

RELATÓRIO DO ESTUDO DE PARECER DE ACESSO DO LABORATORIO WEG AUTOMAÇÃO (WAU) JUNTO A CELESC

O presente relatório está dividido nos seguintes itens listados abaixo :

- 1. Introdução**
- 2. Descrição e Montagem do Circuito de Testes.**
- 3. Descrição e definição das simulações efetuadas.**
- 4. Análise dos Resultados Obtidos.**
- 5. Comentários e Conclusões do Estudo.**

1. Introdução

O presente documento tem por objetivo apresentar o estudo de parecer de acesso junto a CELESC da operação do laboratório de ensaios da WEG Equipamentos Elétricos S/A – Divisão Automação ora denominado Lab WAU. Nesse estudo e de acordo com o especificado nas documentações listadas abaixo, avaliar-se-á o impacto da operação do Lab WAU no sistema de 138 KV da CELESC no que tange ao aspecto de subtensão de curta-duração conforme determina o item 10.4 da especificação ONS(Diretrizes e Critérios para Estudos do Efeito Variação de Tensão de Curta Duração(VTCD)). Para tal, foram tomados como referências e diretrizes os seguintes documentos :

- Ata de Reunião – CELESC – 20/07/2007
- Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos – ONS – Procedimentos de Rede – 25/03/2002
- Dados do Anel Joinville – WEG (Dados do sistema de 138 KV fornecidos pela CELESC através de e-mail).
- Documento WEG – Análise da Proposta de Funcionamento do Laboratório WAU – 21/05/2007
- Documento WEG – Descrição do Modus Operantis do Laboratório de Ensaios de Interrupção – 01/07/2007

A equipe para a realização dos estudos será composta pelos seguintes profissionais:

Professor Doutor Carlos Eduardo de Moraes Ferreira (POLI-PEA-USP)

Pesquisador Doutor Francisco Antonio Reis Filho (POLI-PEA-USP)

2. Descrição e Montagem dos Circuitos de Teste

Para a execução dos estudos adotou-se a plataforma de software EMTP(Eletromagnetic Transient Program) pelo fato do mesmo ser abrangente nos seguintes aspectos :

- Possibilidade de simulações dinâmicas.
- Simulação de defeitos(curto-circuito) no sistema.
- Simulação de Transitórios Eletromagnéticos.

De posse dessa definição e levando-se em conta as informações contidas nas documentações listadas no item 1, fornecidas pela CELESC e pelo Lab WAU, montou-se a seguinte configuração de rede apresentada na Figura 1.

As barras sugeridas pela CELESC para serem avaliadas no circuito foram :

Tabela 1 – Barras avaliadas nas simulações

Barras Ensaeadas	
940	BLU-138
3334	BND-13.8
3327	BND-138
3329	BND-69
3331	BND-T1-24
3332	BND-T23-24
2231	GRM-13.8
2229	GRM-138
2230	GRM-34.5
1016	JOI-138
2250	JRL-13.8
2249	JRL-138
2256	JSL-138
2262	JSL-T2-13.8
2263	JSL-T3-13.8
2311	MWE-138
2367	WEG-138
2368	WFO-138

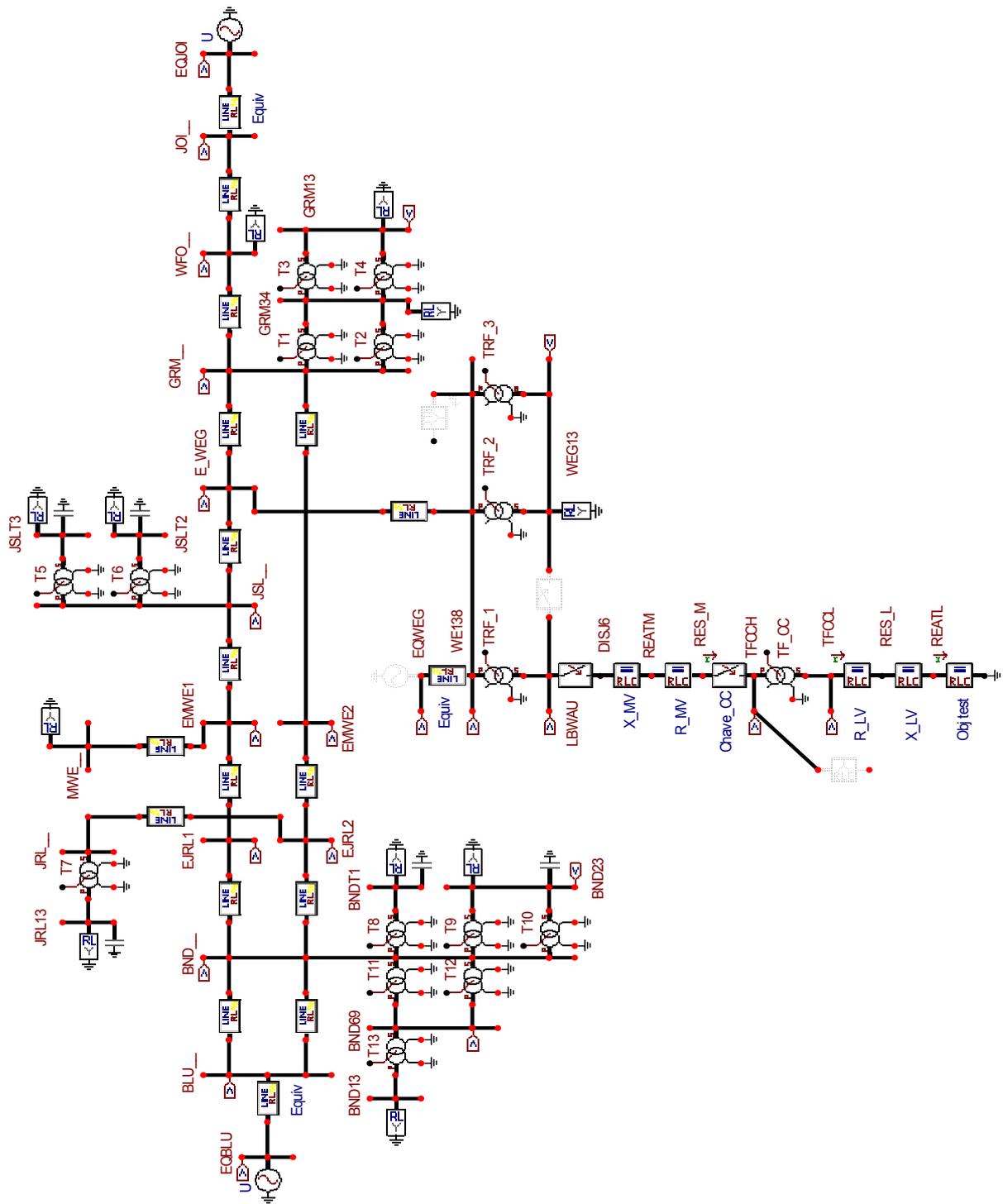


Figura 1 – Diagrama Unifilar – Circuito para Simulação

Para esse sistema foram representados :

- As linhas de Transmissão através de parâmetros concentrados com os dados fornecidos pela CELESC e devido ao fato de que seus respectivos comprimentos não ultrapassam a distância média de 50 km.
- Os transformadores de força de 138 / 13.8 kV através de sua impedância série sem o modelamento de suas características shunt e de sua curva de excitação.
- Foram modelados os bancos de Capacitores shunt nas barras de 13.8 kV.
- Os respectivos equivalentes foram inseridos nas barras de Blumenau e Joinville de 138 kV através de uma fonte ideal de tensão em série com as suas impedâncias de seqüência positiva e zero respectivamente.
- As cargas nas barras de 13.8 kV foram modeladas através de elementos passivos resistivos com valores próximos das potências nominais de cada subestação.

O circuito do laboratório do Lab WAU foi modelado de acordo com o esquema apresentado na Figura 2, que apresenta também as características dos equipamentos principais.

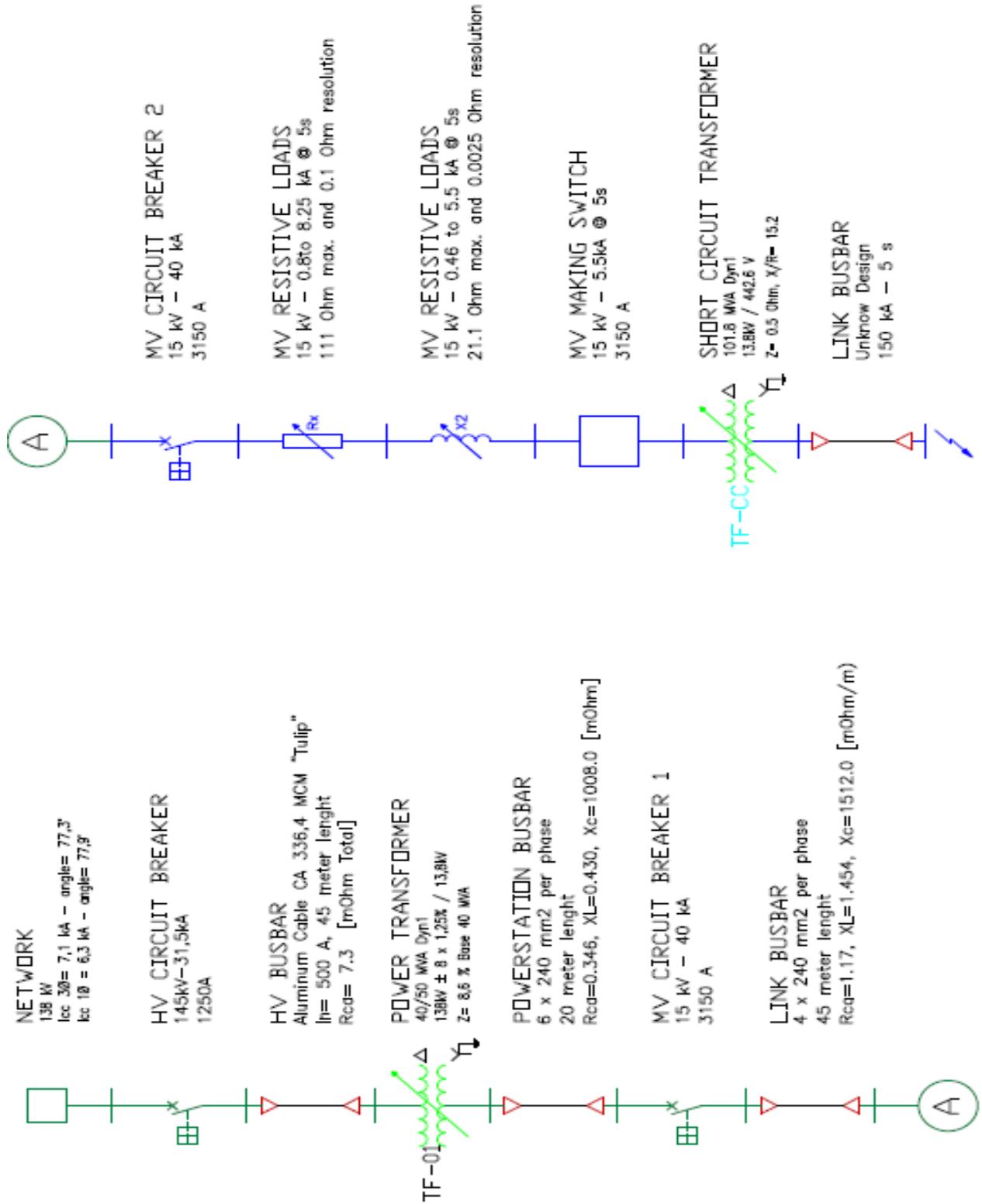


Figura 2 - Circuito de Sistema de ensaios Lab WAU

3. Descrição e definição das simulações efetuadas.

Uma vez definidas as topologias apresentadas nas figuras 1 e 2 para as respectivas simulações o próximo passo foi definir mais alguns parâmetros importantes conforme a seguir.

- O passo de integração utilizado foi de 1E-5 segundos ou uma frequência de amostragem de 1667 amostras/ciclo de 60 Hz.
- Os casos indicados como Melhor Caso são os que apresentam a menor variação de tensão enquanto os casos indicados como Pior Caso indicam os casos mais críticos obtidos para cada condição operativa simulada.
- Para a obtenção dos instantes críticos de estabelecimento do curto foram feitas, para cada condição analisada, 100 simulações estatísticas para o fechamento tripolar da chave. O sorteio foi realizado segundo uma distribuição normal com a média e desvio citados. Foi considerado um tempo médio de fechamento de 15 ms e um desvio padrão de 1,25 ms, correspondente a aproximadamente 27 graus elétricos (60 Hz).
- Conforme documentação da CELESC foram modelados os casos de sábado dia, sábado ponta e domingo, onde foram ajustados os respectivos ângulos das barras no fluxo de potência para que a rede ficasse com o carregamento próximo ao real.
- Os casos analisados e simulados foram focados na obtenção da corrente mais crítica de teste (150 kA / 440 V, equivalente a 480 A / 138 kV) no Lab WAU, nas três condições de carga mencionadas pela CELESC (sábado dia, sábado ponta e domingo).
- Foram simulados 100 casos de cada uma das condições de descritas a seguir:

Tabela 2 - Condições avaliadas nas simulações

	Sábado Dia	Sábado Ponta	Domingo
Calibração	0,1 segundo - 150 kA / 440 V / FP 0,2 equivalente a 480A / 138 kV / FP 0,2		
Breve Duração	3 segundos - 100 kA / 440 V / FP 0,2 equivalente a 320A / 138 kV / FP 0,2		

Nas Tabelas 3 a 5 a seguir, são apresentados os valores percentuais de queda de tensão para cada uma das condições descritas na Tabela 2, assim como os tensões de pico correspondentes encontrados nas simulações realizadas na barra de 138 kV da WEG, em relação a tensão de pico nominal de linha 1 PU ($138/\sqrt{3}$ kV).

Tabela 3 - Variação de tensão nas condições de carga – Sábado Dia

	Sábado Dia											
	Calibração						Curta Duração					
	Fase A		Fase B		Fase C		Fase A		Fase B		Fase C	
	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação
Melhor Caso	105,615	-6,261%	105,606	-6,269%	105,610	-6,265%	107,949	-4,182%	107,944	-4,186%	107,951	-4,179%
Pior Caso	104,977	-6,827%	105,350	-6,496%	105,111	-6,709%	107,521	-4,561%	107,777	-4,334%	107,610	-4,482%

Tabela 4 - Variação de tensão nas condições de carga – Sábado Ponta

	Sábado Ponta											
	Calibração						Curta Duração					
	Fase A		Fase B		Fase C		Fase A		Fase B		Fase C	
	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação
Melhor Caso	105,597	-6,290%	105,592	-6,294%	105,594	-6,292%	107,952	-4,200%	107,948	-4,204%	107,951	-4,201%
Pior Caso	104,968	-6,848%	105,299	-6,554%	105,053	-6,773%	107,528	-4,576%	107,755	-4,374%	107,584	-4,526%

Tabela 5 - Variação de tensão nas condições de carga - Domingo

	Domingo											
	Calibração						Curta Duração					
	Fase A		Fase B		Fase C		Fase A		Fase B		Fase C	
	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação	kV pico	Variação
Melhor Caso	105,555	-6,313%	105,555	-6,312%	105,548	-6,318%	107,917	-4,216%	107,917	-4,216%	107,912	-4,220%
Pior Caso	105,192	-6,635%	105,268	-6,567%	105,191	-6,635%	107,673	-4,432%	107,728	-4,384%	107,681	-4,425%

Baseado nos resultados apresentados nas tabelas acima, conclui-se que a menor tensão de pico é obtida para o caso sábado Ponta - Calibração, onde se obtêm uma queda de tensão de 6,848% (Tabela 5) na barra da WEG, em relação a tensão operativa nominal no instante dos testes. De posse dessa informação apresentam-se nas tabelas a seguir as valores de quedas de tensão Vmin obtidos nas barras do sistema da CELESC para todos os casos apresentados referentes as simulações de calibração onde pode-se observar um pior desempenho em relação as simulações de curta duração.

Tabela 6 - Queda de Tensão – Barras da CELESC - Sábado Dia – Calibração

Barra	cód ATP	Vnom (kV)	Vpre (kVp)	Vpos (kVp)		Vpos (pu)			sV(%)	
				mínimo	final	Vpre (pu)	mínimo	final	mínimo	final
Weg	WE138	138	112,67	104,97	105,6	1,000	0,932	0,937	-6,8%	-6,3%
Weg conexão	E_WEG	138	112,69	105,2	105,84	1,000	0,934	0,939	-6,6%	-6,1%
Guaramirim	GRM__	138	112,72	105,74	106,33	1,000	0,938	0,944	-6,2%	-5,7%
Jaraguá Sul	JSL__	138	112,74	105,57	106,19	1,001	0,937	0,942	-6,4%	-5,8%
Weg Fundação	WFO__	138	113,15	107,79	108,22	1,004	0,957	0,960	-4,7%	-4,4%
Malwee 1	EMW1__	138	112,99	107,03	107,57	1,003	0,950	0,955	-5,3%	-4,8%
São José R Luz 2	EJRL2	138	113,09	107,53	108,12	1,004	0,954	0,960	-4,9%	-4,4%
Joinville	JOI__	138	114,08	111,83	111,95	1,012	0,992	0,994	-2,0%	-1,9%
Blumenau 2	BND__	138	113,79	111,51	111,75	1,010	0,990	0,992	-2,0%	-1,8%
Blumenau	BLU__	138	113,85	111,61	111,84	1,010	0,991	0,993	-2,0%	-1,8%

Tabela 7 - Queda de Tensão – Barras da CELESC - Sábado Ponta – Calibração

Barra	cód ATP	Vnom (kV)	Vpre (kVp)	Vpos (kVp)		Vpos (pu)			sV(%)	
				mínimo	final	Vpre (pu)	mínimo	final	mínimo	final
Weg	WE138	138	112,67	104,97	105,6	1,000	0,932	0,937	-6,8%	-6,3%
Weg conexão	E_WEG	138	112,69	105,19	105,82	1,000	0,934	0,939	-6,7%	-6,1%
Guaramirim	GRM__	138	112,7	105,7	106,27	1,000	0,938	0,943	-6,2%	-5,7%
Jaraguá Sul	JSL__	138	112,7	105,51	106,15	1,000	0,936	0,942	-6,4%	-5,8%
Weg Fundação	WFO__	138	113	107,64	108,05	1,003	0,955	0,959	-4,7%	-4,4%
Malwee 1	EMW1__	138	112,91	106,93	107,45	1,002	0,949	0,954	-5,3%	-4,8%
São José R Luz 2	EJRL2	138	113,01	107,45	108,02	1,003	0,954	0,959	-4,9%	-4,4%
Joinville	JOI__	138	113,7	111,45	111,57	1,009	0,989	0,990	-2,0%	-1,9%
Blumenau 2	BND__	138	113,55	111,26	111,48	1,008	0,987	0,989	-2,0%	-1,8%
Blumenau	BLU__	138	113,56	111,34	111,55	1,008	0,988	0,990	-2,0%	-1,8%

Tabela 8 - Queda de Tensão – Barras da CELESC - Domingo – Calibração

Barra	cód ATP	Vnom (kV)	Vpre (kVp)	Vpos (kVp)		Vpos (pu)			sV(%)	
				mínimo	final	Vpre (pu)	mínimo	final	mínimo	final
Weg	WE138	138	112,67	105,2	105,55	1,000	0,934	0,937	-6,6%	-6,3%
Weg conexão	E_WEG	138	112,68	105,4	105,77	1,000	0,935	0,939	-6,5%	-6,1%
Guaramirim	GRM__	138	112,68	105,9	106,24	1,000	0,940	0,943	-6,0%	-5,7%
Jaraguá Sul	JSL__	138	112,71	105,76	106,12	1,000	0,939	0,942	-6,2%	-5,8%
Weg Fundação	WFO__	138	112,88	107,68	107,91	1,002	0,956	0,958	-4,6%	-4,4%
Malwee 1	EMW1__	138	112,81	107,05	107,33	1,001	0,950	0,953	-5,1%	-4,9%
São José R Luz 2	EJRL2	138	112,79	107,54	107,78	1,001	0,954	0,957	-4,7%	-4,4%
Joinville	JOI__	138	113,33	111,11	111,2	1,006	0,986	0,987	-2,0%	-1,9%
Blumenau 2	BND__	138	113,14	111	111	1,004	0,985	0,985	-1,9%	-1,9%
Blumenau	BLU__	138	113,16	111,1	111,1	1,004	0,986	0,986	-1,8%	-1,8%

4. Análise dos Resultados Obtidos.

Estão apresentadas a seguir algumas curvas apresentadas como exemplo, obtidas das simulações efetuadas.

4.1 Caso Domingo :

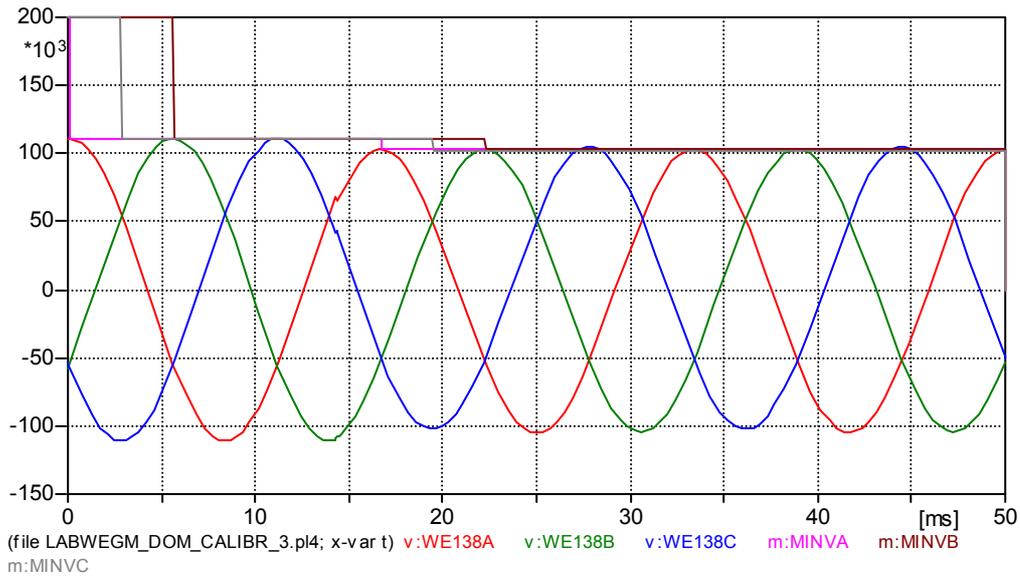


Figura 3 - Tensão na barra da WEG 138 kV

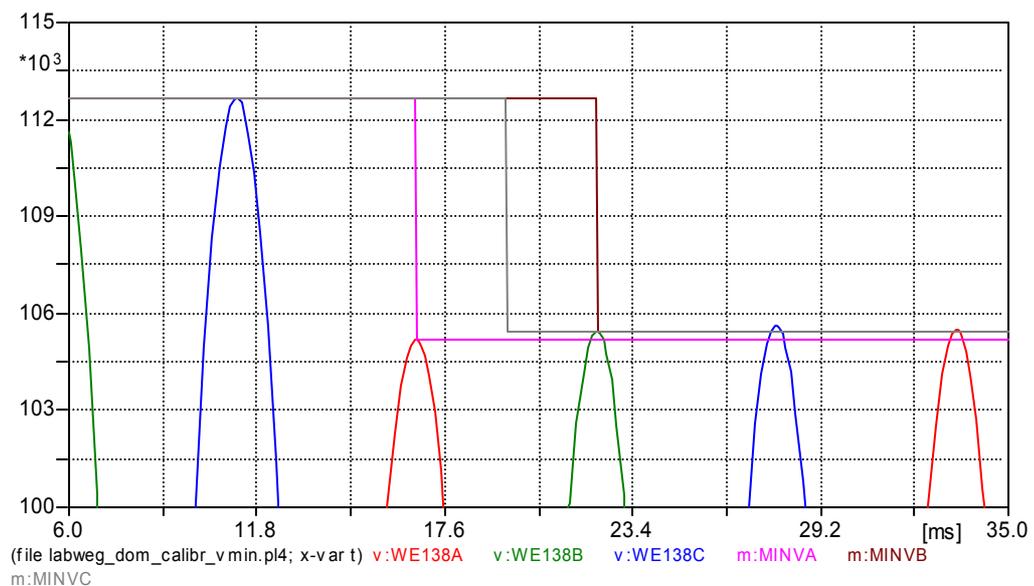


Figura 4 - Variação de tensão na Barra de 138 kV WEG - Domingo

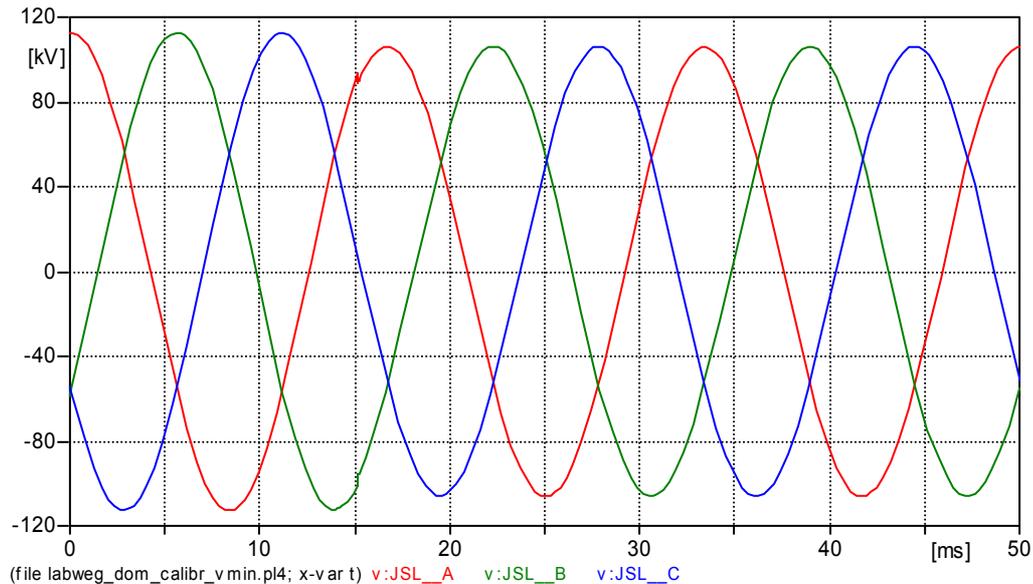


Figura 5 - Tensão na barra de Jaraguá do Sul 138 kV – Pior Caso

Portanto, dos resultados obtidos com simulações efetuadas e apresentados nas tabelas 6, 7 e 8 pode-se observar que o perfil e as variações das tensões apresentam um valor bastante aproximado para os três casos.

A seguir, nas tabelas 9, 10 e 11, são apresentados os ângulos de estabelecimento de curto-circuito, em cada uma das fases, que causam os casos mais e menos críticos, apresentadas nas tabelas 6, 7 e 8.

Melhor Caso	fase	t(V=0)	t(close)	ângulo (o)
	A	0,01124	0,015148	84,4128
	B	0,00844	0,01301	98,712
	C	0,014	0,014021	0,4536
Pior Caso	fase	t(V=0)	t(close)	ângulo (o)
	A	0,01124	0,014906	79,1856
	B	0,00844	0,012819	94,5864
	C	0,014	0,016747	59,3352

Tabela 9 - Instante de fechamento e Ângulo – Sábado Dia

Melhor Caso	fase	t(V=0)	t(close)	ângulo (o)
	A	0,01119	0,015148	85,4928
	B	0,00847	0,01301	98,064
	C	0,01396	0,014021	1,3176
Pior Caso	fase	t(V=0)	t(close)	ângulo (o)
	A	0,01119	0,014906	80,2656
	B	0,00847	0,012819	93,9384
	C	0,01396	0,016747	60,1992

Tabela 10 - Instante de fechamento e Ângulo – Sábado Ponta

Melhor Caso	fase	t(V=0)	t(close)	ângulo (o)
	A	0,01119	0,015148	85,4928
	B	0,0084	0,01301	99,576
	C	0,01396	0,014021	1,3176
Pior Caso	fase	t(V=0)	t(close)	ângulo (o)
	A	0,01119	0,014377	68,8392
	B	0,0084	0,014469	131,0904
	C	0,01396	0,016048	45,1008

Tabela 11 - Instante de fechamento e Ângulo – Domingo

5. Comentários e Conclusões do Estudo.

Das planilhas em EXCEL e do exposto nos itens acima pode-se concluir que :

- A queda de tensão mais crítica ocorre na barra de Jaraguá do Sul em 138 KV, onde se obtém uma variação de tensão média máxima de 6,2 % da tensão nominal nas três fases durante 50 milissegundos.
- A Farfilho entende que a variação de tensão nas barras da CELESC apresentam valores aceitáveis, ou seja dentro de um valor de até +/- 10 % durante um curto espaço de tempo (50 ms), o que não implica em maiores danos ao sistema. Convém ressaltar também que essa porcentagem será tomada sobre a tensão operativa do sistema que se apresenta nos finais de semana normalmente em condições de carga leve, ou seja, as porcentagens obtidas no estudo poderão implicar em variações sobre tensões nas barras da CELESC acima de 1 pu acarretando para os consumidores finais da mesma uma alteração imperceptível.