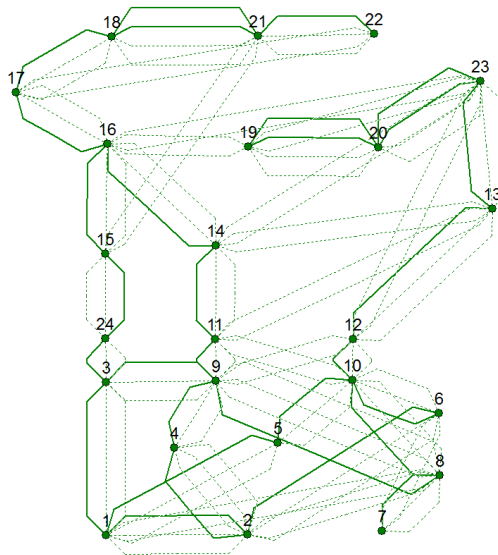


FIGURA 3 – Caso sob análise

Como se pode observar na figura 3, o sistema apresenta 30 circuitos existentes e 84 candidatos, sendo 56 duplicações candidatas de circuitos e 28 compondo as 14 novas faixas de passagem.

5. Planos de Expansão Encontrados com o Modelo Linearizado Básico

5.1. Cenários de Despacho Individualmente Aplicados

Com o intuito de se verificar a necessidade de obras diferentes para cada cenário de despacho (G1, G2, G3 e G4), foi executado o modelo de expansão para os quatro cenários de despacho individualmente. As figuras abaixo consistem nos planos de expansão ótimos encontrados para cada cenário, nas quais os circuitos existentes são linhas contínuas e os circuitos componentes do plano são linhas tracejadas. São apresentadas também as injeções líquidas de cada barra ($g^n - d^n$), onde valores positivos representam geração maior que demanda e valores negativos, o contrário.

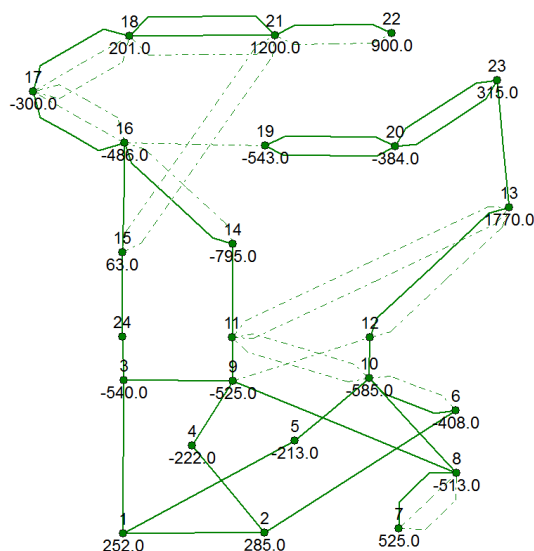


FIGURA 4 – Plano de expansão para o despacho G1

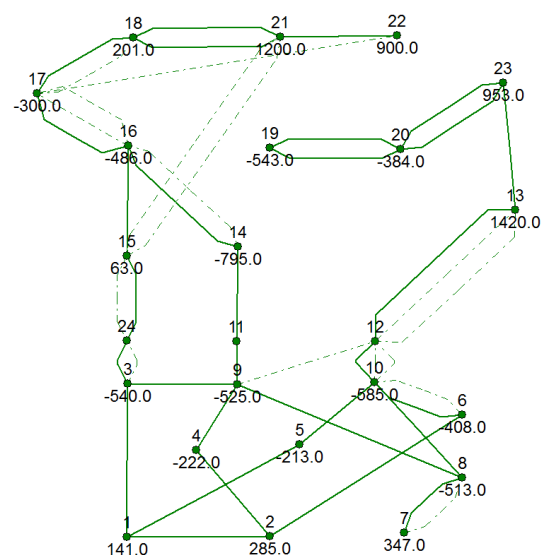


FIGURA 5 – Plano de expansão para o despacho G2

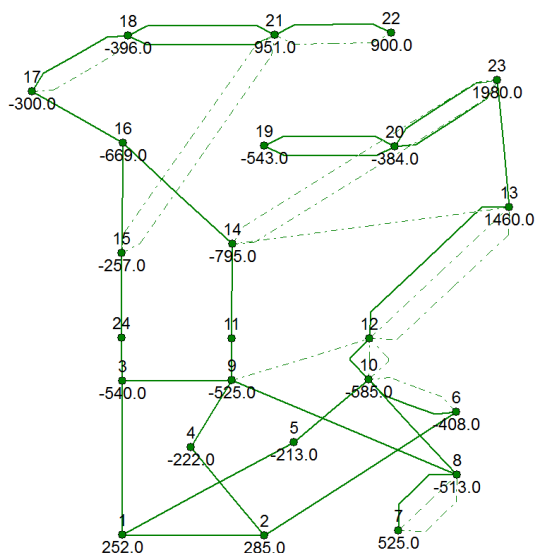


FIGURA 6 – Plano de expansão para o despacho G3

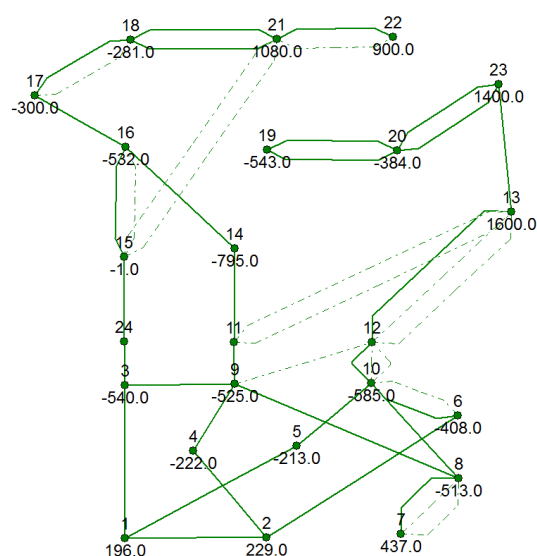


FIGURA 7 – Plano de expansão para o despacho G4

Como se pode observar, a topologia das soluções encontradas é diferente e envolvem níveis de investimentos também diferentes para cada cenário. Para enfatizar tal questão, são apresentados na tabela abaixo os custos totais dos planos de expansão para cada cenário (somatório do custo dos circuitos), bem como o nível de carregamento médio do sistema:

TABELA I – Custo e Carregamento de cada plano de expansão

Cenário	Custo Total [10^6 U\$]	Nível de Carregamento Médio [%]
G1	860	69.37
G2	864	72.76
G3	814	70.36
G4	736	74.89

Observa-se na tabela acima que o plano de expansão para o cenário G4 é o de menor custo total. O plano referente à G1 é 16.85% mais caro que o de G4, o referente à G2 é 17.39%, e por fim, o de G3 é 10.60%.

5.2. Plano de Expansão Robusto para Todos os Cenários de Despacho

Neste caso o modelo de expansão deve encontrar um plano robusto que atenda todas as restrições do problema para os quatro diferentes cenários de despacho simultaneamente. O plano de expansão resultante desta execução é apresentado na figura e na tabela explicitadas abaixo.

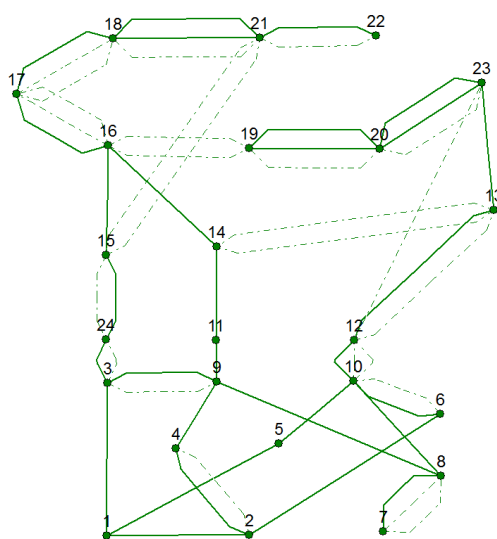


FIGURA 8 – Plano de expansão obtido pelo modelo linearizado básico que atende todos os cenários de despacho

O custo total deste plano é 1185 milhões de dólares, aproximadamente 61% mais caro que o plano encontrado somente para o cenário G4 e o respectivo nível de carregamento sistêmico é igual a 63.23%. Como já era de se esperar, houve uma redução da utilização dos circuitos da rede e por consequência o nível de carregamento médio do sistema reduziu percentualmente em, respectivamente, 9.71%, 15.07%, 11.27% e 18.44% em relação aos planos obtidos para os cenários G1, G2, G3 e G4.

6. Planos de Expansão Encontrados com o Modelo Híbrido

Como explicitado na seção 2 deste artigo, os custos dos equipamentos que viabilizam a flexibilidade operativa ainda não são profundamente conhecidos, necessitam de sedimentação da tecnologia para ganho de escala econômica que viabilizará estimativas mais realistas dos custos associados.

Assim, foram efetuadas diversas simulações com o modelo híbrido, levando-se em consideração os quatro cenários de despacho (G1, G2, G3 e G4), com o intuito de se verificar quão mais caros podem ser os circuitos com reatância variável em relação aos circuitos convencionais que ainda assim resultem em um plano de expansão com menor custo de investimento que o convencional encontrado na seção 5.2.

Porém, é plausível mensurar primeiramente, o real ganho que a flexibilidade operativa (viabilizada pela variação da reatância de circuitos híbridos em novas faixas de passagem) traz para o sistema. Para tal, o modelo híbrido foi a priori executado com todos os 84 candidatos apresentando os mesmos custos que foram utilizados na execução do modelo linearizado básico. O plano de expansão obtido está explicitado na figura abaixo.

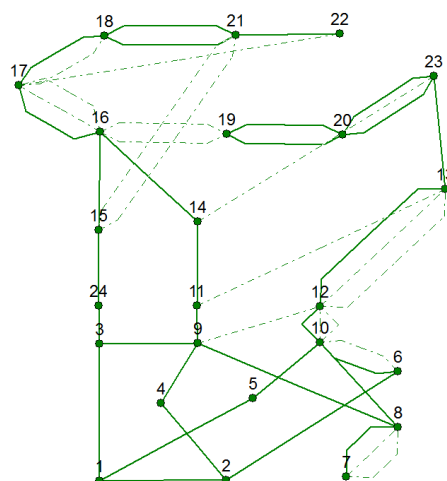


FIGURA 9 – Plano de expansão obtido pelo modelo híbrido que atende todos os cenários de despacho

Observa-se na Figura 8 que foi necessária a adição de 23 circuitos para a eliminação de todas as sobrecargas do sistema, sendo 18 duplicações e 5 inseridos em novas faixas de passagem. Já com o modelo híbrido, foram necessárias apenas 10 duplicações e foram introduzidos 8 circuitos híbridos em novas faixas de passagem, como mostra a Figura 9. A consequência de tais fatos é que o custo do plano de expansão obtido através do modelo híbrido foi 22.36% mais econômico que o custo do plano convencional.

Posteriormente, a cada rodada, o custo de cada um dos 28 candidatos em novas faixas de passagem foi incrementado através de um fator percentual e um novo plano de expansão foi assim obtido. É plausível enfatizar ainda que os custos das 56 duplicações candidatas são mantidos constantes por não apresentarem reatância variável. Este procedimento foi repetido até que o *break-even-point* do custo total do plano em relação ao convencional seja encontrado, ou seja, até que o custo do plano encontrado com o modelo híbrido seja equivalente ao do plano obtido na seção 5.2.

A Tabela II explicitada abaixo apresenta os planos encontrados através deste procedimento.

TABELA II – Comparação dos planos obtidos com o modelo híbrido em relação ao plano convencional

Custo Candidato Híbrido / Convencional [%]	Número de Candidatos Híbridos Adicionados	Número de Candidatos Convencionais Adicionados	Custo Plano de Expansão Híbrido / Convencional [%]
100	8	10	77.64
110	8	10	82.26
120	7	13	84.76
130	7	13	88.15
140	7	13	91.54
150	7	13	94.94
160	6	14	98.57
170	6	14	101.69

Foi observado que os planos de transmissão contendo o mesmo número de adições são exatamente iguais e pode-se inferir que o nível de carregamento médio de todos os planos de expansão é da ordem de 70% (variando de 68.84% a 70.15%).

Ademais, quando se aumenta o custo dos candidatos híbridos, reduz-se o número de adições dos mesmos e consequentemente mais candidatos convencionais são necessários para eliminar as sobrecargas sistêmicas. Ademais, foram necessários 18 circuitos nas duas primeiras execuções e 20 circuitos em todas as outras execuções.

Conclui-se da análise da Tabela II, que os candidatos híbridos com reatância variável deste estudo de caso podem ser até 60% mais caros que os circuitos convencionais que ainda assim o plano de expansão da transmissão é mais econômico.

7. Conclusão

Foram apresentadas neste artigo duas diferentes metodologias de planejamento da expansão da transmissão contemplando ou não circuitos candidatos com reatância variável. De posse destes modelos, foram obtidos e comparados planos de expansão que atendam diferentes padrões de produção de energia por parte dos geradores. Como era de se esperar, este artigo comprovou que o nível de carregamento médio do sistema relativo ao plano de expansão convencional robusto para todos os cenários de despacho é sempre inferior aos obtidos com o modelo híbrido mesmo para um sistema de pequeno porte como o IEEE24-Bus (redução percentual de aproximadamente 10% para todos os planos da Tabela II). Tal fato comprova que para atender cenários distintos usando circuitos convencionais com reatância fixa, há a necessidade de serem inseridos mais reforços no sistema e consequentemente o nível de utilização de cada um tende a cair.

Foi mostrado através do estudo de caso, que os candidatos híbridos com reatância variável podem ser até 60% mais caros que os circuitos convencionais que ainda assim o plano de expansão da transmissão é mais econômico. Este teto máximo dos custos associados obtido neste trabalho pode ser utilizado como referência para as perspectivas de ganho de escala econômica dos *Smart Wires*, as quais aparentam ser bastante promissoras devido à modularidade da tecnologia destes equipamentos apresentada na seção 2 deste artigo.

Conclui-se através deste trabalho que os *Smart Wires* serão de grande importância para o planejamento da expansão da transmissão por viabilizarem uma flexibilidade operativa frente a diferentes cenários de despacho com a inserção de circuitos com reatância variável. A relevância desta questão é ainda maior em sistemas hidrotérmicos como é o caso do Brasil, onde a localização dos geradores é bastante variada e os despachos econômicos para a operação do sistema variam completamente ao longo do ano. Por fim, se propõe como trabalho futuro a aplicação das metodologias de planejamento da expansão da transmissão apresentadas neste artigo na expansão da rede do Sistema Interligado Nacional (SIN) Brasileiro.

BIBLIOGRAPHY

- [1] D. Das, F. Kreikebaum, D. Divan, F. Lambert, “Reducing Transmission Investment to Meet Renewable Portfolio Standards Using Smart Wires”, IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, June 2010, pp. 1-7.
- [2] PSR, “O Sinal (Pouco) Locacional da Tarifa Por Uso da Rede de Transmissão”, Market Report, edição 52, Abril 2011.
- [3] G. N. Taranto, L. M. V. G. Pinto, M.V.F Pereira, “Representation of FACTS Devices in Power System Economic Dispatch”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 2, May 1992, pp.572-576.
- [4] R. Fang, D. J. Hill, “A new Strategy for Transmission Expansion Planning in Competitive Electricity Markets”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No. 1, February 2003, pp. 374-380.
- [5] R. Romero, C. Rocha, J.R.S Mantovani, I. G. Sánchez, “Constructive Heuristic Algorithm for the DC Model in Network Transmission Expansion Planning”, IEEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 152, No. 2, March 2005, pp. 277-282.
- [6] S. Binato, M. Pereira and S. Granville. “A new Benders decomposition approach to solve power transmission network design problems”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, No. 2, May 2001, pp. 235-240.