

Sumário

1	Configurador de Redes	1
1.1	Introdução	1
1.2	Descrição da Técnica de Processamento para Configuração de Redes . .	2
1.2.1	Configuração de Subestação	3
1.2.2	Configuração de Rede	4
1.2.3	Tabulação de Resultados	4
1.3	Algoritmos para Configuração de Redes	4
1.3.1	Terminologia e Convenções	4
1.3.2	Algoritmo para Configuração de Subestações	4
1.3.3	Exemplo	5
1.3.4	Configuração da Rede	6
1.4	Essencialidade de Ramos da Rede Elétrica	8
1.5	Exercícios	9

Capítulo 1

Configurador de Redes

1.1 Introdução

A função do configurador de redes é determinar a topologia atual da rede a partir do processamento das telemidas digitais referentes ao *status* dos disjuntores e chaves seccionadoras. Além das telemidas digitais, que estão sujeitas a variações e tornam-se disponíveis através do sistema SCADA, o Configurador de Redes utiliza também os dados armazenados em um banco de dados estático que descreve a conexão dos equipamentos do sistema (geradores, transformadores, cargas, capacitores, linhas, etc) com as seções de barramento. Seções de barramento que estão em um mesmo nível de tensão podem ser interconectadas pelo fechamento de chaves e disjuntores. Para diferentes combinações de status dos disjuntores, resultarão, em geral, diferentes topologia da rede.

As Figuras 1.1 e 1.1 ilustram a função do configurador de redes. A Fig. 1.1 representa a rede no nível físico, de seção de barra. O processamento dos *status* dos disjuntores pelo configurador fornece o modelo barra-ramo mostrado na Fig. 1.1.

Considere agora o caso de uma única subestação com um arranjo do tipo disjuntor-e-meio, representada na Fig. (1.3a). Ao contrário do que se poderia esperar, a abertura de um disjuntor não necessariamente implica na abertura de uma linha de transmissão. A abertura do disjuntor 1 da figura, por exemplo, não provocará a desconexão de nenhuma linha, e resultará na mesma topologia que seria obtida com todos os disjuntores fechados. Nesta situação, o configurador determinaria que a subestação é equivalente a um único nó elétrico, conforme indicado na Fig. (1.3b). Se, por outro lado, os disjuntores 2, 5 e 8 estiverem abertos e os demais permanecerem fechados, a subestação será modelada como dois nós da rede elétrica (Fig.(1.3c)).

Como a topologia da rede só poderá mudar com a mudança da posição de disjuntores e chaves, o Configurador de Redes necessita ser executado apenas se houver alteração no *status* de algum dispositivo lógico da rede. Se isto não ocorrer, a execução do configurador pode ser omitida na seqüência periódica de execução de programas de análise de redes.

A saída do configurador é fornecida sob a forma tradicional de um modelo descrito por barras e ramos, isto é, corresponde ao diagrama unifilar do sistema de potência. Cada barra deve ser identificada juntamente com sua geração, suas cargas e dispos-

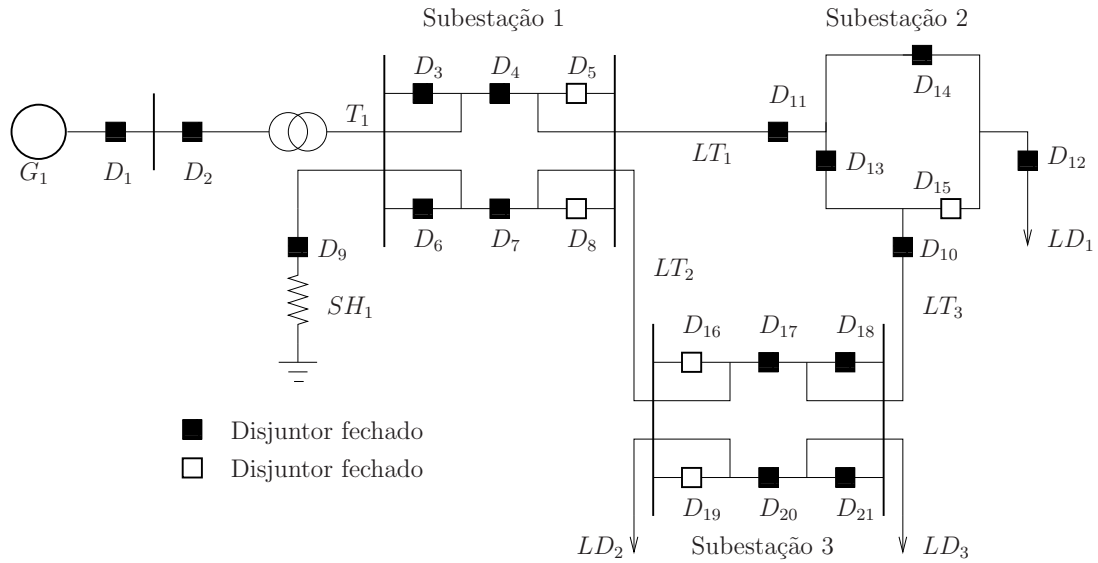


Figura 1.1: Parte de rede elétrica representada no nível de seção de barra.

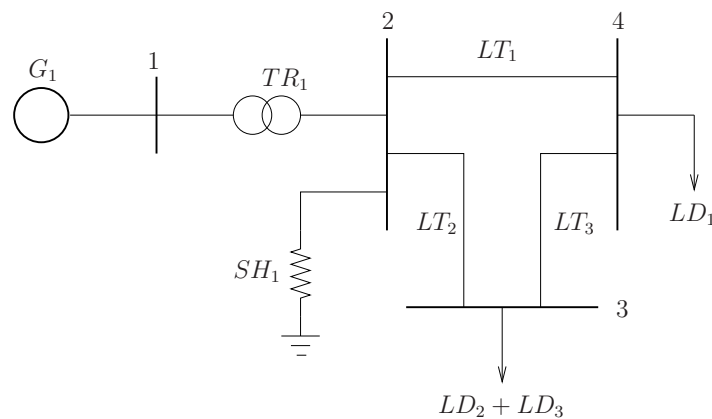


Figura 1.2: Resultado do processamento da topologia no nível de seção de barra da Fig. 1.1 pelo configurador de redes.

ativos em derivação. A conectividade entre as barras devido à presença de linhas de transmissão e transformadores deve também ser descrita. O configurador deve igualmente identificar ilhamentos e descartar as ilhas que não tem geração, incluindo barras e ramos isolados.

1.2 Descrição da Técnica de Processamento para Configuração de Redes

Os algoritmos básicos para configuração de redes são normalmente constituídos de três etapas: configuração de subestação, configuração da rede e tabulação de resultados. Cada uma delas é descrita a seguir:

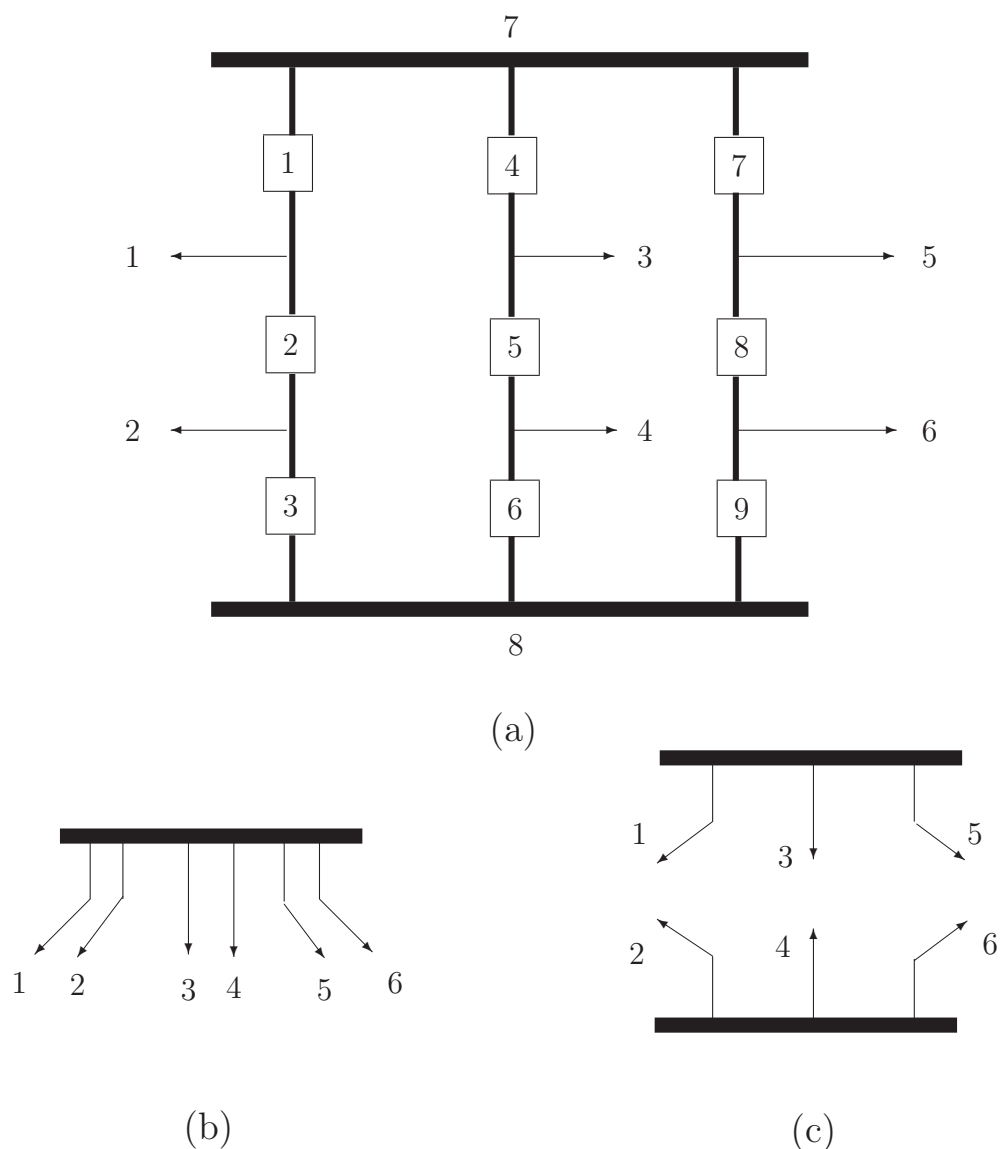


Figura 1.3: Exemplos de configuração de rede. Caso (b): todos os disjuntores fechados; caso (c): disjuntores 2, 5 e 8 abertos.

1.2.1 Configuração de Subestação

Nesta etapa é feito o processamento de seções de barramento de cada subestação para determinar se são interconectadas por disjuntores. Partindo-se da consideração inicial de que cada seção de barramento é uma barra potencialmente isolada, as posições de chaves e disjuntores são processadas usando algoritmos topológicos baseados na teoria dos grafos. Ao final desta etapa, todas as seções de barramento interconectadas por disjuntores irão compor uma barra, que deve ser identificada de maneira bem definida, juntamente com as seções de barramento que a constituem.

1.2.2 Configuração de Rede

Durante este estágio, possíveis ilhamentos da rede são identificados. O mesmo procedimento baseado em algoritmos extraídos da teoria de grafos é novamente utilizado. Entretanto, ao invés de se combinar seções de barramento através de disjuntores fechados, agora as barras determinadas na etapa 1 são combinadas através de ramos (linhas e transformadores) para formar ilhas. Ao final, todas as ilhas que tem geração (*ilhas energizadas*) são identificadas.

1.2.3 Tabulação de Resultados

Trata-se da tabulação de todo o equipamento conectado às barras. As tabelas resultantes devem ser adequadamente estruturadas para uso nos aplicativos subsequentes.

1.3 Algoritmos para Configuração de Redes

1.3.1 Terminologia e Convenções

Toda *subestação* será identificada por um número. Uma subestação é precisamente definido pelo fato de se tornar um único nó elétrico quando todos os disjuntores estiverem fechados. Por convenção, será denominado *circuito* qualquer linha, seção de barra ou transformador eletricamente conectado(a) a um disjuntor. Cada circuito é também identificado por um número. Um disjuntor estará sempre conectado entre dois (e somente dois) circuitos. Também por convenção, será considerado que uma variável lógica associada *status* será feita igual a 1 quando um disjuntor estiver fechado. Se o disjuntor estiver aberto, então *status* = 0.

1.3.2 Algoritmo para Configuração de Subestações

O algoritmo descrito a seguir será utilizado para configurar cada subestação do sistema.

1. Atribuir a cada circuito K da subestação um número $F(K)$, formando assim um *vetor auxiliar de indicadores* F (F deve ser iniciado como $F_0(K) = K$);
2. Percorrer a lista de disjuntores verificando, para cada um deles, se está fechado ($status = 1$) ou aberto ($status = 0$), desta forma conectando ou não seus circuitos terminais i e j :
 - Se $status = 1$, atualize $F(i)$ e $F(j)$ fazendo o maior dentre estes igual ao menor;
 - Se $status = 0$, passe ao próximo disjuntor da lista.

Se a lista de disjuntores foi totalmente percorrida, verifique se, nesta etapa, houve alguma atualização de indicadores.

- Em caso positivo, recomece o passo 2;

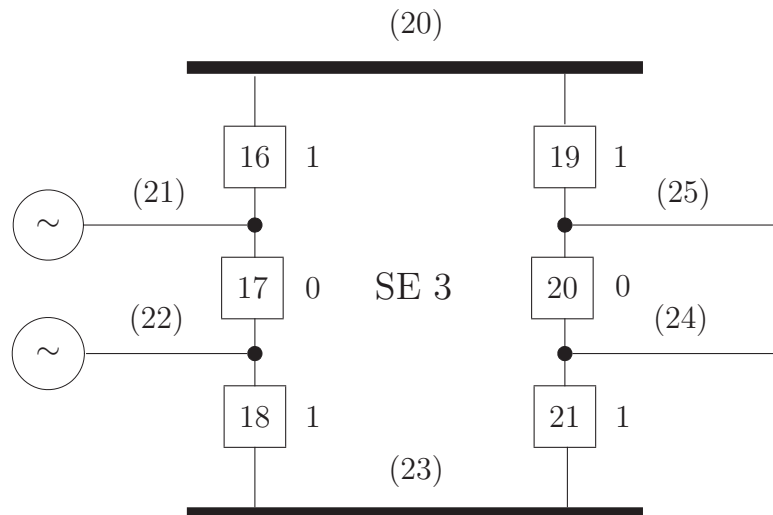


Figura 1.4: Exemplo de Configuração de uma subestação

- Em caso negativo, vá para o passo 3;
3. Identificar os circuitos cujos indicadores F são iguais. Estes circuitos estão conectados a um mesmo nó da subestação. Além disso, o número de nós da subestação é igual ao número de valores diferentes no vetor F .

1.3.3 Exemplo

A Fig.(1.4) representa os circuitos e disjuntores de uma subestação, identificada pelo número 3. Todos os circuitos e disjuntores são igualmente identificados por números. Adicionalmente a variável *STATUS* que indica a abertura ou fechamento dos disjuntores está indicada ao lado de cada disjuntor. A Tabela 1.1 apresenta os dados associados em forma tabular. As primeiras quatro colunas da tabela são originárias do banco de dados estático do sistema. Os dados de topologia de uma subestação são armazenados sob a forma de uma lista encadeada. Assim, $k = PRIM(i)$ indica o primeiro disjuntor da seqüência de disjuntores da subestação i . Os disjuntores restantes são apontados sucessivamente pela lista *PROX*. Assim, $PROX(k)$ indica o próximo disjuntor da subestação i . Um valor igual a zero para *SEQDJ* aponta o término da lista de disjuntores da subestação. Os vetores paralelos $A(k)$ e $B(k)$ indicam os pares de circuitos que podem ser interconectados pelo disjuntor k . Finalmente, a lista *STATUS*, que é formada a partir de dados obtidos do sistema SCADA, indica o *status* de cada disjuntor.

O primeiro passo do algoritmo da subseção anterior é a formação do vetor auxiliar de indicadores F_0 . No presente exemplo, o processamento do status dos disjuntores na primeira iteração gera o novo vetor de indicadores F_1 , indicado na Tabela 1.2. O fato de ter ocorrido atualização de indicadores nesta iteração torna necessária a repetição do procedimento, o que gera o vetor F_2 . É fácil verificar que uma terceira execução do procedimento não alterará os valores em F_2 . Verifica-se portanto que apenas dois valores diferentes aparecem em F_2 , a saber, 20 e 22. Isto indica que a subestação com

Tabela 1.1: Dados para exemplo de configuração de subestação

SE	PRIM		DISJ	PROX	PAR CIRC.		STATUS
					A(i)	B(i)	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	21	→ (21)	16	22	→ 20	21	1
⋮	⋮	(22)	17	23	21	22	0
⋮	⋮	(23)	18	24	22	23	1
⋮	⋮	(24)	19	25	20	25	1
⋮	⋮	(25)	20	26	24	25	0
⋮	⋮	(26)	21	0	23	24	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Tabela 1.2: Resultados da configuração de subestação

Circ.	$F_0(i)$	$F_1(i)$	$F_2(i)$
20	20	20	20
21	21	20	20
22	22	22	22
23	23	22	22
24	24	22	22
25	25	20	20

os *status* de disjuntores indicados gera dois nós elétricos. Os circuitos conectados a cada nó são aqueles aos quais correspondem os mesmos valores de $F_2(j)$. A Fig.(1.5) apresenta o resultado da configuração da subestação na forma de diagrama unifilar.

1.3.4 Configuração da Rede

Após a configuração de cada subestação do sistema de potência, o passo seguinte é a configuração da rede elétrica. Esta etapa parte dos resultados da etapa anterior procurando, através do processamento dos ramos (isto é, linhas e transformadores) interconectar as subestações previamente configuradas. O mesmo algoritmo utilizado para configuração de subestações é novamente utilizado, com a diferença de que os disjuntores agora são substituídos pelos ramos (que são encarados como disjuntores sempre fechados) e os circuitos da aplicação anterior são agora os nós elétricos. Para melhor descrever o método, suponha que, ao final da etapa anterior, verificou-se as 5 subestações de um sistema hipotético geraram 9 nós, conforme indicado na Tabela 1.3. A Fig.(1.6) ilustra graficamente os resultados da tabela.

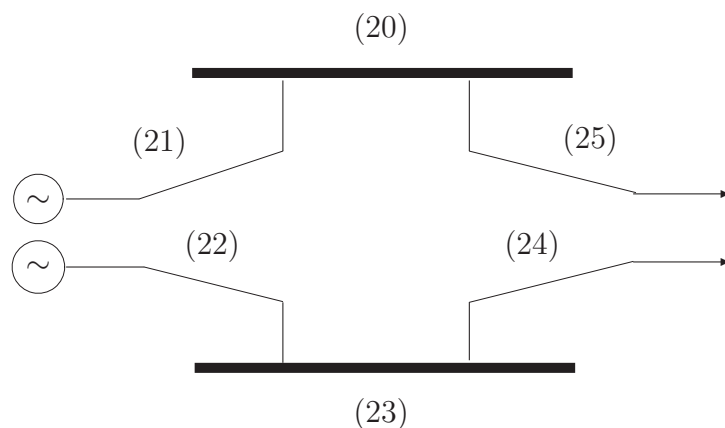


Figura 1.5: Diagrama resultante da configuração da subestação do exemplo

Tabela 1.3: Dados para a etapa de configuração da rede

Subestação	Nó i	Circs. adjacentes ao nó i
1	1	1, 3, 4
	2	2, 5
2	3	8, 9
	4	1, 2, 6
3	5	3, 5, 6
	6	4
	7	8, 10
4	8	7, 9, 10
5	9	7

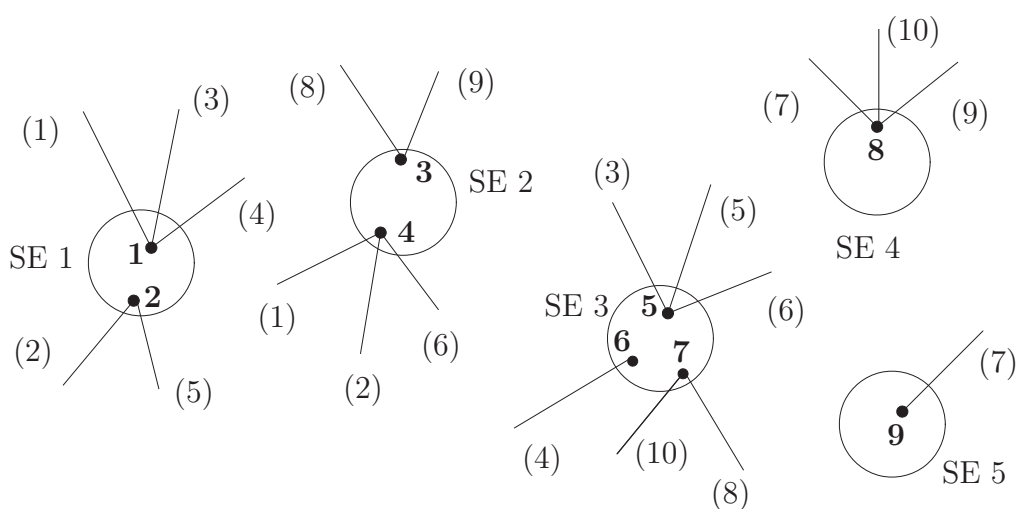


Figura 1.6: Exemplo para ilustrar etapa de configuração da rede

Tabela 1.4: Resultados da etapa de configuração da rede

Ramo	I	J	Evolução do apontador $F(i)$			
			Nós	$F_0(i)$	$F_1(i)$	$F_2(i)$
1	1	4	1	1	1	1
2	2	4	2	2	1	1
3	1	5	3	3	3	3
4	1	6	4	4	1	1
5	2	5	5	5	1	1
6	4	5	6	6	1	1
7	8	9	7	7	3	3
8	3	7	8	8	3	3
9	3	8	9	9	8	3
10	7	8				

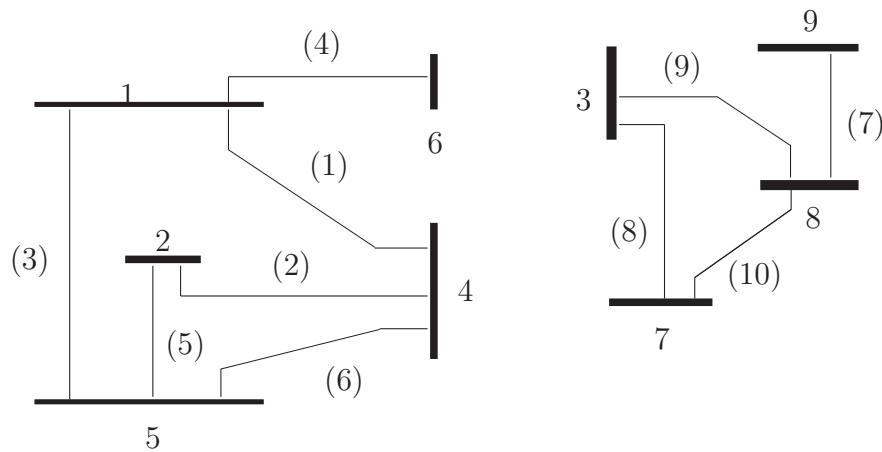


Figura 1.7: Diagrama com o resultado da etapa de configuração da rede

Os resultados de aplicação do algoritmo descrito na Seção 2.3 estão ilustrados na Tabela 1.4. As primeiras três colunas da tabela indicam as barras terminais de cada ramo, enquanto que as últimas três colunas mostram a evolução do vetor de apontadores F_k ao longo das iterações preconizadas no algoritmo. A Fig.(1.7) mostra o resultado final da configuração da rede elétrica. Verifica-se que, no caso do exemplo, a rede é desconexa, sendo composta de duas ilhas: a primeira é formada pelos nós elétricos 1, 2, 4, 5, e 6, e a segunda contém os nós 3, 7, 8, 9.

1.4 Essencialidade de Ramos da Rede Elétrica

Diz-se que um ramos da rede é *essencial* se sua desconexão produzir ilhamentos na rede. A análise de essencialidade é importante na medida em que seus resultados podem subsidiar a Análise de Contingências. Algoritmos similares ao descrito neste capítulo podem ser desenvolvidos para realizar a Análise de Essencialidade dos ramos

da rede, isto é, para determinar os ramos cuja desconexão provocaria ilhamentos na rede elétrica.

1.5 Exercícios

1. Considere a sub-rede elétrica formada por duas subestações que podem operar interligadas, conforme indicado na figura 1.8, onde os números entre parênteses denotam os diversos circuitos da rede. Os dados provenientes do sistema SCADA sobre o status dos disjuntores (denotados por D_i) são fornecidos na tabela abaixo, onde A e F significam respectivamente disjuntor *aberto* e *fechado*.

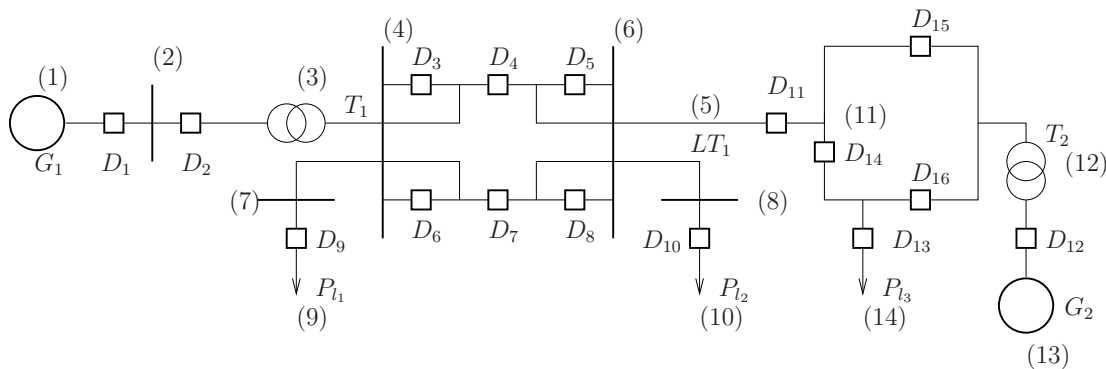


Figura 1.8: Diagrama no nível de seção de barra para Exercício 1.

- (a) Aplique o algoritmo básico do configurador de redes para determinar a configuração de cada uma das subestações do sistema;
- (b) A partir dos resultados do item anterior e ainda utilizando o algoritmo do configurador, determine a configuração da rede elétrica;
- (c) Tendo por base as tabelas de configuração resultantes dos itens anteriores, esboce o diagrama do modelo barra-ramo da rede elétrica.

Tabela de status de disjuntores

D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}	D_{15}	D_{16}
F	F	F	A	F	F	A	F	F	F	F	F	A	A	F	A