

Minimização do custo de geração em um sistema IEEE 9 barras utilizando a técnica do Fluxo de Potência Ótimo

Émerson R. da Silva¹, Daniel P. Bernardon¹, Robson P. Delavechia¹, Mauro S. Ortiz¹

¹Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência (CEESP), Universidade Federal de Santa Maria.

Santa Maria, Brasil

emerson@ieee.org, dpbernardon@ufsm.br

Resumo– O aumento da demanda de energia elétrica deixou os sistemas, principalmente no segmento de distribuição, cada vez mais suscetíveis a falhas e interrupções. Além de garantir o fornecimento de energia elétrica com qualidade, confiabilidade e continuidade ao consumidor, também é importante minimizar as perdas técnicas nas redes. Este trabalho apresenta uma análise de redes em um sistema IEEE de 9 barras, onde se utiliza a técnica de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) como auxílio no processo de tomada de decisão para determinar as melhores condições de operação de quatro estudos de caso em uma rede de distribuição, visando maximizar as receitas e respeitando as restrições técnicas, comerciais e operacionais dos equipamentos. O FPO apresenta uma solução econômica melhor para o despacho de energia elétrica, fornecendo uma solução otimizada. Portanto, através de simulações realizadas no programa DigSILENT PowerFactory 2018, objetiva-se avaliar a rede em diferentes situações de operações.

Keywords- IEEE 9 barras, Estudos de Caso, DigSILENT PowerFactory, Análise de Redes, FPO.

I. INTRODUÇÃO

O fluxo de potência fornece para os operadores, o perfil de tensão e os fluxos de carga na rede para identificar condições anormais de operação nos alimentadores tais como subtensões nas barras e sobrecargas nos circuitos. O cálculo do fluxo é realizado periodicamente ou quando há qualquer mudança na topologia ou nas cargas. Além disso, os operadores podem solicitar a execução do mesmo quando necessário para fins de avaliação [1].

Nos Sistemas Elétricos de Potência (SEP), os componentes podem ser ligados de duas formas distintas: entre os nós (barras do sistema), como é o caso das linhas de transmissão e transformadores, e entre o nó de referência e um nó qualquer, como é o caso das cargas, dos geradores, compensadores síncronos, dentre outros. Os geradores e as cargas da rede são tratados como parte externa do sistema. Logo, são modelados como injeções constantes e potência nos nós da rede. A área interna da rede, formada pelos demais componentes (linhas de transmissão, transformadores, dentre vários elementos) é tratada como um conjunto de circuitos passivos e modelada por meio da matriz de admitância de barra. Impondo-se a conservação das potências ativa e reativa em cada nó da rede é possível obter as equações básicas que regem o comportamento

dos fluxos de potência nas redes elétricas. Em suma, em cada nó da rede, a potência líquida injetada deve ser igual à soma das potências que fluem para os nós adjacentes [2].

Os programas para análise de redes elétricas em regime permanente permitem a realização de vários estudos que auxiliam na melhoria para aquisição e interpretação dos dados de operação do sistema elétrico. Outra vertente desta linha de pesquisa é a necessidade de otimizar o ponto de operação calculado por um programa de fluxo de potência, considerando uma função-objetivo, um conjunto de restrições físicas e operacionais e um conjunto de variáveis de controle. As restrições e variáveis de controle podem considerar todo o sistema elétrico de potência ou apenas algumas áreas do mesmo. Os trabalhos desenvolvidos utilizam o que há de mais moderno em termos de otimização não-linear aplicada a SEP: o método de pontos interiores. Também são desenvolvidos métodos para permitir a otimização de um sistema elétrico considerando um conjunto de contingências, no que se denomina fluxo de potência com restrição de segurança [3].

Além disso, o método do Fluxo de Potência Ótimo (FPO) surge como uma ferramenta eficiente para resolver os problemas de operação e planejamento em sistemas de energia. Normalmente, a função do FPO é minimizar o custo de geração do sistema, considerando os balanços de energia, os limites de carga de geração e as restrições de capacidade da linha. A metodologia de cálculo do FPO inclui métodos como Programação Linear (PL), Programação Quadrática (PQ), Programação Não Linear (PNL), dentre outros [4]. O objetivo da resolução do FPO em SEP é a de definir um conjunto de ações de controle que eliminem as violações operativas do sistema, tais como violações no perfil de tensão de barras do sistema, violações no carregamento dos circuitos, desbalanços entre carga e geração, dentre outras. Dentre as ações de controle aplicadas pelo FPO, pode-se salientar a atuação sobre a injeção de potência ativa e reativa dos geradores, modificações nos *tap's* dos transformadores e desligamentos forçados de cargas do sistema [5].

No contexto de simulações para o SEP, o desenvolvimento de ferramentas computacionais como o *software DigSILENT PowerFactory*, o qual conta, além da geração de resultados para as simulações nas áreas de geração, transmissão, distribuição, setor industrial e geração distribuída, com a opção de FPO inclusa em seu banco de dados. Com esta opção é possível gerar

barra 2 e barra 3. O conjunto de 5 máquinas síncronas em paralelo se localiza também na barra 2. Definiu-se os custos de geração para configuração do FPO conforme Tabela III.

TABELA III DADOS DOS GERADORES.

G	Potência Ativa		Custo (R\$/MWh)	Custo de manut. (R\$/h)	Potência Reativa	
	Mínima (MW)	Máxima (MW)			Mínima (MVar)	Máxima (MVar)
1	20	75	195	15	-20	75
2	100	170	250	18,75	-50	50
3	50	95	350	25	-25	30
MS	5	50	450	110	-25	30

Em cima dessa topologia apresentada, se estudarão quatro estudos de casos, detalhados a seguir:

1. Otimização do custo de geração de potência ativa em cima do cenário base;
2. Correção de sobrecarregamento nos geradores síncronos e no transformador 2 do estudo de caso 1, com a inserção de novos equipamentos;
3. Otimização do custo de geração de potência ativa do caso 2;
4. Projeção de crescimento na carga em um horizonte de 10 anos para cada uma das barras e otimização do custo de geração da potência ativa.

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 2 apresenta o sistema já com a solução do Fluxo de Carga pelo programa *PowerFactory 18*. Estes valores obtidos nessa solução serão considerados como o caso base para os próximos estudos de casos.

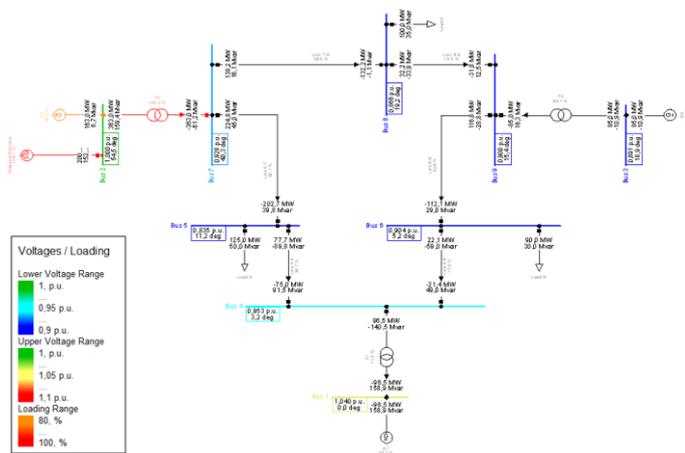


Fig. 2. Fluxo de Potência para o caso base.

Sobre este estudo do cenário base, a Tabela IV apresenta os resultados obtidos pelo Fluxo de Potência no *PowerFactory*. Com os valores de potência desse caso base para geração, e os valores de custo de geração da Tabela III, chega-se ao custo (não otimizado) anual de geração de **R\$ 1.406.111.400,00**. Se expandir esse horizonte para um período de 10 anos com taxa de juros de 7,5% a.a., o valor presente líquido (VPL) das perdas é de **R\$ 10.375.537.168,93** (Tabela V). Ressalta-se que para o caso de potência ativa negativa gerada (para esse caso a Barra 1), não se considera nenhuma forma de restituição financeira.

TABELA IV RESULTADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA NO *POWERFACTORY*.

Barra	Tensão		Tipo	Geração		Carga	
	Mód. (p.u.)	Âng. (grau)		Ativa (MW)	Reativa (MVar)	Ativa (MW)	Reativa (MVar)
1	1,04	0	G1	-96,5	158,9	-	-
2	1	54,5	G2	163,0	6,7	-	-
			MS	200	152,7	-	-
3	0,891	18,9	G3	85	-10,9	-	-
4	0,953	3,2	PQ	-	-	-	-
5	0,835	11,2	PQ	-	-	125	50
6	0,904	5,2	PQ	-	-	90	30
7	0,928	40,3	PQ	-	-	-	-
8	0,866	19,2	PQ	-	-	100	35
9	0,9	15,4	PQ	-	-	-	-

TABELA V CUSTO FINAL DE OPERAÇÃO PARA O CENÁRIO BASE EM UM HORIZONTE DE 10 ANOS E TAXA DE 7,5% A.A.

ANO	1	2	3	4	5
Investimento	R\$ -				
Perdas	-R\$ 1.406.111.400,00				
Recarga	R\$ 1.406.111.400,00				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.406.111.400,00				

ANO	6	7	8	9	10
Investimento	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Perdas	-R\$ 1.406.111.400,00	-R\$ 1.406.111.400,00	-R\$ 1.406.111.400,00	-R\$ 1.406.111.400,00	-R\$ 1.406.111.400,00
Recarga	R\$ 1.406.111.400,00	R\$ 1.406.111.400,00	R\$ 1.406.111.400,00	R\$ 1.406.111.400,00	R\$ 1.406.111.400,00
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.406.111.400,00	-R\$ 1.406.111.400,00	-R\$ 1.406.111.400,00	-R\$ 1.406.111.400,00	-R\$ 1.406.111.400,00
Taxa Juros	7,5%				
Valor Presente Líquido	-R\$ 10.375.537.168,93				

Além dessas elevadas cifras, verifica-se que o fluxo de potência sem otimização apresenta soluções com vários problemas, como por exemplo, subtensão em barramentos, sobrecarregamentos em um transformador e um gerador. Dessa forma, buscam-se alternativas que além de reduzir o custo, sejam intuitivas e positivas também no que diz respeito a análise elétrica do sistema.

Caso 1. Otimização do custo de geração de potência ativa sobre o cenário base.

Visando otimizar esse cenário apresentado, se utilizou a ferramenta de FPO do *software Power Factory*. Como parâmetros, se definiu que nas barras de geração e nas barras de cargas os limites de tensão devem estar entre 0,95 a 1,05 p.u., assim como os valores de tap's dos transformadores. Demais parâmetros de otimização se encontram na Tabela III. A Fig. 3 apresenta o sistema já com a solução do Fluxo de Potência Otimizado pelo programa *PowerFactory 18*.

A Tabela VI apresenta os resultados obtidos pelo Fluxo de Potência Otimizado no *PowerFactory*. Com os valores de potência de geração encontrados nessa simulação de otimização, e inserindo os valores de custo de geração da Tabela III na análise de FPO, o custo otimizado anual de geração ficou de **R\$ 799.148.520,00**. Expandindo novamente esse horizonte para um período de 10 anos com taxa de juros de 7,5% a.a., o VPL das perdas é de **R\$ 5.896.826.647,42** (Tabela VII).

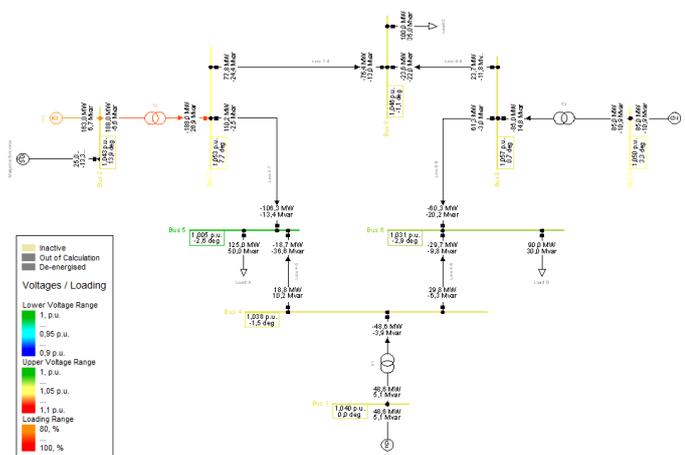


Fig. 3. Fluxo de Potência Otimizado sobre o cenário base (Caso 1).

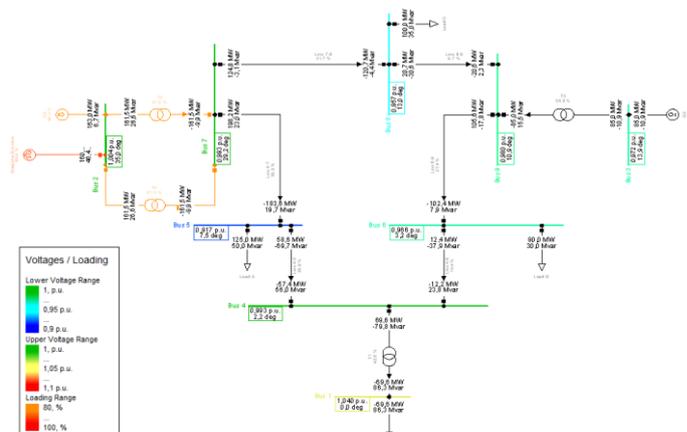


Fig. 4. Fluxo de Potência para o Caso 2.

TABELA VI RESULTADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA NO POWERFACTORY.

Barra	Tensão		Tipo	Geração		Carga	
	Mód. (p.u.)	Âng. (grau)		Ativa (MW)	Reativa (MVar)	Ativa (MW)	Reativa (MVar)
1	1,04	0	G1	48,6	5,1	-	-
2	1,043	13,9	G2	163,0	6,7	-	-
			MS	25	-13,3		
3	1,05	3,3	G3	85	-10,9	-	-
4	1,038	-1,5	PQ	-	-	-	-
5	1,005	-2,6	PQ	-	-	125	50
6	1,031	-2,9	PQ	-	-	90	30
7	1,053	7,7	PQ	-	-	-	-
8	1,046	-1,1	PQ	-	-	100	35
9	1,057	0,7	PQ	-	-	-	-

TABELA VII CUSTO FINAL DE OPERAÇÃO PARA O CASO 1 (CENÁRIO BASE OTIMIZADO) EM UM HORIZONTE DE 10 ANOS E TAXA DE 7,5% A.A.

ANO	1	2	3	4	5
Investimento	RS -	RS -	RS -	RS -	RS -
Perdas	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00
Receita					
Fluxo de Caixa	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00
ANO	6	7	8	9	10
Investimento	RS -	RS -	RS -	RS -	RS -
Perdas	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00
Receita					
Fluxo de Caixa	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00	-RS 799.148.520,00
Taxa Juros	7,5%				
			Valor Presente Líquido	-RS 5.896.826.647,42	

Verifica-se que o fluxo de potência otimizado apresentou uma solução de bem mais baixo custo, além de corrigir os problemas de carregamento e de subtensão. Foram impostos limites que a partir de recomendações da literatura e legislação.

Caso 2. Correção de carregamentos no Transformador 2 e no conjunto de MS do cenário base.

Uma alternativa possível é, sobre o cenário base, reequilibrar o despacho de potência com a retirada de uma máquina síncrona e inserir um transformador de idêntica potência em paralelo com o *Transf. 2*, de modo a corrigir o elevado carregamento ali visto. A Fig. 4 apresenta o sistema já com a solução do Fluxo de Potência para este estudo de caso.

A Tabela VIII apresenta os resultados obtidos pelo Fluxo de Potência para este estudo de caso. Para esse caso, o custo anual de geração ficou de **R\$ 1.248.431.400,00**. O VPL das perdas, em um horizonte de 10 anos com taxa de juros de 7,5% a.a. é de **R\$ 9.214.034.262,41** (Tabela IX). Ressalta-se que para o cálculo, o custo de um novo transformador é de R\$ 2.000.000,00; e sua inserção será no ano 1.

TABELA VIII RESULTADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA DO CASO 2.

Barra	Tensão		Tipo	Geração		Carga	
	Mód. (p.u.)	Âng. (grau)		Ativa (MW)	Reativa (MVar)	Ativa (MW)	Reativa (MVar)
1	1,04	0	G1	-69,6	86,3	-	-
2	1,004	35,0	G2	163	6,7	-	-
			MS	160	46,4		
3	0,972	13,9	G3	85	-10,9	-	-
4	0,993	2,2	PQ	-	-	-	-
5	0,917	7,5	PQ	-	-	125	50
6	0,966	3,2	PQ	-	-	90	30
7	0,993	29,2	PQ	-	-	-	-
8	0,957	13,0	PQ	-	-	100	35
9	0,98	10,9	PQ	-	-	-	-

TABELA IX CUSTO FINAL DE OPERAÇÃO PARA O CASO 2 EM UM HORIZONTE DE 10 ANOS E TAXA DE 7,5% A.A.

ANO	1	2	3	4	5
Investimento	RS 2.000.000,00	RS -	RS -	RS -	RS -
Perdas	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00
Receita					
Fluxo de Caixa	-RS 1.250.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00
ANO	6	7	8	9	10
Investimento	RS -	RS -	RS -	RS -	RS -
Perdas	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00
Receita					
Fluxo de Caixa	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00	-RS 1.248.431.400,00
Taxa Juros	7,5%				
			Valor Presente Líquido	-RS 9.214.034.262,41	

Verifica-se que o fluxo de potência para esse caso apresentou solução melhor que o cenário base, entretanto, é sempre importante analisar o todo, e buscar uma otimização desse sistema (Caso 3).

Caso 3. Otimização do custo de geração do Caso 2.

Visando otimizar o custo de geração do Caso 2, se utiliza a novamente a ferramenta FPO do software Power Factory com os mesmos parâmetros e limites já apresentados. A Fig. 5 apresenta o sistema já com a solução do Fluxo de Potência Otimizado.

A Tabela X apresenta os resultados obtidos pelo Fluxo de Potência Otimizado para este Caso 3. O custo otimizado anual de geração ficou **R\$ 787.637.880,00**. No horizonte de período de 10 anos com taxa de juros de 7,5% a.a., o VPL das perdas é de **R\$ 5.813.890.935,24** (Tabela XI).

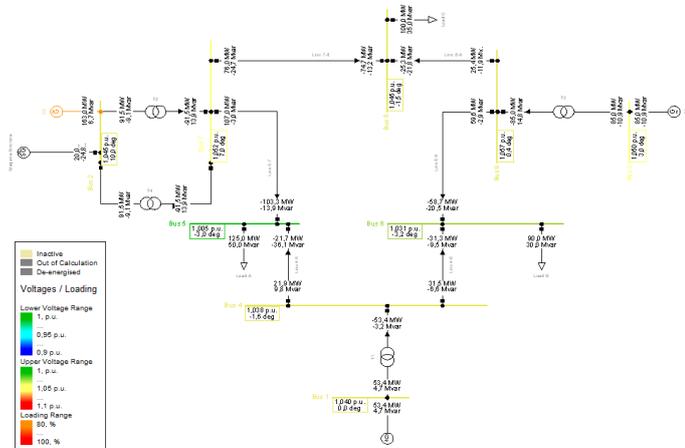


Fig. 5. Fluxo de Potência Otimizado sobre o Caso 2 (Caso 3).

TABELA X RESULTADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA OTIMIZADO DO CASO 3.

Barra	Tensão		Tipo	Geração		Carga	
	Mód. (p.u.)	Âng. (grau)		Ativa (MW)	Reativa (MVar)	Ativa (MW)	Reativa (MVar)
1	1,04	0	G1	53,4	4,7	-	-
2	1,045	10,0	G2	163,0	6,7	-	-
			MS	20	-24,8	-	-
3	1,05	3,0	G3	85	-10,9	-	-
4	1,038	-1,6	PQ	-	-	-	-
5	1,005	-3,0	PQ	-	-	125	50
6	1,031	-3,2	PQ	-	-	90	30
7	1,052	7,0	PQ	-	-	-	-
8	1,045	-1,5	PQ	-	-	100	35
9	1,057	0,4	PQ	-	-	-	-

TABELA XI CUSTO FINAL DE OPERAÇÃO PARA O CASO 3 (CASO 2 OTIMIZADO) EM UM HORIZONTE DE 10 ANOS E TAXA DE 7,5% A.A.

ANO	1	2	3	4	5
Investimento	-R\$ 2.000.000,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Perdas	-R\$ 787.637.880,00				
Receta	R\$ -				
Fluxo de Caixa	-R\$ 789.637.880,00	-R\$ 787.637.880,00	-R\$ 787.637.880,00	-R\$ 787.637.880,00	-R\$ 787.637.880,00
ANO	6	7	8	9	10
Investimento	R\$ -				
Perdas	-R\$ 787.637.880,00				
Receta	R\$ -				
Fluxo de Caixa	-R\$ 787.637.880,00				
Taxa Juros	7,5%				
					Valor Presente Líquido -R\$ 5.813.890.935,24

Verifica-se que o fluxo de potência otimizado apresentou,

novamente, uma solução de mais baixo custo. Entretanto, para este caso, os problemas de subtensão não foram corrigidos, mesmo com os limites impostos de otimização.

Caso 4. Projeção de crescimento de carga em 10 anos.

A análise a seguir prevê um crescimento da carga de 4,5% ao ano, em um horizonte de 10 anos, para poder comparar o impacto financeiro sobre o caso base. A Tabela XII apresenta a projeção de carga para cada uma das 3 cargas. A Fig. 6 apresenta o sistema já com a solução do Fluxo de Potência Otimizado. Para acompanhar esse crescimento, se insere no cálculo a implementação de um parque eólico (GD) (na barra 6) de capacidade de aproximadamente 100 MW (no qual apenas cerca de 35% da potência é gerada instantaneamente de tal modo que essa razão atenda os índices mínimos de confiabilidade). No Brasil, o montante médio em investimento de usinas eólicas é cerca de R\$ 4 milhões por MW instalado [7]. Portanto, se considerará que a implementação dessa GD custará R\$ 400 milhões, e entrará no ano 4 do horizonte. A Tabela XIII apresenta os resultados obtidos pelo FPO para este Caso 4. O custo otimizado anual de geração ficou **R\$ 1.049.465.520,00**. No horizonte de período de 10 anos com taxa de juros de 7,5% a.a., o VPL das perdas é de **R\$ 7.968.168.404,88** (Tabela XIV).

TABELA XII PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO DE CARGA, COM TAXA DE 4,5% A.A.

Ano	Barra 5		Barra 6		Barra 8	
	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar
Referência	125,00	50,00	90,00	30,00	100,00	35,00
1	130,63	52,25	94,05	31,35	104,50	36,58
2	136,50	54,60	98,28	32,76	109,20	38,22
3	142,65	57,06	102,70	34,23	114,12	39,94
4	149,06	59,63	107,33	35,78	119,25	41,74
5	155,77	62,31	112,16	37,39	124,62	43,62
6	162,78	65,11	117,20	39,07	130,23	45,58
7	170,11	68,04	122,48	40,83	136,09	47,63
8	177,76	71,11	127,99	42,66	142,21	49,77
9	185,76	74,30	133,75	44,58	148,61	52,01
10	194,12	77,65	139,77	46,59	155,30	54,35

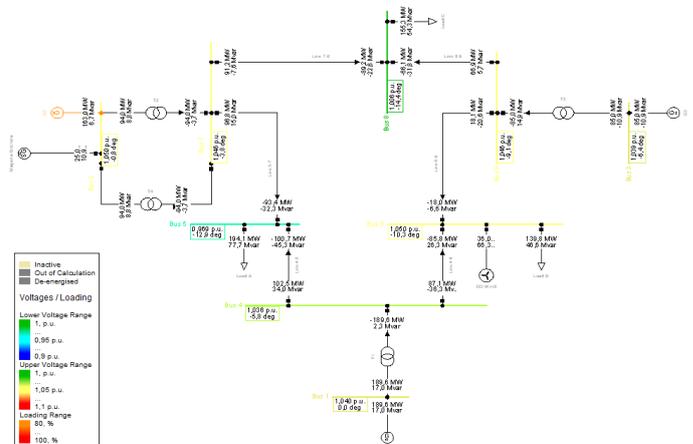


Fig. 6. Fluxo de Potência Otimizado para o Caso 4.

TABELA XIII RESULTADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA OTIMIZADO DO CASO 4.

Barra	Tensão		Tipo	Geração		Carga	
	Mód. (p.u.)	Âng. (grau)		Ativa (MW)	Reativa (MVar)	Ativa (MW)	Reativa (MVar)
1	1,04	0	G1	189,6	17	-	-
2	1,05	-0,8	G2	163,0	6,7	-	-
			MS	25	10,9		
3	1,046	-9,1	G3	85	-10,9	-	-
4	1,036	-5,8	PQ	-	-	-	-
5	0,969	-12,9	PQ	-	-	194,1	77,7
6	1,05	-10,3	PQ	36,0	66,3	139,8	46,6
7	1,046	-3,8	PQ	-	-	-	-
8	1,006	-14,4	PQ	-	-	155,3	54,3
9	1,046	-9,1	PQ	-	-	-	-

TABELA XIV CUSTO FINAL DE OPERAÇÃO PARA O CASO 3 (CASO 2 OTIMIZADO) EM UM HORIZONTE DE 10 ANOS E TAXA DE 7,5% A.A.

ANO	1	2	3	4	5
Investimento	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
Receita	-	-	-	-	-
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.449.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
ANO	6	7	8	9	10
Investimento	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
Receita	-	-	-	-	-
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
Taxa Juros		7,5%			
			Valor Presente Líquido		-R\$ 7.968.168.404,88

Considerou-se na GD o custo de geração de R\$ 30,00/MWh, além de custo de manutenção de R\$ 5,00/h. Para este caso, onde a carga no ano 10 chega a ser quase 2 vezes o valor do ano 1, verifica-se que a inserção dessa nova GD resolveria o problema da demanda necessária. Situações como essa requerem um alto estudo de planejamento e de confiabilidade do sistema. O objetivo desse estudo era apenas verificar melhor condição de operação otimizada possível. Para este caso, não se apresentaram problemas de subtensão e carregamento. A Tabela XV apresenta o resumo final dos casos estudados.

TABELA XV RESUMO DOS ESTUDOS DE CASOS.

Cenário	Uso do FPO?	Previsão de Carga em 10 anos?	Limites de V e S atendidos?	Custo final aproximado em 10 anos (R\$)
BASE	NÃO	NÃO	NÃO	10,38 bilhões
CASO 1	SIM	NÃO	SIM	5,9 bilhões
CASO 2	NÃO	NÃO	NÃO	9,22 bilhões
CASO 3	SIM	NÃO	NÃO	5,82 bilhões
CASO 4	SIM	SIM	SIM	7,97 bilhões

Dentre as soluções apresentadas, os dois casos mais interessantes a ser considerados são o Caso 1 e o Caso 4. O primeiro por motivos econômicos do panorama atual, enquanto que o segundo leva em consideração o planejamento de um crescimento de 4,5% a.a. na demanda de energia elétrica ao longo de 10 anos, e já inclui a instalação de um parque eólico de elevada potência. Importante destacar que ambos os dois “melhores” casos, a solução é oriunda do FPO, que cumpre com seus objetivos de minimizar custos de geração e perdas.

VI. CONCLUSÃO

Em meio ao estudo da otimização do custo de geração de potência ativa sobre o cenário base em um horizonte de 10 anos, verificou-se uma redução considerável em relação ao valor final do VPL para todos os casos que se utilizou a função FPO. Logo, quando considerado grandes sistemas de geração, conclui-se que há uma economia significativa em valores monetários.

A técnica de FPO mostra-se muito eficiente para resolver os problemas de operação, despacho de energia e planejamento do sistema em análise, pois ela minimiza o custo de geração do sistema, considerando os balanços de energia, os limites de carga de geração e as restrições de capacidade da linha.

O software *Power Factory*, apresentou grande importância para a presente análise efetuada neste trabalho. É um programa que permite a análise de sistemas de energia elétrica e de controle, visando o planejamento e a otimização no âmbito da operação. Salienta-se que o *PowerFactory* é desenvolvido por engenheiros e programadores qualificados, com uma vasta experiência em análise de SEP e, portanto, a precisão e a validade dos resultados são asseguradas.

Esta publicação mostrou que é possível, através da função de FPO, minimizar as perdas e o custo de geração, de forma que, se encontre a melhor condição de operação de um dado sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da CAPES/PROEX, CNPq, FAPERGS, INCT-GD da UFSM e concessionária de energia elétrica RGE Sul por meio do projeto de P&D intitulado “*Solução Inovadora para Gerenciamento Ativo de Sistemas de distribuição*” (P&D/ANEEL), além de agradecer a empresa DIGSILENT por ter fornecido a licença do software *PowerFactory 2018*.

REFERÊNCIAS

- [1] RAPOSO, Antônio Adolpho Martins. “Alocação ótima de medidores para a estimação de estado em redes elétricas inteligentes”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletricidade) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.
- [2] MONTICELLI, A. J.; CEPTEL. “Fluxo de Carga em Redes de Energia elétrica”. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1983.
- [3] CEPTEL. “Análise de Redes em Regime Permanente”. [Online]. Available: <<http://www.cepel.br/linhas-de-redes-em-regime-permanente.htm>>. [Accessed: 26-may-2018].
- [4] LIU, K.; SHENG, W.; CHENG, S. “Optimal power flow algorithm and analysis in distribution system considering distributed generation”. *IET Generation, Transmission & Distribution*, v. 8, n. 2, p. 261–272, 2014.
- [5] RIBEIRO, Pablo Motta. “Remuneração dos serviços auxiliares de reserva de potência e suporte de potência reativa quando providos por geradores”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- [6] DIGSILENT. “DIGSILENT Power System Software & Engineering”. [Online]. Available: <https://www.digsilent.de/en/?p=Software/DIGSILENT_PowerFactory/InterfacingPowerFactory/&package=Basic>. [Accessed: 26-may-2018].
- [7] BLUESOL. “Energia Solar e Eólica: Preços, Diferenças e Melhores Locais”. [Online]. Available: <<http://blog.bluesol.com.br/energia-solar-e-eolica/>>. [Accessed: 28-may-2018].