



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GAT/02
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

Integração Elétrica de Sistemas Eólicos – Caso CGE Barra dos Coqueiros/SE

Milthon Serna Silva(*)
UFS

José Geraldo B. M. de Andrade
ABB

Edivaldo G. dos S. Júnior
TNL

RESUMO

O programa computacional *PowerFactory*TM, desenvolvido pela empresa DlgSILENT GmbH da Alemanha, constitui-se numa ferramenta alternativa ao programa computacional ANAREDE [4] exigido pela EPE para apresentação dos estudos de integração elétrica dos projetos a serem submetidos nos leilões de energia. Neste estudo, através do *PowerFactory*TM, foi simulada a planta da Central de Geração Eólica (CGE) Barra dos Coqueiros e sua interligação ao sistema elétrico da concessionária ENERGISA na Subestação Elétrica Porto (69 kV), nos diferentes cenários de operação, com o objetivo de avaliar os impactos e comportamento do sistema elétrico em regime permanente.

PALAVRAS-CHAVE

Estudos de Sistemas de Potência, Interligação ao Sistema Elétrico, Software de Integração Elétrica.

1.0 - INTRODUÇÃO

Esta pesquisa analisa os resultados da integração da Central de Geração Eólica (CGE) Barra dos Coqueiros, localizada no município de Barra dos Coqueiros, no estado de Sergipe, ao sistema elétrico da concessionária ENERGISA. A CGE Barra dos Coqueiros é o primeiro parque eólico implantado em Sergipe, com uma potência instalada de 34,5 MW, composto por 23 aerogeradores de 1,5 MW cada e está conectado ao barramento de 69 kV da subestação – SE Porto que, por sua vez, está conectada ao regional SE Itabaiana da CHESF com barramento também de 69 kV. Na realização deste estudo foi empregado o programa computacional *PowerFactory*TM, desenvolvido pela empresa DlgSILENT GmbH da Alemanha. Este software é uma ferramenta matemática com interface gráfica que permite a montagem de sistemas de potência e esquemas de controle utilizando diagramas unifilares; ele disponibiliza ferramentas de cálculos de fluxo de carga, curto-circuito, harmônicas, transitórios eletromecânicos e eletromagnéticos, proteção de sobrecorrente e de distância e estudo de confiabilidade. O *PowerFactory*TM constitui-se numa ferramenta alternativa ao programa computacional ANAREDE exigido pela EPE nos leilões de energia.

Através do *PowerFactory*TM foi simulada a planta da CGE Barra dos Coqueiros e sua interligação ao sistema elétrico da concessionária ENERGISA na SE Porto, nos diferentes cenários de operação, com o objetivo de avaliar os impactos e comportamento do sistema elétrico em regime permanente.

2.0 - CGE BARRA DOS COQUEIROS

Distando aproximadamente 18 km de Aracaju, a CGE Barra dos Coqueiros consiste no primeiro parque eólico implantado em Sergipe, ocupa uma área de 270 hectares, é composto por 23 aerogeradores modelo SL1500/82, de fabricação da chinesa SINOVEL [6], com 1,5 MW de potência, máquina do tipo DFIG, tensão de saída de 0,69

(*) Av. Marechal Rondon, S/N – DEL – Cidade Universitária - CEP 49100-000 - São Cristóvão, SE – Brasil
Tel: (+55 79) 2105-6835 – Fax: (+55 79) 2105-6847 – Email: milthons@ufs.br

kV que é elevada a 34,5 kV por transformador de 1,7 MVA do tipo Dyn11 presente em cada um dos aerogeradores. A Figura 1 mostra a configuração da máquina dos aerogeradores.

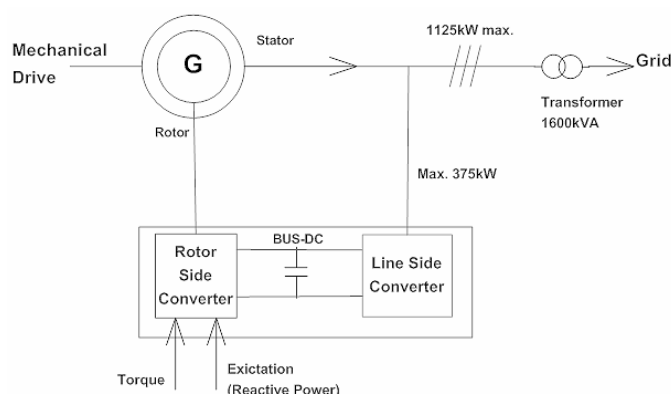


FIGURA 1 – Configuração da Máquina SL1500/82 da SINOVEL

Os aerogeradores da CGE Barra dos Coqueiros foram alocados em 2(dois) alimentadores de 34,5 kV; o alimentador 1 é composto por 12(doze) aerogeradores que perfazem 18 MW de potência, e o alimentador 2, que perfaz 16,5 MW de potência, é composto por 11(onze) aerogeradores. A rede de cada alimentador é do tipo aérea construída por cabos de 266,8 kcmil. A Figura 2 mostra a topologia de interligação dos aerogeradores da CGE Barra dos Coqueiros [7].

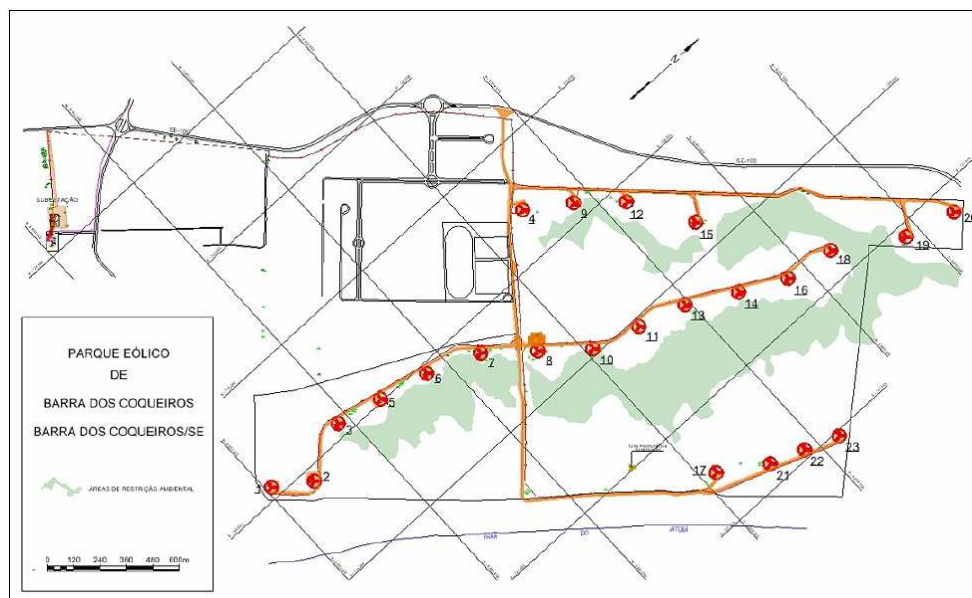


FIGURA 2 - Topologia de Interligação dos Aerogeradores da CGE Barra dos Coqueiros

A conexão de cada alimentador da CGE ao sistema elétrico é feita através da elevação da tensão para 69 kV por meio de transformadores de 20 MVA do tipo Ynd1 conectando-se à concessionária ENERGISA na SE Porto com barramento de 69 kV, que, neste mesmo potencial, está ligada ao regional Itabaiana da CHESF, conforme mostra a Figura 3.

3.0 - O PROGRAMA ANAREDE

No Brasil, o programa computacional mais utilizado na área de sistemas elétricos de potência é o ANAREDE, este é formado por um conjunto de aplicações, que na versão V09.04.05, para realização de estudos em regime permanente, consiste dos seguintes aplicativos: Fluxo de Potência, Equivalente de Redes, Análise de Contingências, Análise de Sensibilidade de Tensão, Análise de Sensibilidade de Fluxo, Redespacho de Potência Ativa e Fluxo de Potência Continuado [4, 8].

Até a versão V08, o ANAREDE tinha interface por linha de comando em ambiente DOS. Em 2004 a CEPEL desenvolveu uma interface em ambiente Windows como *front-end* e, desde a versão V09.00.00 foi implementada a versão gráfica do ANAREDE que veio a facilitar a criação de diagramas unifilares e o reaproveitamento dos diagramas existentes no ambiente DOS, bem como o aumento das dimensões básicas do programa.

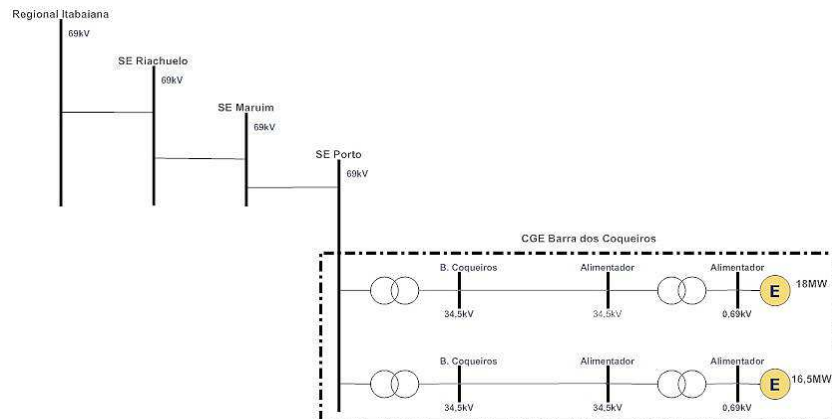


FIGURA 3 – Topologia Resumida de Conexão da CGE Barra dos Coqueiros ao Sistema Elétrico

4.0 - O PROGRAMA DIGSILENT *POWERFACTORY*TM

O programa *PowerFactory*TM foi desenvolvido pela empresa DlgSILENT GmbH – **D**igital **S**imuLation and **E**lectrical **N**eTwork [1, 2, 3, 4, 5], cuja sede localiza-se na cidade de Gomaringen na Alemanha. Esta companhia é especializada no desenvolvimento de programas para análise da integração da geração, transmissão e distribuição de energia em sistemas de potência.

O *PowerFactory*TM é uma ferramenta matemática implementada em ambiente computacional com interface gráfica que permite a montagem de sistemas de potência e esquemas de controle utilizando diagramas unifilares. A precisão e validação dos resultados foram obtidos com grande número de implementações feitas por concessionárias de energia em estudos de planejamento, operação e manutenção de sistemas reais. Dentre as ferramentas disponibilizadas pelo programa destacam-se os cálculos de fluxo de carga, curto-circuito, harmônicas, transitórios eletromecânicos e eletromagnéticos, proteção de sobrecorrente e de distância e estudo de confiabilidade.

4.1 Interface Gráfica

O *PowerFactory*TM é um programa que permite a simulação e construção de modelos de controladores usando diagramas unifilares. A interface gráfica do programa permite acesso direto, no diagrama unifilar, aos parâmetros dos elementos relacionados à rede e aos controladores como máquinas, cargas e linhas de transmissão. Existem três tipos de telas de construção para diferentes aplicações:

- Grid* (Rede) → Interface com ferramentas que permitem a construção de redes de sistemas de potência. Ver Figura 4;
- Block Diagram* (Diagrama de blocos) → Tela para implementação dos modelos dos controladores e turbina;
- Virtual Instrument Panel* (Construção de Gráficos) → Tela para construção de gráficos; no *PowerFactory*TM a geração de gráficos dá-se em tempo real de simulação, o que permite fazer análises parciais sem a necessidade de aguardar o fim da simulação.

4.2 Gerenciador de Dados

Todas as construções feitas na interface gráfica são automaticamente identificadas, relacionadas e armazenadas em um banco de dados. Esse banco permite a construção de blocos de controle e gerencia a interligação destes blocos com elementos de rede, como por exemplo, conversores e seus controles.

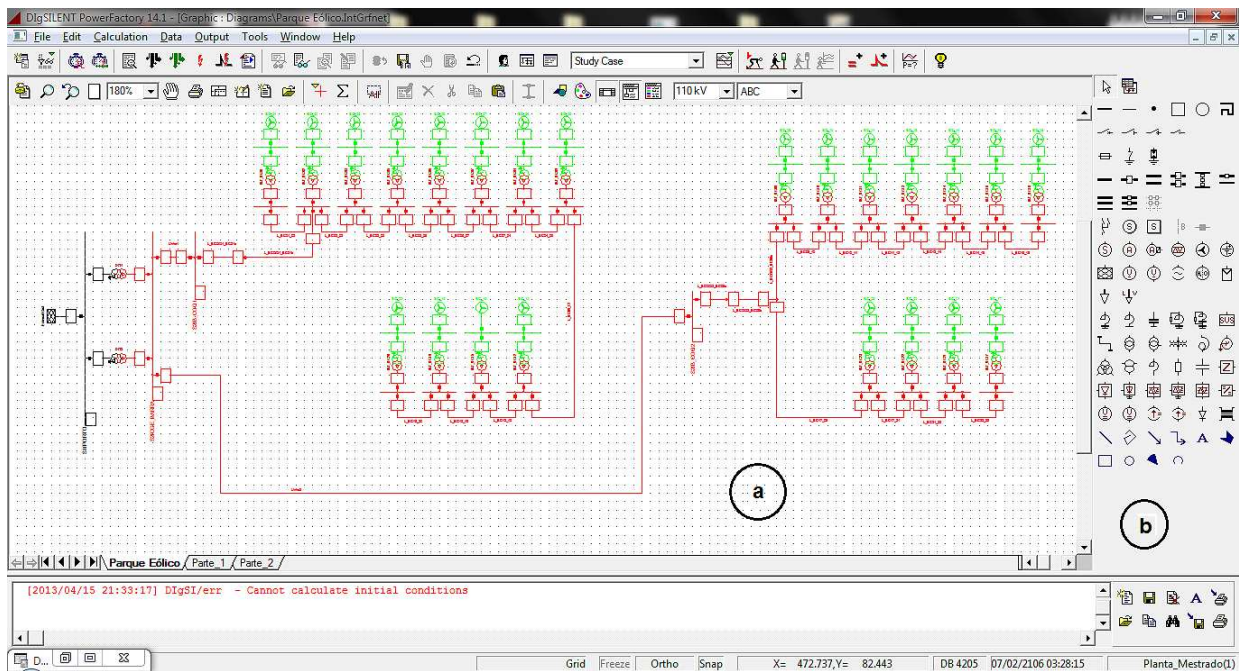


FIGURA 4 - Tela de Rede: a) Janela para construção da rede; b) Elementos para compor a rede

4.3 Simulação

Após a montagem da rede, estão disponíveis três tipos de simulação:

- Fluxo de carga → cálculo da rede em regime permanente utilizando o método linear (fluxo de carga CC) ou método de Newton-Rapson que possibilita a simulação de sistemas balanceados ou desbalanceados;
- Cálculo das condições iniciais → possibilita o cálculo das condições iniciais, mesmo sem iniciar a análise dinâmica. Os modelos já existentes no *PowerFactory*TM possuem inicialização automática de suas variáveis, cujos valores são obtidos baseado no cálculo do fluxo de carga. Contudo, todos os blocos dos modelos montados pelo usuário devem conter valores iniciais das variáveis de entrada e saída ou equações que permitem o cálculo das mesmas automaticamente;
- Cálculo de estabilidade transitória → cálculo do comportamento dinâmico do sistema. Antes do início do processo de simulação dinâmica, automaticamente calcula-se o fluxo de carga e as condições iniciais. O *PowerFactory*TM permite simulação dinâmica de duas formas:

- EMT¹: Cálculo dinâmico utilizando valores instantâneos. Todos os elementos de rede são modelados usando equações diferenciais, portanto, em geral, os resultados dos transitórios eletromagnéticos dessa simulação são mais precisos e o custo computacional é alto, quando comparado com a simulação RMS;

- RMS: Cálculo dinâmico fazendo uso de valores eficazes. A rede é modelada usando equações algébricas, isto é, usa o modelo de regime permanente; esta representação visa à redução de esforços computacionais e é indicada para análise de transitórios mecânicos, pois não há diferenças nos resultados dos parâmetros mecânicos obtidos pela simulação usando valores eficazes ou valores instantâneos.

5.0 - SIMULAÇÃO DA CGE BARRA DOS COQUEIROS

Na simulação do parque eólico, foi utilizado o *PowerFactory*TM na versão 14.1.3 com disponibilidade para 50(cinquenta) nós. Na construção do diagrama de rede, foram consideradas todas as características/parâmetros dos equipamentos instalados no parque eólico, ou seja, os 23 (vinte e três) aerogeradores, respectivos transformadores elevadores 690V para 34,5 kV e suas conexões aos alimentadores correspondentes, a topologia de interligação dos alimentadores e os transformadores da SE elevatória de 34,5 kV para 69 kV que conecta o parque eólico ao sistema elétrico através da SE Porto da ENERGISA.

¹ *Electromagnetic Transients*

São apresentados na Tabela 1 os transformadores usados na simulação e na Tabela 2 as linhas de transmissão. Não foi considerada a topologia do sistema elétrico a partir da SE Porto, a qual foi modelada como uma rede externa.

TABELA 1 - Relação de Transformadores usados na Simulação da CGE Barra dos Coqueiros

Equipamento	Tipo	Equipamento	Tipo
01T_BC01	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC14	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC02	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC15	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC03	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC16	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC04	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC17	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC05	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC18	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC06	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC19	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC07	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC20	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC08	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC21	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC09	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC22	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC10	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T_BC23	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1
01T_BC11	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T1	Trafo 69/34.5kV 20MVA YNd1
01T_BC12	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1	01T2	Trafo 69/34.5kV 20MVA YNd1
01T_BC13	Trafo 34.5/0.69kV 10MVA Dyn1		

TABELA 2 - Relação das Linhas de Transmissão Simuladas na CGE Barra dos Coqueiros

Linha	Tipo	l (km)	Equipamento	Linha	l (km)
L_BCOQ2_BC08a	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,250	L_BC12_15	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,308
L_BCOQ2_BC08b	Cabo EPR 20/35kV - 300mm ²	3,730	L_BC15_19	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	1,120
L_BCOQ2_BC08c	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,108	L_BC19_20	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,232
L_BCOQ1_BC01a	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,250	L_BC08_10	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,254
L_BCOQ1_BC01b	Cabo EPR 20/35kV - 300mm ²	2,150	L_BC10_11	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,212
L_BC01_02	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,310	L_BC11_13	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,254
L_BC02_03	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,250	L_BC13_14	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,253
L_BC03_05	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,230	L_BC14_16	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,229
L_BC05_06	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,333	L_BC16_18	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,242
L_BC06_07	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,284	L_BC17_08	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	1,528
L_BC07_04	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,732	L_BC17_21	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,271
L_BC04_09	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,238	L_BC21_22	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,168
L_BC09_12	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,328	L_BC22_23	Cabo 20/35kV - 266.8 kcmil	0,180

Foram executados os cálculos da rede para os seguintes casos: Fluxo de Carga, Fluxo Ótimo de Carga e Curto-Circuito, para estes cálculos as condições iniciais parametrizadas foram as seguintes:

- Método de simulação RMS;
- Representação desbalanceada trifásica;
- Passo de integração máximo de 0,1s;
- Controle de integração com erro máximo das equações de estado de 0,1% com o máximo de 10 interações sucessivas de estado;
- Controle de interação de erro máximo de equações nodais de 1 kVA, 1% de erro máximo de equações de modelo com limite de 5 interações de recálculo da matriz Jacobiana.

Por limitação da licença disponível do *PowerFactory*TM, que é de apenas 50(cinquenta) nós, fez-se necessário colocar um aerogerador fora de serviço, neste caso foi escolhido o aerogerador denominado BC_20, que faz parte do Alimentador 2, fazendo com que o referido alimentador venha a ter 16,5 MW de potência.

Ao aplicar a execução do cálculo das condições iniciais foi observada a geração total de 33 MW, conforme mostra o relatório apresentado na Figura 5, o que era esperado devido à desconsideração de 1(um) aerogerador.

		DigSILENT PowerFactory 14.1.3		Project: Date: 19/04/2013	
Calculation of Initial Conditions				Total System Summary	
Unbalanced, 3-Phase (ABC)			Maximum Error of Model Equations 1,00 %		
Total System Summary		Study Case: Study Case		Annex: / 1	
<p> Generation = 33,00 MW 0,00 Mvar 33,00 MVA External Infeed = -32,85 MW -0,35 Mvar 32,85 MVA Load P(U) = 0,00 MW 0,00 Mvar 0,00 MVA Load P(Un) = Load P(Un-U) = Motor Load = 0,00 MW 0,00 Mvar 0,00 MVA Grid Losses = 0,15 MW -0,34 Mvar Line Charging = Compensation ind. = 0,00 Mvar Compensation cap. = 0,00 Mvar Installed Capacity = Spinning Reserve = </p> <p> Total Power Factor: Generation = 1,00 [-] Load/Motor = 0,00 / 0,00 [-] </p>					

FIGURA 5 – Relatório do Sumário do Sistema para as Condições Iniciais

Os cálculos do fluxo de potência mostram um carregamento de 82,19% no transformador 01T1, responsável pela conexão do alimentador 1 à SE Porto, com potência aparente de 16,44 MVA; no transformador 01T2, responsável pela conexão do alimentador 2 à SE Porto, um carregamento de 82,09%, com potência aparente de 16,42 MVA. Todos os aerogeradores apresentam 100% de carregamento e potência aparente de 1,5 MVA. O relatório do cálculo do fluxo de potência é apresentado na Figura 6.

Para o cálculo do Fluxo de Potência foram consideradas as seguintes premissas:

- Método do fluxo de potência de Newton-Raphson com 25 iterações;
- Fluxo de carga AC, balanceada, na sequência positiva;
- Transformadores sem ajuste automático de TAP;
- Desconsiderados os limites de potência reativa;
- Adaptação automática do modelo para convergência;
- Erro máximo aceitável do fluxo de potência 1,0 kVA para nós.

Load Flow Calculation								
AC Load Flow, balanced, positive sequence Automatic Tap Adjust of Transformers Consider Reactive Power Limits Automatic Model Adaptation for Convergence			No No Yes	Max. Loading of Edge Element Lower Limit of Allowed Voltage Upper Limit of Allowed Voltage		80,00 % 0,95 p.u. 1,05 p.u.		
				DigSILENT PowerFactory 14.1.3	Project:			
					Date: 19/04/2013			
Study Case: Study Case					Annex: / 1			
Name	Type	Loading [%]	Voltage [p.u.]	[kV]	Station/Branch	Apparent Power [MVA]	Current [kA]	[p.u.]
Overloaded Elements								
L_BC0Q1_BC01a	Lne	89.90			S2(1)/B_COQ1	16,45	0,28	0,90
					SUBESTAÇÃO_2/Termin...	16,45	0,28	0,90
L_BC0Q2_BC08a	Lne	89.78			SUBESTAÇÃO_2/Termin...	16,43	0,27	0,90
					S2(2)/B_COQ2	16,43	0,27	0,90
01T1	Tr2	82.19			SUBESTAÇÃO_1/PORTO	16,44	0,14	0,82
					S2(1)/B_COQ1	16,45	0,28	0,82
01T2	Tr2	82.09			SUBESTAÇÃO_1/PORTO	16,42	0,14	0,82
					S2(2)/B_COQ2	16,43	0,27	0,82
BC_01	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	1,00
BC_02	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	1,00
BC_03	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	1,00
BC_04	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	1,00
BC_05	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	1,00
BC_06	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	1,00
BC_07	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	1,00
BC_08	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_09	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	1,00
BC_10	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_11	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_12	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_13	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_14	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_15	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_16	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_17	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_18	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_19	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_21	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_22	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99
BC_23	Genstat	100.00			SUBESTAÇÃO_2/Terml...	1,50	1,25	0,99

FIGURA 6 – Relatório do Cálculo do Fluxo de Potência

O cálculo do fluxo ótimo de potência demonstra um total de perdas de 0,15 MW apresentadas na carga. O método aplicado foi o de otimização AC que objetiva a minimização das perdas. A Figura 7 apresenta o cálculo do fluxo ótimo de potência.

		DigSILENT PowerFactory 14.1.3		Project: Date: 19/04/2013	
Optimal Power Flow					
			Max. Acceptable Error for Nodes		1,00 kVA
			Max. Acceptable Error for Model Equations		0,10 %
Total System Summary			Study Case: Study Case		Annex: / 9
Generation	Motor	Load	Compensation	External	Inter Area
	Load		Infeed		Flow
[MW]/	[MW]/	[MW]/	[MW]/	[MW]/	[MW]/
[Mvar]	[Mvar]	[Mvar]	[Mvar]	[Mvar]	[Mvar]
\\EGSJ\Planta_Mestrado(1)\Network Model\Network Data\Grid					
33,00	0,00	0,00	0,00	-32,85	0,00
-0,00	0,00	0,00	0,00	-0,34	0,00
Total:					
33,00	0,00	0,00	0,00	-32,85	0,15
-0,00	0,00	0,00	0,00	-0,34	-0,34
					0,15
					1,19
					-0,00
					-1,53

FIGURA 7 - Relatório do Cálculo do Fluxo Ótimo de Potência

Para análise de curto-circuito é executado o cálculo da corrente inicial simétrica de pico I_k e da potência de curto-circuito inicial simétrica S_k , a corrente de pico de curto-circuito i_p , a corrente simétrica de curto-circuito I_b e a corrente térmica equivalente I_{th} . As correntes mínima e máxima de curto-circuito podem também ser calculadas com base no fato “c” da tensão da rede.

Neste estudo o cálculo de curto-circuito foi utilizado com o método completo com falta do tipo trifásica, cálculo de máxima corrente de curto-circuito. A duração do curto teve 0,10 s e o tempo de eliminação da falha foi de 1,00 s. Observou-se valores de $S_k=621,18$ MVA em ambos alimentadores e nos aerogeradores, no lado de alta dos transformadores, valores de S_k variando de 422,01 MVA a 529,77 MVA, conforme demonstra a Figura 8.

							DigSILENT PowerFactory 14.1.3		Project: Date: 19/04/2013					
Verification Short-Circuit Calculation complete							3-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents							
Short-Circuit Duration Break Time Fault Clearing Time (Ith)				0,10 s 1,00 s		Fault Impedance Resistance, Rf Reactance, Xf		0,00 Ohm 0,00 Ohm						
Grid: Grid		System Stage: Grid							Annex: / 1					
		rtd. V [kV]	Voltage [kV]	c- [deg]	Factor	Sk* [MVA]	[kA]	Ik* [deg]	[kA]	Ik' [deg]	ip [kA]	Ib [kA]	ib [kA]	Ith [kA]
S2(1)														
B_COQ1		34,50	0,00	0,00	1,00	621,18	10,40	-119,72	10,40	-119,72	29,11	10,40	26,57	12,69
S2(2)														
B_COQ2		34,50	0,00	0,00	1,00	621,18	10,40	-119,72	10,40	-119,72	29,11	10,40	26,57	12,69
SUBESTACAO_1														
PORTO		69,00	0,00	0,00	1,00	9087,35	76,04	-84,50	76,04	-84,50	187,75	76,04	112,18	77,32
SUBESTACAO_2														
Term2_BC01		34,50	0,00	0,00	1,00	519,41	8,69	-113,94	8,69	-113,94	21,26	8,69	12,71	8,83
Term2_BC02		34,50	0,00	0,00	1,00	529,77	8,87	-114,64	8,87	-114,64	22,01	8,87	13,16	9,02
Term2_BC03		34,50	0,00	0,00	1,00	521,26	8,72	-114,09	8,72	-114,09	21,40	8,72	12,79	8,86
Term2_BC05		34,50	0,00	0,00	1,00	513,64	8,60	-113,60	8,60	-113,60	20,86	8,60	12,50	8,72
Term2_BC06		34,50	0,00	0,00	1,00	502,96	8,42	-112,91	8,42	-112,91	20,14	8,42	12,13	8,56
Term2_BC07		34,50	0,00	0,00	1,00	494,16	8,27	-112,34	8,27	-112,34	19,56	8,27	11,86	8,37
Term2_BC04		34,50	0,00	0,00	1,00	472,69	7,91	-110,96	7,91	-110,96	18,20	7,91	11,26	7,99
Term2_BC09		34,50	0,00	0,00	1,00	466,07	7,80	-110,54	7,80	-110,54	17,80	7,80	11,09	7,88
Term2_BC12		34,50	0,00	0,00	1,00	457,21	7,65	-109,97	7,65	-109,97	17,28	7,65	10,86	7,73
Term2_BC08		34,50	0,00	0,00	1,00	478,64	8,01	-111,91	8,01	-111,91	18,76	8,01	11,45	8,10
Term2_BC10		34,50	0,00	0,00	1,00	471,44	7,89	-111,44	7,89	-111,44	18,31	7,89	11,25	7,98
Term2_BC11		34,50	0,00	0,00	1,00	465,59	7,79	-111,05	7,79	-111,05	17,94	7,79	11,09	7,87
Term2_BC13		34,50	0,00	0,00	1,00	458,75	7,68	-110,61	7,68	-110,61	17,53	7,68	10,91	7,76
Term2_BC14		34,50	0,00	0,00	1,00	452,12	7,57	-110,17	7,57	-110,17	17,13	7,57	10,75	7,64
Term2_BC16		34,50	0,00	0,00	1,00	446,28	7,47	-109,78	7,47	-109,78	16,79	7,47	10,60	7,54
Term2_BC18		34,50	0,00	0,00	1,00	440,26	7,37	-109,38	7,37	-109,38	16,44	7,37	10,45	7,43
Term2_BC17		34,50	0,00	0,00	1,00	425,97	7,13	-108,45	7,13	-108,45	15,65	7,13	10,10	7,19
Term2_BC21		34,50	0,00	0,00	1,00	430,19	7,20	-108,73	7,20	-108,73	15,88	7,20	10,20	7,26

FIGURA 8 - Parte do Relatório do Cálculo de Curto-Circuito

6.0 - CONCLUSÃO

O DigSILENT *PowerFactory*TM demonstra ser uma ferramenta computacional para simulação de sistemas elétricos de potência muito rica, pois permite a construção da rede por meio de diagramas unifilares e fornece diversos subsídios de análise e simulação de redes; os seus recursos são comparáveis aos disponíveis no ANAREDE. Embora a simulação da CGE Barra dos Coqueiros não possa ter sido realizada na sua plenitude, uma vez que trata-se de pesquisa em andamento, os dados colhidos com a simulação no *PowerFactory*TM foram bastante esclarecedores.

Ao se dispor de uma versão com maior capacidade de nós, o estudo evoluiria para análises de comportamento do sistema elétrico quando da conexão da CGE referente às suas contribuições para o sistema.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DlgSILENT. DlgSILENT PowerFactory V14.1 - **User's Manual**. DlgSILENT GmbH, Alemanha, 2011a.
- (2) DlgSILENT. DlgSILENT PowerFactory V14.1 - **Getting Started**. DlgSILENT GmbH, Alemanha, 2011b.
- (3) HENRIQUES, R.M., ALVES, F.R.M., PEREIRA, L.A.C., PASSOS F, J.A. **O Programa ANAREDE - Novas Funcionalidades de Análise de Redes para Modo de Estudo em Centros de Controle**. XXI SNPTEE, Florianópolis, SC, Outubro 2011.
- (4) OLIVEIRA, C.B.M. **Desenvolvimento de Modelos no Programa DlgSILENT PowerFactory™ para o Estudo de Estabilidade Transitória em Sistemas Elétricos de Potência com Aerogerador**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Natal, RN, 2006.
- (5) DlgSILENT. DlgSILENT PowerFactory V14 - **Basic Software Features & Calculation Functions, Advanced Functions and Features**. DlgSILENT GmbH, Alemanha, 2013.
- (6) SINOVEL. **SL1500/89 WEC Technical Specification**. China, 2012.
- (7) ENGEVIX. **ENGEVIX Engenharia S/A Presentations**. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/engevix>>. Acesso em: 19 abr 2013, 10:15:20.
- (8) PEQUENO, L.E.B. **Novas Funcionalidades de Operação do Programa ANAREDE**. Monografia de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Milthon Serna Silva nasceu em Cusco, Peru, em 1972. Possui graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Sao Antonio Abad (UNSAAC) Peru, Mestrado e Doutorado em Sistemas de Potência pela Universidade de São Paulo (USP) Brasil e Pós-Doutorado em Geração Eólica na Brandenburgische Technische Universität (BTU) - Alemanha. Professor da Universidade Federal de Sergipe (UFS), colaborador da Revista Mecatrônica Atual, membro do IEEE, *Latin America Wind Energy Association* e do comitê SC13 do CIGRE. Trabalhou como consultor da Siemens na Alemanha. Realizou cursos de especialização em diferentes países como EUA, Índia, Itália e Áustria. Tem experiência no desenvolvimento de projetos principalmente nos seguintes temas: Monitoramento de sistemas elétricos e Geração de Energia Elétrica através de fontes não convencionais eólica, fotovoltaica e biomassa.



José Geraldo Barreto Monteiro de Andrade nasceu em São Paulo, São Paulo, em 1974. Possui graduação (1999), mestrado (2001) e doutorado (2007) em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), com ênfase em Sistemas de Potência. Atualmente faz parte da ABB *Brazil Consulting Business Unit* onde desenvolve diversos tipos de estudos necessários à integração e/ou modernização (inclusive através de dispositivos FACTS) de sistemas elétricos existentes ao SIN. Além disso, é professor do curso de sistemas de informação da Faculdade Impacta de Tecnologia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: coordenação de isolamento, simulação transitória, análise de estabilidade e proteção de sistemas elétricos.



Edivaldo Góis dos Santos Júnior nasceu em Aracaju, Sergipe, em 1968. Possui graduação em engenharia elétrica pela Faculdade Pio Décimo (2004); trabalha desde 1987 em telecomunicações na Telemar Norte Leste S/A. Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Sergipe, sua pesquisa versa sobre energia eólica.