

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL DA COSTA BONOTTO

RAPHAEL HENRIQUE SOARES MACHADO

**ATIVIDADE PRÁTICA SUPERVISIONADA 02 - FLUXO  
DE POTÊNCIA - RELATÓRIO**

PATO BRANCO

2016

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Fluxo de potência ótimo linearizado .....</b>	<b>2</b>
1.1	Contextualização da atividade .....	2
1.2	Resolução do problema proposto .....	3
1.2.1	Equacionamento e definição de métodos .....	3
1.2.2	Cálculo dos parâmetros .....	4
<b>2</b>	<b>Fluxo de potência linearizado: Condição normal e de emergência .....</b>	<b>6</b>
2.1	Contextualização da atividade .....	6
2.2	Resolução do problema proposto .....	6
2.2.1	Equacionamento e definição de métodos .....	6
2.2.2	Cálculo dos parâmetros .....	6

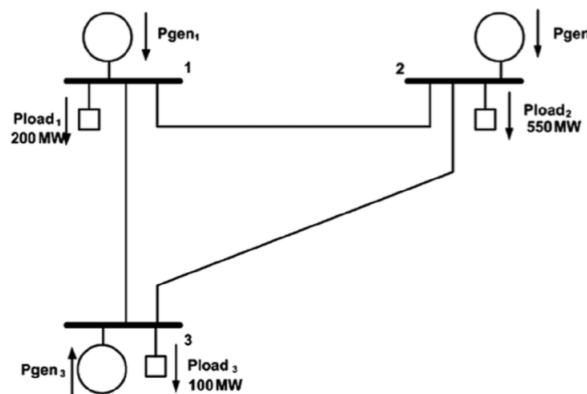
## 1 FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO LINEARIZADO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ATIVIDADE

A primeira parte da atividade exige que sejam determinados, utilizando o fluxo ótimo de potência linearizado, os seguintes valores de variáveis:

$$\left[ P_{G1} \ P_{G2} \ P_{G3} \ \theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \lambda_1 \ \lambda_2 \ \lambda_3 \ \lambda_4 \right]$$

Estes valores são referentes ao sistema representado na Figura 1.



**Figura 1:** Sistema de três barras

Para esta análise, será considerado que:

- O limite máximo para o fluxo de potência ativa na linha 1-2 seja de 150 MW;
- As funções custo para cada gerador são fornecidas pelas Equações 1, 2 e 3.

$$C_1(P_1) = 561 + 7,92 * P_1 + 0,001562 * P_1^2 \quad (1)$$

$$C_2(P_2) = 310 + 7,85 * P_2 + 0,00194 * P_2^2 \quad (2)$$

$$C_3(P_3) = 78 + 7,97 * P_3 + 0,00482 * P_3^2 \quad (3)$$

Como informações adicionais, observa-se que a **barra 1** é adotada como a

barra de referência e considera-se uma base de potência de 100 MVA. As reatâncias das linhas estão dispostas conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Reatância das linhas (por unidade)

Linha	Reatância da linha (p.u.)
1-2	$x_{12} = 0,1$
1-3	$x_{13} = 0,125$
2-3	$x_{23} = 0,2$

## 1.2 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA PROPOSTO

Todos os cálculos referentes a esta solução foram efetuados no *software* MATLAB®

### 1.2.1 Equacionamento e definição de métodos

A partir do método de determinação do fluxo de potência linearizado, é possível determinar a função restrição a ser utilizada na etapa de otimização.

Dispensando uma explanação extensa, a formulação matricial do estudo de fluxo de potência pelo método linearizado é representado pela expressão:

$$P = B' * \theta \quad (4)$$

Em que:

- $P$  = Potência ativa líquida injetada nos nós das barras.
- $\theta$  = Ângulos de fases das tensões nas barras.
- $B'$  = Matriz admitância nodal.

Com relação a Equação 4, entende-se que:

$$B' * \theta - P = 0 \quad (5)$$

Sendo assim, a Equação 5 é a função restrição do sistema a ser otimizado para uma determinada operação, uma vez que o atendimento de todas as cargas deve ser conservado, configurando em uma restrição de igualdade.

Portanto, para cada barra, há uma função restrição  $h(P_{Gk}, \theta_{k1}, \dots, \theta_{kn})$  que obedece a seguinte relação:

$$h(P_{Gk}, \theta_{k1}, \dots, \theta_{kn}) = \left( \sum_{n=1}^{n=a} B'_{kn} * \theta_n \right) - P_k \quad (6)$$

Em que, na Equação 6,  $a$  refere-se ao número de barras do sistema. Neste caso, o número de barras do sistema proposto é **três**.

Em otimização, o método dos multiplicadores de Lagrange será implementado nesta etapa, uma vez que as funções restrição são bem definidas, conforme apresentado anteriormente pela Equação 6.

A formulação genérica de Lagrange é dada pela expressão abaixo:

$$L(x_1, \dots, x_n, \lambda_1, \dots, \lambda_n) = (\text{Funções-objetivo}) + \lambda * (\text{Funções-restrição}) \quad (7)$$

As funções-objetivo na Equação 7 são as funções custo apresentadas anteriormente pelas Equações 1, 2 e 3. As funções-restrição são as funções resultantes da relação representada na Equação 6 com relação a restrição de igualdade imposta pela análise do fluxo de potência.

### 1.2.2 Cálculo dos parâmetros

Para a definição da função-restrição do sistema representado pela Figura 1, utiliza-se novamente a Equação 6.

Determina-se a matriz  $B'$  com relação a Tabela 1, representada de acordo com a matriz na Expressão 8.

$$B' = \begin{bmatrix} \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,125} & -\frac{1}{0,1} & -\frac{1}{0,2} \\ -\frac{1}{0,1} & \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,2} & -\frac{1}{0,2} \\ -\frac{1}{0,2} & -\frac{1}{0,2} & \frac{1}{0,125} + \frac{1}{0,2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Desta forma, a matriz  $B'$  é representada abaixo na Expressão 9.

$$B' = \begin{bmatrix} 18 & -10 & -8 \\ -10 & 15 & -5 \\ -8 & -5 & 13 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Com isso, utilizando-se da Equação 4, a função-restrição é representada conforme a Equação.

$$\begin{bmatrix} 18 & -10 & -8 \\ -10 & 15 & -5 \\ -8 & -5 & 13 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{G1} - P_{C1} \\ P_{G2} - P_{C2} \\ P_{G3} - P_{C3} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Ao multiplicar a grandeza por unidade pelo seu valor de base, com a finalidade de se obter os valores de Potência líquida ( $P_{G1} - P_{C1}$ ) em sua unidade real ( $MW$ ), e representar a Equação 10 de acordo com a Equação 7, obtêm-se a seguinte relação:

$$100 * \begin{bmatrix} 18 & -10 & -8 \\ -10 & 15 & -5 \\ -8 & -5 & 13 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} P_{G1} - P_{C1} \\ P_{G2} - P_{C2} \\ P_{G3} - P_{C3} \end{bmatrix} = 0 \quad (11)$$

skfioakfaskfas

## **2 FLUXO DE POTÊNCIA LINEARIZADO: CONDIÇÃO NORMAL E DE EMERGÊNCIA**

### **2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ATIVIDADE**

### **2.2 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA PROPOSTO**

#### **2.2.1 Equacionamento e definição de métodos**

#### **2.2.2 Cálculo dos parâmetros**

## REFERÊNCIAS