



Relatório Estudo De Caso I

Análise De Sistemas Elétricos De Potência II

Integrantes: Cássia Reis Afonso de Freitas

Gabriel Luis de Sousa

Lucas Xavier de Moraes

Matrícula: 190900-048

180950-030

190950-011

São João del-Rei, abril de 2024.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO	1
3. METODOLOGIA	1
4. RESULTADOS DA ROTINA IMPLEMENTADA E SIMULAÇÃO	5
5. VERIFICAÇÃO DE PREMISSAS PARA ESTUDO ELÉTRICO	9
6. CONDICIONAMENTO DO SISTEMA.....	10
7. CONCLUSÃO	14
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14

Lista De Figuras

Figura 01 – Gráfico Referente a Reposta do Método de Newton Raphson.	5
Figura 02 – Relatório das Potências nas Barras.	6
Figura 03 – Relatório das Potências nas Barras em <i>p. u.</i>	6
Figura 04 – Relatório das Potências Ativas Geradas nas Barras em <i>p. u.</i>	7
Figura 05 – Relatório das <i>km</i> e <i>mk</i> e suas Capacidades de Operação em <i>p. u.</i>	7
Figura 06 – Sistema Implementado no <i>PowerWorld</i>	8
Figura 07 – Resultados das Barras no <i>PowerWorld</i>	8
Figura 08 – Resultados dos Circuitos no <i>PowerWorld</i>	9
Figura 09 – Limites de Tensões de Operação, ONS.....	9
Figura 10 – Sugestões de Ajuste para Operação.....	11
Figura 11 – Novas Potências Ativas Geradas nas Barras em <i>p. u.</i>	11
Figura 12 – Novo Relatório das Potências nas Barras.....	12
Figura 13 – Novo Relatório das <i>km</i> e <i>mk</i> e suas Capacidades de Operação em <i>p. u.</i>	13

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência (SEP), é um conjunto complexo de vários equipamentos que atuam para a transmissão e distribuição de energia elétrica de maneira segura e estável. O estudo e análise das grandezas em cada componente deste sistema é de extrema importância para garantir a estabilidade e segurança na operação.

No Brasil, o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) é responsável por supervisionar e regular a transmissão de modo que os limites seguros de operação sejam atendidos.

O sistema é um modelo do que acontece na realidade, e como em qualquer modelo, é uma representação matemática do sistema. Este geralmente é representado por barras, que são nós no sistema, interligados por linhas, que podem estar representando uma linha de transmissão ou um transformador que liga duas barras.

2. OBJETIVO

O estudo de caso 1 (EC1), é um sistema de 12 (doze) barras, com 3 (três) transformadores e 4 (quatro) geradores. Também são representadas 6 (seis) cargas neste sistema e 1 (um) banco de capacitor.

O Objetivo deste estudo é analisar as grandezas iniciais em todos os componentes, como, magnitude das tensões nodais, ângulos de fase, distribuição dos fluxos e das injeções de potências ativa e reativa nas barras, dentre outras grandezas de interesse utilizando o método Newton-Raphson para um modelo estático do sistema, e assim, verificar se, em operação, o sistema se adequa aos limites da ONS e seus limites próprios de potência.

3. METODOLOGIA

Um fator muito importante no SEP é a definição das barras e seus tipos. Como visto no material de apoio disponibilizado [1], a cada barra, serão associadas quatro variáveis:

- V_k - Magnitude da tensão nodal.
- θ_k - Ângulo da tensão nodal.

- P_k - Potência ativa injetada na barra k (geração menos carga).
- Q_k - Potência reativa injetada na barra k (geração menos carga).

No problema básico do *SEP*, há três tipos de barra:

- *PQ* (barras de carga).
- *PV* (barras de geração).
- *SW* (referência ou slack bus).

A barra do tipo *PQ*, é uma barra de carga, onde não há geração. Esta barra pode ser apenas uma barra de *passagem*, onde não há nenhuma carga instalada nela, ou um nó que há carga, que pode estar modelando uma subestação por exemplo. Nas barras *PQ*, são determinadas as potências ativas e reativas, e a magnitude da tensão e o ângulo da barra são incógnitas.

A barra *PV* é uma barra de tensão controlada. Nesta barra, há um gerador instalado nela, e há um sistema de controle que garante a tensão escolhida. Aqui, a potência ativa e a magnitude de tensão é determinada antes, e o ângulo e a potência reativa deverão ser calculados.

Já a barra *SW* é a barra de referência para o problema. Nesta, são determinadas a magnitude de tensão e o ângulo, que geralmente são 1.00 *p.u.* e 0° radianos respectivamente. Serão calculados os fluxos de potências ativas e reativas nessa barra e é ela quem fecha o balanço de potência do problema.

O primeiro passo para solucionar um *SEP*, é montar a matriz admitância do mesmo, considerando os modelos estáticos para cada componente. Importante notar, que para facilitar os cálculos, principalmente quando o sistema envolve transformadores, os dados considerados devem estar em valores *p.u.* (por unidade).

A matriz admitância (Y), é uma matriz $NB \times NB$, onde NB é o número de barras do sistema, e cada componente Y_{km} representa a conexão entre as barras k e m . Na diagonal, onde, $k = m$, são representadas todas as ligações ao nó.

As equações (1) e (2) podem ser usadas para modelar cada componente, como pode-se observar a seguir,

$$Y_{kk} = jb_{sh}^k + a_{km}^2 + jb_{km}^{sh} \quad (1)$$

$$Y_{km} = -a_{km}e^{-j}\phi y_{km} \quad (2)$$

A partir de Y , é possível calcular a potência a partir de (3) e (4).

$$P_k = V_{km}V_m(G_{km}\cos(\phi_{km}) + B_{km}\sin(\phi_{km})) \quad (3)$$

$$Q_k = V_{km}V_m(G_{km}\sin(\phi_{km}) + B_{km}\cos(\phi_{km})) \quad (4)$$

Desta forma, temos que o problema pode ser separado em dois subsistemas de equações. Um de dimensão $(2NPQ + NPV)$, e outro de dimensão $(NPV + 2)$, onde NPQ e NPV são o número de barras do tipo PQ e PV respectivamente.

Para o primeiro subsistema, deverão ser solucionadas as equações (5) e (6):

$$P_k^{esp} - V_{km}V_m(G_{km}\cos(\phi_{km}) + B_{km}\sin(\phi_{km})) = 0 \quad (5)$$

$$Q_k^{esp} - V_{km}V_m(G_{km}\sin(\phi_{km}) + B_{km}\cos(\phi_{km})) = 0 \quad (6)$$

Neste subsistema as incógnitas são implícitas, e, portanto, é necessário aplicar o método iterativo. Para o segundo subsistema, temos as equações (7) e (8), a serem solucionadas.

$$P_k - V_{km}V_m(G_{km}\cos(\phi_{km}) + B_{km}\sin(\phi_{km})) = 0 \quad (7)$$

$$Q_k^{esp} - V_{km}V_m(G_{km}\sin(\phi_{km}) + B_{km}\cos(\phi_{km})) = 0 \quad (8)$$

Aqui, as equações possuem incógnitas explícitas, e, portanto, sua solução é trivial.

A fim de solucionar então o subsistema 1, onde a solução do método Newton-Raphson para um sistema de equações, se dá a partir da equação (9).

$$\Delta x^i = [\Delta \phi^i; \Delta V^i] = -J^{-1} \cdot [\Delta P(\phi^i, V^i); Q(\phi^i, V^i)] \quad (9)$$

Onde a cada iteração i , serão calculadas, a partir das duas matrizes J e $[\Delta P(\phi^i, V^i); Q(\phi^i, V^i)]$, as variações que deverão ser aplicadas aos chutes de ângulo para as barras PQ e PV e tensões nas barras PQ.

A matriz jacobiana J , é uma matriz que contém as derivadas das equações (5) e (6) para cada barra k do sistema.

Na implementação da rotina, por conveniência, dado que a mesma, foi construída para fins de estudo, o método mais eficaz de Newton-Raphson para a solução do sistema não foi utilizado, desta forma, foi implementada uma matriz Jacobina completa, de dimensões $2NB \times 2NB$.

Na submatriz $\partial P / \partial \phi$, insere-se um valor bastante elevado na posição da diagonal correspondente à barra de referência (Swing) e zero nos demais elementos da linha e coluna referentes a essa barra. Outrossim, na submatriz $\partial Q / \partial V$, insere-se um valor bastante elevado na posição da diagonal correspondente à barra de referência (Swing) e PV, e zero nos demais elementos da linha e coluna referentes a essa barra.

O método Newton-Raphson, consiste em analisar a curva de uma função através de sua derivada, fazendo ajustes ao chute do valor até que este chute atenda à uma tolerância definida, que permite então, chegar numericamente a um valor aproximado da raiz da função.

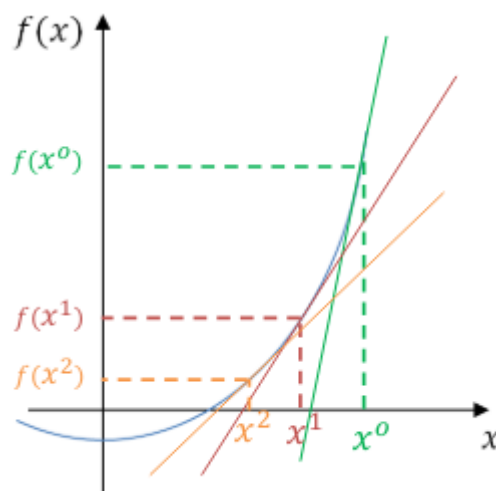


Figura 01 – Gráfico Referente a Reposta do Método de Newton Raphson.

Analizando a Figura 01, a função $f(x)$ é a curva em azul, e deseja-se encontrar a raiz desta. Para isso foi feito um chute inicial x_0 . O valor de $f(x)$ neste ponto, não é um valor próximo suficiente de zero, portanto, através da derivada desta função naquele ponto, será feito um novo chute x_1 , que é o ponto onde, $f'(x_0) = 0$.

Assim, obtém-se então, todos os ângulos, magnitudes de tensão, e potências ativa e reativa para cada barra, desta maneira, é possível analisar o sistema.

Para solucionar e calcular os fluxos de potência, foi criada uma rotina em Python [2], que interpreta os dados do sistema a partir de um arquivo texto, e soluciona o problema de fluxo de potência através do método Newton Raphson. Os resultados, são então, disponibilizados em um outro arquivo texto.

4. RESULTADOS DA ROTINA IMPLEMENTADA E SIMULAÇÃO

A seguir, será apresentado pela Figura 02, um relatório sobre as potências demandadas e injetadas nas barras do sistema, assim como na Figura 03, mas desta vez apresentadas em relação a base do sistema ($p.u.$)

Ademais, a fim de facilitar a visualização da geração e consumo de potência do sistema, foram impressos os relatórios presentes na Figura 04 e Figura 05.

Relatório das potências nas barras									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI MW	QI MVar	PG MW	QG MVar	SG MVA	PD MW	QD MVar
1	1.02000	-4.35037	95.0000	14.1610	95.0000	14.1610	96.0496	0.0000	0.0000
2	1.00998	-4.26692	-38.7400	-8.7000	0.0000	0.0000	0.0000	38.7400	8.7000
3	1.01000	-0.00000	61.9603	-17.0031	115.1603	-7.8031	115.4244	53.2000	9.2000
4	0.97695	-10.86890	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.98473	-4.67990	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	1.01000	-2.76193	60.0000	111.2494	60.0000	111.2494	126.3979	0.0000	0.0000
7	0.98130	-5.07776	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.94903	-8.51725	-64.9000	-5.4000	0.0000	-0.0000	0.0000	64.9000	5.4000
9	1.08031	-5.77781	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.93785	-12.17962	-53.5000	-11.6000	0.0000	-0.0000	0.0000	53.5000	11.6000
11	0.95313	-9.40274	-33.5000	-8.5200	-0.0000	0.0000	0.0000	33.5000	8.5200
12	1.00000	-4.44829	-8.5000	-58.4821	35.0000	-48.9621	60.1855	43.5000	9.5200
Total					305.1603	68.6451	398.0574	287.3400	287.3400
Total de Perdas			Perdas Ativas = 17.8203 MW			Perdas Reativas = 37.6942 MVar			

Figura 02 – Relatório das Potências nas Barras.

Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI [	QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.02000	-0.07593	0.9500	0.1416	0.9500	0.1416	0.9605	0.0000	0.0000
2	1.00998	-0.07447	-0.3874	-0.0870	0.0000	0.0000	0.0000	0.3874	0.0870
3	1.01000	-0.00000	0.6196	-0.1700	1.1516	-0.0780	1.1542	0.5320	0.0920
4	0.97695	-0.18970	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.98473	-0.08168	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	1.01000	-0.04820	0.6000	1.1125	0.6000	1.1125	1.2640	0.0000	0.0000
7	0.98130	-0.08862	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.94903	-0.14865	-0.6490	-0.0540	0.0000	-0.0000	0.0000	0.6490	0.0540
9	1.08031	-0.10084	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.93785	-0.21257	-0.5350	-0.1160	0.0000	-0.0000	0.0000	0.5350	0.1160
11	0.95313	-0.16411	-0.3350	-0.0852	-0.0000	0.0000	0.0000	0.3350	0.0852
12	1.00000	-0.07764	-0.0850	-0.5848	0.3500	-0.4896	0.6019	0.4350	0.0952
Total					3.0516	0.6865	3.9806	2.8734	2.8734
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.1782 pu			Perdas Reativas = 0.3769 pu			

Figura 03 – Relatório das Potências nas Barras em p.u.

Análise das potências de geração				
BARRA #	PG (PU)	Carga Máxima (PU)	Carga Mínima (PU)	Carga aceitável SIM / NÃO
1	0.9500	1.20	0.00	SIM
3	1.1516	1.00	0.00	NÃO
6	0.6000	1.00	0.00	SIM
12	0.3500	0.80	0.00	SIM

Atenção para a(s) barra(s) [3]

Figura 04 – Relatório das Potências Ativas Geradas nas Barras em *p.u.*

Relatório das potências nos circuitos km em PU						
BARRA DE	PARA	PKM	QKM (PU)	SKM	Capacidade	Pode operar? SIM / NÃO
1	2	0.0282	0.1497	0.1524	1.0	SIM
1	4	0.9218	-0.0081	0.9218	1.0	SIM
2	3	-0.3597	0.0884	0.3704	1.0	SIM
3	6	0.2535	-0.0864	0.2678	1.0	SIM
4	7	0.8777	-0.0840	0.8817	0.8	NÃO
5	8	0.2482	0.1478	0.2889	0.8	SIM
5	6	-0.2482	-0.1478	0.2889	1.0	SIM
6	9	0.6002	0.8731	1.0594	0.8	NÃO
7	8	0.4623	-0.1069	0.4745	0.5	SIM
7	10	0.4154	-0.0114	0.4156	0.5	SIM
8	11	0.0392	-0.0579	0.0699	0.5	SIM
9	11	0.4937	0.1521	0.5166	0.5	NÃO
9	12	0.0532	0.3147	0.3192	0.5	SIM
9	12	0.0532	0.3147	0.3192	0.5	SIM
10	11	-0.1424	0.0439	0.1490	0.5	SIM

Relatório das potências nos circuitos mk em PU						
BARRA DE	PARA	PMK	QMK (PU)	SMK	Capacidade	Pode operar? SIM/NÃO
2	1	-0.0277	-0.1754	0.1775	1.0	SIM
4	1	-0.8777	0.0840	0.8817	1.0	SIM
3	2	0.3661	-0.0837	0.3755	1.0	SIM
6	3	-0.2495	0.0794	0.2618	1.0	SIM
7	4	-0.8777	0.1183	0.8856	0.8	NÃO
8	5	-0.2482	-0.1261	0.2784	0.8	SIM
6	5	0.2493	0.1600	0.2963	1.0	SIM
9	6	-0.6002	-0.7815	0.9854	0.8	NÃO
8	7	-0.4401	0.1300	0.4589	0.5	SIM
10	7	-0.3926	0.0599	0.3972	0.5	SIM
11	8	-0.0385	0.0587	0.0702	0.5	SIM
11	9	-0.4432	-0.1063	0.4558	0.5	SIM
12	9	-0.0425	-0.2924	0.2955	0.5	SIM
12	9	-0.0425	-0.2924	0.2955	0.5	SIM
11	10	0.1467	-0.0376	0.1514	0.5	SIM

Atenção para a(s) linhas(s) [(4, 7), (6, 9), (9, 11)]

Figura 05 – Relatório das *km* e *mk* e suas Capacidades de Operação em *p.u.*

Outrossim, como observado na Figura 06, utilizou-se o *software PowerWorld*, para que o sistema de doze barras pudesse ser simulado, e assim verificarmos de outra forma, o fluxo de potência do mesmo, como visto na Figura 07 e Figura 08.

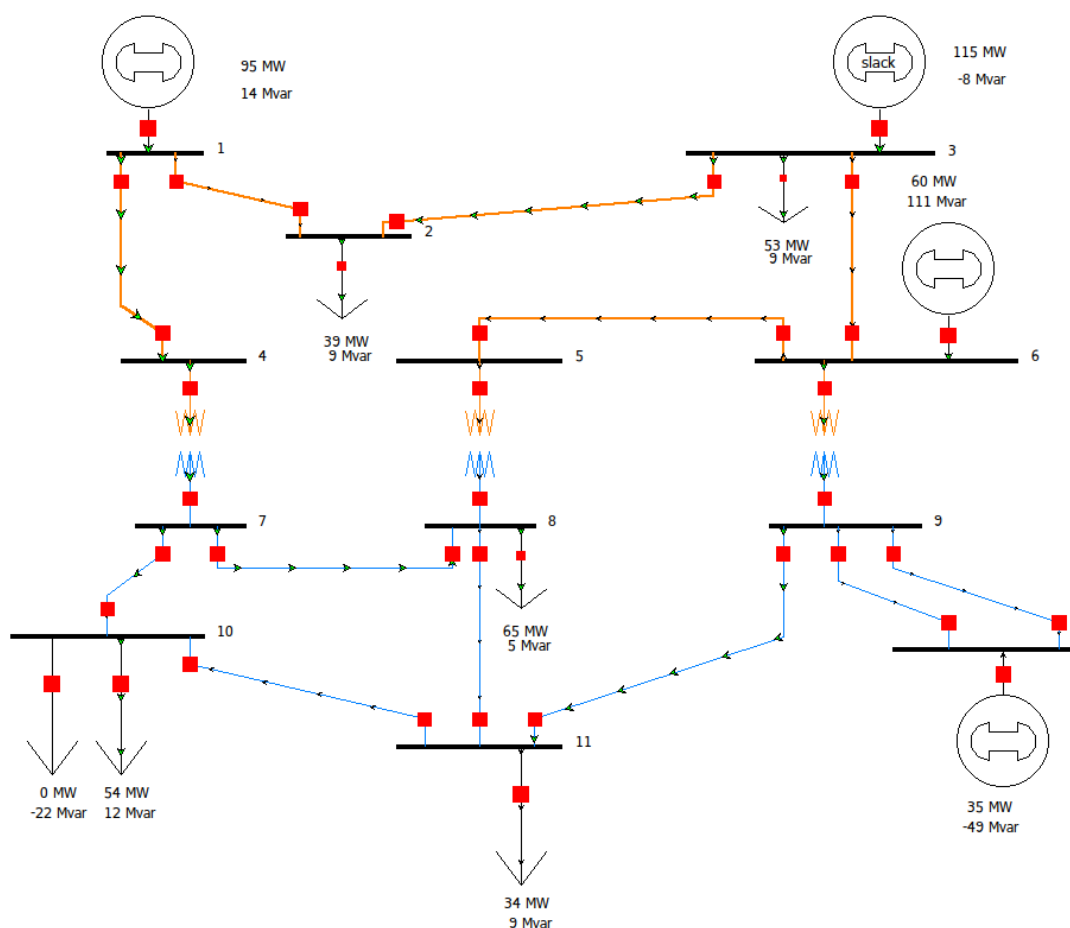


Figura 06 – Sistema Implementado no *PowerWorld*.

	Number ▲	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1 1	1	1	500.00	1.02001	510.003	-4.35			95.00	13.99
2	2 2	2	1	500.00	1.00998	504.990	-4.27	38.74	8.70		
3	3 3	3	1	500.00	1.01000	505.000	0.00	53.20	9.20	115.15	-7.81
4	4 4	4	1	500.00	0.97706	488.528	-10.87				
5	5 5	5	1	500.00	0.98476	492.381	-4.68				
6	6 6	6	1	500.00	1.01001	505.003	-2.76			60.00	111.22
7	7 7	7	1	230.00	0.98140	225.723	-5.08				
8	8 8	8	1	230.00	0.94912	218.297	-8.52	64.90	5.40		
9	9 9	9	1	230.00	1.08033	248.476	-5.78				
10	10 10	10	1	230.00	0.93797	215.734	-12.18	53.50	-10.39		
11	11 11	11	1	230.00	0.95321	219.238	-9.40	33.50	8.52		
12	12 12	12	1	230.00	1.00001	230.002	-4.45	43.50	9.52	35.00	-48.97

Figura 07 – Resultados das Barras no *PowerWorld*.

	From Number	From Name	To Number	To Name	Circuit	Status	Branch Device Type	Xfmr	MW From	Mvar From	MVA From	Lim MVA	% of MVA Limit (Max)	MW Loss	Mvar Loss
1	1		4	4	1	Closed	Line	NO	92.2	-1.0	92.2	0.0	0.0	4.41	7.41
2	1	1	2	2	1	Closed	Line	NO	2.8	15.0	15.2	0.0	0.0	0.05	-2.56
3	2	2	3	3	1	Closed	Line	NO	-36.0	8.8	37.0	0.0	0.0	0.64	0.47
4	3	3	6	6	1	Closed	Line	NO	25.3	-8.6	26.8	0.0	0.0	0.40	-0.70
5	4	4	7	7	1	Closed	Transformer	YES	87.8	-8.4	88.2	0.0	0.0	0.00	3.43
6	5	5	8	8	1	Closed	Transformer	YES	24.8	14.8	28.9	0.0	0.0	0.00	2.17
7	6	6	5	5	1	Closed	Line	NO	24.9	16.0	29.6	0.0	0.0	0.12	1.22
8	6	6	9	9	1	Closed	Transformer	YES	60.0	87.3	105.9	0.0	0.0	0.00	9.15
9	7	7	10	10	1	Closed	Line	NO	41.5	-1.2	41.6	0.0	0.0	2.28	4.85
10	7	7	8	8	1	Closed	Line	NO	46.2	-10.7	47.4	0.0	0.0	2.22	2.31
11	8	8	11	11	1	Closed	Line	NO	3.9	-5.8	7.0	0.0	0.0	0.07	0.09
12	9	9	12	12	2	Closed	Line	NO	5.3	31.5	31.9	0.0	0.0	1.07	2.23
13	9	9	12	12	1	Closed	Line	NO	5.3	31.5	31.9	0.0	0.0	1.07	2.23
14	9	9	11	11	1	Closed	Line	NO	49.4	15.2	51.6	0.0	0.0	5.05	4.57
15	10	10	11	11	1	Closed	Line	NO	-14.2	4.4	14.9	0.0	0.0	0.43	0.63

Figura 08 – Resultados dos Circuitos no PowerWorld.

5. VERIFICAÇÃO DE PREMISSAS PARA ESTUDO ELÉTRICO

A partir dos resultados apresentados em 4, é possível verificar que, na Figura 05, a potência de geração na barra 3 excede o limite da mesma. Agora analisando a Figura 08, nas linhas entre as barras [4 e 7], [6 e 9] e [9 e 11], flui uma potência aparente maior que a suportada.

Também é necessário verificar as tensões nas barras, e se as mesmas atendem aos requisitos da ONS, que são apresentados em “Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos” no Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, como apresentado na Figura 09.

Tensão nominal de operação ⁽¹⁾	Condição operativa normal		Condição operativa sob contingências	
(kV)	(kV)	(pu) ⁽²⁾	(kV)	(pu) ⁽²⁾
< 230	–	0,95 a 1,05	–	0,90 a 1,05
230	218 a 242	0,95 a 1,05	207 a 242	0,90 a 1,05
345	328 a 362	0,95 a 1,05	311 a 362	0,90 a 1,05
440	418 a 460	0,95 a 1,046	396 a 460	0,90 a 1,046
500	500 a 550	1,00 a 1,10	475 a 550	0,95 a 1,10
525	500 a 550	0,95 a 1,048	475 a 550	0,90 a 1,048
765	690 a 800	0,90 a 1,046	690 a 800	0,90 a 1,046

Figura 09 – Limites de Tensões de Operação, ONS.

No sistema em questão, as barras 1 a 6 possuem tensão nominal de $500kV$ e as barras 7 a 12, possuem tensão nominal de $230kV$. Para este estudo de caso deverá ser considerada a operação do sistema em condições normais. Assim, as barras 1 a 6 devem apresentar uma tensão entre $1,00 p.u. - 1,10 p.u.$ e as barras 7 a 12 devem apresentar uma tensão entre $0,95 p.u. - 1,05 p.u.$

A partir da Figura 03, é possível verificar que as barras 4, 5, 8, 9 e 10 não satisfazem as premissas de operação da ONS.

6. CONDICIONAMENTO DO SISTEMA

Como visto em **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o sistema implementado na Figura 06 não cumprem com as premissas dirigidas pela ONS, desta forma, através da tentativa e erro, feita de maneira manual, foram sugeridas algumas alterações como,

- Incluir um banco de capacitores na barra 4 de $B_{sh} = 0,25 p.u.$, ou $Q_k^{sh} = 0,25 p.u. = 25 MVar$;
- Incluir um banco de capacitores na barra 5 de $B_{sh} = 0,15 p.u.$, ou $Q_k^{sh} = 0,15 p.u. = 15 MVar$;
- Incluir um banco de capacitores na barra 8 de $B_{sh} = 0,10 p.u.$, ou $Q_k^{sh} = 0,10 p.u. = 10 MVar$;
- Aumentar o banco de capacitores na barra 10 para $B_{sh} = 0,35 p.u.$, ou $Q_k^{sh} = 0,35 p.u. = 35 MVar$;
- Mudar o *tap* de defasagem do transformador entre as linhas 4 e 7 para $4,0^\circ$;
- Mudar o *tap* do transformador da linha 6 e 9 para $1,05 p.u.$

Estas alterações podem ser visualizadas na Figura 10, assim, o sistema apresenta condições satisfatórias de funcionamento. Porém, esta não é a melhor solução, visto que foi providenciada a partir de chutes aleatórios e não de maneira eficiente, como será aprendido mais à frente no curso de *Análise de Sistemas Elétricos de Potência II*.

```

DBAR
X---X X-----X X-----X X-----X X---X X-----X X-----X X-----X X
BARRA PD(PU) QD(PU) Bsh(PU) TIPO Vesp(PU) Oesp(°) PGesp(PU) C
01 0 0 0.00 PV 1.0200 0.00 0.950
02 0.3874 0.0870 0.00 PQ 1.0000 0.00 0
03 0.5320 0.0920 0.00 SW 1.0100 0.00 0
04 0 0 0.25 PQ 1.0000 0.00 0
05 0 0 0.15 PQ 1.0000 0.00 0
06 0 0 0.00 PV 1.0100 0.00 0.800
07 0 0 0.00 PQ 1.0000 0.00 0
08 0.6490 0.0540 0.10 PQ 1.0000 0.00 0
09 0 0 0.00 PQ 1.0000 0.00 0
10 0.5350 0.1160 0.35 PQ 1.0000 0.00 0
11 0.3350 0.0852 0.00 PQ 1.0000 0.00 0
12 0.4350 0.0952 0.00 PV 1.0000 0.00 0.350
####

DCIR
X---X X---X X---X X-----X X-----X X-----X X-----X X-----X
BDE BPARA NCIR RES(PU) REAT(PU) SUCsh(PU) TAP(PU) DEF(GRAUS)
01 02 01 0.0194 0.0592 0.0264 1.00 00.000
01 04 02 0.0540 0.1230 0.0246 1.00 00.000
02 03 03 0.0470 0.1980 0.0219 1.00 00.000
03 06 04 0.0581 0.1763 0.0187 1.00 00.000
04 07 05 0.0000 0.0421 0.0000 1.00 4.000
05 08 06 0.0000 0.2520 0.0000 1.00 00.000
05 06 07 0.0134 0.1421 0.0000 1.00 00.000
06 09 08 0.0000 0.1100 0.0000 1.05 00.000
07 08 09 0.0950 0.0989 0.0000 1.00 00.000
07 10 10 0.1271 0.2704 0.0000 1.00 00.000
08 11 11 0.1351 0.1569 0.0000 1.00 00.000
09 11 12 0.2209 0.1999 0.0000 1.00 00.000
09 12 13 0.1229 0.2558 0.0000 1.00 00.000
09 12 14 0.1229 0.2558 0.0000 1.00 00.000
10 11 15 0.1709 0.2514 0.0000 1.00 00.000
####

```

Figura 10 – Sugestões de Ajuste para Operação.

Em posse do novo sistema a ser implementado, utilizamos novamente nossa rotina, e conseguimos gerar os seguintes resultados, apresentados na

Análise das potências de geração				
BARRA #	PG (PU)	Carga Máxima (PU)	Carga Mínima (PU)	Carga aceitável? SIM / NÃO
1	0.9500	1.20	0.00	SIM
3	0.9072	1.00	0.00	SIM
6	0.8000	1.00	0.00	SIM
12	0.3500	0.80	0.00	SIM
Barras operando dentro dos limites de potência				

Figura 11 – Novas Potências Ativas Geradas nas Barras em p. u.

Relatório das potências nas barras									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI MW	QI MVar	PG MW	QG MVar	SG MVA	PD MW	QD MVar
1	1.02000	-2.91216	95.0000	-12.2954	95.0000	-12.2954	95.7924	0.0000	0.0000
2	1.00988	-3.16339	-38.7400	-8.7000	0.0000	0.0000	0.0000	38.7400	8.7000
3	1.01000	-0.00000	37.5224	-10.9791	90.7224	-1.7791	90.7398	53.2000	9.2000
4	1.01025	-9.29297	-0.0005	0.0001	-0.0005	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000
5	1.00856	-4.15925	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	1.01000	-1.14037	80.0000	24.1307	80.0000	24.1307	83.5601	0.0000	0.0000
7	1.01293	-7.15779	0.0005	0.0001	0.0005	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000
8	0.98365	-9.61394	-64.8999	-5.4000	0.0001	0.0000	0.0001	64.9000	5.4000
9	1.03799	-4.16164	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.97376	-13.80919	-53.4999	-11.5999	0.0001	0.0001	0.0002	53.5000	11.6000
11	0.96275	-10.04005	-33.5000	-8.5199	-0.0000	0.0001	0.0001	33.5000	8.5200
12	1.00000	-3.89293	-8.5000	-25.6137	35.0000	-16.0937	38.5228	43.5000	9.5200
Total					300.7226	-6.0370	308.6166	287.3400	287.3400
Total de Perdas			Perdas Ativas = 13.3826 MW			Perdas Reativas = 24.6588 MVar			
Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI [	QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.02000	-0.05083	0.9500	-0.1230	0.9500	-0.1230	0.9579	0.0000	0.0000
2	1.00988	-0.05521	-0.3874	-0.0870	0.0000	0.0000	0.0000	0.3874	0.0870
3	1.01000	-0.00000	0.3752	-0.1098	0.9072	-0.0178	0.9074	0.5320	0.0920
4	1.01025	-0.16219	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	1.00856	-0.07259	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	1.01000	-0.01990	0.8000	0.2413	0.8000	0.2413	0.8356	0.0000	0.0000
7	1.01293	-0.12493	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.98365	-0.16779	-0.6490	-0.0540	0.0000	0.0000	0.0000	0.6490	0.0540
9	1.03799	-0.07263	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.97376	-0.24102	-0.5350	-0.1160	0.0000	0.0000	0.0000	0.5350	0.1160
11	0.96275	-0.17523	-0.3350	-0.0852	-0.0000	0.0000	0.0000	0.3350	0.0852
12	1.00000	-0.06794	-0.0850	-0.2561	0.3500	-0.1609	0.3852	0.4350	0.0952
Total					3.0072	-0.0604	3.0862	2.8734	2.8734
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.1338 pu			Perdas Reativas = 0.2466 pu			

Figura 12 – Novo Relatório das Potências nas Barras.

Relatório das potências nos circuitos km em PU						
BARRA DE	PARA [	PKM	QKM	SKM	Capacidade	Pode operar? SIM / NÃO
(PU)						
1	2	0.1205	0.1212	0.1710	1.0	SIM
1	4	0.8295	-0.2442	0.8647	1.0	SIM
2	3	-0.2675	0.0596	0.2740	1.0	SIM
3	6	0.1042	-0.0427	0.1126	1.0	SIM
4	7	0.7910	-0.0514	0.7926	0.8	SIM
5	8	0.3742	0.1175	0.3723	0.8	SIM
5	6	-0.3742	0.0350	0.3759	1.0	SIM
6	9	0.5274	0.2309	0.5758	0.8	SIM
7	8	0.3790	-0.0549	0.3829	0.5	SIM
7	10	0.4120	-0.0224	0.4126	0.5	SIM
8	11	0.0906	0.0531	0.1051	0.5	SIM
9	11	0.4380	-0.0670	0.4431	0.5	SIM
9	12	0.0447	0.1327	0.1401	0.5	SIM
9	12	0.0447	0.1327	0.1401	0.5	SIM
10	11	-0.1441	0.1486	0.2070	0.5	SIM
Relatório das potências nos circuitos mk em PU						
BARRA DE	PARA [	PMK	QMK	SMK	Capacidade	Pode operar? SIM/NÃO
(PU)						
2	1	-0.1199	-0.1466	0.1894	1.0	SIM
4	1	-0.7910	0.3065	0.8483	1.0	SIM
3	2	0.2710	-0.0671	0.2792	1.0	SIM
6	3	-0.1035	0.0257	0.1067	1.0	SIM
7	4	-0.7910	0.0773	0.7947	0.8	SIM
8	5	-0.3742	-0.0794	0.3826	0.8	SIM
6	5	0.3761	-0.0153	0.3764	1.0	SIM
9	6	-0.5274	-0.1985	0.5635	0.8	SIM
8	7	-0.3654	0.0691	0.3719	0.5	SIM
10	7	-0.3909	0.0672	0.3966	0.5	SIM
11	8	-0.0891	-0.0513	0.1028	0.5	SIM
11	9	-0.3977	0.1034	0.4109	0.5	SIM
12	9	-0.0425	-0.1281	0.1349	0.5	SIM
12	9	-0.0425	-0.1281	0.1349	0.5	SIM
11	10	0.1518	-0.1373	0.2047	0.5	SIM

Linhas operando dentro dos limites de potência

Figura 13 – Novo Relatório das *km* e *mk* e suas Capacidades de Operação em *p.u.*

Apesar deste ajuste não ser o melhor, foi possível verificar que, além de, conformar o sistema às premissas da ONS, houve uma diminuição das perdas nas linhas. Antes, na Figura 02, o relatório apresentava que haviam perdas ativas de 0,1782 *p.u.* e perdas reativas de 0,3769 *p.u.*, a partir da Figura 12, verifica-se que as perdas ativas caíram para 0,1338 *p.u.* e as perdas reativas para 0,2466 *p.u.*

7. CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento deste estudo de caso (EC1), foi possível concluir após implementar a rotina computacional, e executar a mesma, que a mesma, em comparação com a simulação no *software PowerWorld*, que a rotina computacional atingiu de forma suficiente as expectativas.

Além disso, após a solução do problema de fluxo de potência do sistema de doze barras proposto, foram observados o valor da magnitude das tensões das barras, a capacidade de geração de potência ativa e a capacidade dos circuitos. Esses parâmetros calculados foram comparados com os limites, permitindo um vislumbre de como o sistema deve operar de maneira real, e como os operadores mantêm o sistema dentro dos limites apresentados na Figura 09.

Ademais, ao longo do trabalho, foram propostas mudanças no sistema e com o auxílio da rotina computacional foi possível observar os efeitos dessas mudanças. Possibilitando, por exemplo, alterar parâmetros do sistema a fim de adequar os resultados aos limites pré-estabelecidos. Esse tipo de estudo é importante pois facilita o entendimento dos efeitos das mudanças e como corrigir possíveis problemas que podem ocorrer em um sistema real.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fernando A. Assis - Notas das Aulas do MÓDULO 01 - FLUXO DE CARGA: CONTROLES E LIMITES
- [2] Pedro D. T. M. Elias - Rotina EC1.m
- [3] Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos - Submódulo 2.3 NOS. Disponível em:
<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>.
Acesso em: abril de 2024.