



# **ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO**

## **ANÁLISE DA SESSÃO DE TESTE DE CONFORMIDADE**

*Pregão Eletrônico PE.EPE.010/2020 - Licitante: Figener  
Engenheiros Associados Ltda.*

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso)



GOVERNO FEDERAL  
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

**Ministério de Minas e Energia**

**Ministro**

Bento Albuquerque

**Secretário-Executivo do MME**

Marisete Fátima Dadald Pereira

**Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético**

Paulo César Magalhães Domingues

**Secretário de Energia Elétrica**

Rodrigo Limp Nascimento

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis**

José Mauro Ferreira Coelho

**Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Alexandre Vidigal de Oliveira

# ESTUDOS PARA A LICITAÇÃO DA EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO

## ***ANÁLISE DA SESSÃO DE TESTE DE CONFORMIDADE***

*Pregão Eletrônico PE.EPE.010/2020 –  
Licitante: Figener Engenheiros  
Associados Ltda.*



*Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.*

**Presidente**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais**

Giovani Vitória Machado

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**

Erik Eduardo Rego

**Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis**

Heloisa Borges Bastos Esteves

**Diretor de Gestão Corporativa**

Angela Regina Livino de Carvalho

URL: <http://www.epe.gov.br>

**Sede**

SCN, Qd. 01, Bl. C, nº 85, Sl. 1712/1714

70711-902 - Brasília – DF

**Escritório Central**

Praça Pio X, n.54

20091-040 - Rio de Janeiro – RJ

**Coordenação Geral**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Erik Eduardo Rego

**Coordenação Executiva**

José Marcos Bressane

Thiago de Faria Rocha Dourado Martins

**Equipe Técnica**

Bruno Scarpa Alves da Silveira

Carolina Moreira Borges

Rafael Theodoro Alves e Mello


Rodrigo Rodrigues Cabral

Sérgio Felipe Falcão Lima

**Nº EPE-DEE-NT-077/2020-rev0**

Data: 26/11/2020

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso)

	<p><i>Contrato</i> _____</p> <p><i>Data de assinatura</i> _____</p>	
<p><i>Projeto</i></p> <p align="center"><b>ESTUDOS PARA EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO</b></p>		
<p><i>Área de estudo</i></p> <p align="center"><b>Estudos do Sistema de Transmissão</b></p>		
<p><i>Sub-área de estudo</i></p> <p align="center"><b>Análise Técnica</b></p>		
<p><i>Produto (Nota Técnica ou Relatório)</i></p> <p>EPE-DEE-NT-077/2020-rev0 <b>Pregão Eletrônico PE.EPE.010/2020 - Licitante: Figener Engenheiros Associados Ltda.</b></p>		
<p><i>Revisões</i></p> <p>Rev0</p>	<p><i>Data</i></p> <p>26/11/2020</p>	<p><i>Descrição sucinta</i></p> <p>Análise técnica da sessão de testes ocorrida nos dias 23 e 24 de novembro de 2020.</p>

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso)

## **APRESENTAÇÃO**

A presente Nota Técnica tem como objetivo apresentar a avaliação técnica da sessão de verificação de conformidade da solução tecnológica proposta pela licitante Figener Engenheiros Associados Ltda. A sessão foi realizada nos dias 23 e 24 de novembro de 2020, visando a verificação de atendimento aos requisitos definidos no termo de referência do Edital do pregão eletrônico PE.EPE.010/2020.

A sessão de verificação de conformidade seguiu os procedimentos previstos na rotina de testes constante no Anexo 1 do termo de referência do referido Edital.

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso)



# SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>0</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
1.1. Ambiente de Realização dos Testes.....	6
1.2. Participantes da Sessão.....	6
<b>2. ROTEIRO PARA TESTE DE CONFORMIDADE.....</b>	<b>7</b>
2.1. Verificação das características gerais.....	7
2.2. Rotina 1: Fluxo de Potência.....	11
2.3. Rotina 2: Fluxo de Potência Ótimo.....	16
2.4. Rotina 3: Análise avançada de contingência.....	23
2.5. Rotina 4: Estabilidade de regime permanente (PV-QV).....	27
2.6. Rotina 5: Análise de curto-circuito.....	33
2.7. Rotina 6: Análise de Estabilidade Eletromecânica.....	41
2.8. Rotina 7: Diagramas e Representações Gráficas.....	45
2.9. Rotina 8: Relatórios de Resultados/Conversão de dados para Excel e arquivos de texto... 52	
2.10. Rotina 9: Representação detalhada de subestações.....	52
2.11. Rotina 10: Automação via Script.....	55
2.12. Rotina 11: Módulo de Co-Simulação entre Transitórios Eletromagnéticos e Domínio Fasorial 58	
2.13. Rotina 12: Gerenciamento Integrado de Topologia e Modelos.....	66
<b>3. CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
<b>4. REFERÊNCIA.....</b>	<b>76</b>
<b>5. ANEXOS.....</b>	<b>77</b>
5.1. Script em linguagem Python para Curvas PV.....	77
5.2. Script em linguagem Python para Incremento de Carga e Monitoramento de Fluxo na Linha 04-14	78
5.3. Script em linguagem Python para Execução Externa e Cálculo de Fluxo de Potência.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 – Lista de módulos fornecidos.....	8
Figura 2-2 – Licença de rede local.....	9
Figura 2-3 – Administrador de Licenças .....	9
Figura 2-4 – Base de dados unificada entre as várias análises elétricas .....	10
Figura 2-5 – Integração de análises em ambiente computacional único .....	11
Figura 2-6 – Janela de opções para fluxo de potência .....	12
Figura 2-7 – <i>Output Window</i> da ferramenta após execução do fluxo de potência .....	13
Figura 2-8 – Resultados do fluxo de potência AC.....	13
Figura 2-9 – Alteração da potência ativa do G01, conectado à barra 39.....	14
Figura 2-10 – Selecionando a opção de fluxo de potência DC (linear).....	15
Figura 2-11 – Mensagem de simulação bem-sucedida.....	15
Figura 2-12 – Resultados do Fluxo de Potência DC .....	16
Figura 2-13 – Controle de potência ativa desabilitado para geradores G01, G03 e G04 .....	18
Figura 2-14 – Limites de tensão das barras para simulação de fluxo de potência ótimo.....	19
Figura 2-15 – Consideração dos limites de carregamento: linhas de transmissão e transformadores	20
Figura 2-16 – Nível de perdas globais do caso base antes de otimização .....	21
Figura 2-17 – Janela para escolha dos métodos, funções objetivos, controles e restrições.....	21
Figura 2-18 – Indicação de simulação bem-sucedida .....	22
Figura 2-19 – Perdas elétricas globais após a execução da otimização.....	22
Figura 2-20 – Lista de tensões em barras do sistema, mostrando estarem dentro dos limites.....	23
Figura 2-21 – Lista de potência ativa e reativa dos geradores do sistema .....	23
Figura 2-22 – Lista de contingências – LTs 345 kV do caso teste .....	24
Figura 2-23 – Configurações para monitoramento da análise de contingências.....	25
Figura 2-24 – Mensagem de execução bem-sucedida.....	25
Figura 2-25 – Piores casos em que houve violação de tensão, e comparação com o caso base.....	26
Figura 2-26 – Piores casos em que houve violação de carregamento, e comparação com o caso base .....	26
Figura 2-27 – Opções de simulação das curvas QV .....	28
Figura 2-28 – Lista de barras consideradas para simulação das curvas QV.....	29
Figura 2-29 – <i>Output Window</i> das curvas QV .....	29
Figura 2-30 – Resultado para as 5 barras com menor MPR.....	30
Figura 2-31 – Opções de simulação das curvas PV.....	31
Figura 2-32 – <i>Output Window</i> das curvas PV.....	32
Figura 2-33 – Resultado para as 5 barras com menor $\Delta P$ .....	33
Figura 2-34 – Opções de simulação para curto-circuito .....	35

Figura 2-35 – Método <i>complete</i> sem carregamento pré-falta .....	35
Figura 2-36 – Item 5.a, modelagem de falta .....	37
Figura 2-37 – Item 5.a, resultados .....	37
Figura 2-38 – Item 5.b, modelagem de falta .....	38
Figura 2-39 – Item 5.b, resultados .....	39
Figura 2-40 – Item 5.c, resultados <i>Power Factory</i> (1phA_G) .....	40
Figura 2-41 – Item 5.c, resultados Excel (1phA_G) .....	40
Figura 2-42 – Item 5.c, resultados Excel (comparação entre todos os tipos de falta, por barra, maior corrente em componentes de fase) .....	41
Figura 2-43 – Opções de simulação (condições iniciais) da análise de estabilidade eletromecânica... ..	43
Figura 2-44 – Evento na barra 2 (falta trifásica sólida) .....	43
Figura 2-45 – Opções de simulação (execução) da análise de estabilidade eletromecânica .....	44
Figura 2-46 – Resultados gráficos da análise de estabilidade eletromecânica .....	45
Figura 2-47 – Janela para exportação de diagramas .....	46
Figura 2-48 – Diagrama exportado com detalhes.....	46
Figura 2-49 – Opções para representação automática/semiautomática de diagramas .....	47
Figura 2-50 – Resultado da geração automática de todos os elementos até a segunda vizinhança da barra 24 .....	48
Figura 2-51 – Customização das variáveis a serem mostradas no diagrama .....	49
Figura 2-52 – Exibição das variáveis do fluxo de potência nos diagramas .....	49
Figura 2-53 – Configurações de cores customizável para os carregamentos dos ramos da rede .....	50
Figura 2-54 – Diagrama <i>Heatmap</i> para níveis de tensão.....	51
Figura 2-55 – Diagrama <i>Heatmap</i> para níveis de carregamento .....	51
Figura 2-56 – Visualização compacta (barra 29 – disjuntor e meio) .....	53
Figura 2-57 – Visualização compacta (barra 20 – barra dupla a 4 chaves) .....	54
Figura 2-58 – Visualização detalhada (barra 29 – disjuntor e meio).....	54
Figura 2-59 – Visualização detalhada (barra 20 – barra dupla a 4 chaves) .....	55
Figura 2-60 – Resultados obtidos através da biblioteca " <i>matplotlib</i> " .....	57
Figura 2-61 – Resultados obtidos através da execução do script via <i>shell</i> do Python .....	58
Figura 2-62 – Opções de simulação (condições iniciais) para co-simulação EMT/RMS.....	60
Figura 2-63 – Opções de simulação (domínios para cada região) da co-simulação EMT/RMS.....	61
Figura 2-64 – Definição de cada região de simulação (Região 2).....	62
Figura 2-65 – Módulo de co-simulação EMT/RMS: Evento na barra 3 (falta bifásica sólida).....	62
Figura 2-66 – Opções de simulação (execução) para co-simulação EMT/RMS.....	63
Figura 2-67 – Resultados Região 1 – EMT (correntes de falta na barra 3) .....	64
Figura 2-68 – Resultados Região 1 – EMT (gerador 10 conectado à barra 30).....	64
Figura 2-69 – Resultados Região 3 – EMT (gerador 07 conectado à barra 36).....	65
Figura 2-70 – Resultados Região 2 – RMS (gerador 03 conectado à barra 32).....	65

Figura 2-71 – Correlação do caso base com uma data na linha do tempo .....	66
Figura 2-72 – Janela para criação de <i>Variation</i> .....	67
Figura 2-73 – Janela para criação de novo <i>Expansion Stage</i> .....	67
Figura 2-74 – Exemplos de passos para criação de seccionamento.....	68
Figura 2-75 – Diagrama após aplicação do seccionamento solicitado.....	68
Figura 2-76 – Tela final sinalizando a criação do seccionamento 1 ano à frente do caso base original .....	69
Figura 2-77 – Passo para inclusão de carga na barra 70.....	70
Figura 2-78 - Diagrama após inclusão da carga na Barra 70 .....	70
Figura 2-79 – Tela final sinalizando a criação da carga na barra 70 um ano à frente do caso base original .....	71
Figura 2-80 – Janela para salvar novo cenário operativo com os valores da carga 70.....	71
Figura 2-81 – Alteração da data dos reforços anteriores.....	72
Figura 2-82 – “Ano 2” após adiamento do seccionamento da linha de transmissão 09-39.....	73
Figura 2-83 – Funcionalidade <i>Study Case Manager</i> .....	74

## 1. INTRODUÇÃO

A presente Nota Técnica é parte integrante do processo referente ao pregão eletrônico PE.EPE.010/2020, cujo objeto é "Aquisição de ferramentas computacionais (e treinamento no uso destas ferramentas) para estudos de planejamento da expansão do sistema de transmissão considerando integração entre as diversas análises elétricas". A sessão pública do referido pregão teve início em 19 de outubro de 2020, sendo que no presente momento a referida sessão encontra-se na fase de Testes de Verificação de Conformidade, conforme detalhado no item 5 do Anexo I do Edital.

No âmbito dos testes, a licitante Figener Engenheiros Associados Ltda. disponibilizou, em 17 de novembro de 2020, os arquivos a serem utilizados durante a sessão de testes de verificação de conformidade.

Após uma avaliação detalhada do conjunto de arquivos disponibilizados pela Figener, a EPE emitiu a Nota Técnica EPE-DEE-RE-075/2020-r0 [1], atestando que a licitante foi capaz de manter a integridade dos dados originais contidos no Edital e no documento de referência, o Technical Brochure 736 do Cigré [2]. Desta forma, o conjunto de dados enviado foi homologado e considerado apto para uso durante a sessão de testes. Neste contexto, o pregoeiro reabriu, no dia 19 de novembro de 2020, a sessão pública referente ao pregão, fornecendo prazo de até dois dias úteis para que a licitante iniciasse, em comum acordo com a EPE, a sessão de teste de conformidade, conforme consta na alínea "i" do item 5.1.2 do termo de referência do Edital.

Em respeito ao prazo estipulado, a licitante no mesmo dia 19 de novembro, manifestou-se propondo o início da sessão de testes de conformidade no dia 23 de novembro de 2020, às 9h. Em atendimento à solicitação da Figener, a EPE aceitou a proposta, sendo a sequência de testes detalhada ao da presente nota técnica.

### 1.1. Ambiente de Realização dos Testes

Conforme já previsto em Edital, a sessão de testes foi realizada à distância, com acesso remoto a uma máquina de propriedade da EPE, na qual foi instalada uma configuração de licenças da ferramenta idêntica à que a licitante forneceria em definitivo, caso lograsse êxito em todas as etapas do pregão. Para execução dos testes e simulações, foi fornecido ao representante da licitante, através do aplicativo de reuniões Microsoft® Teams, o controle remoto da máquina da EPE na qual o software foi instalado. Os testes foram realizados em um computador com as seguintes configurações, conforme previsto em Edital:

- Intel® Core™ i5-7600T CPU @ 2,80 GHz, com 4/4 processadores físicos/lógicos, 16Gb Memória, armazenamento de 500GB HDD/SSD, sistema operacional Windows 10 64bits;

Durante a sessão foi utilizado o software que compõe a proposta da Figener, cuja versão é especificada a seguir:

- DIgSILENT PowerFactory 2020 SP3 (x64) – Built 20.0.5.0(10037)/Rev. 75304;

Adicionalmente, para algumas rotinas foi utilizado o software "open source" seguinte, que já estava instalado na máquina da EPE:

- Python 3.8.

### 1.2. Participantes da Sessão

Os profissionais listados a seguir participaram da sessão do teste de conformidade, nos dias 23 e 24 de novembro de 2020:

Nome	Empresa
Alexandre Vasconcellos	Figener Engenheiros Associados Ltda
Flavio Fernandez	DIgSILENT GmbH
Bruno Scarpa Alves da Silveira	Empresa de Pesquisa Energética - EPE
Rafael Theodoro Alves e Mello	Empresa de Pesquisa Energética - EPE
Rodrigo Rodrigues Cabral	Empresa de Pesquisa Energética - EPE
Sérgio Felipe Falcão Lima	Empresa de Pesquisa Energética - EPE

## 2. ROTEIRO PARA TESTE DE CONFORMIDADE

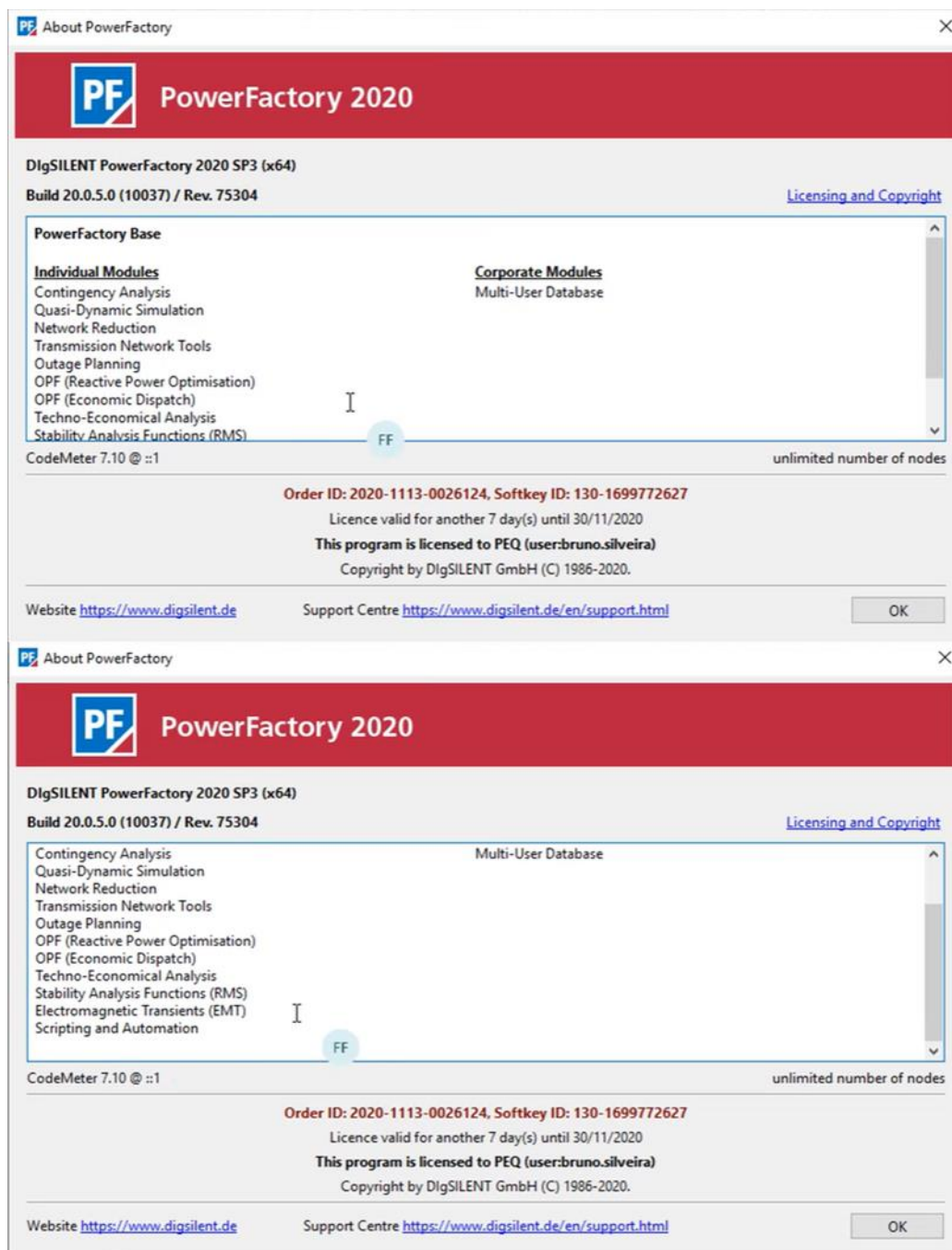
O presente capítulo detalha os testes de verificação de conformidade, apresentando os resultados e as conclusões sobre aprovação ou rejeição de cada teste. É importante salientar que a licitante fez uma apresentação completa da ferramenta, sendo mostrado um grande volume de funcionalidades além das solicitadas explicitamente nas rotinas. No entanto, visando garantir a objetividade deste parecer, serão documentadas apenas as funcionalidades e procedimentos estritamente necessários para o cumprimento dos requisitos destas rotinas.

### 2.1. Verificação das características gerais

Antes da inicialização das rotinas em si, o roteiro tem a seguinte passagem:

*Por fim pede-se que, antes da realização das etapas do teste, o licitante apresente o software objeto do teste evidenciando que se trata de um "pacote integrado", ou seja, que todos os módulos se comuniquem de forma direta e transparente, sem necessidade de intervenção do utilizador e/ou outro software, e que os módulos compartilhem uma base de dados comum.*

Nesse sentido, foi solicitado à licitante que evidenciasse algumas características gerais da ferramenta. Em primeiro lugar, foi requisitada a apresentação da composição dos módulos fornecidos, que são mostrados na Figura 2-1. Essa informação é importante para verificação dos módulos que efetivamente serão fornecidos à EPE caso a licitante logre êxito no processo final do pregão eletrônico. Será solicitada a mesma configuração de licenças usada para o teste de conformidade. Nesta janela também é possível verificar tratar-se de licença multi-usuário, com base de dados compartilhada e centralizada, o que é um dos requisitos do Edital.



**Figura 2-1 – Lista de módulos fornecidos**

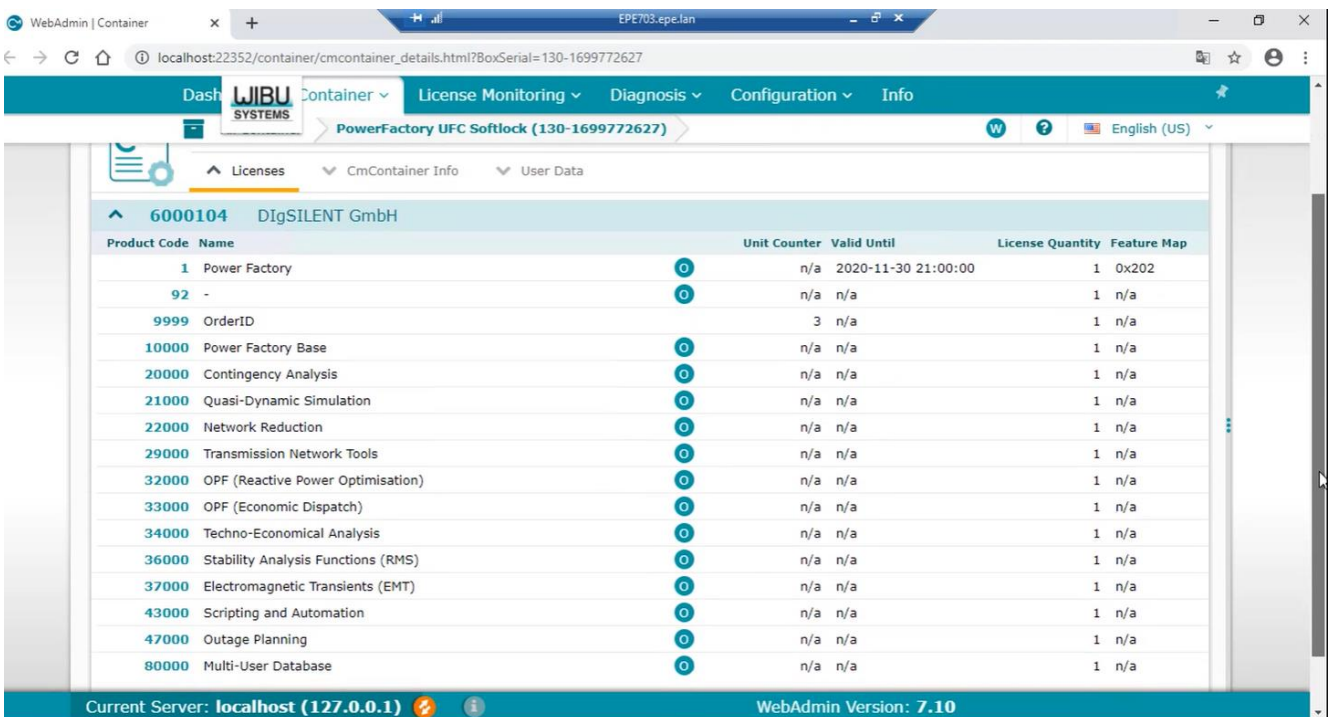
Em seguida, solicitou-se à licitante a demonstração de que se trata de uma licença multi-usuário em rede local. A Figura 2-2 mostra que esse requisito foi atendido.





**Figura 2-2 – Licença de rede local**

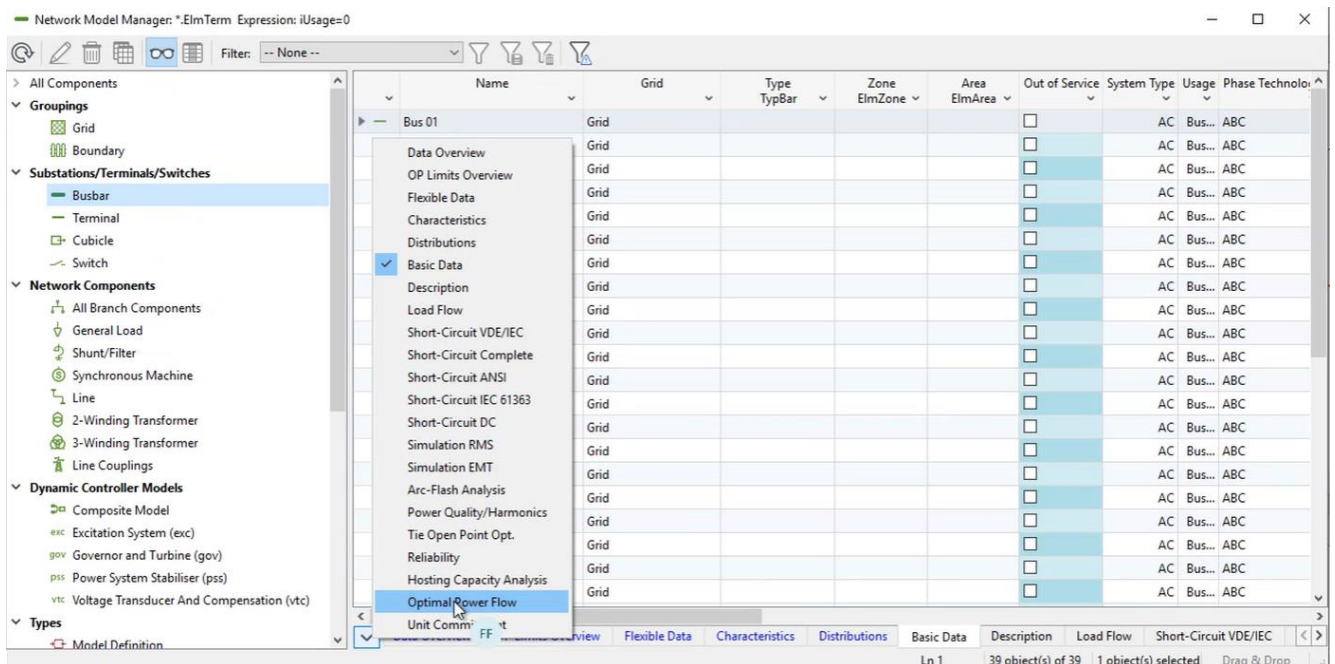
Na etapa de teste de conformidade solicitou-se o fornecimento de apenas uma licença por módulo, visto que o intuito é apenas testar as funcionalidades da ferramenta. No entanto, solicitou-se à licitante demonstrar o local onde podem ser verificados os quantitativos de licenças, viabilizando a sua conferência num possível fornecimento definitivo, caso logre sucesso no pregão. A Figura 2-3 mostra o Administrador de Licenças – “Code Meter Control Center”, que lista os módulos e os quantitativos de licenças concorrentes.



Product Code	Name	Unit Counter	Valid Until	License Quantity	Feature Map
1	Power Factory	0	n/a	2020-11-30 21:00:00	1 0x202
92	-	0	n/a	n/a	1 n/a
9999	OrderID	3	n/a	n/a	1 n/a
10000	Power Factory Base	0	n/a	n/a	1 n/a
20000	Contingency Analysis	0	n/a	n/a	1 n/a
21000	Quasi-Dynamic Simulation	0	n/a	n/a	1 n/a
22000	Network Reduction	0	n/a	n/a	1 n/a
29000	Transmission Network Tools	0	n/a	n/a	1 n/a
32000	OPF (Reactive Power Optimisation)	0	n/a	n/a	1 n/a
33000	OPF (Economic Dispatch)	0	n/a	n/a	1 n/a
34000	Techno-Economical Analysis	0	n/a	n/a	1 n/a
36000	Stability Analysis Functions (RMS)	0	n/a	n/a	1 n/a
37000	Electromagnetic Transients (EMT)	0	n/a	n/a	1 n/a
43000	Scripting and Automation	0	n/a	n/a	1 n/a
47000	Outage Planning	0	n/a	n/a	1 n/a
80000	Multi-User Database	0	n/a	n/a	1 n/a

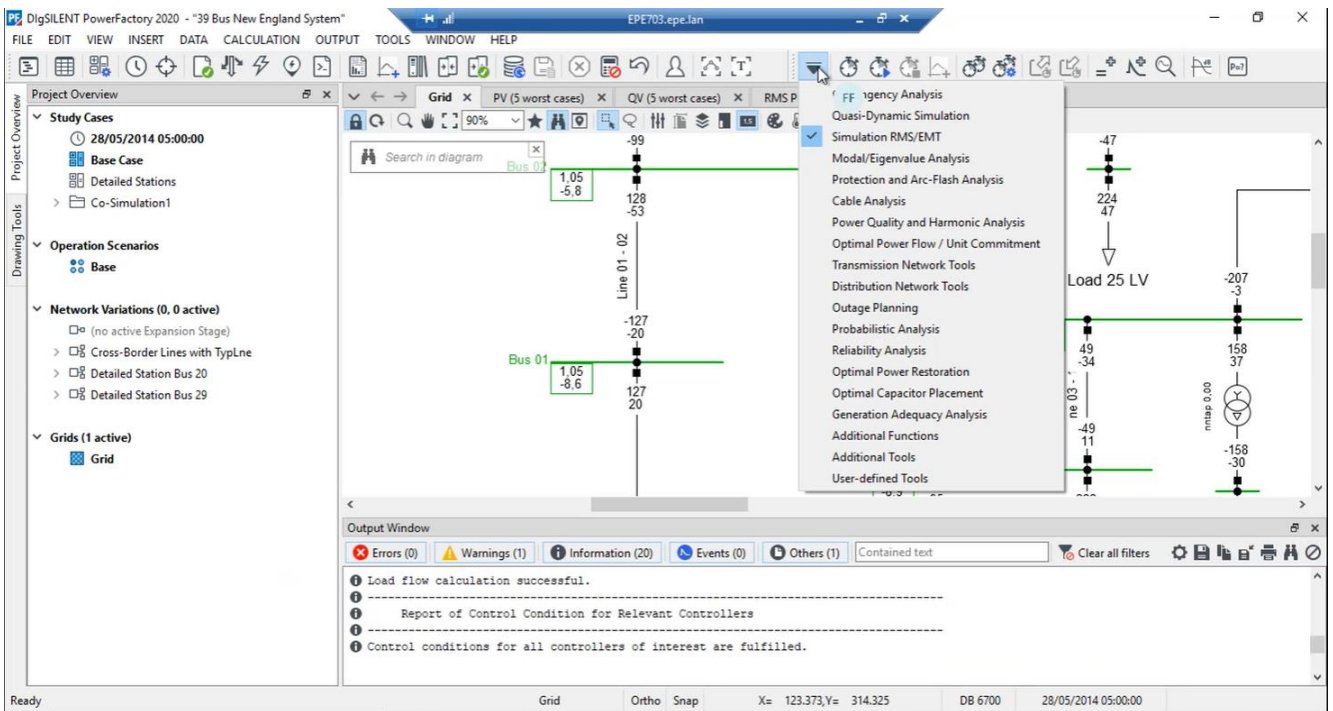
**Figura 2-3 – Administrador de Licenças**

Em seguida, solicitou-se mostrar que o programa realmente funciona com uma base de dados integrada e comum entre as várias análises elétricas possíveis. A Figura 2-4 mostra um exemplo da seção de "Network Model Management", que lista os vários tipos de componentes da rede à esquerda. Ao clicar no tipo de componente, à direita aparece a lista de equipamentos do caso de trabalho. A Figura 2-4 mostra, ainda, que é possível ver, para cada tipo de componente, os vários dados de entrada relacionados, a depender do tipo de análise a ser desenvolvida. Além disso, a base de dados requerida para todas as rotinas de teste foi fornecida num único arquivo. Todos esses fatos mostram que a base de dados é totalmente unificada.



**Figura 2-4 – Base de dados unificada entre as várias análises elétricas**

Finalmente, a licitante mostrou que é possível fazer os vários tipos de análises elétricas partindo-se de uma única plataforma computacional. A Figura 2-5 mostra um exemplo das listas de análises que podem ser feitas pelo programa, usando apenas um ambiente computacional. Isso mostra que a ferramenta é um "pacote integrado", em que todos os módulos devem comunicar-se de forma direta e transparente, sem necessidade de intervenção do utilizador e/ou outro software, e que os módulos partilham uma base de dados comum, conforme solicitado em Edital.



**Figura 2-5 – Integração de análises em ambiente computacional único**

Desta forma, após as demonstrações, considera-se que a ferramenta atende às características gerais de integração de base de dados e que todos os tipos de análises estão contidos num único ambiente, conforme solicitado em Edital.

## 2.2. Rotina 1: Fluxo de Potência

Esta rotina foi subdividida em dois exercícios. O primeiro deles consiste em executar uma simulação de fluxo de potência AC, conforme abaixo:

*"a. Executar a simulação de fluxo de potência para o sistema de referência e apresentar, em tabela, o ponto de operação convergido no formato da Tabela 2-13, apresentada no item 2.1.6.1 do TB."*

A licitante, desta forma, iniciou mostrando as opções de simulação, em que podem ser inseridas as configurações para cálculo do Fluxo de Potência. A Figura 2-6 mostra as opções utilizadas, na qual se destacam as seguintes escolhas pelo usuário, conforme solicitado em Edital:

- Fluxo de potência AC, balanceado;
- Consideração dos limites de potência reativa;
- Consideração da barra 31 como barra *slack*.

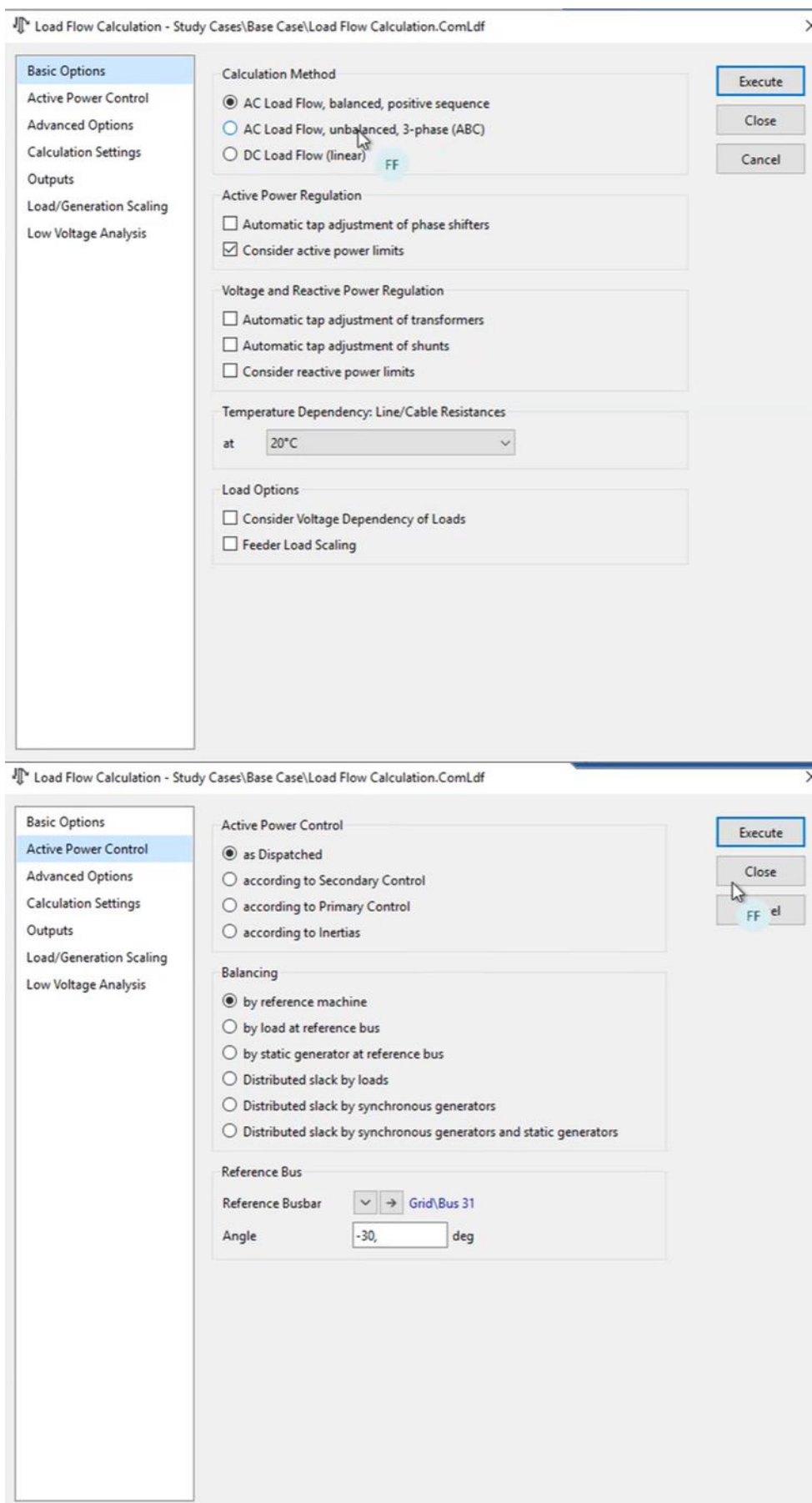


Figura 2-6 – Janela de opções para fluxo de potência

Em seguida, a licitante executou o fluxo de potência, mostrando a *Output Window* representada na Figura 2-7, indicando o número de iterações e o fato de a simulação ter terminado com sucesso.



**Figura 2-7 – Output Window da ferramenta após execução do fluxo de potência**

A licitante, então, mostrou o caso convergido no diagrama e exportou os valores de módulo e ângulo de tensão de todas as barras em formato tabular, conforme solicitado em Edital. A Figura 2-8 mostra o resultado da simulação.

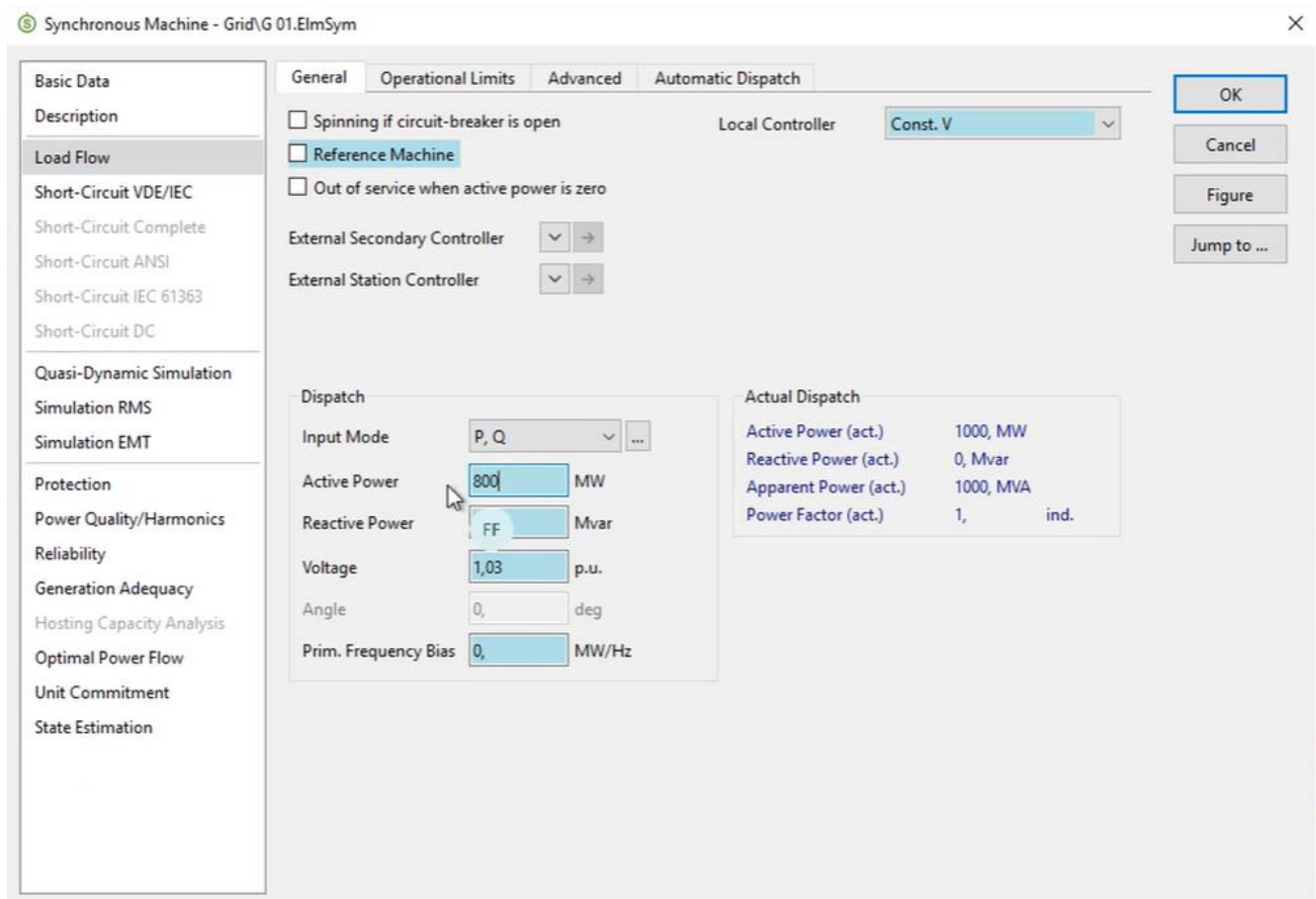
	A	B	C	D
1	Name	Grid	u, Magnitude	U, Angle
2			p.u.	deg
3	Bus 01	Grid	1,05	-8,6
4	Bus 02	Grid	1,05	-5,8
5	Bus 03	Grid	1,02	-8,9
6	Bus 04	Grid	0,99	-10
7	Bus 05	Grid	1	-8,8
8	Bus 06	Grid	1	-8,1
9	Bus 07	Grid	0,99	-10,7
10	Bus 08	Grid	0,99	-11,3
11	Bus 09	Grid	1,03	-11
12	Bus 10	Grid	1,01	-5,4
13	Bus 11	Grid	1,01	-6,3
14	Bus 12	Grid	0,99	-36,3
15	Bus 13	Grid	1,01	-6,2
16	Bus 14	Grid	1	-7,8
17	Bus 15	Grid	1	-8
18	Bus 16	Grid	1,02	-6,4
19	Bus 17	Grid	1,02	-7,5
20	Bus 18	Grid	1,02	-8,5
21	Bus 19	Grid	1,04	-1,1
22	Bus 20	Grid	0,98	-2
23	Bus 21	Grid	1,02	-3,8
24	Bus 22	Grid	1,04	0,8
25	Bus 23	Grid	1,04	0,6
26	Bus 24	Grid	1,02	-6,3
27	Bus 25	Grid	1,05	-4,7
28	Bus 26	Grid	1,04	-5,8
29	Bus 27	Grid	1,02	-7,8
30	Bus 28	Grid	1,04	-2,1
31	Bus 29	Grid	1,05	0,7
32	Bus 30	Grid	1,04	-33,4
33	Bus 31	Grid	0,98	-30
34	Bus 32	Grid	0,98	-27,4
35	Bus 33	Grid	1	-25,9
36	Bus 34	Grid	1,01	-26,7
37	Bus 35	Grid	1,05	-24,3
38	Bus 36	Grid	1,06	-21,5
39	Bus 37	Grid	1,03	-27,9
40	Bus 38	Grid	1,03	-22,2
41	Bus 39	Grid	1,03	-10,7

**Figura 2-8 – Resultados do fluxo de potência AC**

Desta forma, a primeira parte desta rotina foi considerada satisfatória. O segundo exercício é transcrito abaixo:

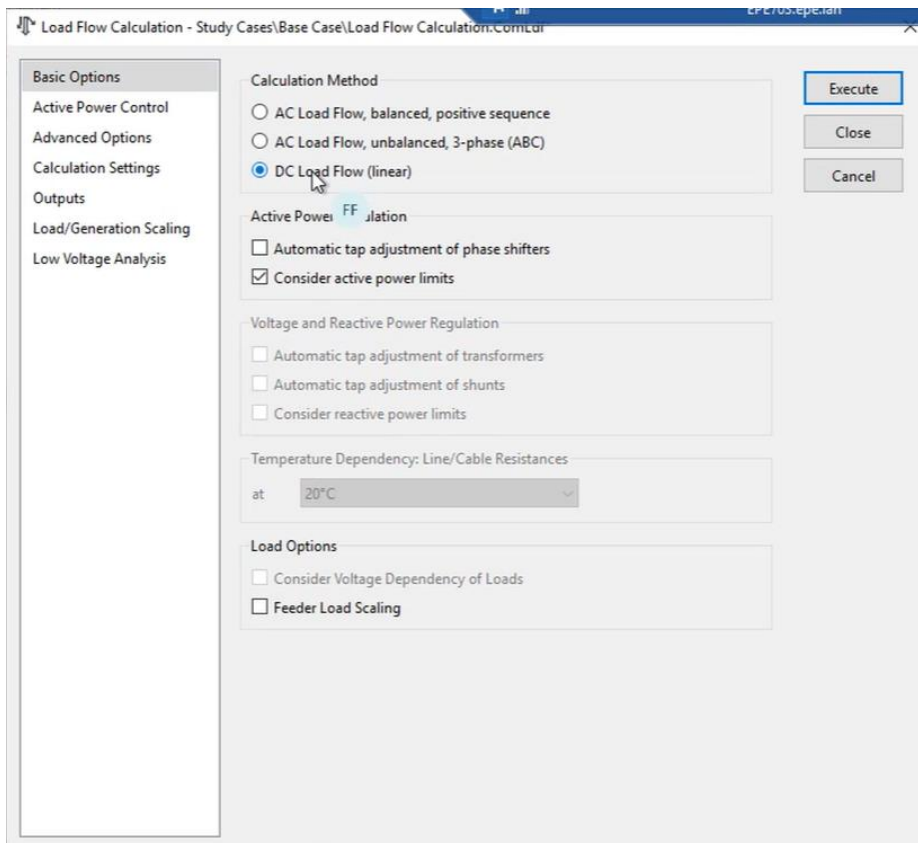
*"b. Alterar o despacho do gerador conectado à barra 39 do caso de referência convergido no item 1.a para despacho de potência ativa = 800 MW e, com o método de resolução de fluxo de potência linearizado (fluxo DC), apresentar em forma de tabela e/ou em diagrama unifilar os resultados dos fluxos (potência ativa) nas linhas."*

Nesse sentido, a licitante alterou a geração de potência ativa do gerador G01, que está conectado à barra 39. A Figura 2-9 mostra a janela na qual essa variável foi alterada.



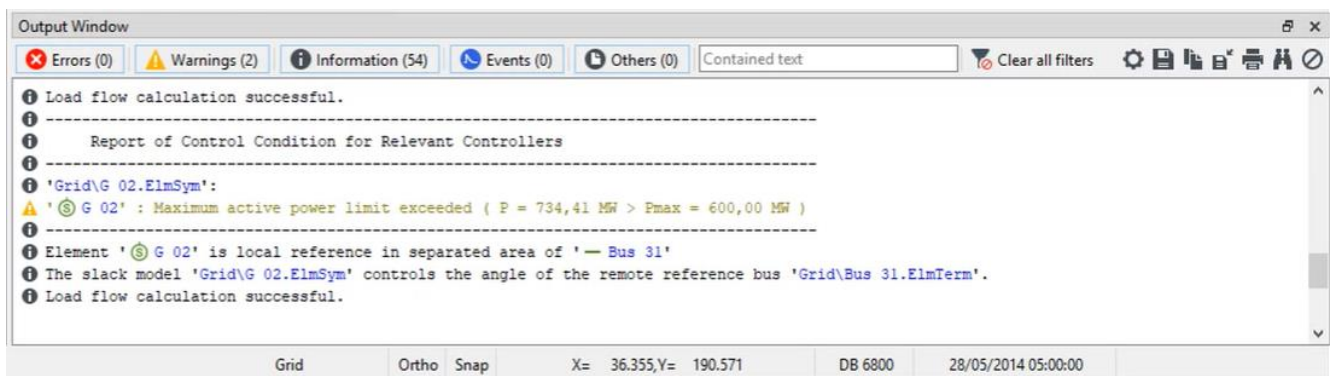
**Figura 2-9 – Alteração da potência ativa do G01, conectado à barra 39**

Em seguida, foi aberta novamente a janela de opções do fluxo de potência, na qual foi escolhida a opção de fluxo de potência DC, linearizado. A Figura 2-10 mostra a alteração realizada.



**Figura 2-10 – Selecionando a opção de fluxo de potência DC (linear)**

Após a execução da simulação, a *Output Window* apresentou o conteúdo mostrado na Figura 2-11, indicando que a simulação foi finalizada com sucesso.



**Figura 2-11 – Mensagem de simulação bem-sucedida**

Após o fim da simulação, foi solicitado que a licitante mostrasse a tensão nas barras e os fluxos nos ramos do sistema, de forma a assegurar que o fluxo de potência DC foi calculado corretamente. Para tal, é necessário que o módulo de tensão nas barras seja 1 pu e que não haja fluxo de potência reativa nos ramos. A Figura 2-12 mostra que essas condições são verificadas nos resultados dessa simulação.

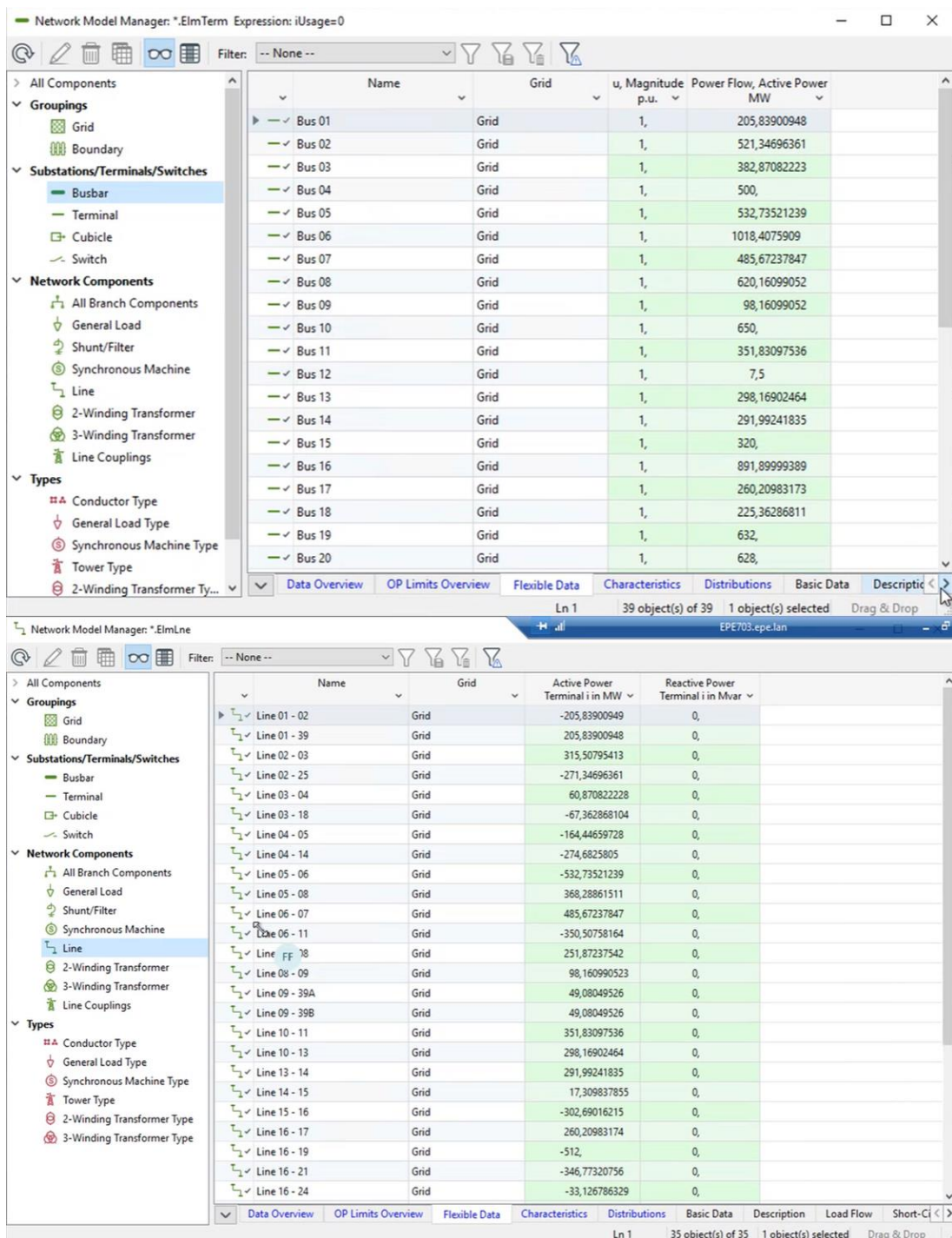


Figura 2-12 – Resultados do Fluxo de Potência DC

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

### 2.3. Rotina 2: Fluxo de Potência Ótimo

Esta rotina verificou a funcionalidade de fluxo de potência ótimo. A seguir a transcrição do exercício a ser realizado.



*"Realizar uma otimização do sistema obtido no item 1.a com a função objetivo de minimização de perdas de potência ativa da rede. O despacho dos geradores desse sistema pode ser alterado, exceto pelo despacho dos geradores conectados às barras 32, 33 e 39 que deverão permanecer fixos. É importante que sejam respeitados os limites de geração ativa e reativa nos geradores informados na Tabela 8 e os limites de tensão nas barras do sistema (0,97-1,06 pu).*

*Deverão ser apresentadas a potência ativa e reativa dos geradores e os módulos de tensão das barras, evidenciando que os limites foram atendidos. Deverá ser mostrado que as perdas ativas no caso obtido são menores do que as perdas no caso original."*

Desta forma, a licitante, utilizando o caso base original referente à rotina 1.a do roteiro, mostrou que desabilitou o controle de potência dos geradores G01, G03 e G04, conectados, respectivamente, às barras 39, 32 e 33, conforme solicitado em Edital. A Figura 2-13 mostra duas telas, a primeira indicando uma lista evidenciando que os controles de potência ativa desses geradores estavam desabilitados, e a segunda indicando com mais detalhes os dados de fluxo de potência ótimo do G01, como exemplo. Nela se detecta várias informações, dentre as quais a desabilitação do controle de potência ativa para o fluxo de potência ótimo. O controle de potência reativa permaneceu selecionado, tendo como restrições os limites inferior e superior de geração de potência reativa, apenas.

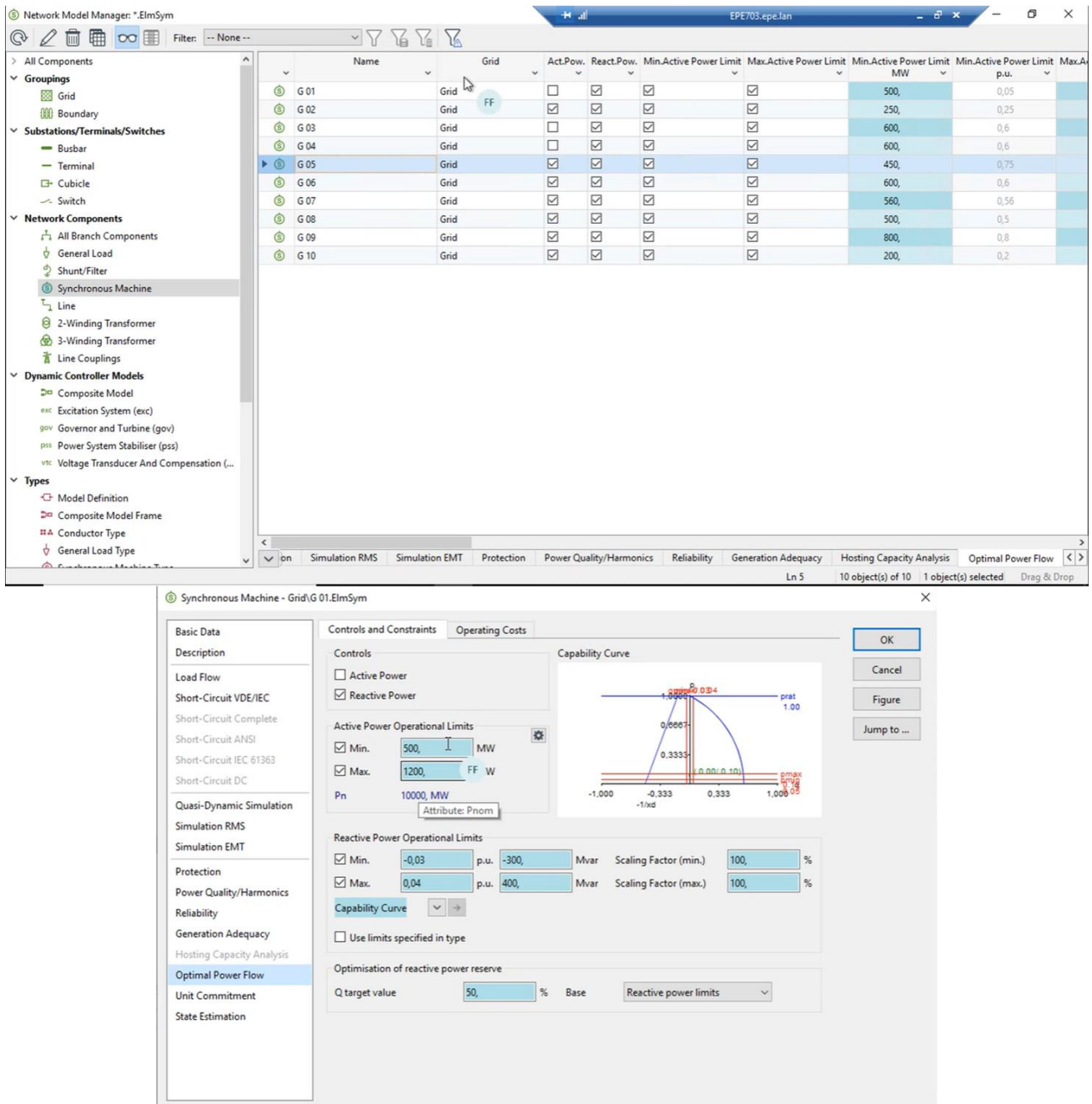


Figura 2-13 – Controle de potência ativa desabilitado para geradores G01, G03 e G04

Em seguida, solicitou-se evidenciar que a simulação consideraria como restrições os limites de tensão de (0,97-1,06 pu) para todas as barras do sistema. A Figura 2-14 mostra a lista de barras com as colunas de "Upper" e "Lower Voltage Limit p.u.", atendendo ao solicitado.

Network Model Manager: \*.ElmTerm Expression: iUsage=0

EPE703.epe.lan

Filter: -- None --

Name	Grid	Upper Voltage Limit	Lower Voltage Limit	Upper Voltage Limit p.u.	Lower Voltage Limit p.u.	Soft constraint
Bus 01	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 02	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 03	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 04	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 05	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 06	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 07	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 08	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 09	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 10	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 11	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 12	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 13	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 14	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 15	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 16	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 17	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 18	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 19	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 20	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 21	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 22	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 23	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 24	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 25	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>
Bus 26	Grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	0,97	<input type="checkbox"/>

Ln 1 39 object(s) of 39 1 object(s) selected Drag & Drop

**Figura 2-14 – Limites de tensão das barras para simulação de fluxo de potência ótimo**

Por fim, antes de iniciar a simulação em si, a licitante mostrou que também estavam sendo considerados os limites de carregamento dos ramos do sistema, compostos por linhas de transmissão e transformadores. A Figura 2-15 mostra que o limite considerado em todos os elementos foi de 100% do carregamento cadastrado na base de dados, conforme solicitado na rotina.

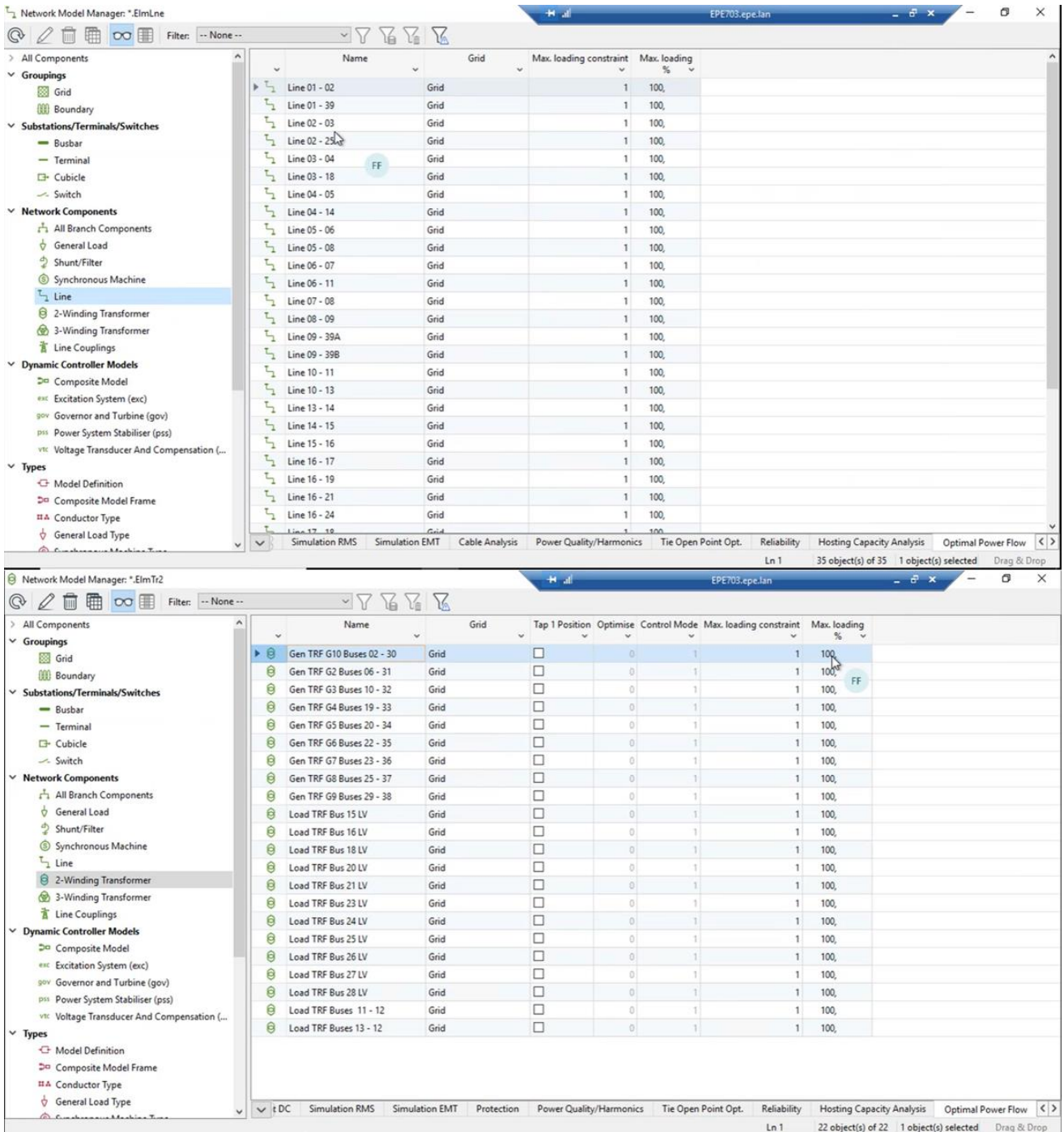
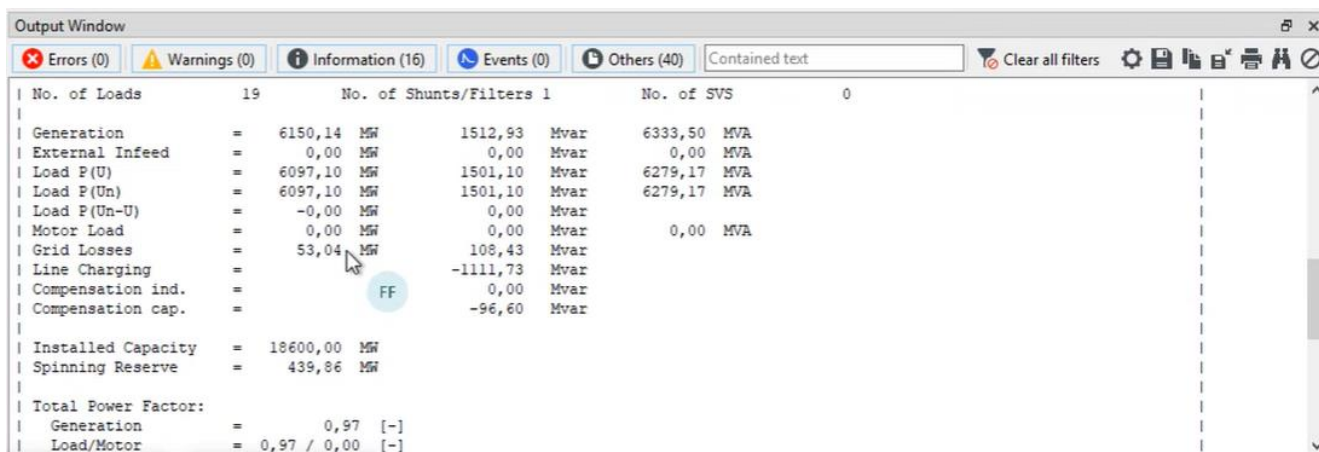


Figura 2-15 – Consideração dos limites de carregamento: linhas de transmissão e transformadores

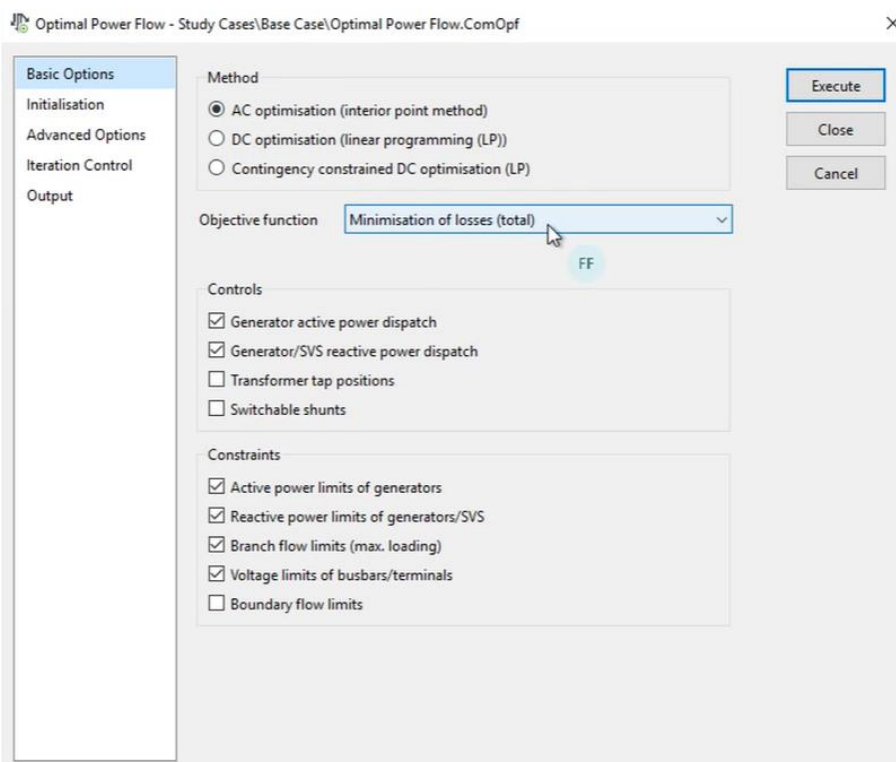
Antes de executar a simulação, a licitante mostrou, conforme Figura 2-16, o nível de perdas do caso base, de forma que esse valor pudesse ser confrontado com o valor obtido ao final do processo de otimização, que tem como função objetivo a minimização de perdas. O valor obtido na *Output Window* foi de 53,04 MW.



No. of Loads	19	No. of Shunts/Filters	1	No. of SVS	0
Generation	= 6150,14 MW	1512,93 Mvar	6333,50 MVA		
External Infeed	= 0,00 MW	0,00 Mvar	0,00 MVA		
Load P(U)	= 6097,10 MW	1501,10 Mvar	6279,17 MVA		
Load P(Un)	= 6097,10 MW	1501,10 Mvar	6279,17 MVA		
Load P(Un-U)	= -0,00 MW	0,00 Mvar			
Motor Load	= 0,00 MW	0,00 Mvar	0,00 MVA		
Grid Losses	= 53,04 MW	108,43 Mvar			
Line Charging	=	-1111,73 Mvar			
Compensation ind.	=	0,00 Mvar			
Compensation cap.	=	-96,60 Mvar			
Installed Capacity	= 18600,00 MW				
Spinning Reserve	= 439,86 MW				
Total Power Factor:					
Generation	= 0,97 [-]				
Load/Motor	= 0,97 / 0,00 [-]				

**Figura 2-16 – Nível de perdas globais do caso base antes de otimização**

Com todos os controles e restrições configurados, a licitante mostrou a tela onde se pode executar o processo de otimização, indicando que foi escolhida a função objetivo de minimização global de perdas, conforme Figura 2-17.



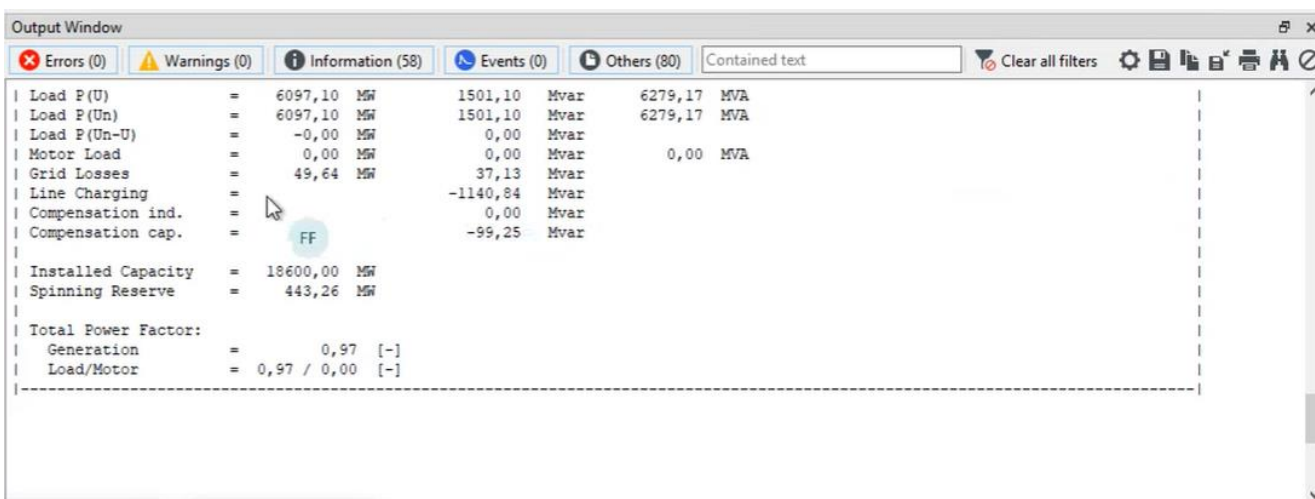
**Figura 2-17 – Janela para escolha dos métodos, funções objetivos, controles e restrições**

Após a execução, foi mostrada, na *Output Window*, que a simulação foi bem-sucedida, conforme Figura 2-18.



**Figura 2-18 – Indicação de simulação bem-sucedida**

Após execução, a licitante mostrou que o nível de perdas elétricas baixou de 53,04 MW para 49,64 MW, conforme mostrado na Figura 2-19.



**Figura 2-19 – Perdas elétricas globais após a execução da otimização**

Em seguida, a licitante exportou em forma tabular a lista de tensões obtidas na simulação, mostrando que o processo de otimização manteve os níveis de tensão dentro dos limites solicitados, entre 0,97 e 1,06 pu, conforme mostrado na Figura 2-20.

	A	B	C	D	E
1	Name	Grid	Lower Voltage Limit	u, Magnitude	Upper Voltage Limit
2			p.u.	p.u.	p.u.
3	Bus 01	Grid	0,97	1,05871044	1,06
4	Bus 02	Grid	0,97	1,056597082	1,06
5	Bus 03	Grid	0,97	1,036196536	1,06
6	Bus 04	Grid	0,97	1,009745184	1,06
7	Bus 05	Grid	0,97	1,013092297	1,06
8	Bus 06	Grid	0,97	1,015831381	1,06
9	Bus 07	Grid	0,97	1,001885462	1,06
10	Bus 08	Grid	0,97	1,001080481	1,06
11	Bus 09	Grid	0,97	1,040284083	1,06
12	Bus 10	Grid	0,97	1,031606488	1,06
13	Bus 11	Grid	0,97	1,025050117	1,06
14	Bus 12	Grid	0,97	1,01005995	1,06
15	Bus 13	Grid	0,97	1,027022979	1,06
16	Bus 14	Grid	0,97	1,020527925	1,06
17	Bus 15	Grid	0,97	1,017351849	1,06
18	Bus 16	Grid	0,97	1,034258625	1,06
19	Bus 17	Grid	0,97	1,036075153	1,06
20	Bus 18	Grid	0,97	1,034495497	1,06
21	Bus 19	Grid	0,97	1,059501442	1,06
22	Bus 20	Grid	0,97	0,997770117	1,06
23	Bus 21	Grid	0,97	1,034082368	1,06
24	Bus 22	Grid	0,97	1,053141994	1,06
25	Bus 23	Grid	0,97	1,045904363	1,06
26	Bus 24	Grid	0,97	1,038667425	1,06
27	Bus 25	Grid	0,97	1,057983256	1,06
28	Bus 26	Grid	0,97	1,054469168	1,06
29	Bus 27	Grid	0,97	1,038189453	1,06
30	Bus 28	Grid	0,97	1,056869802	1,06
31	Bus 29	Grid	0,97	1,059407502	1,06
32	Bus 30	Grid	0,97	1,040554519	1,06
33	Bus 31	Grid	0,97	0,981999993	1,06
34	Bus 32	Grid	0,97	1,015705667	1,06
35	Bus 33	Grid	0,97	1,014885311	1,06
36	Bus 34	Grid	0,97	1,023320595	1,06
37	Bus 35	Grid	0,97	1,059141994	1,06
38	Bus 36	Grid	0,97	1,059226394	1,06
39	Bus 37	Grid	0,97	1,047167681	1,06
40	Bus 38	Grid	0,97	1,03978005	1,06
41	Bus 39	Grid	0,97	1,041091775	1,06

**Figura 2-20 – Lista de tensões em barras do sistema, mostrando estarem dentro dos limites**

Por fim, a licitante exportou em forma tabular a lista da geração de potência ativa e reativa dos geradores do sistema, conforme Figura 2-21. Verifica-se que a geração de potência ativa dos geradores G01 (barra 39), G03 (barra 32) e G04 (barra 33) permaneceram com os mesmos valores do caso base, conforme esperado.

	A	B	C	D
1	Name	Grid	Active Power	Reactive Power
2			MW	Mvar
3	G 05	Grid	464,45	190,03
4	G 09	Grid	801,02	46,77
5	G 06	Grid	637,77	247,64
6	G 10	Grid	249,46	57,26
7	G 01	Grid	1000,00	90,70
8	G 04	Grid	632,00	172,87
9	G 03	Grid	650,00	294,98
10	G 07	Grid	563,63	80,52
11	G 08	Grid	548,95	85,83
12	G 02	Grid	599,47	172,36

**Figura 2-21 – Lista de potência ativa e reativa dos geradores do sistema**

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

## 2.4. Rotina 3: Análise avançada de contingência

Esta rotina verificou a funcionalidade de análise avançada de contingência. A seguir a transcrição do exercício a ser realizado.

"Utilizando a ferramenta de análise avançada de contingência, considerando o sistema obtido no item 1.a, simular contingências "N-1" em todas as linhas de 345 kV e listar, em forma de tabela, as principais diferenças de tensões do sistema e fluxos nas linhas e transformadores entre as condições pré e pós contingências. Recomenda-se que o relatório apresente o seguinte tabelamento:

- As tensões nas barras onde haja violação dos limites de tensão
- Fluxos nos ramos com carregamento maior que 80% da capacidade."

Seguindo o que foi proposto no exercício, a licitante mostrou a janela onde é possível selecionar a lista de contingências a serem realizadas pela simulação. Neste caso, já havia sido configurada a lista de contingências para incluir todas as linhas de transmissão em 345 kV. Foi solicitado à licitante que exportasse essa lista, conforme mostrado na Figura 2-22. Com isso, foi possível confirmar que todas as linhas de transmissão 345 kV estavam na lista de contingências.

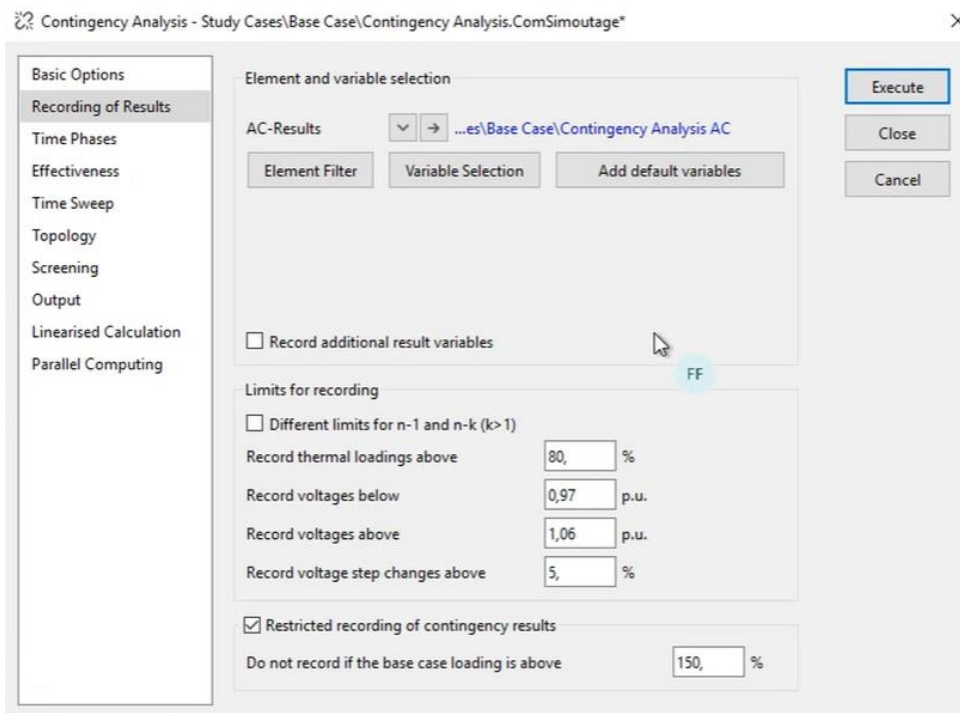
	A	B	C	D
1	Name	Number	Out of Ser	Object modified
2				
3	Line 01 - 02	1	0	23/11/2020 11:11
4	Line 01 - 39	2	0	23/11/2020 11:11
5	Line 02 - 03	3	0	23/11/2020 11:11
6	Line 02 - 25	4	0	23/11/2020 11:11
7	Line 03 - 04	5	0	23/11/2020 11:11
8	Line 03 - 18	6	0	23/11/2020 11:11
9	Line 04 - 05	7	0	23/11/2020 11:11
10	Line 04 - 14	8	0	23/11/2020 11:11
11	Line 05 - 06	9	0	23/11/2020 11:11
12	Line 05 - 08	10	0	23/11/2020 11:11
13	Line 06 - 07	11	0	23/11/2020 11:17
14	Line 06 - 11	12	0	23/11/2020 11:11
15	Line 07 - 08	13	0	23/11/2020 11:11
16	Line 08 - 09	14	0	23/11/2020 11:11
17	Line 09 - 39A	15	0	23/11/2020 11:11
18	Line 09 - 39B	16	0	23/11/2020 11:11
19	Line 10 - 11	17	0	23/11/2020 11:11
20	Line 10 - 13	18	0	23/11/2020 11:11
21	Line 13 - 14	19	0	23/11/2020 11:11
22	Line 14 - 15	20	0	23/11/2020 11:11
23	Line 15 - 16	21	0	23/11/2020 11:11
24	Line 16 - 17	22	0	23/11/2020 11:11
25	Line 16 - 19	23	0	23/11/2020 11:11
26	Line 16 - 21	24	0	23/11/2020 11:11
27	Line 16 - 24	25	0	23/11/2020 11:11
28	Line 17 - 18	26	0	23/11/2020 11:11
29	Line 17 - 27	27	0	23/11/2020 11:11
30	Line 21 - 22	28	0	23/11/2020 11:11
31	Line 22 - 23	29	0	23/11/2020 11:11
32	Line 23 - 24	30	0	23/11/2020 11:11
33	Line 25 - 26	31	0	23/11/2020 11:11
34	Line 26 - 27	32	0	23/11/2020 11:11
35	Line 26 - 28	33	0	23/11/2020 11:11
36	Line 26 - 29	34	0	23/11/2020 11:11
37	Line 28 - 29	35	0	23/11/2020 11:11

**Figura 2-22 – Lista de contingências – LTs 345 kV do caso teste**

Em seguida, solicitou-se mostrar os limites que deveriam ser considerados na monitoração das grandezas de tensão e carregamento para cada contingência. Foi solicitado que fossem mostrados, nos

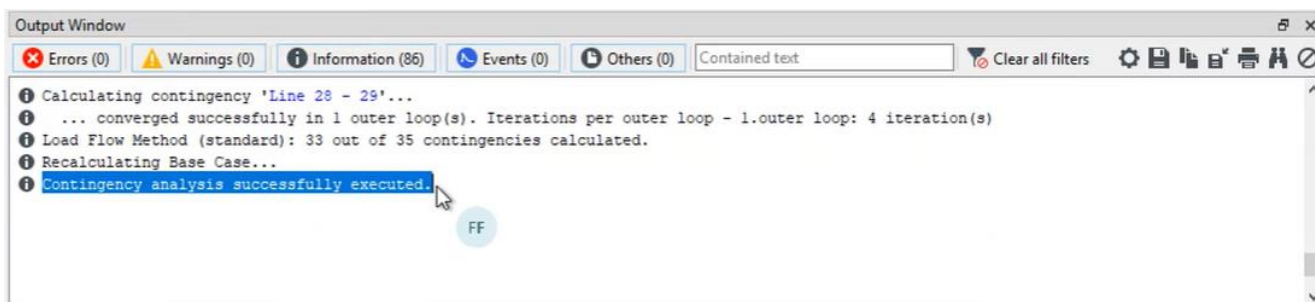


resultados, as tensões que violassem os limites de 0,97-1,06 pu, assim como os carregamentos acima de 80% nos ramos do sistema. A Figura 2-23 mostra a tela em que esses limites foram configurados.



**Figura 2-23 – Configurações para monitoramento da análise de contingências**

Finalizada essa configuração, a licitante executou a análise, sendo apresentada, na *Output Window* representada na Figura 2-24, que a simulação foi bem-sucedida.



**Figura 2-24 – Mensagem de execução bem-sucedida**

Em seguida, a licitante mostrou os resultados em tela, apontando os casos em que houve violação do limite superior de tensão, do limite inferior de tensão e do limite de 80% de carregamento dos ramos. Todas as informações foram apresentadas em forma de tabelas, sempre comparando as grandezas com os valores pré-contingência. Foi solicitado, então, que a licitante exportasse os resultados para o formato de tabelas. A Figura 2-25 e a Figura 2-26 mostram as tabelas exportadas para as barras em que houve violações e para as linhas em que o limite de 80% foi excedido, respectivamente.

Contingency Analysis Report: Worst voltage violations (Max. voltage)								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
Component	Branch, Substation or Site	Voltage Max. [p.u.]	Voltage Step [p.u.]	Voltage Base [p.u.]	Contingency Number	Contingency Name	Base Case and Post Voltage [1,020 p.u. - 1,065 p.u.]	
10								
11	1 Bus 24	1,065	0,041	1,025	25	Line 16 - 24		
12	2 Bus 01	1,064	0,017	1,048	2	Line 01 - 39		
13	3 Bus 24 LV	1,061	0,041	1,020	25	Line 16 - 24		
14	4 Bus 26	1,061	0,021	1,040	32	Line 26 - 27		

Contingency Analysis Report: Worst voltage violations (Min. voltage)								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
Component	Branch, Substation or Site	Voltage Min. [p.u.]	Voltage Step [p.u.]	Voltage Base [p.u.]	Contingency Number	Contingency Name	Base Case and Post Voltage [0,866 p.u. - 1,021 p.u.]	
10								
11	1 Bus 15 LV	0,866	-0,099	0,966	21	Line 15 - 16		
12	2 Bus 15	0,906	-0,095	1,001	21	Line 15 - 16		
13	3 Bus 21 LV	0,942	-0,064	1,006	28	Line 21 - 22		
14	4 Bus 27 LV	0,947	-0,045	0,992	32	Line 26 - 27		
15	5 Bus 20 LV	0,955	-0,009	0,964	28	Line 21 - 22		
16	6 Bus 07	0,957	-0,030	0,986	11	Line 06 - 07		
17	7 Bus 14	0,959	-0,043	1,002	21	Line 15 - 16		
18	8 Bus 21	0,959	-0,062	1,021	28	Line 21 - 22		
19	9 Bus 08	0,959	-0,026	0,986	14	Line 08 - 09		
20	10 Bus 12	0,963	-0,026	0,989	21	Line 15 - 16		
21	11 Bus 04	0,967	-0,027	0,993	21	Line 15 - 16		
22	12 Bus 16 LV	0,968	-0,042	1,010	28	Line 21 - 22		

Figura 2-25 – Piores casos em que houve violação de tensão, e comparação com o caso base

Contingency Analysis Report: Worst loading violations								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
Component	Branch, Substation or Site	Loading Continuous [%]	Loading Short-Term [%]	Loading Base Case [%]	Contingency Number	Contingency Name	Base Case and Continuous Loading [0 % - 159 %]	
10								
11	1 Line 05 - 06	159,2	159,2	84,0	11	Line 06 - 07		
12	2 Line 23 - 24	159,1	159,1	55,0	28	Line 21 - 22		
13	3 Line 06 - 07	123,4	123,4	72,6	9	Line 05 - 06		
14	4 Line 05 - 08	122,3	122,3	53,5	11	Line 06 - 07		
15	5 Line 10 - 11	118,6	118,6	66,6	18	Line 10 - 13		
16	6 Line 10 - 13	118,4	118,4	52,6	17	Line 10 - 11		
17	7 Line 06 - 11	116,3	116,3	65,7	19	Line 13 - 14		
18	8 Line 13 - 14	116,2	116,2	50,6	12	Line 06 - 11		
19	9 31 Gen TRF G2 Buses 06 -	111,8	111,8	57,4	23	Line 16 - 19		
20	10 Line 15 - 16	111,4	111,4	69,0	22	Line 16 - 17		
21	11 Line 02 - 03	108,8	108,8	69,2	32	Line 26 - 27		
22	12 Line 21 - 22	105,6	105,6	68,1	30	Line 23 - 24		
23	13 Line 16 - 24	105,5	105,5	13,7	28	Line 21 - 22		
24	14 Load TRF Bus 27 LV	102,5	102,5	97,8	32	Line 26 - 27		
25	15 Line 16 - 19	100,2	100,2	90,5	28	Line 21 - 22		
26	16 Line 02 - 25	96,5	96,5	48,3	32	Line 26 - 27		
27	17 Line 16 - 17	95,7	95,7	42,5	21	Line 15 - 16		
28	18 Line 28 - 29	95,4	95,4	60,6	34	Line 26 - 29		
29	19 Line 26 - 29	95,3	95,3	34,7	35	Line 28 - 29		
30	20 Line 04 - 14	93,4	93,4	44,5	12	Line 06 - 11		
31	21 34 Gen TRF G5 Buses 20 -	93,2	93,2	90,0	28	Line 21 - 22		
32	22 Line 26 - 27	91,4	91,4	48,9	3	Line 02 - 03		
33	23 Line 07 - 08	90,1	90,1	34,7	9	Line 05 - 06		
34	24 Load TRF Bus 20 LV	83,3	83,3	82,5	28	Line 21 - 22		
35	25 38 Gen TRF G9 Buses 29 -	81,9	81,9	80,8	34	Line 26 - 29		
36	26 Load TRF Bus 15 LV	81,9	81,9	73,5	21	Line 15 - 16		

Figura 2-26 – Piores casos em que houve violação de carregamento, e comparação com o caso base

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

## 2.5. Rotina 4: Estabilidade de regime permanente (PV-QV)

De acordo com o Anexo I do Termo de Referência, segue a transcrição da rotina solicitada referente a Estabilidade de regime permanente (PV-QV):

*"Considerando o sistema obtido no item 1.a, executar a ferramenta de análise de estabilidade de tensão em regime permanente e traçar as curvas PV e QV para todas as barras do sistema, exceto barras de geradores. Em seguida, apresentar as curvas PV e QV das 5 barras com menor margem de potência reativa (MPR) e das 5 barras mais próximas do ponto de Máximo Carregamento (menor  $\Delta P$ ).*

*A Figura 2 apresenta graficamente as definições utilizadas. Na impossibilidade de atender ao requisito de plotagem das 5 piores condições solicitadas, apresentar todas as barras em que foram calculadas as curvas QV e PV."*

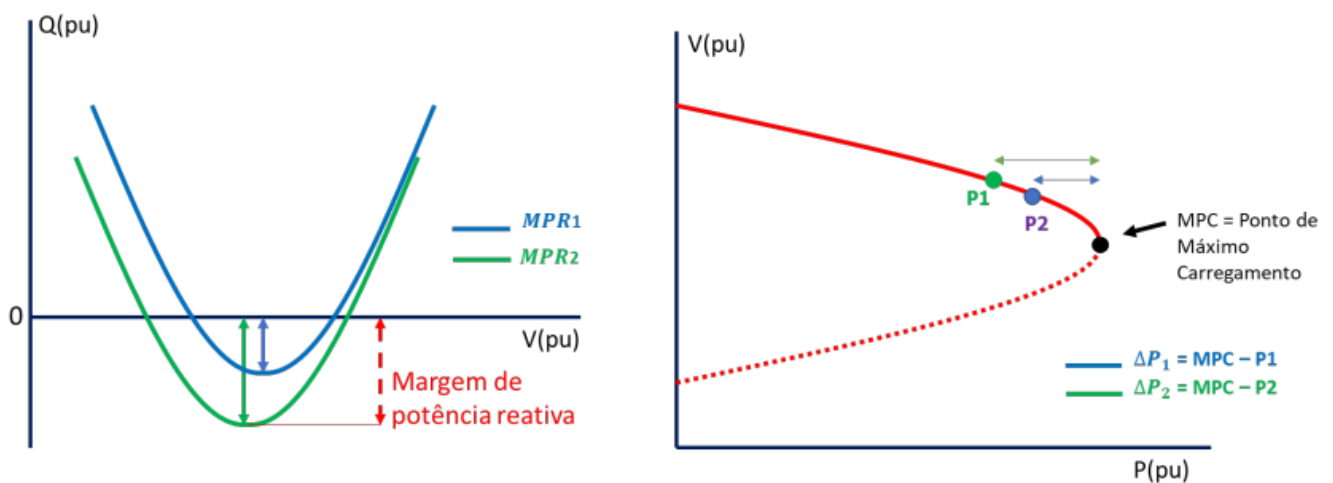


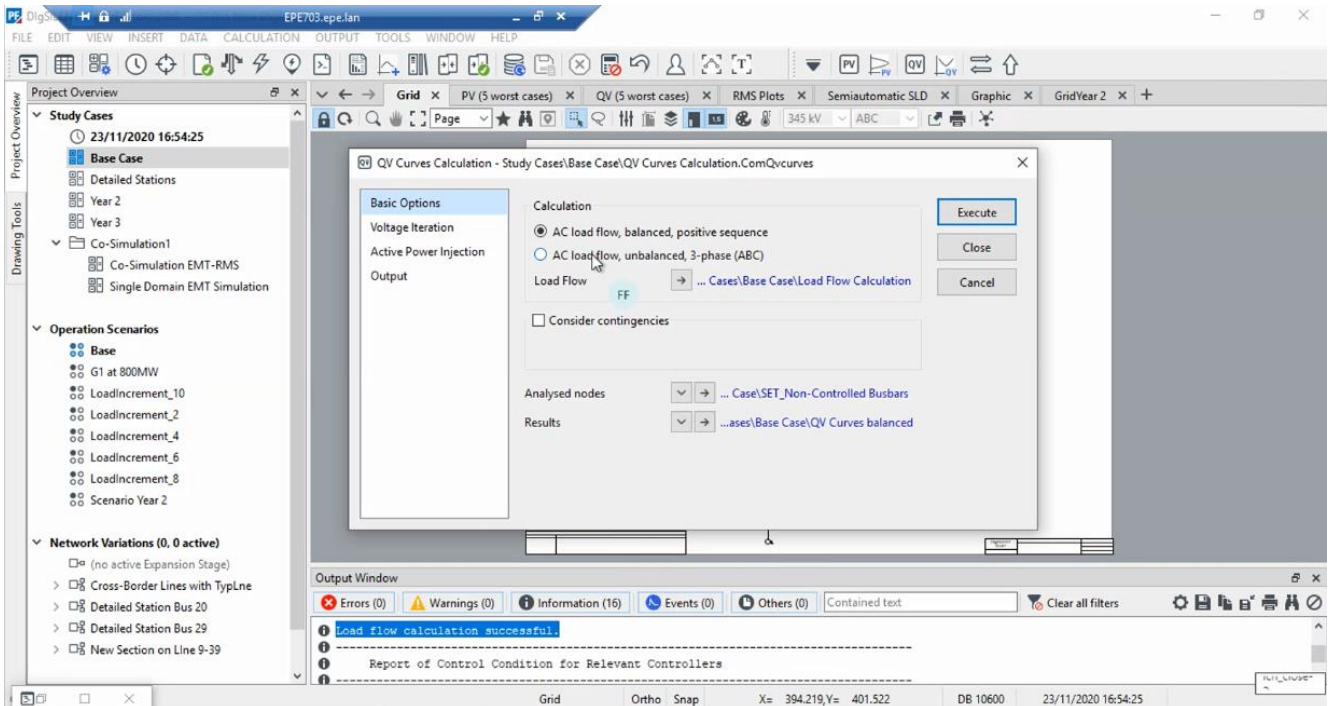
Figura 2 – Definições utilizadas para as curvas PV e QV

Primeiramente, no que tange à elaboração das curvas QV, foi requisitado à licitante que mostrasse, de forma clara, as entradas de dados utilizadas bem com as principais opções para esta simulação.

Assim, foi salientado pela licitante que, como a base de dados é única e integrada, o sistema elétrico utilizado foi o mesmo do item 1.a do Roteiro para Teste de Conformidade.

As opções de simulação para as curvas QV são acessíveis através do módulo *Transmission Network Tools* → *QV Curves Calculation*. Conforme mostrado na Figura 2-27, destacam-se como principais parâmetros de entrada:

- Se os cálculos do fluxo de potência AC serão do tipo balanceado (somente sequencia positiva) ou desbalanceado;
- Se será ou não considerado uma lista de contingências para as condições do fluxo de potência AC;
- A seleção das barras do sistema nas quais serão realizadas, individualmente, as simulações das curvas QV.



**Figura 2-27 – Opções de simulação das curvas QV**

A rotina de testes para as curvas QV sugere o uso do fluxo de potência AC balanceado haja vista que não há cargas desequilibradas ou outros elementos do sistema que causem assimetria entre as fases. Tampouco foi solicitado que considerasse contingências no sistema teste. E finalmente, foi solicitado que fossem realizadas as simulações QV para todas as barras, exceto aquelas dos geradores, o que foi corretamente considerado pela licitante conforme Figura 2-28.

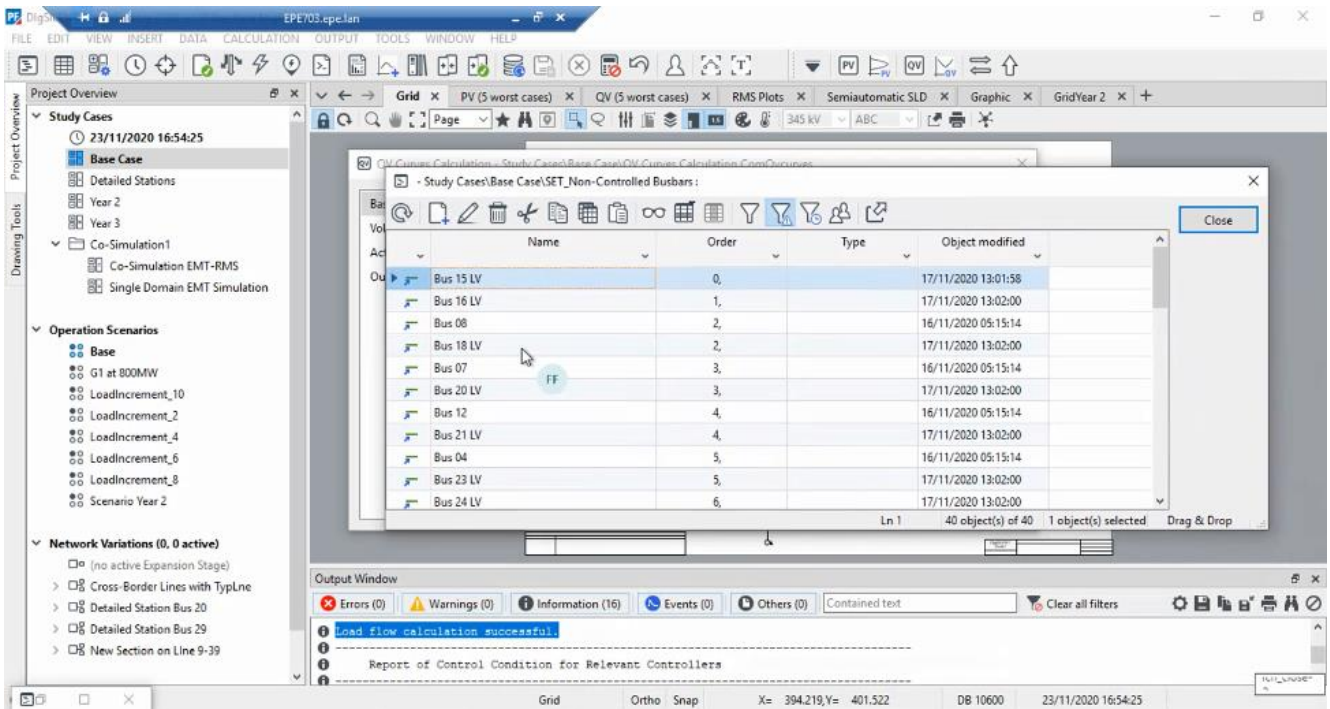


Figura 2-28 – Lista de barras consideradas para simulação das curvas QV

Desta forma, foi então executado o comando para elaboração das curvas QV onde os seguintes resultados foram mostrados na *Output Window* do software, conforme Figura 2-29:

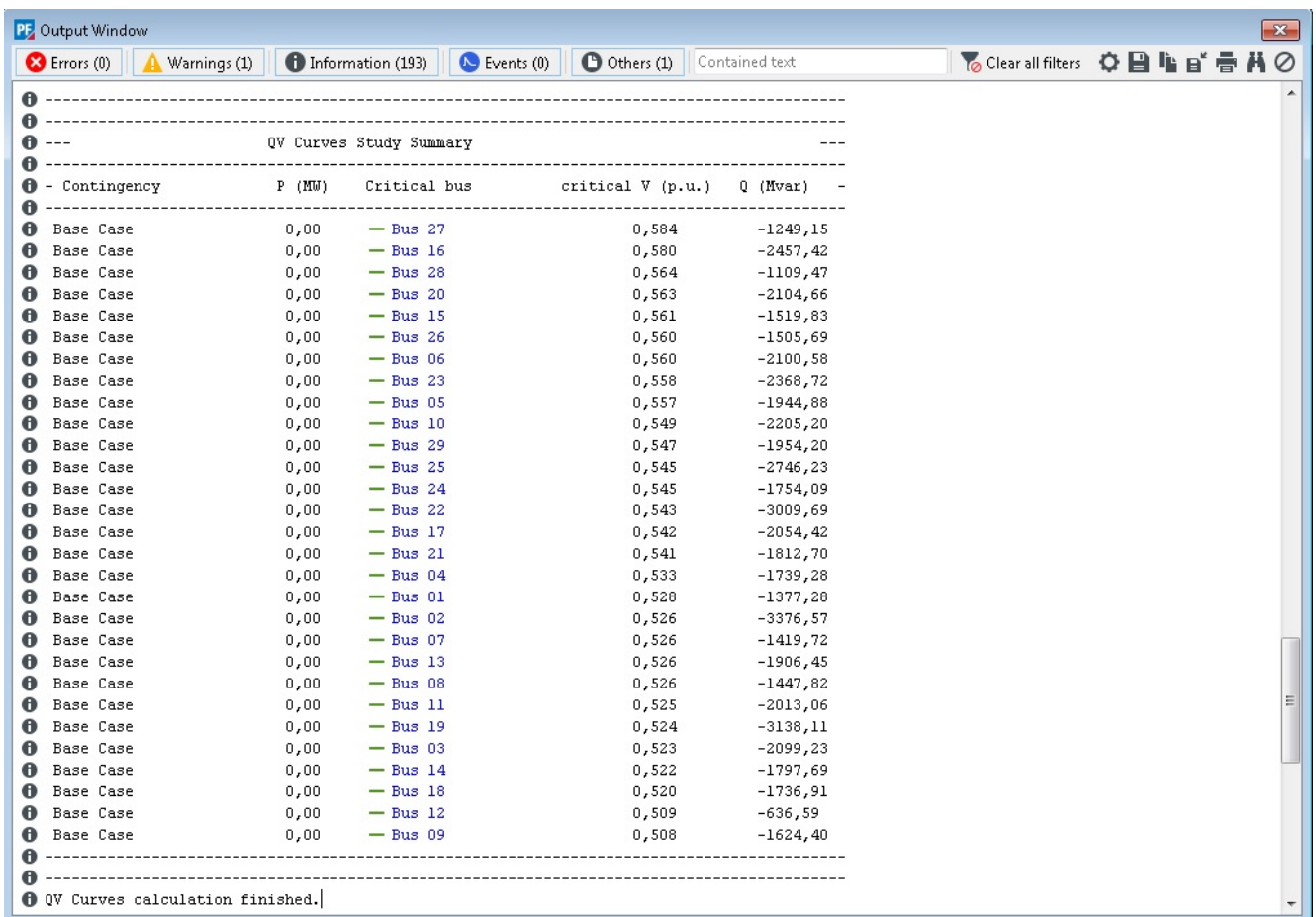
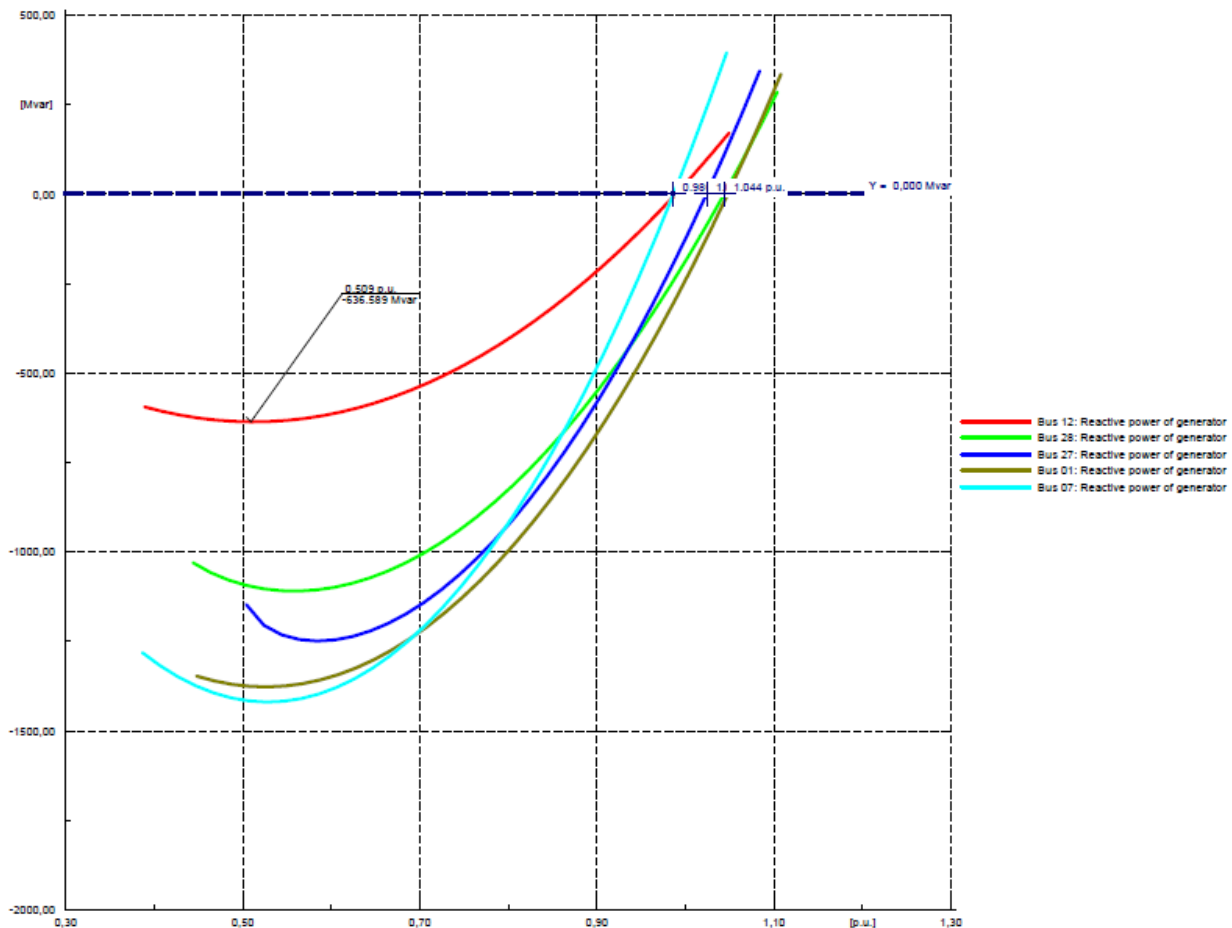


Figura 2-29 – Output Window das curvas QV

Evidencia-se, portanto, que as cinco barras com menor margem de potência reativa (MPR) são: Bus 07, Bus 28, Bus 27, Bus 01 e Bus 07. Solicitou-se que a licitante apresentasse as curvas QV para essas barras as quais são mostradas na Figura 2-30.



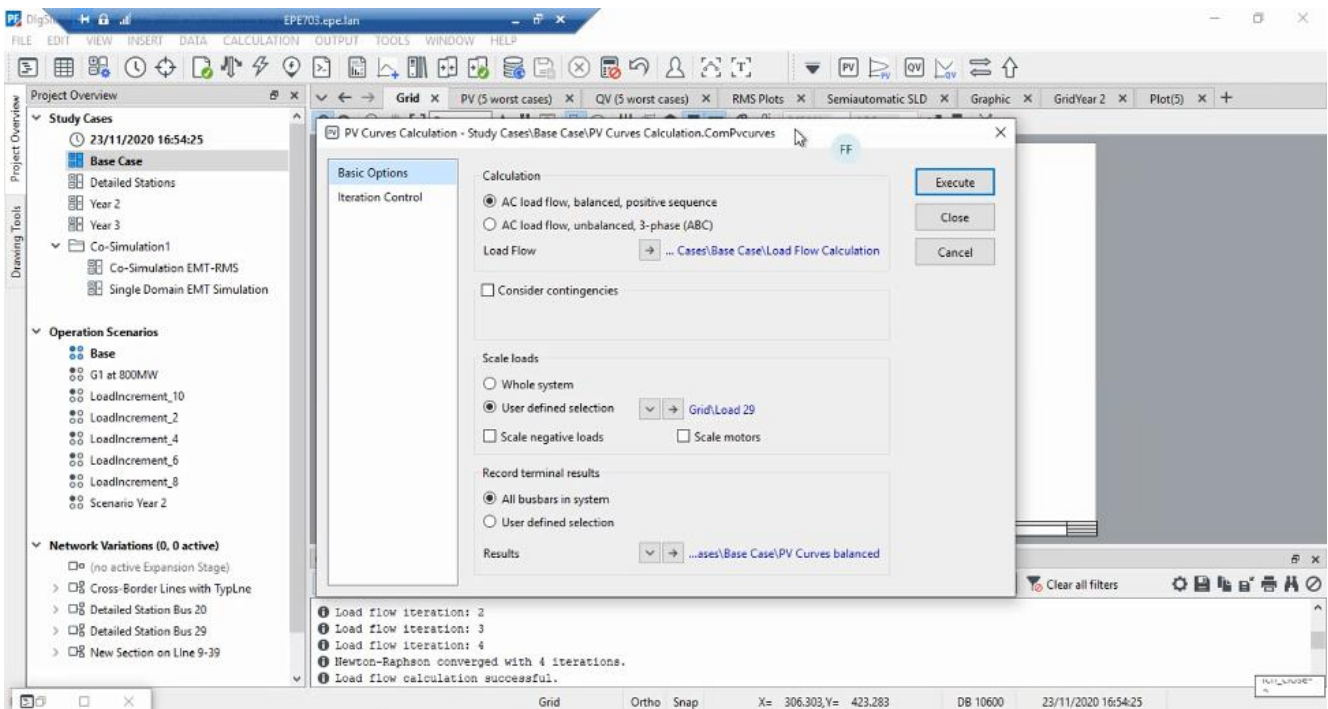
**Figura 2-30 – Resultado para as 5 barras com menor MPR**

Para a obtenção das curvas PV, assim como verificado durante as simulações das curvas QV, a licitante demonstrou que o sistema elétrico utilizado foi o mesmo do item 1.a do Roteiro para Teste de Conformidade.

As opções de simulação para as curvas PV são acessíveis através do módulo *Transmission Network Tools* → *PV Curves Calculation*. Conforme mostrado na Figura 2-31, destacam-se como principais parâmetros de entrada:

- Se os cálculos do fluxo de potência AC serão do tipo balanceado (somente sequencia positiva) ou desbalanceado;
- Se será ou não considerada uma lista de contingências para as condições do fluxo de potência AC;

- Se o acréscimo da potência ativa das cargas será realizado para todo o sistema conjuntamente (*Whole system*), se será realizado para um grupo específico de cargas ou mesmo se será realizado tal acréscimo individualmente, por carga (*User defined selection*);
- A seleção das barras do sistema nas quais serão realizadas o monitoramento da magnitude de suas tensões durante a simulação das curvas PV.

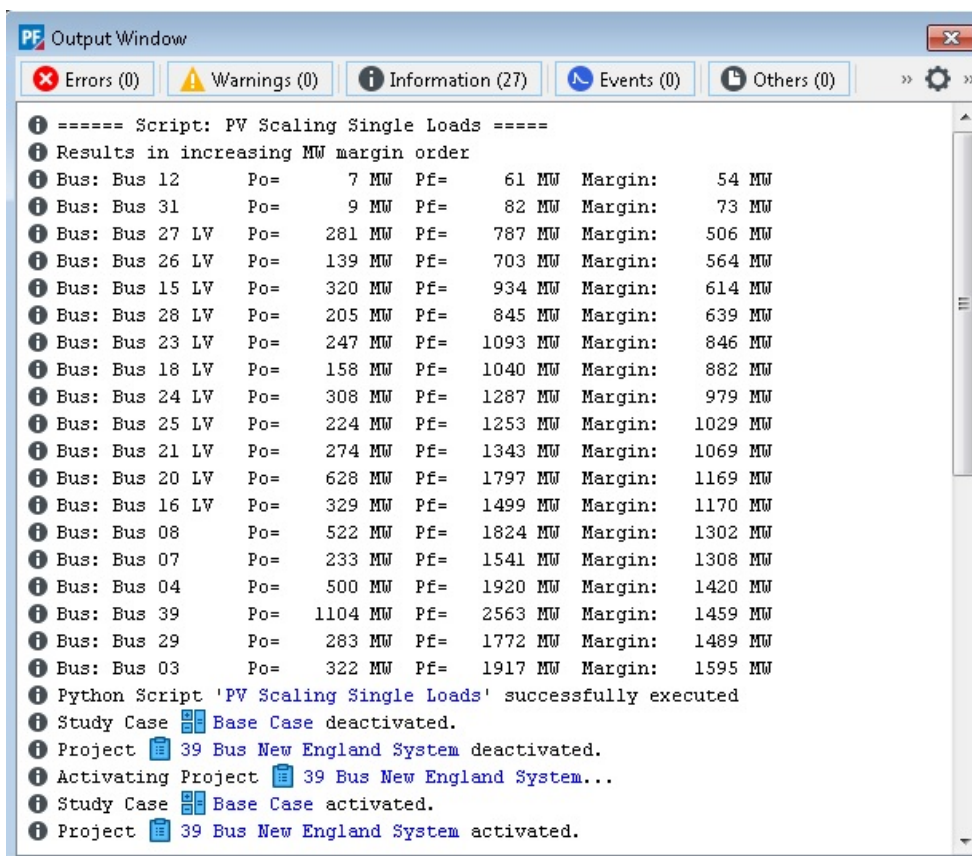


**Figura 2-31 – Opções de simulação das curvas PV**

A exemplo da rotina de testes para as curvas QV, para as curvas PV também se sugere o uso do fluxo de potência AC balanceado haja vista que não há cargas desequilibradas ou outros elementos do sistema que causem assimetria entre as fases. Tampouco foi solicitado que considerasse contingências no sistema teste.

Ressalta-se, no entanto que, para as curvas PV, a licitante optou por realizar o automatismo de simular individualmente todas as curvas através de um script em linguagem Python, conforme apresentado no item 5.1, anexo a este documento. O script utiliza-se de função recursiva para realizar a elaboração automática das curvas PV em todas as barras do sistema individualmente. Adicionalmente, também se evidenciou que o script foi dotado de funcionalidade de seleção, donde apenas as barras sem geradores conectados a elas fossem consideradas, conforme solicitado no Edital.

Desta forma, foi então executado o script para elaboração das curvas PV donde os seguintes resultados foram mostrados na *Output Window* do software, conforme Figura 2-32:



```

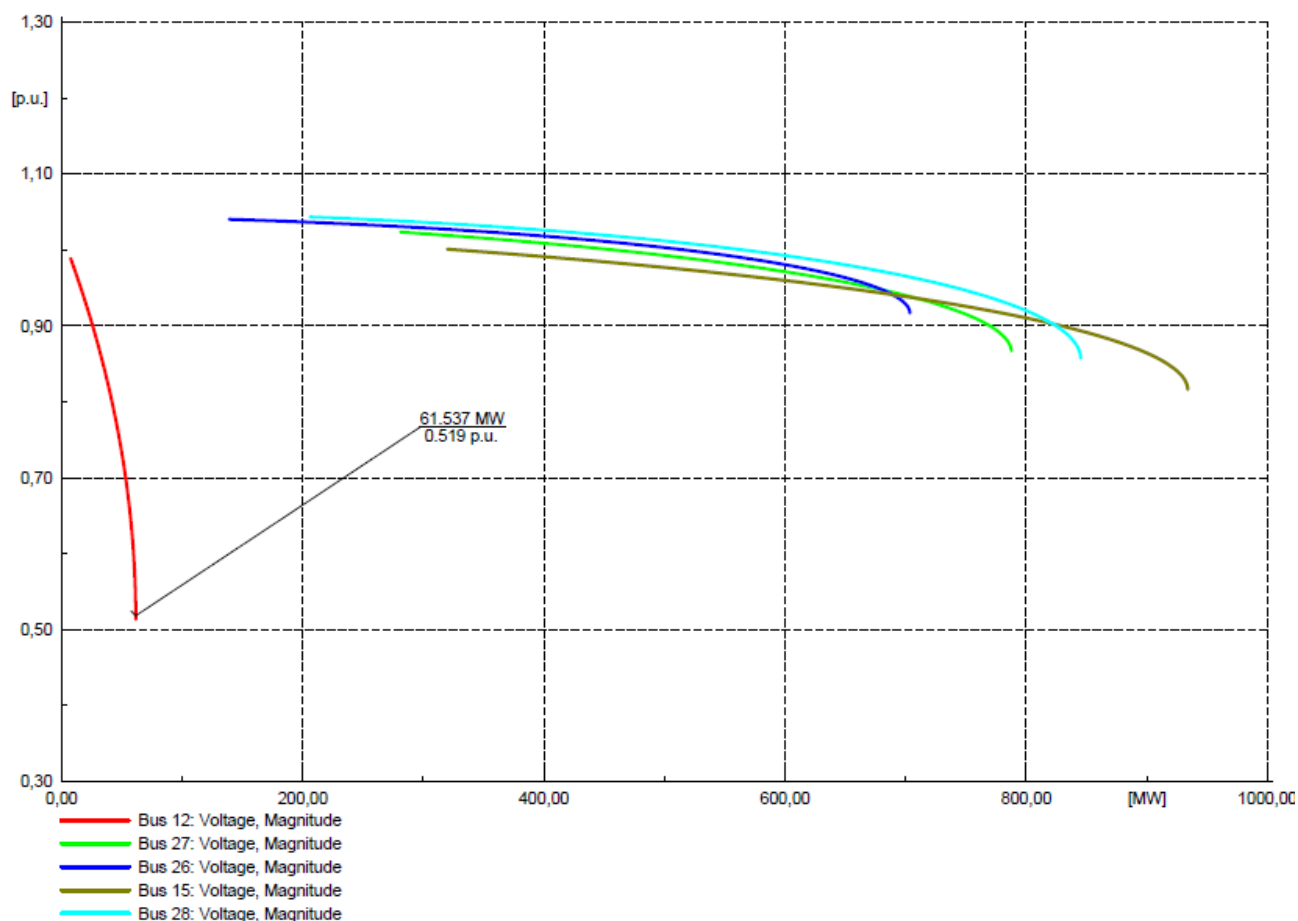
PF Output Window
Errors (0) Warnings (0) Information (27) Events (0) Others (0)
===== Script: PV Scaling Single Loads =====
Results in increasing MW margin order
Bus: Bus 12      Po=      7 MW Pf=     61 MW Margin:    54 MW
Bus: Bus 31      Po=      9 MW Pf=     82 MW Margin:    73 MW
Bus: Bus 27 LV   Po=    281 MW Pf=    787 MW Margin:   506 MW
Bus: Bus 26 LV   Po=    139 MW Pf=    703 MW Margin:   564 MW
Bus: Bus 15 LV   Po=    320 MW Pf=    934 MW Margin:   614 MW
Bus: Bus 28 LV   Po=    205 MW Pf=    845 MW Margin:   639 MW
Bus: Bus 23 LV   Po=    247 MW Pf=   1093 MW Margin:   846 MW
Bus: Bus 18 LV   Po=    158 MW Pf=   1040 MW Margin:   882 MW
Bus: Bus 24 LV   Po=    308 MW Pf=   1287 MW Margin:   979 MW
Bus: Bus 25 LV   Po=    224 MW Pf=   1253 MW Margin:  1029 MW
Bus: Bus 21 LV   Po=    274 MW Pf=   1343 MW Margin:  1069 MW
Bus: Bus 20 LV   Po=    628 MW Pf=   1797 MW Margin:  1169 MW
Bus: Bus 16 LV   Po=    329 MW Pf=   1499 MW Margin:  1170 MW
Bus: Bus 08      Po=    522 MW Pf=   1824 MW Margin:  1302 MW
Bus: Bus 07      Po=    233 MW Pf=   1541 MW Margin:  1308 MW
Bus: Bus 04      Po=    500 MW Pf=   1920 MW Margin:  1420 MW
Bus: Bus 39      Po=   1104 MW Pf=   2563 MW Margin:  1459 MW
Bus: Bus 29      Po=    283 MW Pf=   1772 MW Margin:  1489 MW
Bus: Bus 03      Po=    322 MW Pf=   1917 MW Margin:  1595 MW
Python Script 'PV Scaling Single Loads' successfully executed
Study Case Base Case deactivated.
Project 39 Bus New England System deactivated.
Activating Project 39 Bus New England System...
Study Case Base Case activated.
Project 39 Bus New England System activated.

```

**Figura 2-32 – Output Window das curvas PV**

Nota-se, portanto, que as cinco barras mais próximas do ponto de Máximo Carregamento (menor  $\Delta P$ ) são: Bus 12, Bus 31, Bus 27 LV, Bus 26 LV e Bus 15 LV. Solicitou-se que a licitante apresentasse as curvas PV para essas barras as quais são mostradas na Figura 2-33.





**Figura 2-33 – Resultado para as 5 barras com menor  $\Delta P$**

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

## 2.6. Rotina 5: Análise de curto-circuito

Para a realização da rotina referente à Análise de curto-circuito, de acordo com o Anexo I do Termo de Referência, foi solicitado primeiramente que algumas premissas fossem consideradas, as quais seguem transcritas.

*"Para a realização desta etapa, orienta-se que o licitante considere:*

- *Para todos os elementos, os parâmetros de sequência negativa são iguais aos parâmetros de sequência positiva;*
- *Para transformadores, os parâmetros de sequência zero são iguais aos parâmetros de sequência positiva;*
- *Para geradores, deverá ser considerada a ligação em estrela solidamente aterrado ( $Y_{\Delta}$ ) e a reatância referente ao período transitório, equivalente ao parâmetro "X'd (pu)" na Tabela 2-8 do TB.*

*As rotinas 5.a, 5.b e 5.c a seguir devem utilizar o sistema obtido no item 1.a, sem carregamento pré-falta, executando os eventos seguintes. (...)*”

Primeiramente, foi requisitado à licitante que mostrasse, de forma clara, as entradas de dados utilizadas bem como as principais opções para esta simulação. Mesmo a validação da integridade já tendo sido realizada pela equipe da EPE mediante a publicação da NT EPE-DEE-NT-075/2020 [1], a licitante demonstrou novamente que as premissas sobre os parâmetros de sequência negativa e sobre a ligação e parâmetros de sequência zero para os transformadores e geradores foram corretamente consideradas.

No que tange à adoção da reatância referente ao período transitório, a licitante pôde demonstrar que as correntes de falta são calculadas pelo software tanto para o período subtransitório, quanto para o período transitório, bastando o usuário capturar a informação que lhe convier.

Quanto à consideração das análises de curto-circuito sem carregamento pré-falta, foi demonstrado que o software possui vários métodos de cálculo, todos baseados em norma, donde todos os métodos não consideram o carregamento de pré-falta, exceto pelo o método *complete* que tem a opção de considerar ou não tal carregamento.

As opções de simulação para as análises de curto-circuito são acessíveis através do módulo *Short-Circuit* → *Short-Circuit*. Conforme mostrado na Figura 2-34, destacam-se como principais parâmetros de entrada:

- Método de cálculo (VDE 0102 Part 0 / DIN EM 60909-0, IEC 60909, ANSI, *complete*, IEC 61363, IEC 61660 (DC), ANSI/IEEE 946 (DC) ou VDE 0102 Part 10 / DIN EM 61660);
- Tipo da falta a ser aplicada (*3-Phase Short-Circuit, 2-Phase Short-Circuit, Single Phase to Ground, 2-Phase to Ground, 1-Phase to Neutral, 1-Phase Neutral to Ground, 2-Phase to Neutral, 2-Phase Neutral to Ground, 3-Phase to Neutral, 3-Phase Neutral to Ground ou 3-Phase Short-Circuit (unbalanced)*);
- Impedância de falta;
- Ponto de aplicação da falta (conjunto de barras, conjunto de linhas, etc).

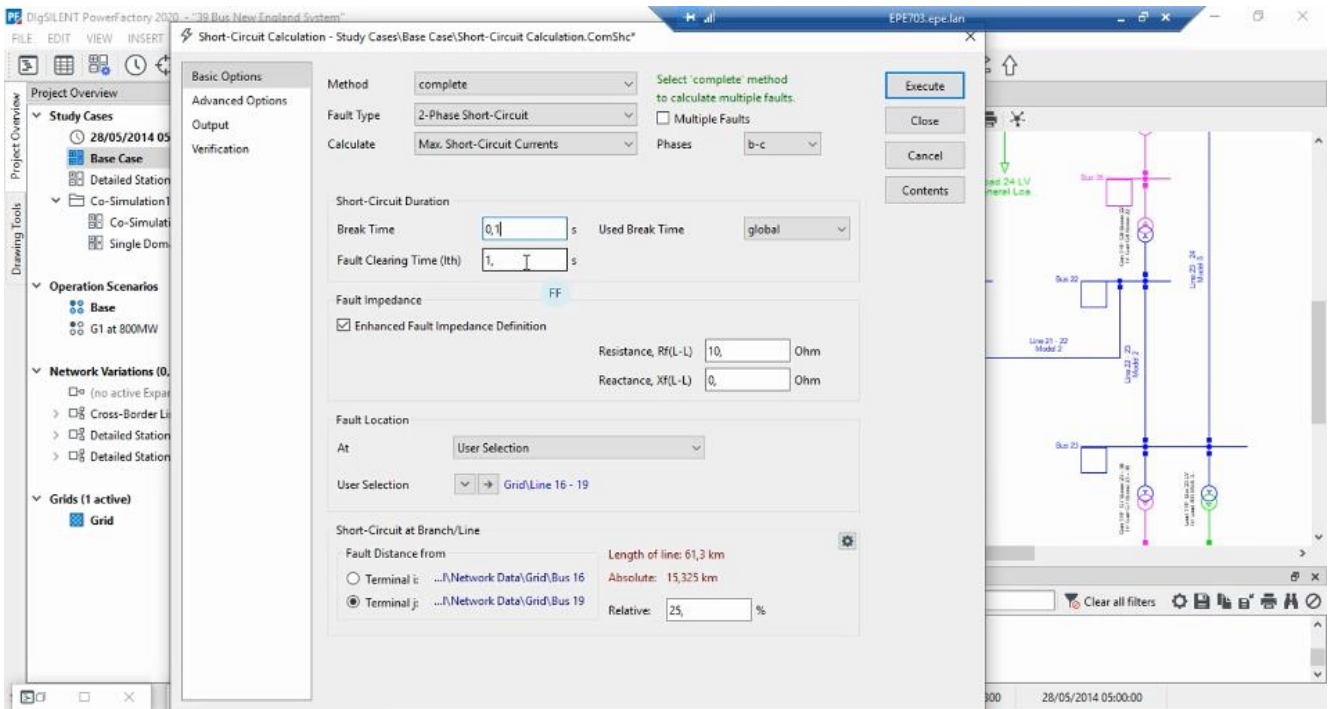


Figura 2-34 – Opções de simulação para curto-circuito

Já que a rotina de testes requerida no Edital não menciona o método de cálculo a ser utilizado, a licitante optou por utilizar o método *complete*, porém desmarcando a opção de considerar o carregamento pré-falta (*Load Flow Initialisation*), conforme mostrado na Figura 2-35.

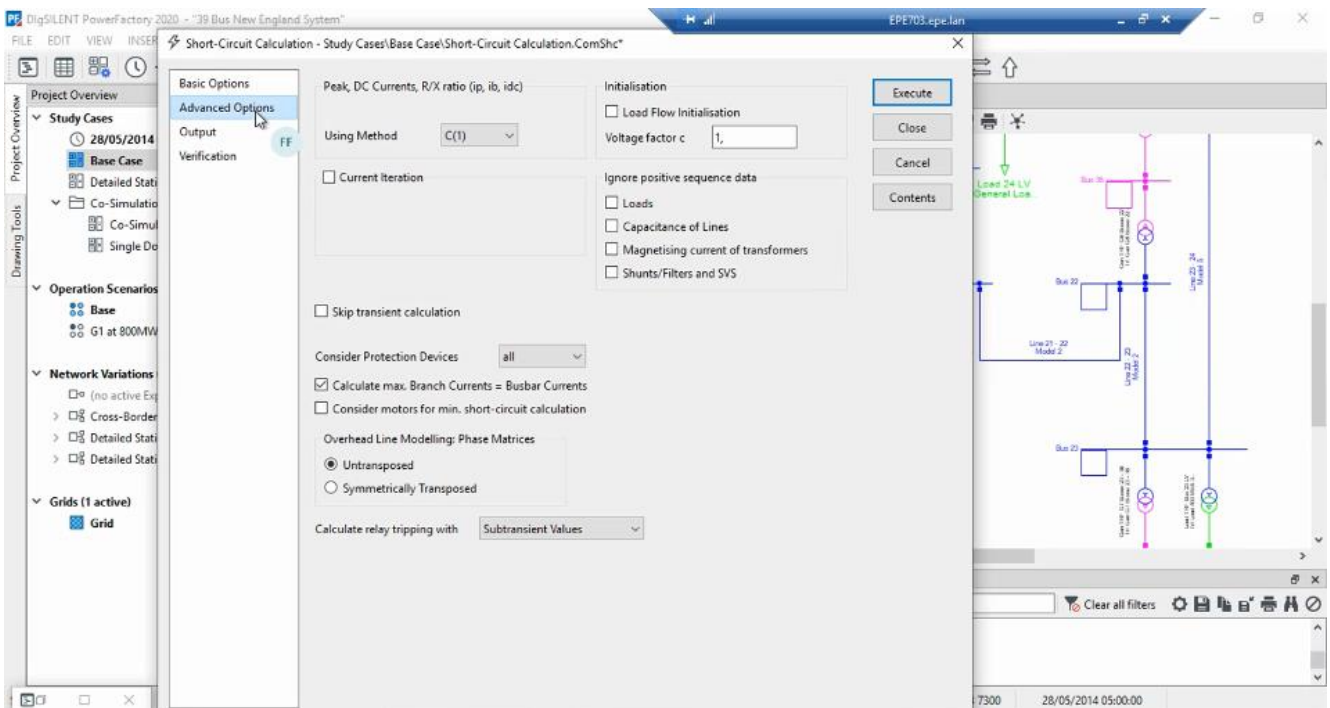


Figura 2-35 – Método *complete* sem carregamento pré-falta

Após verificado que as premissas foram efetivamente cumpridas, seguiu-se para as distintas simulações solicitadas, conforme segue transcrição:

" (...) Para os casos 5.a e 5.b, mostrar as correntes de falta no ponto de aplicação da mesma bem como suas contribuições de correntes de falta em ambos terminais da linha 16-19, tanto em componentes de fase ABC, quanto em componentes de sequência positiva, negativa e zero.

- a. Aplicar falta bifásica na linha 16-19, a 25 % do terminal 19 envolvendo as fases B e C com impedância de falta entre as fases B – C de 10 Ohm ( $R_{BC}=10$  Ohms), conforme Figura 3.

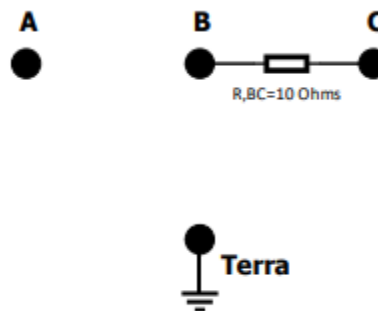


Figura 3 – Falta Bifásica com impedância

- b. Repetir o evento anterior, agora considerando a aplicação de falta bifásica-terra envolvendo as fases B e C e a terra, com impedância de falta entre as fases B – C de 10 Ohm ( $R_{BC}=10$  Ohms) e impedâncias de falta B-terra e C-terra de 45 Ohms ( $R_{B\ terra}=45$  Ohms e  $R_{C\ terra}=45$  Ohms), conforme Figura 4.

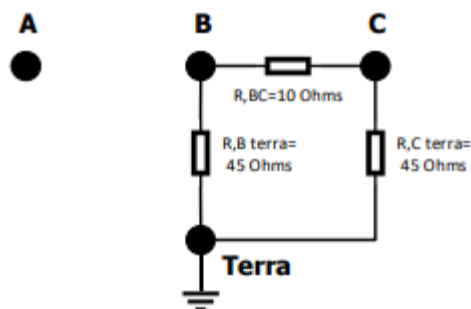


Figura 4 – Falta Bifásica-Terra com impedâncias

" (...)"

Para a simulação do item 5.a foi solicitado primeiramente que a licitante apresentasse as opções utilizadas, evidenciando que, o tipo da falta, o ponto de aplicação e a impedância de falta estavam sendo corretamente consideradas, conforme mostra a Figura 2-36.

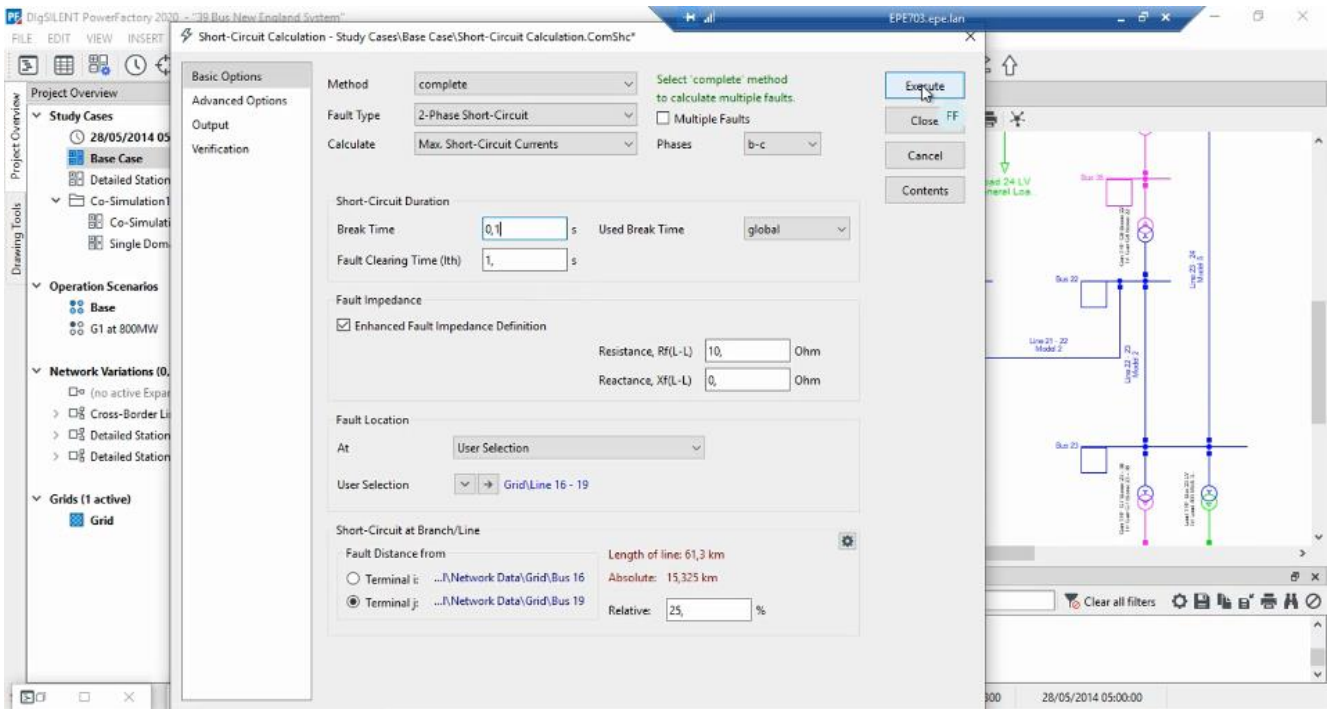


Figura 2-36 – Item 5.a, modelagem de falta

Em seguida, pediu-se para que o resultado da simulação fosse mostrado no diagrama unifilar, considerando as correntes em componentes de fase ABC e em componentes 012, tanto no ponto de aplicação da falta, bem como em ambos terminais da linha 16-19, conforme apresentando na Figura 2-37.

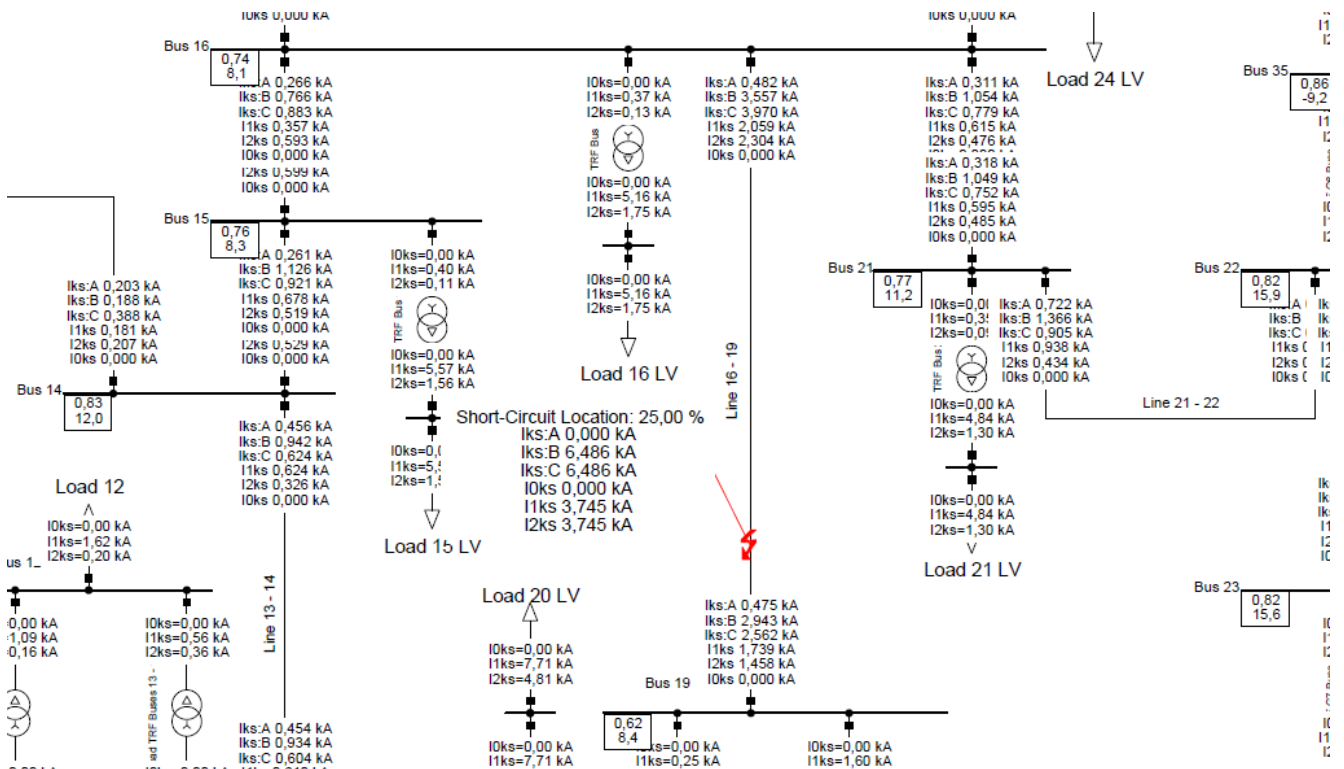
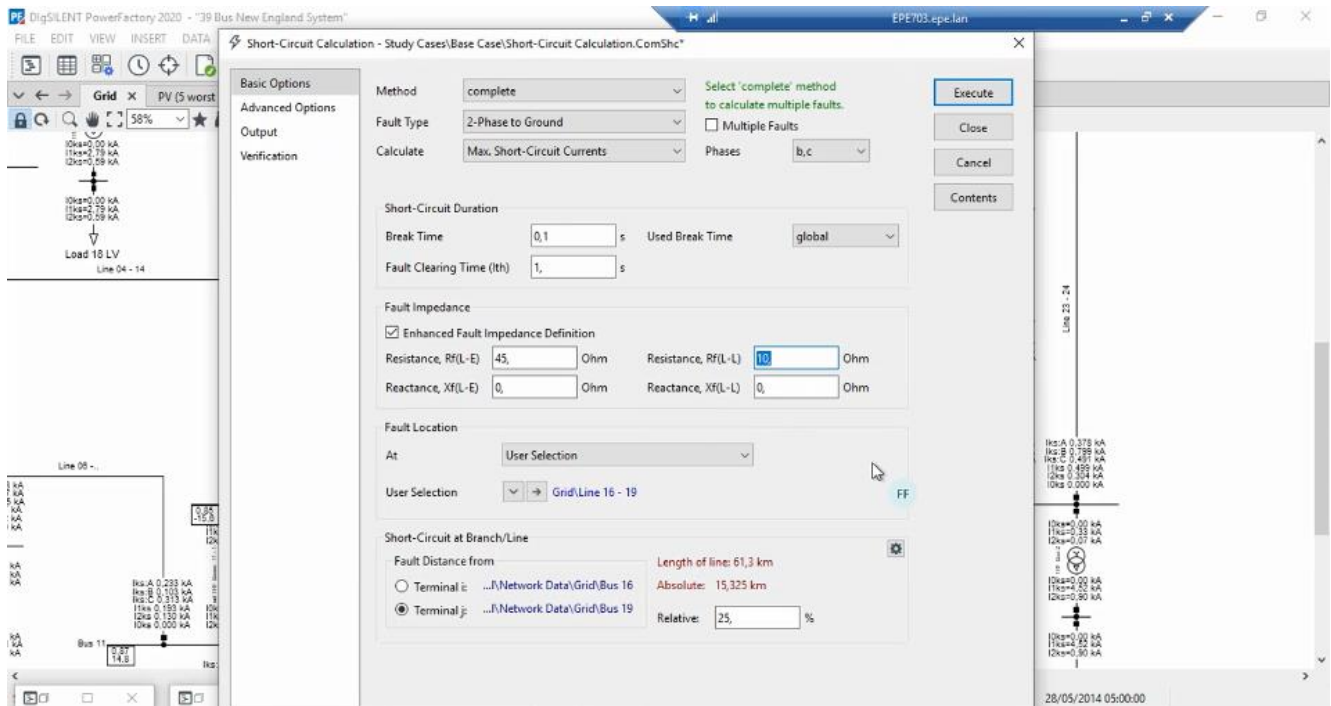


Figura 2-37 – Item 5.a, resultados

Assim como feito no item 5.a, para a simulação do item 5.b, foi solicitado primeiramente que a licitante apresentasse as opções utilizadas, evidenciando que, o tipo da falta, o ponto de aplicação e a impedância de falta estavam sendo corretamente consideradas, conforme mostra a Figura 2-38.



**Figura 2-38 – Item 5.b, modelagem de falta**

Em seguida, pediu-se para que o resultado da simulação fosse mostrado no diagrama unifilar, considerando as correntes em componentes de fase ABC e em componentes 012, tanto no ponto de aplicação da falta, bem como em ambos terminais da linha 16-19, conforme apresentando na Figura 2-39.

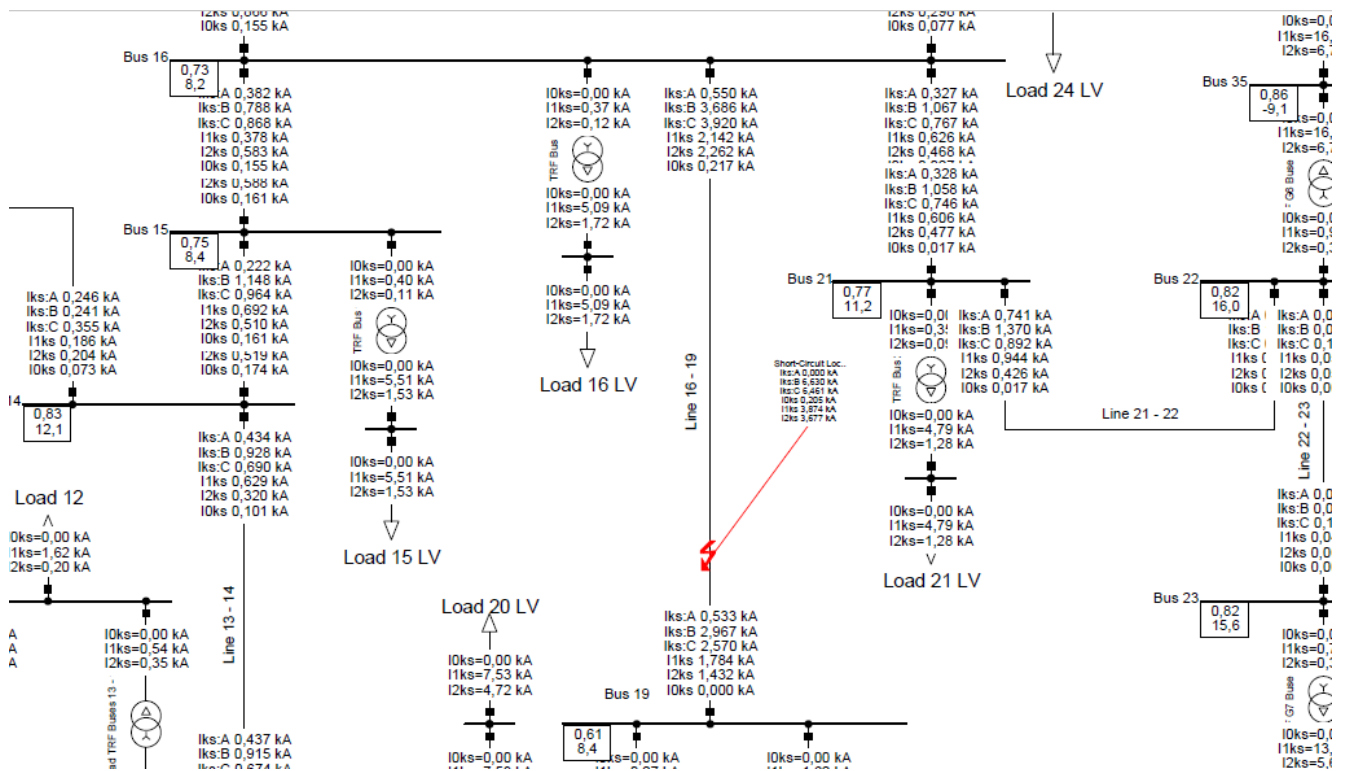


Figura 2-39 – Item 5.b, resultados

Seguiu-se então para a última simulação exigida no Edital, conforme transcrito:

“ (...)

- c. Aplicar curto-circuito sólido (sem impedância) em cada barra do sistema, exceto geradores, para diferentes tipos de falta: monofásica (A terra), bifásica (BC), bifásica-terra (BC terra) e trifásica (ABC). Para cada barra e tipo de falta mostrar, em forma de tabela, as maiores correntes de falta, em componentes de fase ABC.”

Para a simulação do item 5.c a licitante realizou quatro etapas de cálculos, cada uma referente a um tipo de falta distinto ora solicitado, exportando os resultados para uma planilha Excel. As Figura 2-40 e Figura 2-41 mostram, respectivamente, os resultados de um dos tipos de falta (*Single Phase to Ground*) e a exportação destes resultados para a planilha Excel.

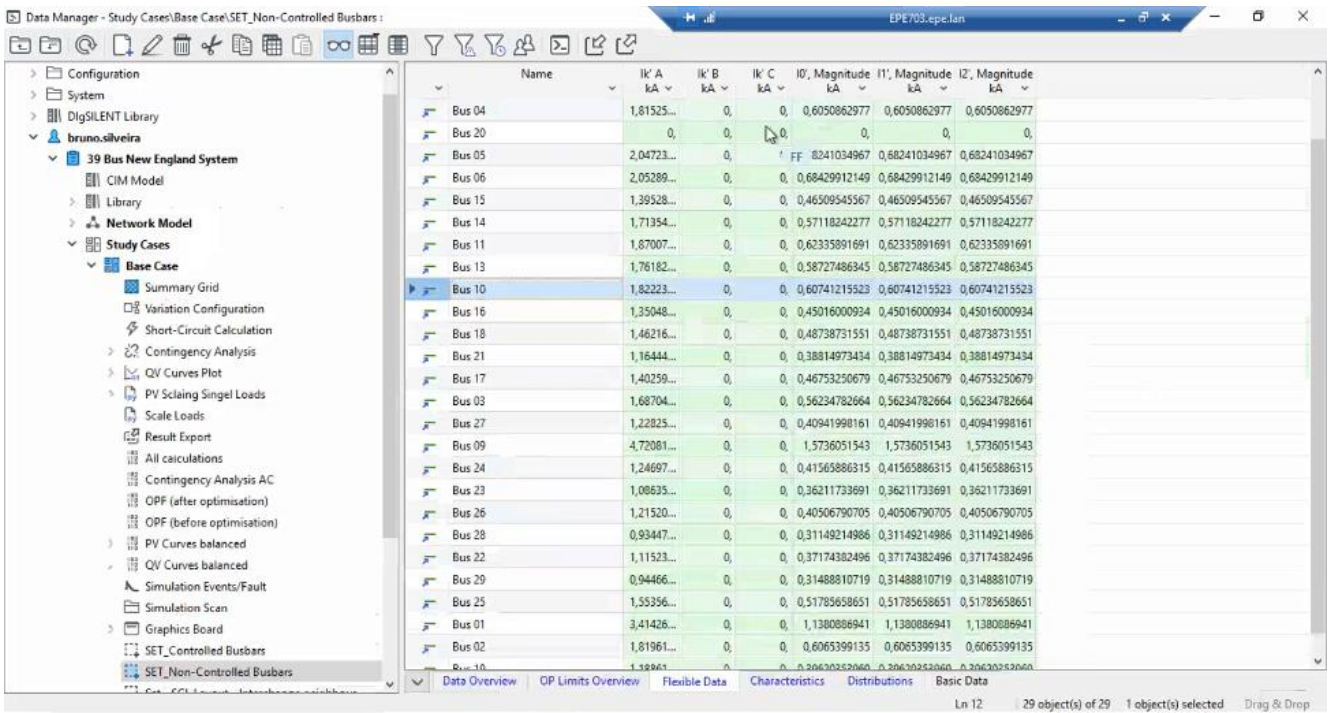


Figura 2-40 – Item 5.c, resultados Power Factory (1phA\_G)

Name	Ik' A kA	Ik' B kA	Ik' C kA	I0', Magnitude kA	I1', Magnitude kA	I2', Magnitude kA
Bus 08	2,211214551	0	0	0,737071517	0,737071517	0,737071517
Bus 07	2,077825385	0	0	0,692608462	0,692608462	0,692608462
Bus 12	0	0	0	0	0	0
Bus 04	1,815258893	0	0	0,605086298	0,605086298	0,605086298
Bus 20	0	0	0	0	0	0
Bus 05	2,047231049	0	0	0,68241035	0,68241035	0,68241035
Bus 06	2,052897365	0	0	0,684299121	0,684299121	0,684299121
Bus 15	1,395286367	0	0	0,465095456	0,465095456	0,465095456
Bus 14	1,713547268	0	0	0,571182423	0,571182423	0,571182423
Bus 11	1,870076751	0	0	0,623358917	0,623358917	0,623358917
Bus 13	1,76182459	0	0	0,587274863	0,587274863	0,587274863
Bus 10	1,822236466	0	0	0,607412155	0,607412155	0,607412155
Bus 16	1,350480028	0	0	0,450160009	0,450160009	0,450160009
Bus 18	1,462161947	0	0	0,487387316	0,487387316	0,487387316
Bus 21	1,164449203	0	0	0,388149734	0,388149734	0,388149734
Bus 17	1,40259752	0	0	0,467532507	0,467532507	0,467532507
Bus 03	1,68704348	0	0	0,562347827	0,562347827	0,562347827
Bus 27	1,228259945	0	0	0,409419982	0,409419982	0,409419982
Bus 09	4,720815463	0	0	1,573605154	1,573605154	1,573605154
Bus 24	1,246976589	0	0	0,415658863	0,415658863	0,415658863
Bus 23	1,086352011	0	0	0,362117337	0,362117337	0,362117337
Bus 26	1,215203721	0	0	0,405067907	0,405067907	0,405067907
Bus 28	0,93447645	0	0	0,31149215	0,31149215	0,31149215
Bus 22	1,115231475	0	0	0,371743825	0,371743825	0,371743825
Bus 29	0,944664322	0	0	0,314888107	0,314888107	0,314888107
Bus 25	1,55356976	0	0	0,517856587	0,517856587	0,517856587
Bus 01	3,414266082	0	0	1,138088694	1,138088694	1,138088694
Bus 02	1,819619741	0	0	0,606539914	0,606539914	0,606539914
Bus 19	1,188610619	0	0	0,39620354	0,39620354	0,39620354

Figura 2-41 – Item 5.c, resultados Excel (1phA\_G)



Depois de exportados todos os quatro tipos de falta para o ambiente Excel, foi possível estabelecer a comparação da maior corrente de fase, em componentes ABC, para cada barra e cada tipo de falta, de acordo com o preconizado no Edital. A Figura 2-42 ilustra tais resultados.

Bus	1phA_G kA	2phBC kA	2phBC-Earth kA	3pH kA
Bus 08	2,211214551	6,650811695	6,814891199	7,679695844
Bus 07	2,077825385	6,365224303	6,524871972	7,34992793
Bus 12	0	42,9191493	42,9191493	49,55876498
Bus 04	1,815258893	7,586778582	7,729504648	8,760457313
Bus 20	0	5,423692963	5,423692995	6,262741182
Bus 05	2,047231049	7,594071527	7,760828599	8,768878481
Bus 06	2,052897365	7,724195047	7,893103418	8,919132179
Bus 15	1,395286367	6,903600565	7,007855883	7,971591289
Bus 14	1,713547268	7,219426381	7,369385968	8,336275529
Bus 11	1,870076751	6,998025222	7,168800378	8,080623491
Bus 13	1,76182459	6,796833852	6,961510741	7,848307708
Bus 10	1,822236466	7,081934116	7,252432129	8,177513136
Bus 16	1,350480028	8,824815233	8,917101081	10,1900189
Bus 18	1,462161947	7,275081959	7,405172422	8,400541055
Bus 21	1,164449203	6,000958515	6,103704271	6,929310028
Bus 17	1,40259752	8,15135096	8,265900712	9,412369342
Bus 03	1,68704348	8,30052775	8,455056849	9,584623862
Bus 27	1,228259945	5,854064891	5,972667773	6,759691881
Bus 09	4,720815463	6,971358881	7,440861523	8,049831852
Bus 24	1,246976589	6,514263611	6,610430172	7,522023698
Bus 23	1,086352011	4,816275745	4,917233836	5,561356195
Bus 26	1,215203721	5,913232855	6,033453066	6,828013161
Bus 28	0,93447645	3,573887978	3,658586142	4,126770372
Bus 22	1,115231475	5,692190835	5,800006916	6,572775822
Bus 29	0,944664322	4,073073168	4,157891426	4,70317978
Bus 25	1,55356976	8,072950738	8,253669771	9,321840564
Bus 01	3,414266082	6,014250759	6,469215228	6,944658588
Bus 02	1,819619741	9,697514904	9,908384185	11,19772568
Bus 19	1,188610619	6,379751706	6,484352648	7,36670273

**Figura 2-42 – Item 5.c, resultados Excel (comparação entre todos os tipos de falta, por barra, maior corrente em componentes de fase)**

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

## 2.7. Rotina 6: Análise de Estabilidade Eletromecânica

De acordo com o Anexo I do Termo de Referência, segue a transcrição da rotina solicitada referente a Análise de Estabilidade Eletromecânica:

*"Considerando o sistema obtido no item 1.a, modelar na ferramenta de análises de estabilidade eletromecânica (análise RMS) todos os controles de geradores listados no item 2.1.4.1 do TB. Em seguida realizar a seguinte simulação:*

- a. Ajustar o tempo máximo de simulação para  $t_{max}=2$  s;*
- b. O passo de integração pode ser escolhido livremente;*

- c. *Iniciar o caso. Caso o sistema não seja estável, realizar os ajustes ou adições necessárias para a estabilização do sistema.*
- d. *Aplicar uma falta trifásica na barra 2 em  $t=0,1$  s;*
- e. *Remover a falta aplicada na barra 2 em  $t=0,2$  s;*
- f. *Plotar, para os geradores do sistema, as seguintes variáveis: Potência Ativa, Tensão no seu terminal e frequência.*

*Caso tenha sido necessário adicionar algum modelo ao sistema teste, este deve ser explicitamente apresentado antes da realização da simulação.*

*Errata: na Tabela 2-8 do TB, a constante de inércia do gerador 32 deve ser considerada  $H=3,58$  s."*

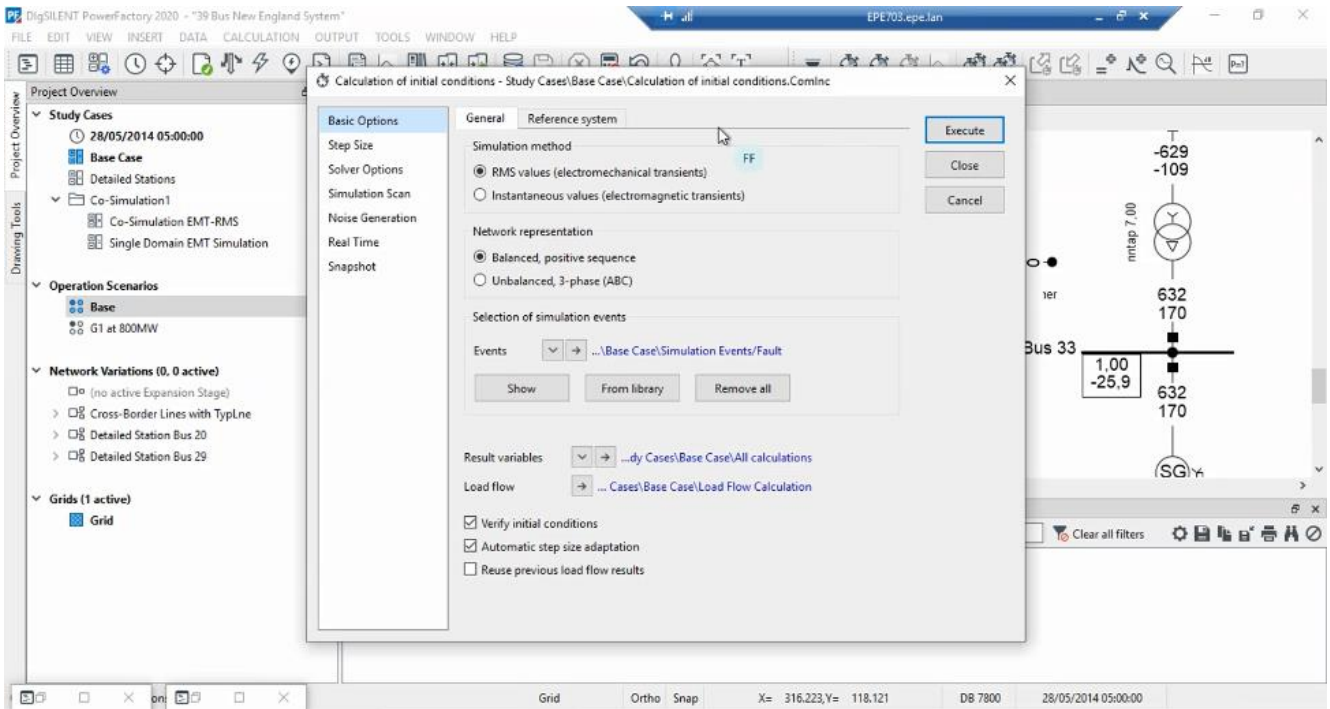
Primeiramente, no que tange à análise de estabilidade eletromecânica, foi requisitado à licitante que mostrasse, de forma clara, as entradas de dados utilizadas bem com as principais opções para esta simulação.

Assim, foi salientado pela licitante que, como a base de dados é única e integrada, o sistema elétrico utilizado foi o mesmo do item 1.a do Roteiro para Teste de Conformidade.

As opções de simulação para análise de estabilidade eletromecânica são acessíveis através do módulo *Simulation RMS/EMT* → *Initial Conditions* e *Simulation RMS/EMT* → *Start Simulation*. Ou seja, antes de efetivamente efetuar a simulação é necessário primeiramente calcular as condições iniciais do sistema em questão (variáveis de controle, etc).

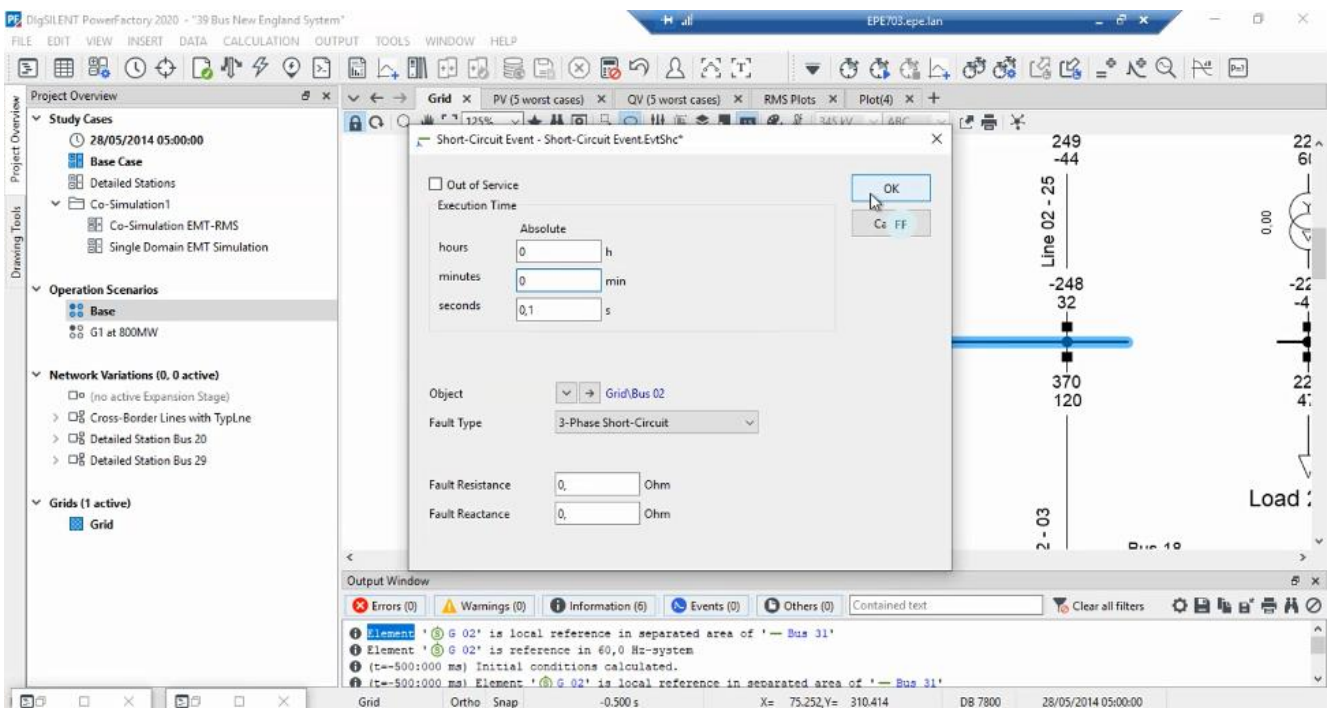
A Figura 2-43 mostra os principais parâmetros de entrada para o cálculo das condições iniciais:

- Se a simulação será do tipo de transitórios eletromecânicos ou de transitórios eletromagnéticos;
- Se a rede para a simulação será do tipo balanceada (somente sequência positiva) ou desbalanceada (trifásica);
- O evento do sistema que motivará a análise do transitório;
- A seleção das variáveis a serem monitoradas e armazenadas durante a simulação.



**Figura 2-43 – Opções de simulação (condições iniciais) da análise de estabilidade eletromecânica**

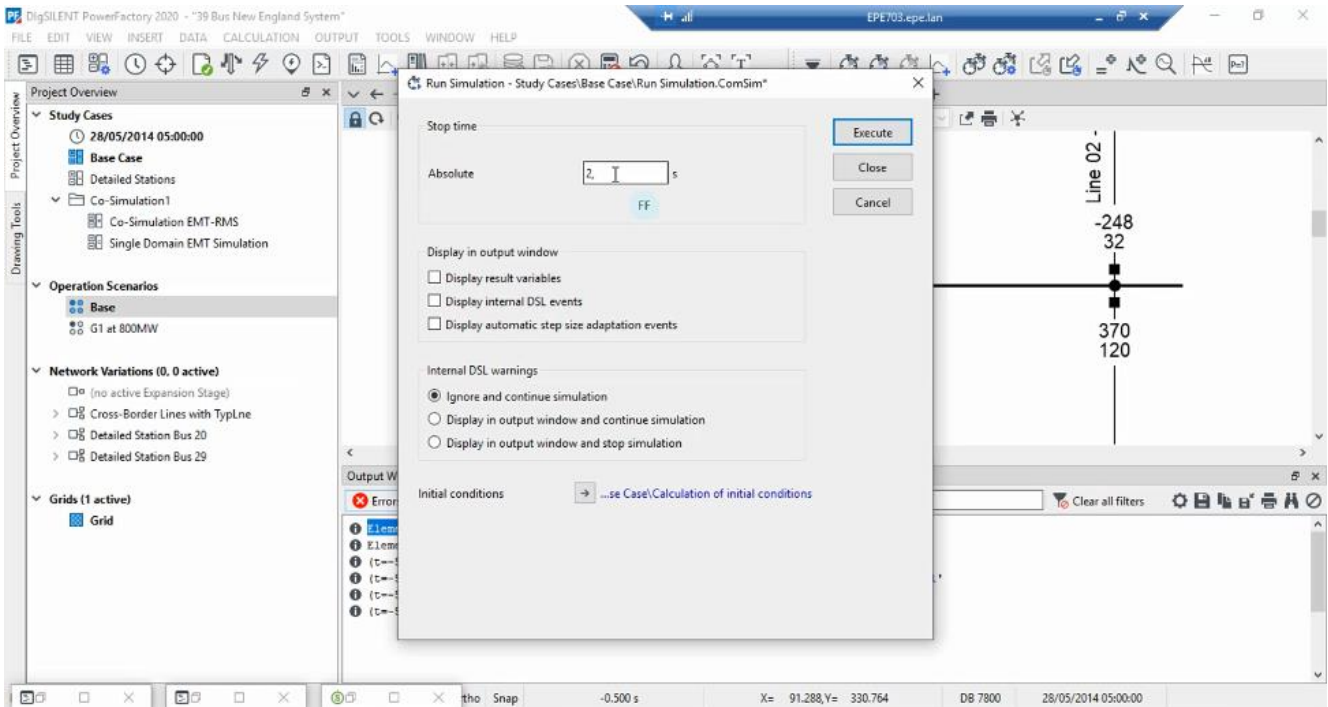
Quanto ao evento do sistema que motiva a análise de estabilidade eletromecânica, nota-se que a licitante modelou corretamente a falta trifásica sólida na barra 2 em  $t=0,1$  s, conforme mostra a Figura 2-44, bem como a remoção desta falta em  $t=0,2$  s.



**Figura 2-44 – Evento na barra 2 (falta trifásica sólida)**

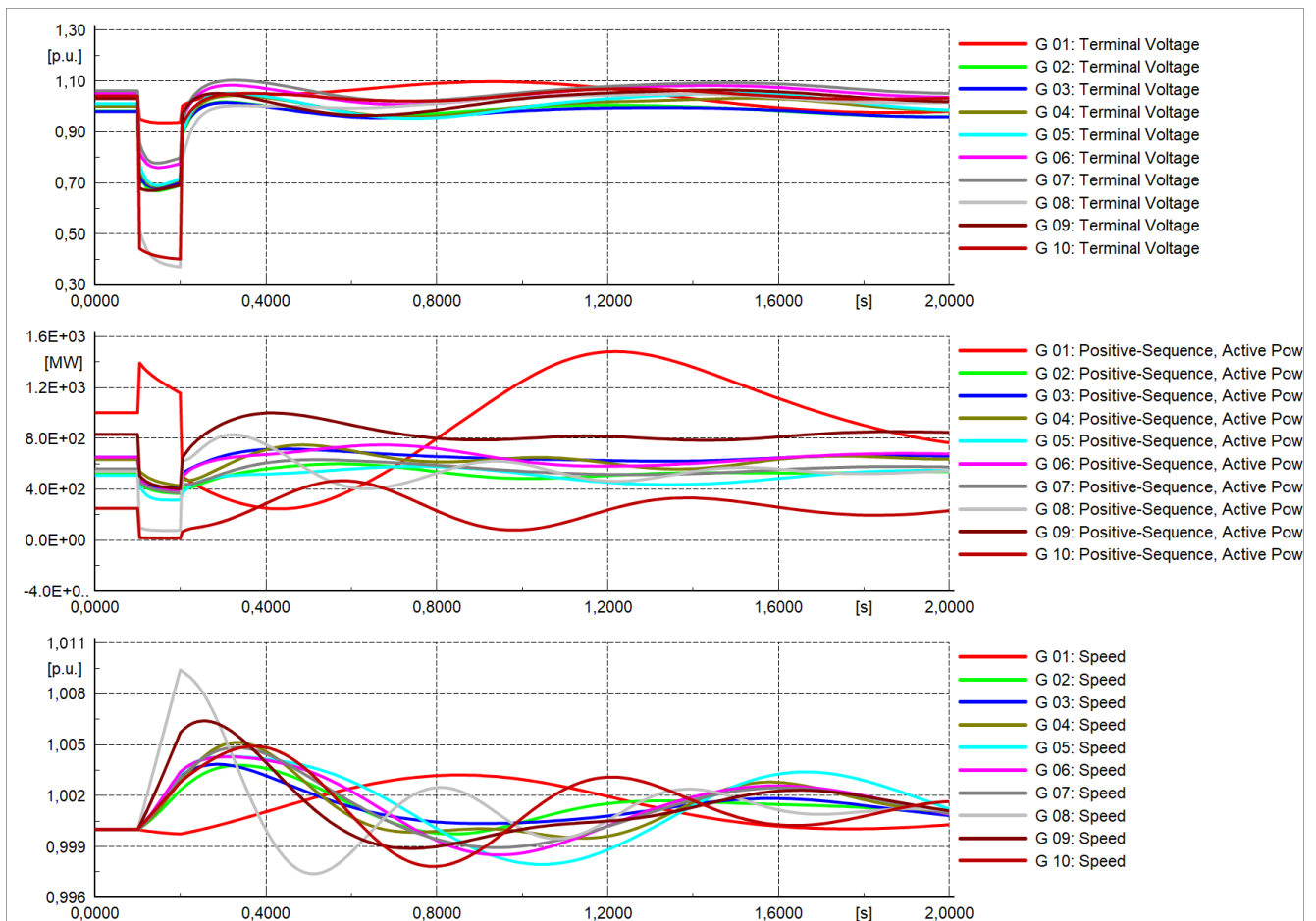
Uma vez calculadas as condições iniciais, passou-se então à simulação do evento propriamente dito. A Figura 2-45 mostra os principais parâmetros de entrada para a simulação:

- Tempo máximo da simulação;
- Referência de dados para as condições iniciais a serem consideradas.



**Figura 2-45 – Opções de simulação (execução) da análise de estabilidade eletromecânica**

Após o processamento dos cálculos na execução da análise de estabilidade eletromecânica, solicitou-se que fossem plotados os gráficos, para todos os geradores do sistema, das seguintes variáveis: Potência Ativa, Tensão no seu terminal e frequência. A Figura 2-46 apresenta esses resultados.



**Figura 2-46 – Resultados gráficos da análise de estabilidade eletromecânica**

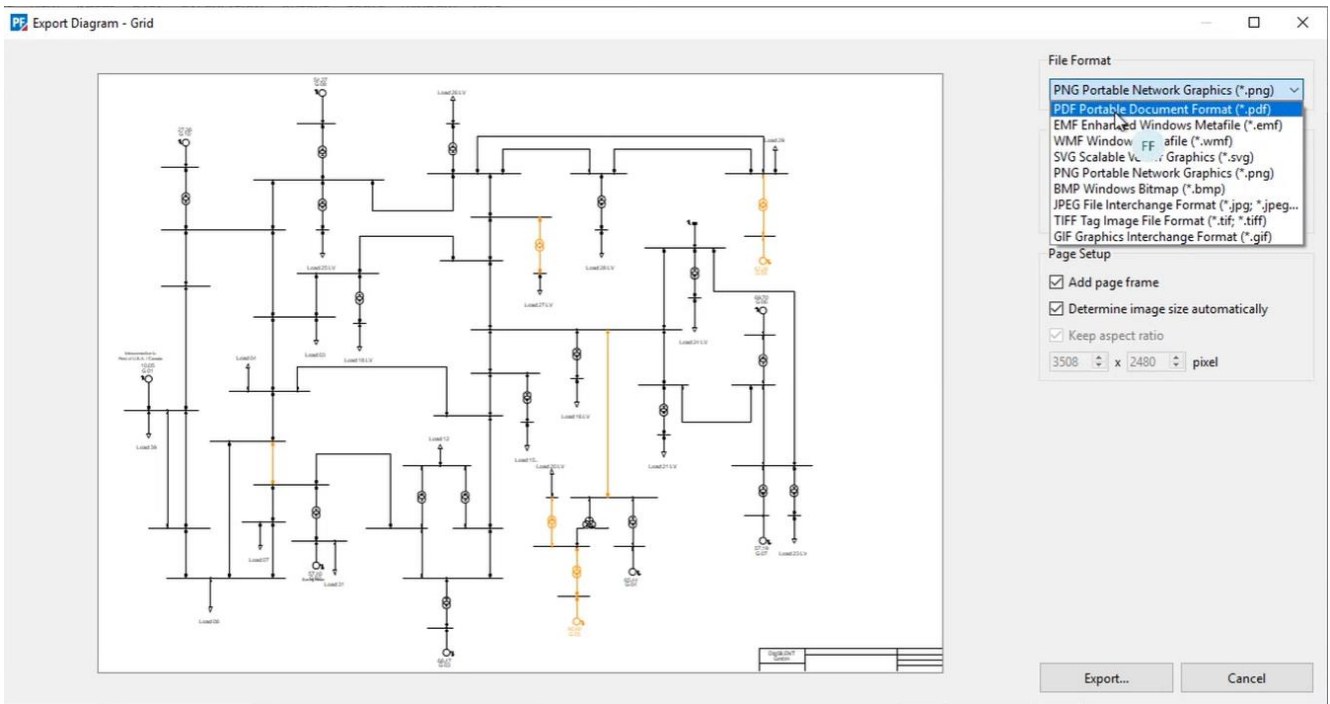
Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

## 2.8. Rotina 7: Diagramas e Representações Gráficas

Esta rotina verificou a funcionalidade de representação de diagramas. A rotina foi subdividida em quatro exercícios. A seguir a transcrição do primeiro exercício a ser realizado:

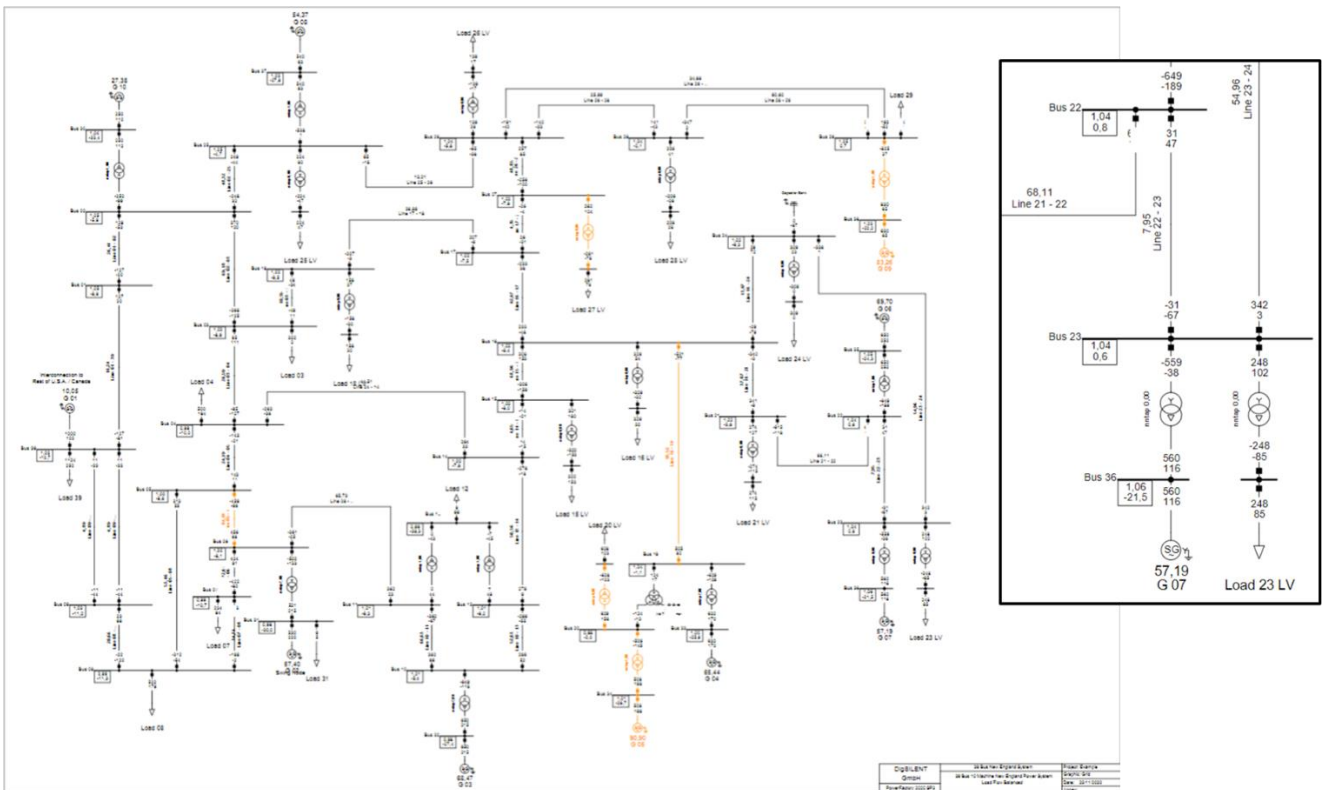
*"a. Mostrar o diagrama unifilar completo do sistema referente ao item 1.a, que deverá considerar a solução do fluxo de potência;"*

Neste sentido, a licitante restabeleceu o caso base, executou o fluxo de potência AC e mostrou o diagrama de toda a rede de teste com as grandezas calculadas em tela. Em seguida, exportou o diagrama em formato .pdf. A Figura 2-47 mostra a janela que foi utilizada para tal, evidenciando ser possível exportar o diagrama em vários formatos.



**Figura 2-47 – Janela para exportação de diagramas**

A Figura 2-48 mostra o diagrama em si com maiores detalhes. Foi feito um *zoom* numa região da rede para evidenciar que as grandezas de fluxo de potência e tensão estão também presentes e indicadas no diagrama.

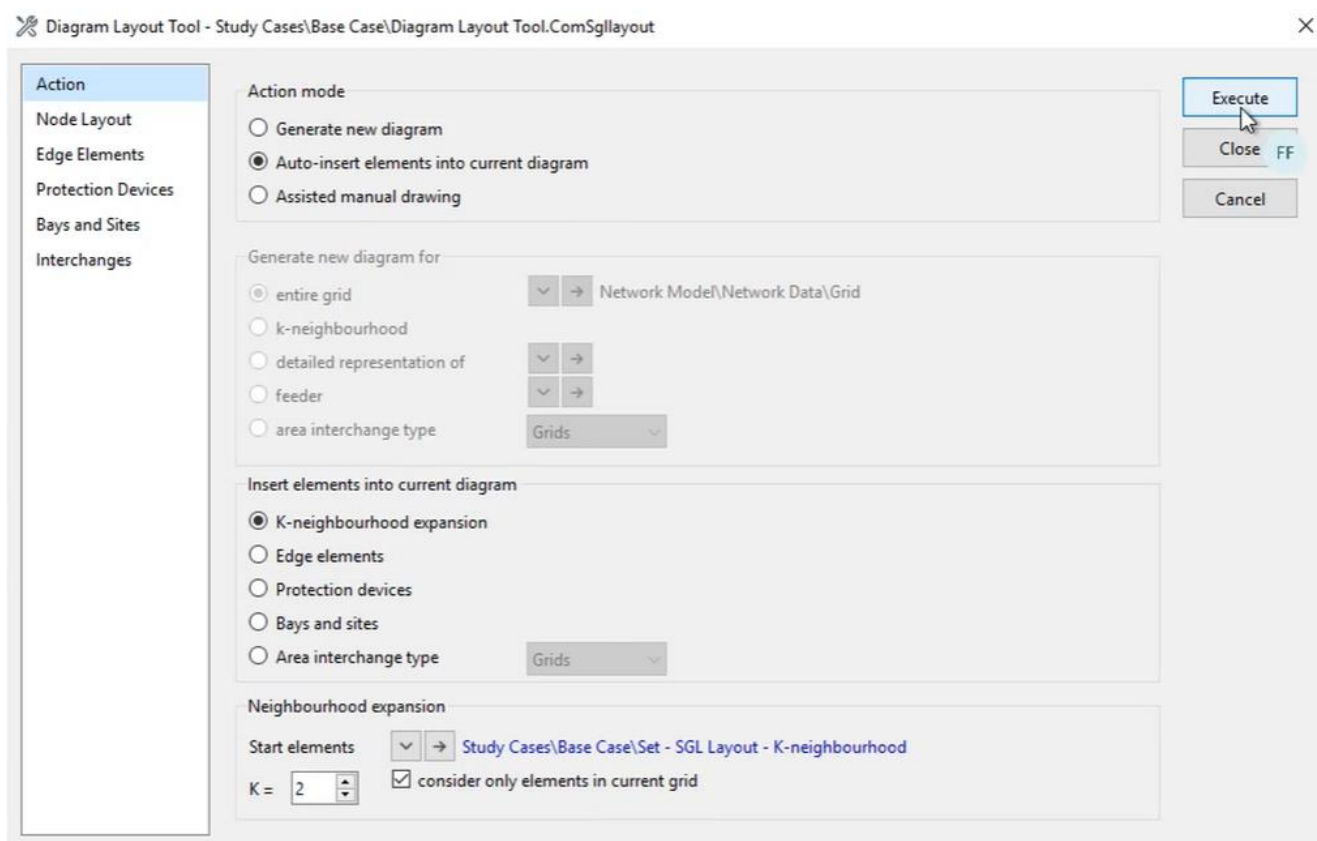


**Figura 2-48 – Diagrama exportado com detalhes**

O segundo exercício presente nessa rotina, solicita o seguinte:

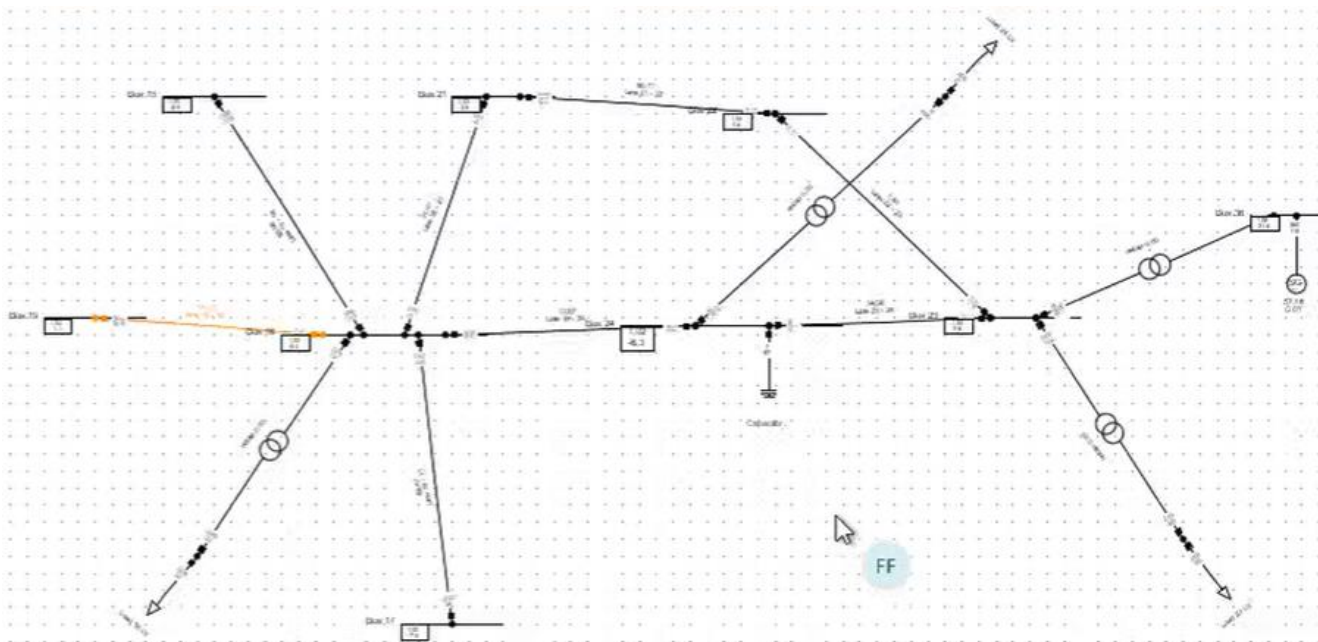
"b. Fazer uso da ferramenta de desenho automático, mostrando ser possível representar automaticamente uma vizinhança a partir de uma barra de interesse;"

A licitante demonstrou que o programa é capaz de desenhar diagramas de forma totalmente automática ou semiautomática, considerando um número de vizinhanças escolhido pelo usuário ou até mesmo toda a rede. A Figura 2-49 mostra a janela na qual se pode definir o tipo de ação e a forma de inserção dos elementos de rede. No caso específico, foi selecionada a representação dos elementos até a segunda vizinhança da barra 24. Qualquer número de vizinhanças pode ser escolhido nesse caso.



**Figura 2-49 – Opções para representação automática/semiautomática de diagramas**

A Figura 2-50 mostra a rede desenhada após a execução da rotina, evidenciando que foram representados todos os elementos de rede até a segunda vizinhança da barra solicitada.



**Figura 2-50 – Resultado da geração automática de todos os elementos até a segunda vizinhança da barra 24**

O terceiro exercício presente nessa rotina, solicita o seguinte:

*"c. Deverão ser mostrados em tela, no mínimo, as seguintes grandezas da rede:*

- *Módulo de tensão da barra (kV ou pu, conforme escolha do usuário);*
- *Ângulo da tensão na barra;*
- *Fluxos de potência ativa e reativa em cada ramo (barra "de" e barra "para");*
- *Geração de potência ativa e reativa das máquinas;*
- *Posição do tape de transformadores."*

Para realização deste exercício, a licitante demonstrou que é possível customizar as variáveis que serão mostradas no diagrama, como pode ser verificado na Figura 2-51. Verifica-se que, para cada tipo de elemento, um conjunto grande de variáveis pode ser escolhido. No caso em tela, selecionou-se a posição de tape dos transformadores.



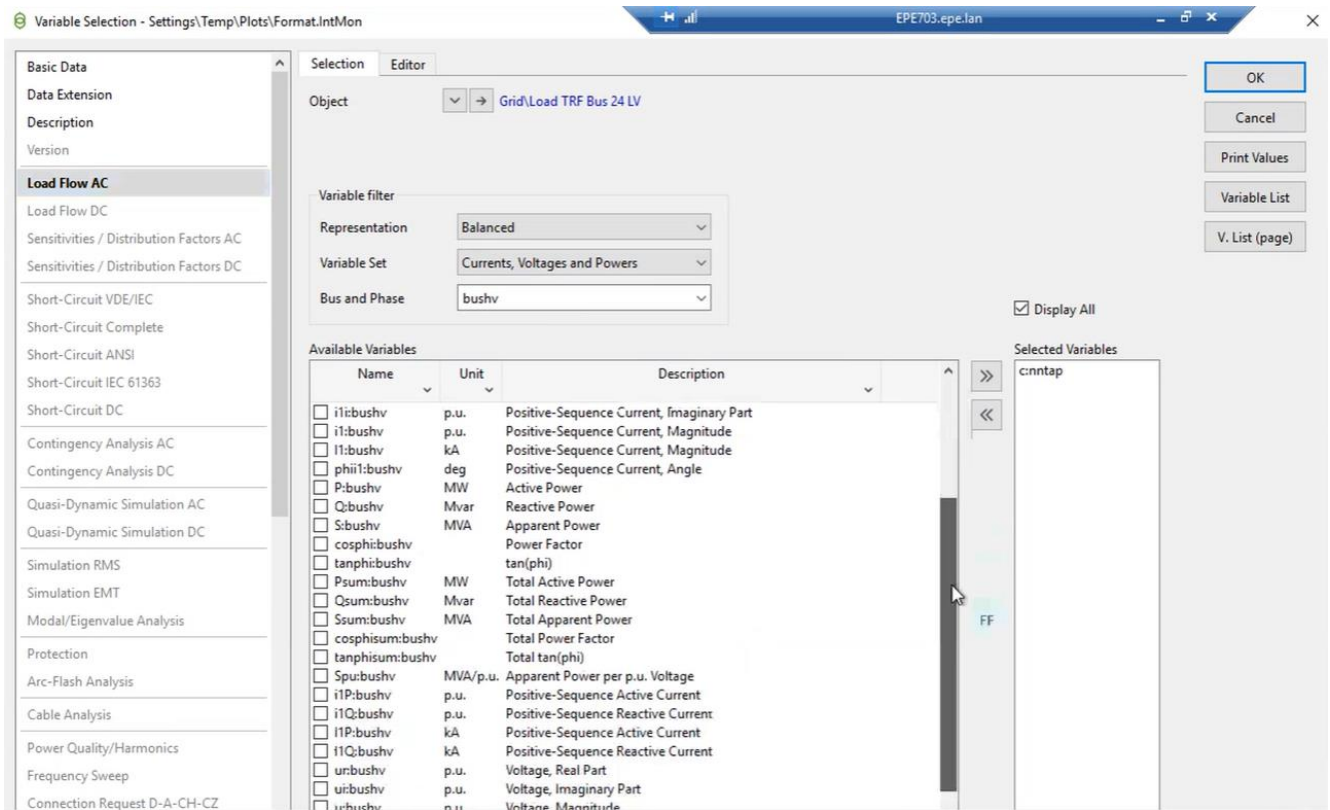


Figura 2-51 – Customização das variáveis a serem mostradas no diagrama

Após demonstração de como realizar essa customização, a licitante exibiu o diagrama com as grandezas solicitadas no exercício, como pode ser verificado na Figura 2-52. Próximo às barras, os valores de módulo e ângulo da tensão. Nos ramos, o valor superior corresponde ao fluxo de potência ativa, e o inferior ao de reativa. Próximo ao transformador, a posição do tape, completando todas as grandezas requeridas no Edital.

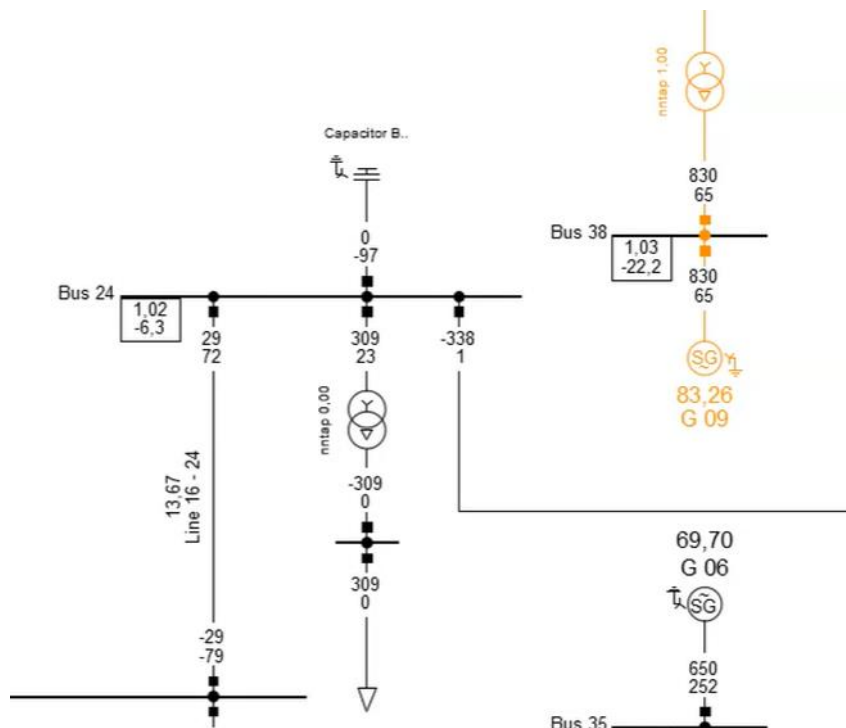
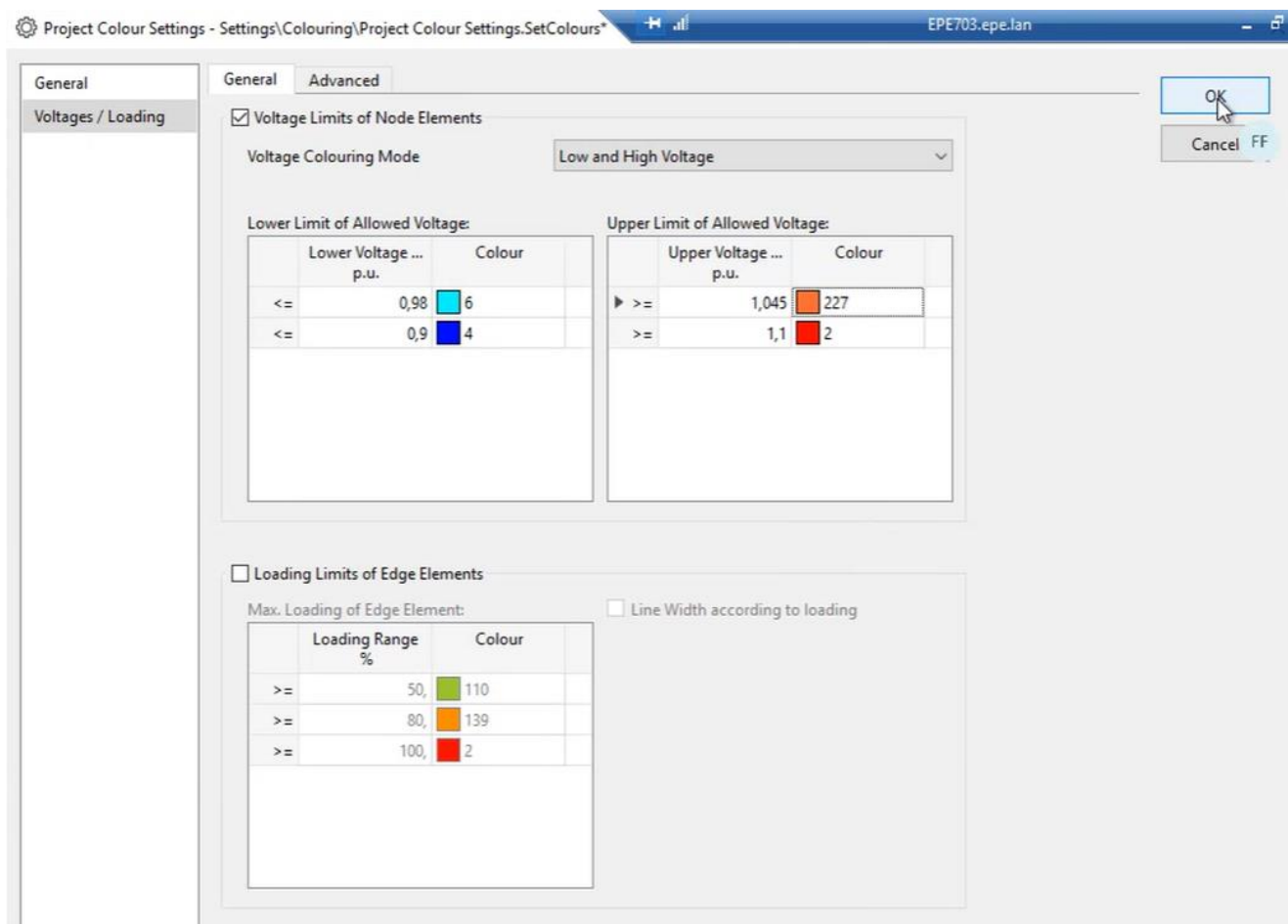


Figura 2-52 – Exibição das variáveis do fluxo de potência nos diagramas

O quarto e último exercício presente nessa rotina solicita o seguinte:

"d. Considerando o diagrama unifilar do item 7.a, habilitar recurso do heatmap para verificação visual do perfil de tensão no sistema e do carregamento das linhas e transformadores."

A licitante, para mostrar essa funcionalidade, primeiramente configurou o espectro de cores para os diagramas de *heatmap*, conforme mostrado na Figura 2-53. Nesta tela esse espectro pode ser alterado tanto para os níveis de tensão das barras quanto para os níveis de carregamento dos ramos do sistema.



**Figura 2-53 – Configurações de cores customizável para os carregamentos dos ramos da rede**

Em seguida, a licitante selecionou o modo de *heatmap*, sendo mostrada em seguida as escalas de cores correspondentes no diagrama, dependentes dos valores inseridos na etapa anterior. A Figura 2-54 mostra os resultados exportados para os níveis de tensão, enquanto a Figura 2-55 mostra os resultados exportados para os carregamentos dos ramos do sistema.

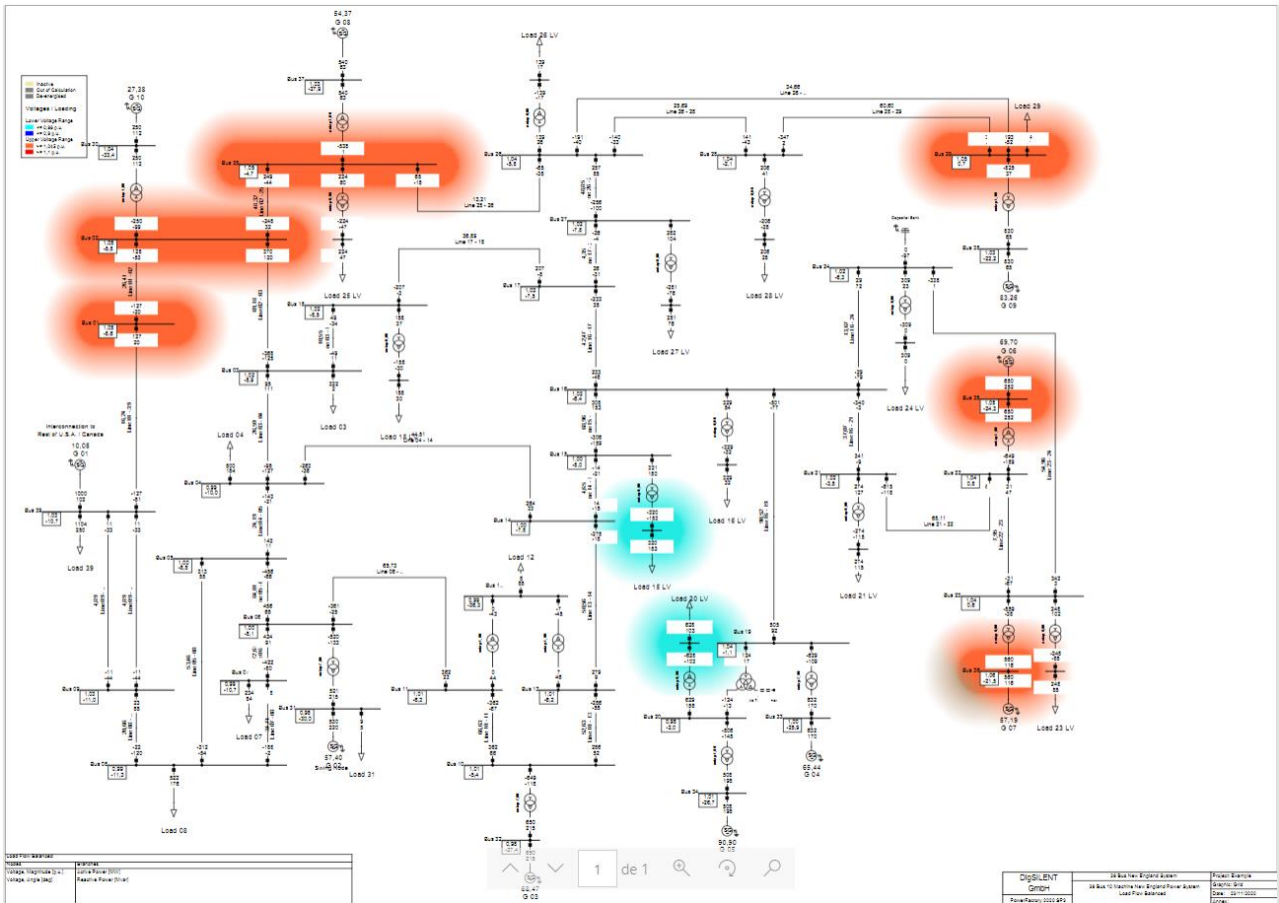


Figura 2-54 – Diagrama *Heatmap* para níveis de tensão

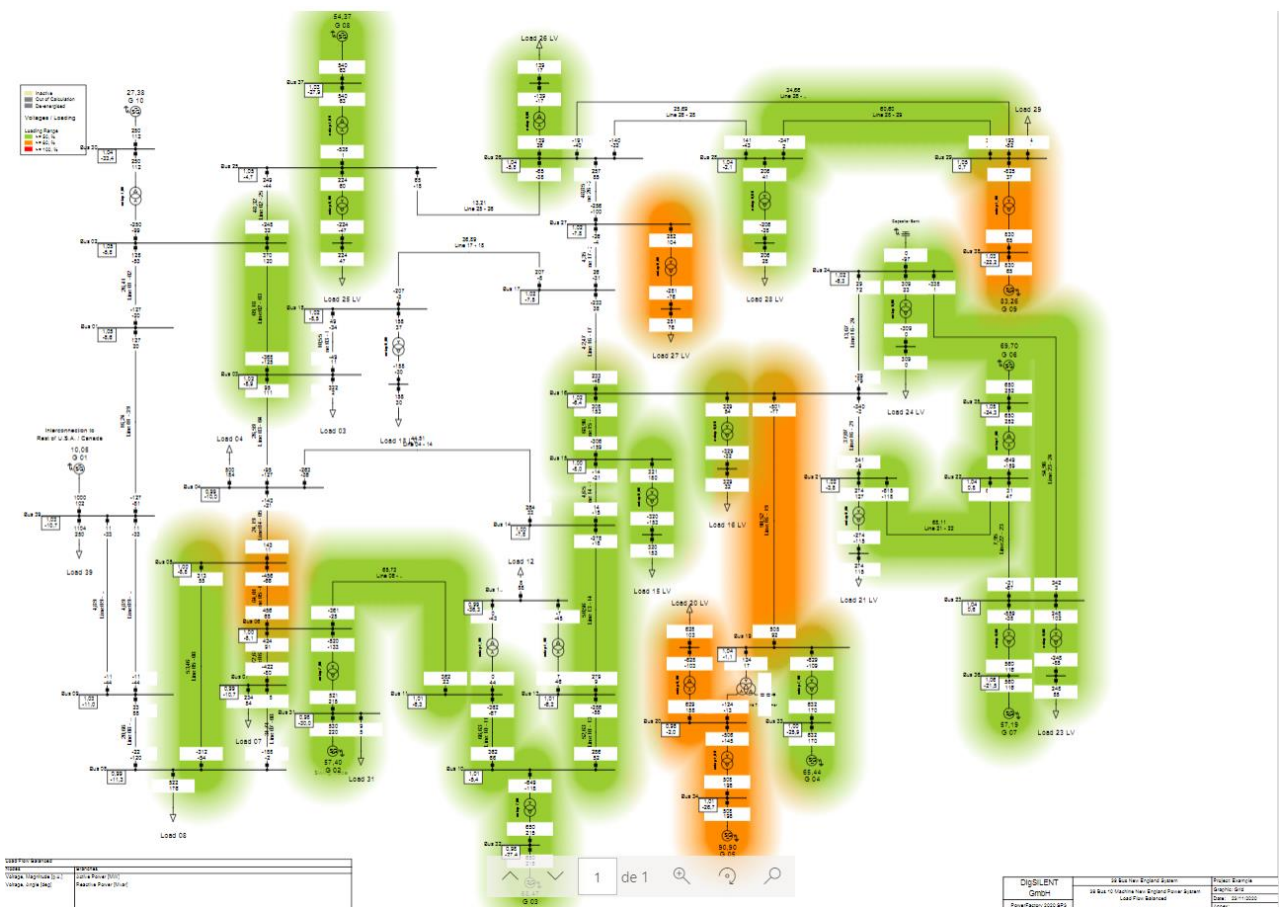


Figura 2-55 – Diagrama *Heatmap* para níveis de carregamento

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

## 2.9. Rotina 8: Relatórios de Resultados/Conversão de dados para Excel e arquivos de texto

Esta rotina tem como objetivo verificar que a ferramenta é capaz de exportar resultados em arquivos tabulares e de texto, conforme transcrito do Edital:

*"Exportar as tabelas contendo os resultados obtidos nos itens 3 e 5.c no formato .CSV ou .XLS."*

Essa rotina já foi realizada indiretamente nos itens 3 e 5c. Em relação ao item 3, as tabelas exportadas podem ser visualizadas na Figura 2-25 e na Figura 2-26, enquanto que para a rotina 5c a tabela exportada pode ser visualizada na Figura 2-42.

Desta forma, a rotina foi executada com sucesso, concluindo que os exercícios realizados atenderam às especificações.

## 2.10. Rotina 9: Representação detalhada de subestações

De acordo com o Anexo I do Termo de Referência, segue a transcrição da rotina solicitada referente a Representação detalhada de subestações:

*"Considerando o sistema obtido no item 1.a, pede-se:*

- a. Representar o detalhe de conexões da barra 29 considerando arranjo disjuntor e meio, onde as linhas 28-29 e 26-29 compartilham o primeiro vão e o gerador B38 e a carga 29 compartilham o segundo vão, conforme Figura 5.*

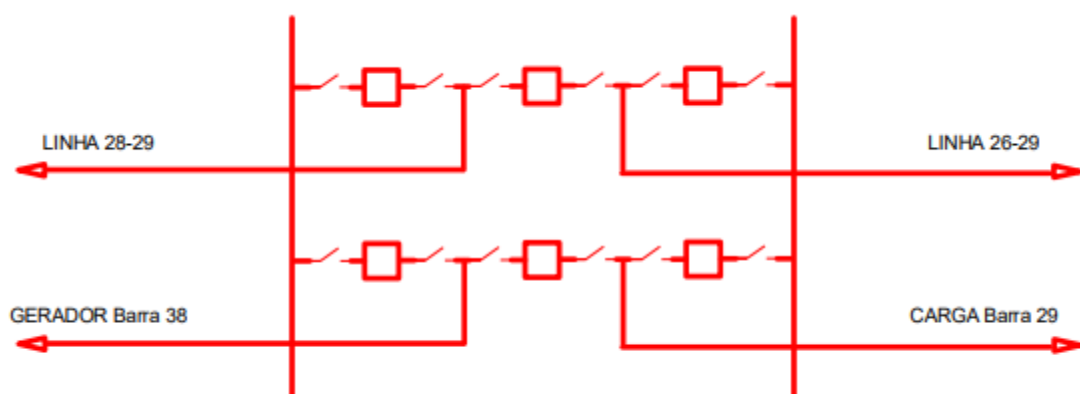


Figura 5 - Diagrama unifilar da barra 29 em arranjo disjuntor e meio

- b. Representar o detalhe de conexões da barra 20 considerando arranjo barra dupla a quatro chaves, com os quatro vãos: gerador B34, carga 20, Trafo 19-20 e tie, conforme Figura 6.*

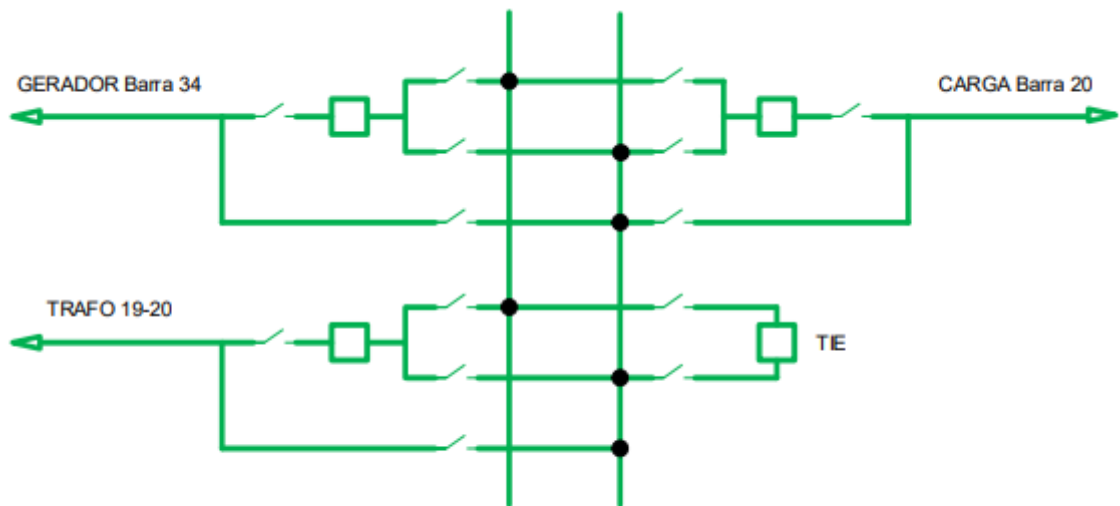


Figura 6 - Diagrama unifilar da barra 20 em arranjo barra dupla a 4 chaves

..

Primeiramente, foi salientado pela licitante que, como a base de dados é única e integrada, o sistema elétrico utilizado foi o mesmo do item 1.a do Roteiro para Teste de Conformidade.

Para a representação dos arranjos de subestações a licitante informou que é possível ter a opção de 2 tipos de visualização: compacta e detalhada. Na visualização compacta a subestação é representada, conjuntamente com as demais barras do sistema, com seu arranjo principal e com o resumo operativo da posição (aberto/fechado) dos seus diferentes vãos, conforme mostra as Figura 2-56 e Figura 2-57.

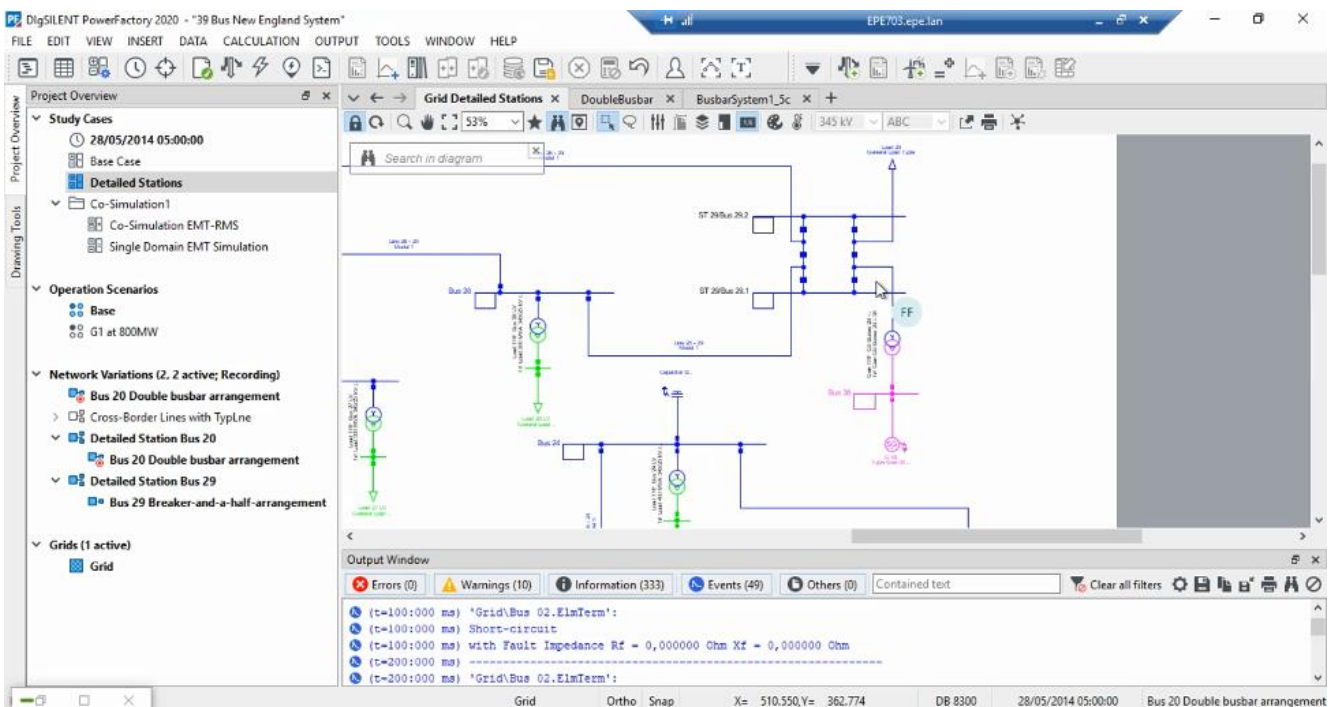
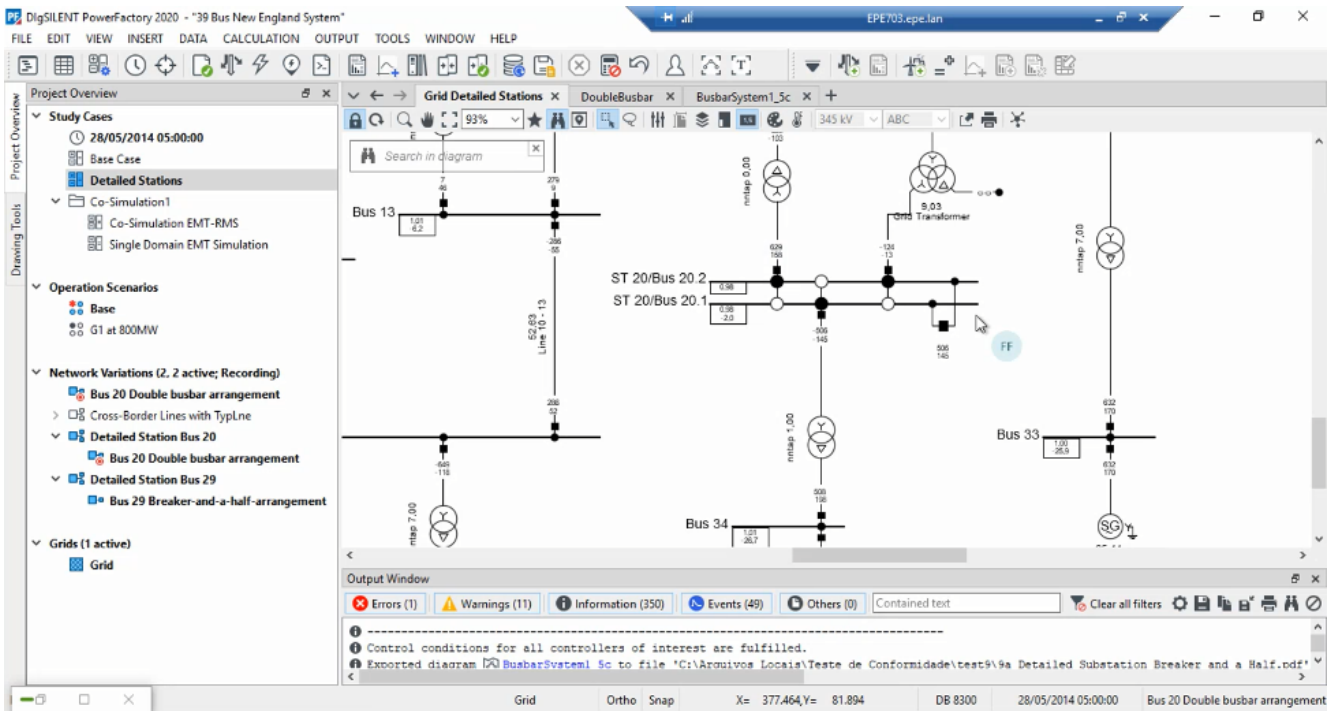


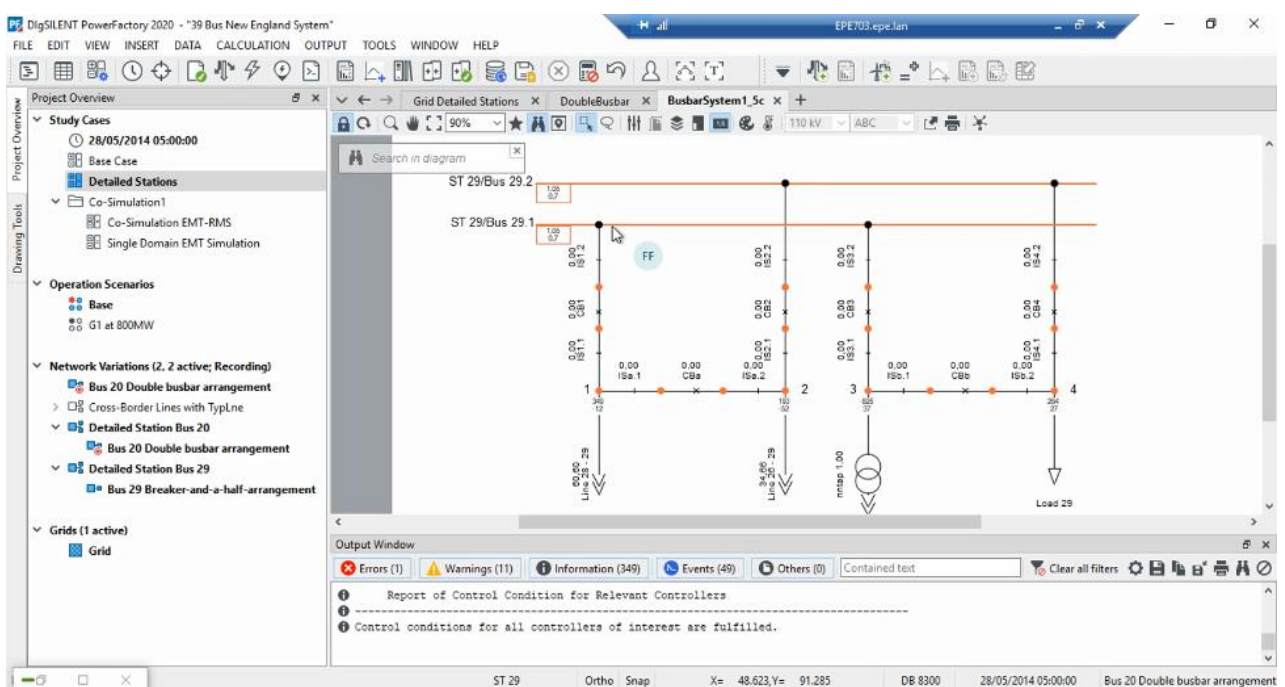
Figura 2-56 – Visualização compacta (barra 29 – disjuntor e meio)



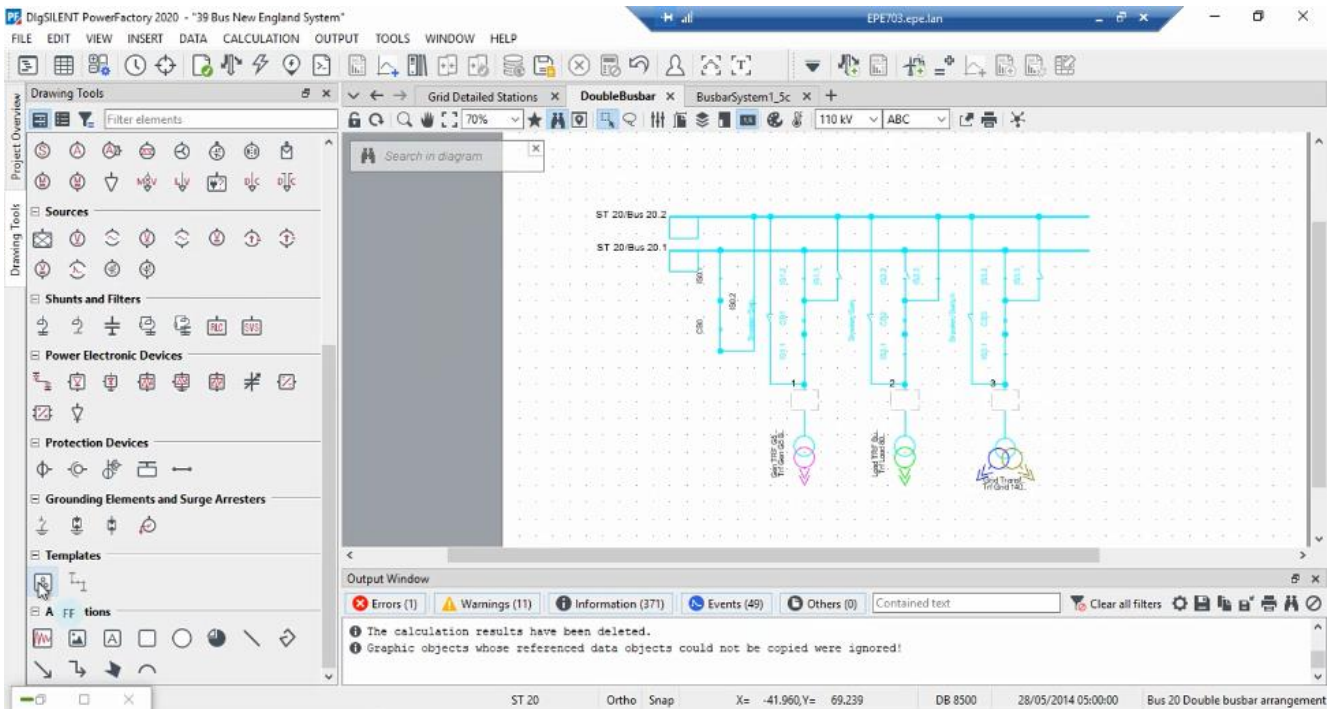
**Figura 2-57 – Visualização compacta (barra 20 – barra dupla a 4 chaves)**

Nota-se também que, para ambas barras, 20 e 29, foi possível identificar que os elementos externos (vãos) e suas respectivas posições foram corretamente consideradas pela licitante, de acordo com o solicitado no Edital.

Na visualização detalhada, a subestação é representada contendo, além do seu arranjo propriamente dito, todos os elementos de pátio (disjuntores, chaves seccionadoras, etc), onde inclusive a posição operativa (aberto/fechado) de cada elemento pode ser selecionada individualmente, para seus diferentes vão, conforme mostra as Figura 2-58 e Figura 2-59.



**Figura 2-58 – Visualização detalhada (barra 29 – disjuntor e meio)**



**Figura 2-59 – Visualização detalhada (barra 20 – barra dupla a 4 chaves)**

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

### 2.11. Rotina 10: Automação via Script

De acordo com o Anexo I do Termo de Referência, segue a transcrição da rotina solicitada referente a Automação via Script:

*"a. Considerando o sistema obtido no item 1.a, efetuar o incremento de todas as cargas do sistema, em passos de 2% até o total de 10%, executando fluxo de potência AC a cada passo. Executar o fluxo de potência AC de forma a permitir que o gerador 31 (barra slack) assuma tal incremento.*

*O comando via script deve ser capaz de executar ordem para que o fluxo na linha 04-14 (potência ativa e potência reativa), vistos no terminal da barra 4, seja mostrado em uma tabela ou gráfico, permitindo a comparação da condição original de carga do sistema com as condições de incremento de carga.*

*Adicionalmente espera-se que o script salve cada ponto de operação de forma que este possa ser recuperado para análises intermediárias. A seguir é mostrado um pequeno código exemplo que apresenta em um gráfico a evolução do fluxo, conforme Figura 7. Não será exigida a utilização deste código para a apresentação dos dados, sendo o código meramente ilustrativo.*

```
import matplotlib.pyplot as plt  
  
x = [1,2,3]  
  
fluxo = []  
fluxo.append(10)  
  
fluxo.append(15)  
fluxo.append(20)  
  
plt.bar(x,fluxo,label='Evolução  
do Fluxo')  
  
axes = plt.gca()  
axes.legend()  
plt.show()
```

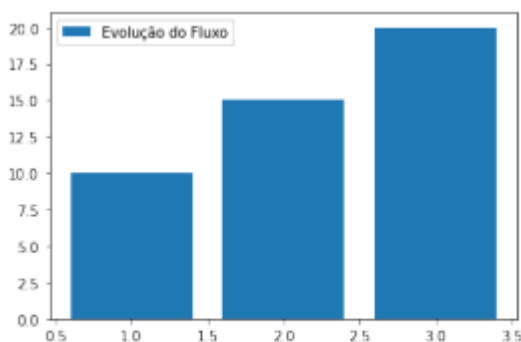


Figura 7 – Gráfico de barras exemplo da evolução do fluxo em linha

*b. Demonstrar a utilização da API onde seja executada alguma análise no software por script sem que o programa tenha que ser explicitamente carregado.*

*Obs: o script utilizado deve ser fornecido.”*

Primeiramente, foi salientado pela licitante que, como a base de dados é única e integrada, o sistema elétrico utilizado foi o mesmo do item 1.a do Roteiro para Teste de Conformidade.

Para a demonstração do primeiro item desta rotina, a licitante utilizou um script em linguagem Python, conforme apresentado no item 5.2, anexo a este documento.

O script utiliza-se de função recursiva para realizar o acréscimo de cargas no sistema teste, o armazenamento de cada ponto de operação, o monitoramento do fluxo de potência ativa e reativa na linha 04-14 e, por fim, a plotagem dos resultados utilizando a biblioteca “*matplotlib*”. A Figura 2-60 mostra os resultados obtidos depois de executado o script.



## Power flow over line "Line 04 - 14"

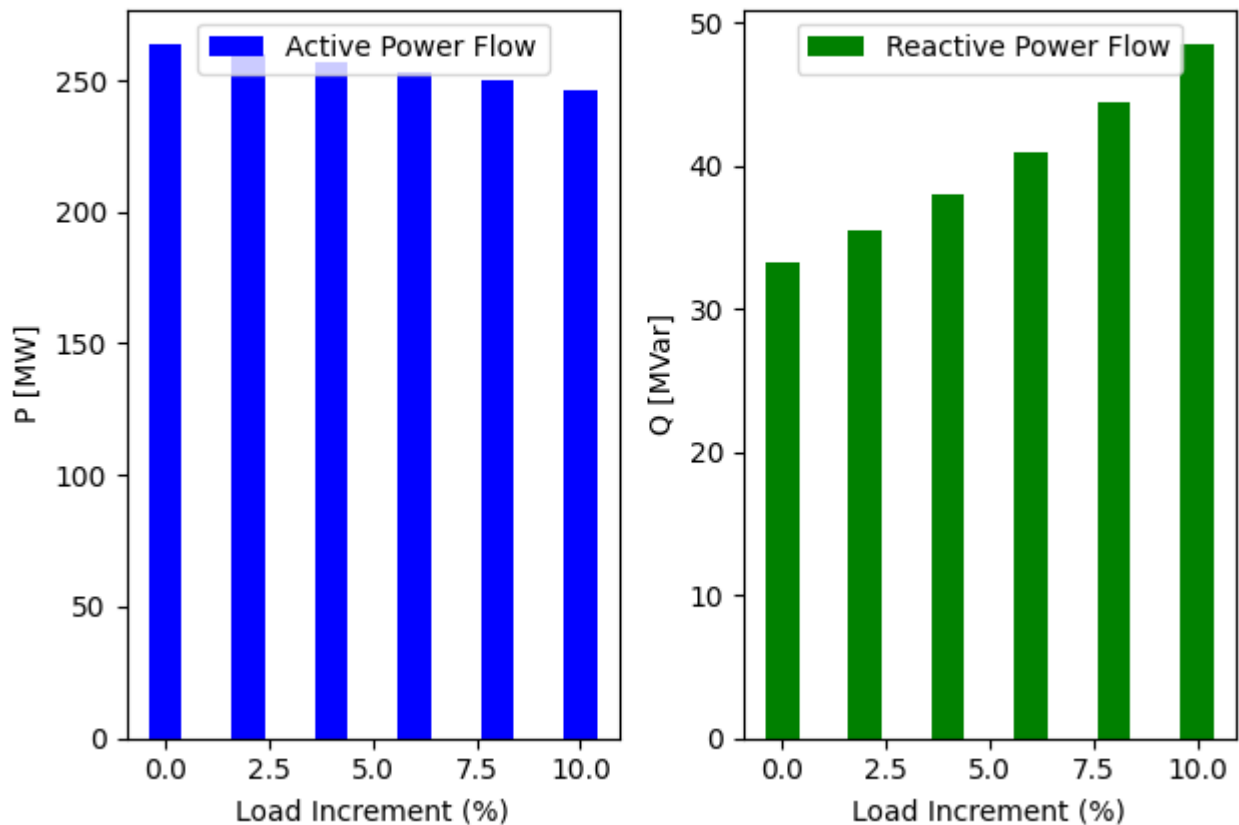
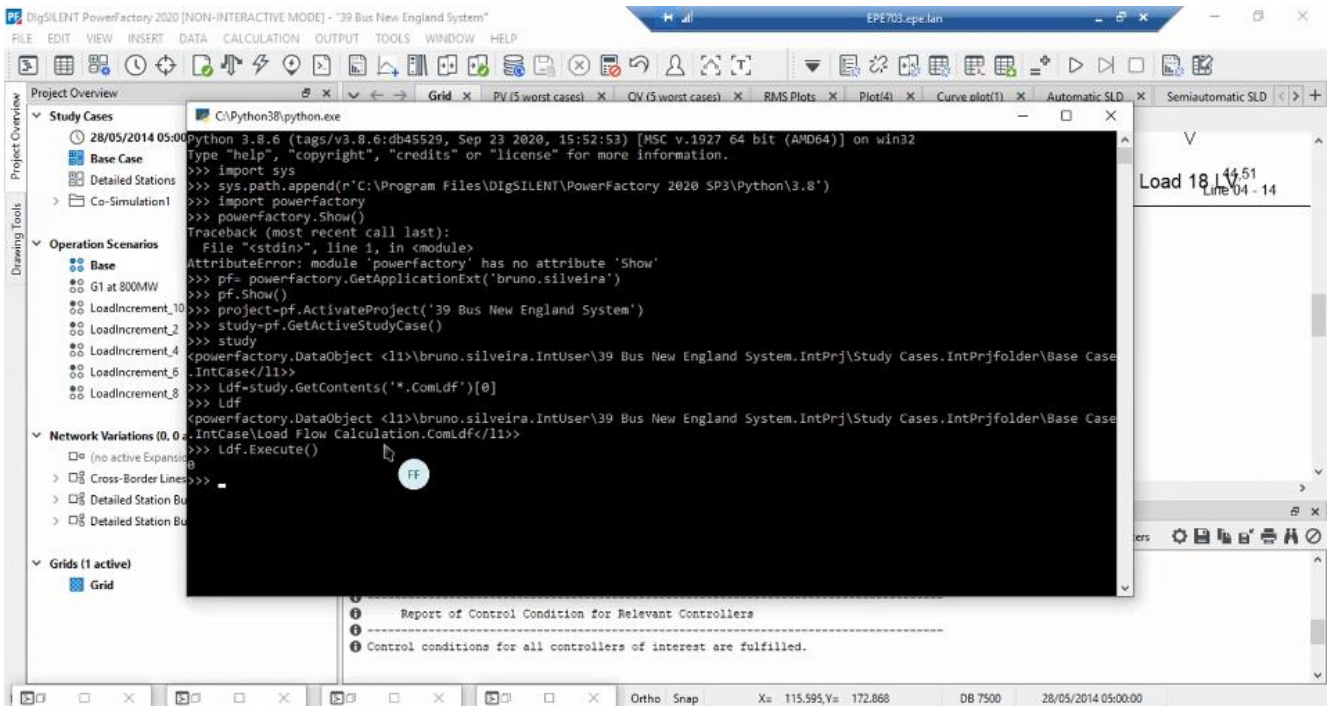


Figura 2-60 – Resultados obtidos através da biblioteca "matplotlib"

Para a demonstração do segundo item desta rotina, a licitante utilizou um script em linguagem Python, conforme apresentado no item 5.3, anexo a este documento.

O script é executado através do *shell* do Python 3.8, portanto de maneira externa, assim como solicitado no Edital, e realiza a abertura do projeto contendo o sistema teste seguido da execução de fluxo de potência no caso ativo. Meramente para fins didáticos, a licitante realizou o procedimento de execução com o software funcionando em *NON-INTERACTIVE MODE*, em segundo plano, no sentido de evidenciar que os comandos no *shell* estavam sendo executados e interpretados corretamente pelo software. No entanto foi salientado que é possível, através de comando específico no *shell*, definir a execução do software de maneira oculta, ou seja, não perceptível visualmente ao usuário. A Figura 2-61 mostra os resultados obtidos depois de executado o script.



**Figura 2-61 – Resultados obtidos através da execução do script via *shell* do Python**

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

## **2.12. Rotina 11: Módulo de Co-Simulação entre Transitórios Eletromagnéticos e Domínio Fasorial**

De acordo com o Anexo I do Termo de Referência, segue a transcrição da rotina solicitada referente ao Módulo de Co-Simulação entre Transitórios Eletromagnéticos e Domínio Fasorial:

*"Considerando o sistema obtido no item 1.a, juntamente com os controles do item 6, executar o estudo descrito no item 2.1.6.2 do TB. No entanto, neste caso deverão ser definidas três regiões duas no domínio EMT e uma no domínio RMS balanceado, conforme Figura 8.*

*Ambas as redes no domínio EMT deverão considerar o modelo FD (frequency-dependent) das linhas, idealmente transpostas, com as respectivas geometrias de torre, de acordo com a Tabela 2-2 e a Tabela 2-3 do TB.*

*Caso o software necessite efetuar a co-simulação conjuntamente com o PSCAD, este também deverá ser preparado para a simulação requerida anteriormente.*

*Devem ser apresentados os gráficos contendo as grandezas elétricas dos geradores conectados às barras 30 e 36, tais como a frequência angular e a geração de potência ativa e reativa. Adicionalmente, devem ser apresentadas as correntes de falta instantâneas tanto em componentes de fase ABC, quanto em componentes de sequência positiva, negativa e zero.*

Da região simulada no domínio RMS solicita-se plotar, para o gerador conectado à barra 32 do sistema, as seguintes variáveis: potência ativa, tensão no seu terminal e frequência.

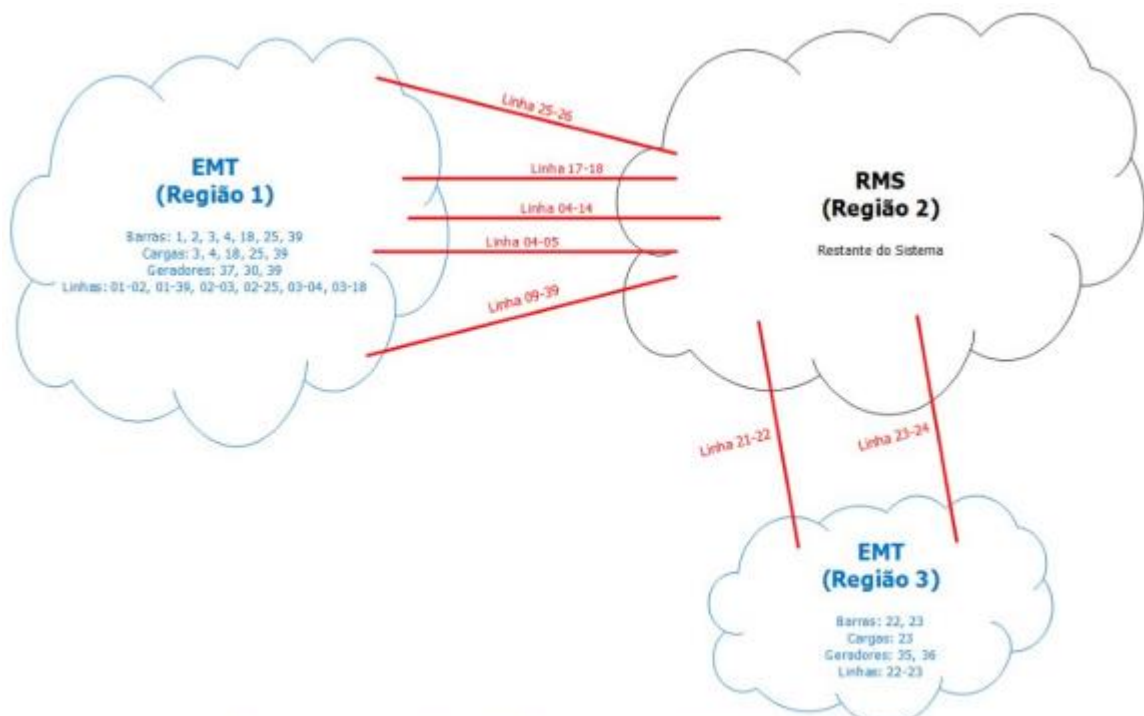


Figura 8 – Redes EMT e RMS do sistema IEEE 39 Barras modificado

“

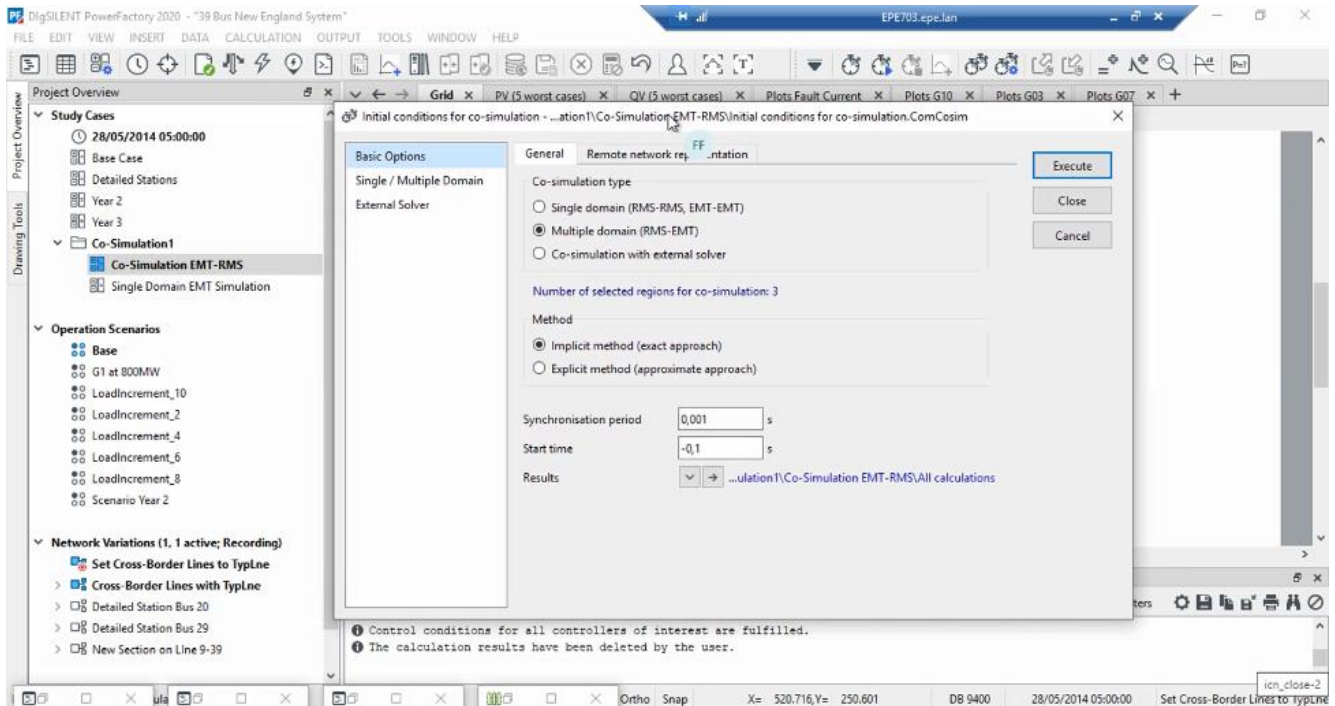
Primeiramente, no que tange ao módulo de co-simulação entre transitórios eletromagnéticos e domínio fasorial, foi requisitado à licitante que mostrasse, de forma clara, as entradas de dados utilizadas bem com as principais opções para esta simulação.

Assim, foi salientado pela licitante que, como a base de dados é única e integrada, o sistema elétrico utilizado foi o mesmo do item 1.a do Roteiro para Teste de Conformidade.

As opções de simulação para a co-simulação são acessíveis através do módulo *Simulation RMS/EMT* → *Initiate co-simulation* e *Simulation RMS/EMT* → *Start Simulation*. Ou seja, assim como para as simulações de transitórios eletromecânicos já discorridos no item 2.7, antes de efetivamente efetuar a co-simulação também é necessário primeiramente calcular as condições iniciais do sistema em questão (variáveis de controle, etc).

A Figura 2-62 mostra os principais parâmetros de entrada para o cálculo das condições iniciais:

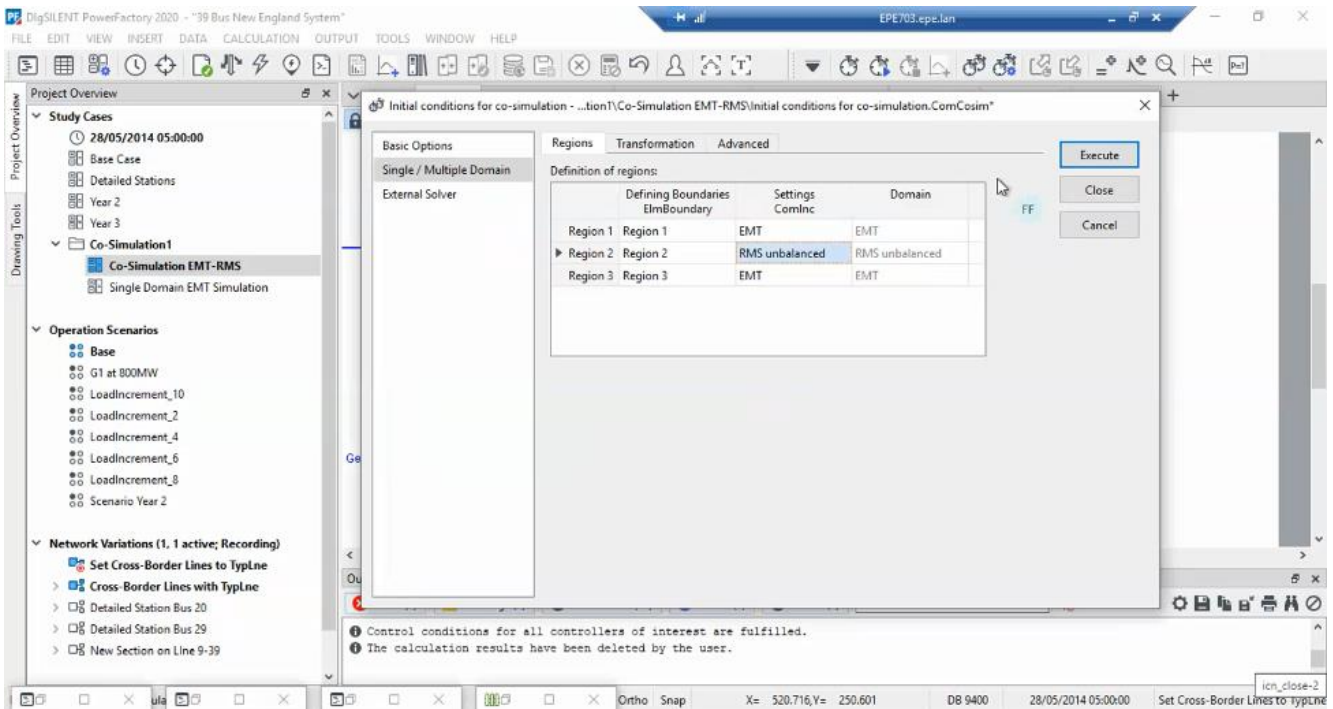
- Se a simulação será realizada apenas em um domínio (RMS-RMS, EMT-EMT), ou múltiplos domínios (RMS-EMT) ou ainda se será utilizado conjuntamente um software externo para realizar a co-simulação;
- Se o método da co-simulação será implícito (melhor precisão) ou explícito;
- O tempo de sincronização das variáveis em distintos domínios e o tempo para cálculo das condições iniciais.



**Figura 2-62 – Opções de simulação (condições iniciais) para co-simulação EMT/RMS**

Evidencia-se, conforme solicitado no Edital, que a licitante utiliza o tipo de simulação em múltiplos domínios, haja visto que na rotina proposta há 2 regiões em domínio EMT e 1 região em domínio RMS.

Ainda nas opções de cálculo das condições iniciais, é necessário configurar todas as regiões de interesse bem como seus respectivos domínios, conforme mostra a Figura 2-63. Nota-se que a licitante também considerou corretamente os domínios das 3 regiões da rotina proposta.



**Figura 2-63 – Opções de simulação (domínios para cada região) da co-simulação EMT/RMS**

Cabe ressaltar que, conforme observação da licitante, como o evento aplicado na simulação tem caráter assimétrico ou desbalanceado (falta bifásica nas fases A e B), apesar da região 2 estar no domínio RMS, ainda assim deveria considerar a opção RMS desbalanceado de modo a garantir maior precisão no teste. No entanto, é importante destacar que o software possui disponível ambas as modelagens no domínio RMS: balanceado ou desbalanceado.

No que tange à definição dos elementos de fronteira entre cada região de simulação, a licitante demonstrou que realizou a modelagem de acordo com o solicitado no Edital. Como exemplo ilustrativo, a Figura 2-64 mostra a definição de fronteira para a Região 2.

Quanto ao evento do sistema que motiva a análise de co-simulação, nota-se que a licitante modelou corretamente a falta bifásica sólida na barra 3 em  $t=0,0$  s, conforme mostra a Figura 2-65, bem como a remoção desta falta em  $t=0,1$  s. A alteração do tempo de aplicação da falta e sua remoção frente ao TB foi motivada apenas para que o tempo de processamento de toda a simulação não se alongasse desnecessariamente. Contudo, tal alteração não causa qualquer prejuízo ao comportamento do sistema sendo, portanto, aceitável.

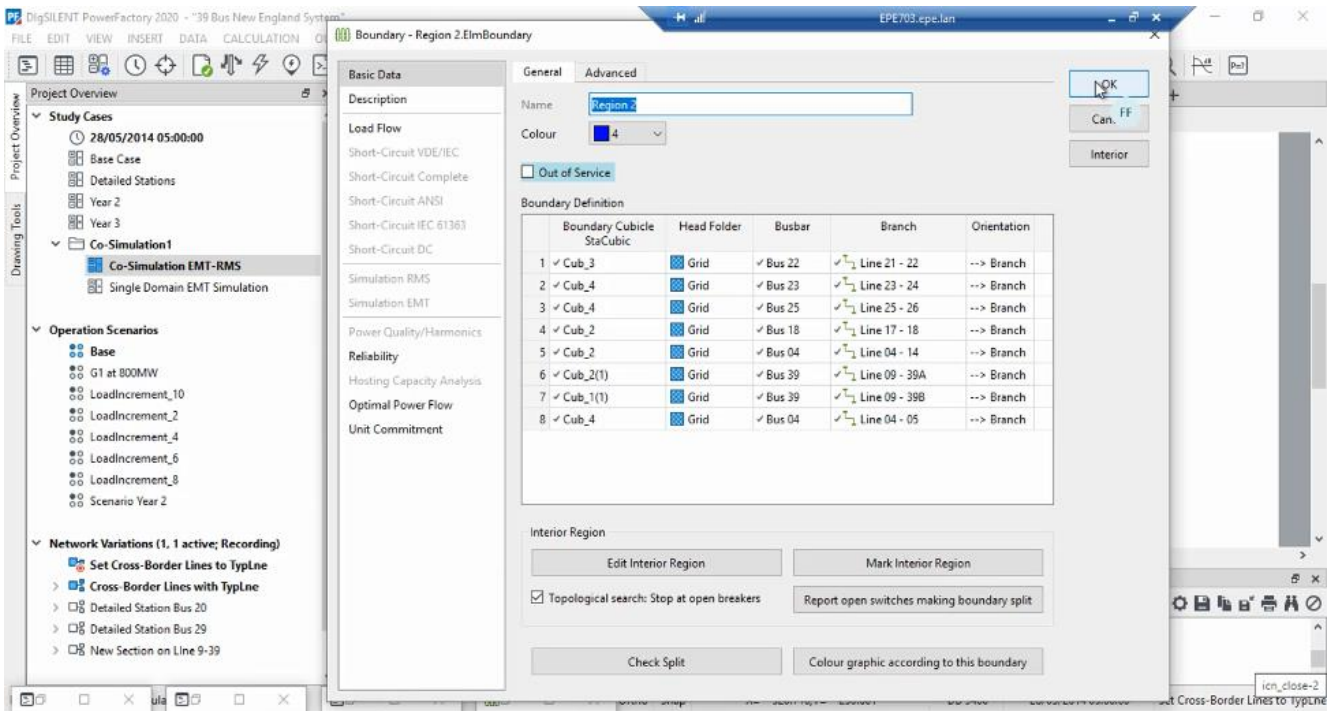


Figura 2-64 – Definição de cada região de simulação (Região 2)

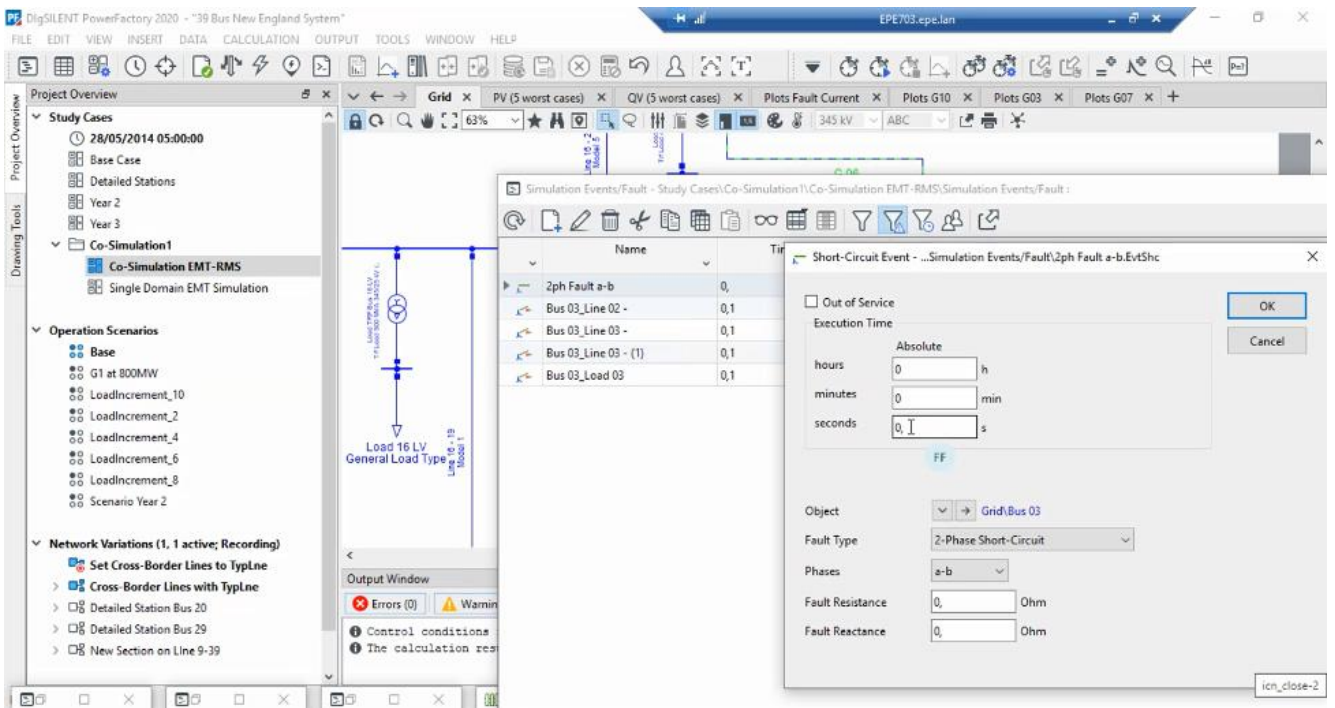
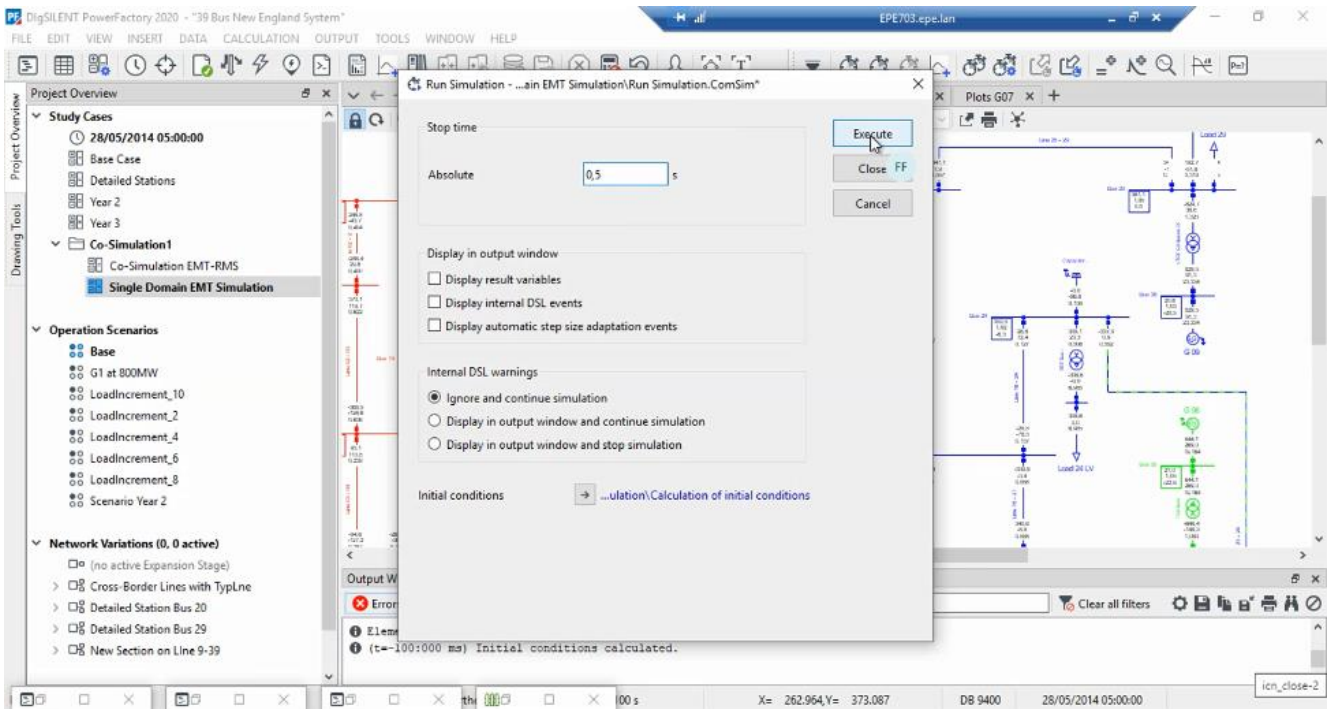


Figura 2-65 – Módulo de co-simulação EMT/RMS: Evento na barra 3 (falta bifásica sólida)

Uma vez calculadas as condições iniciais, passou-se então à simulação do evento propriamente dito. A Figura 2-66 mostra os principais parâmetros de entrada para a simulação:

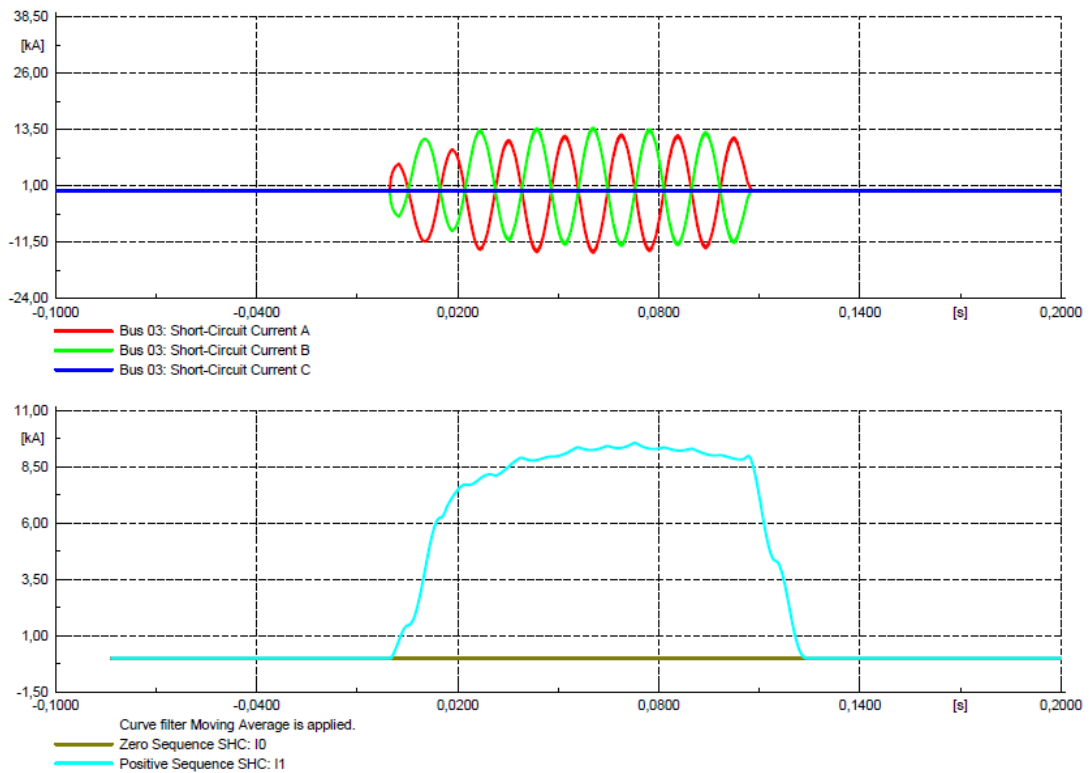
- Tempo máximo da simulação;
- Referência de dados para as condições iniciais a serem consideradas.



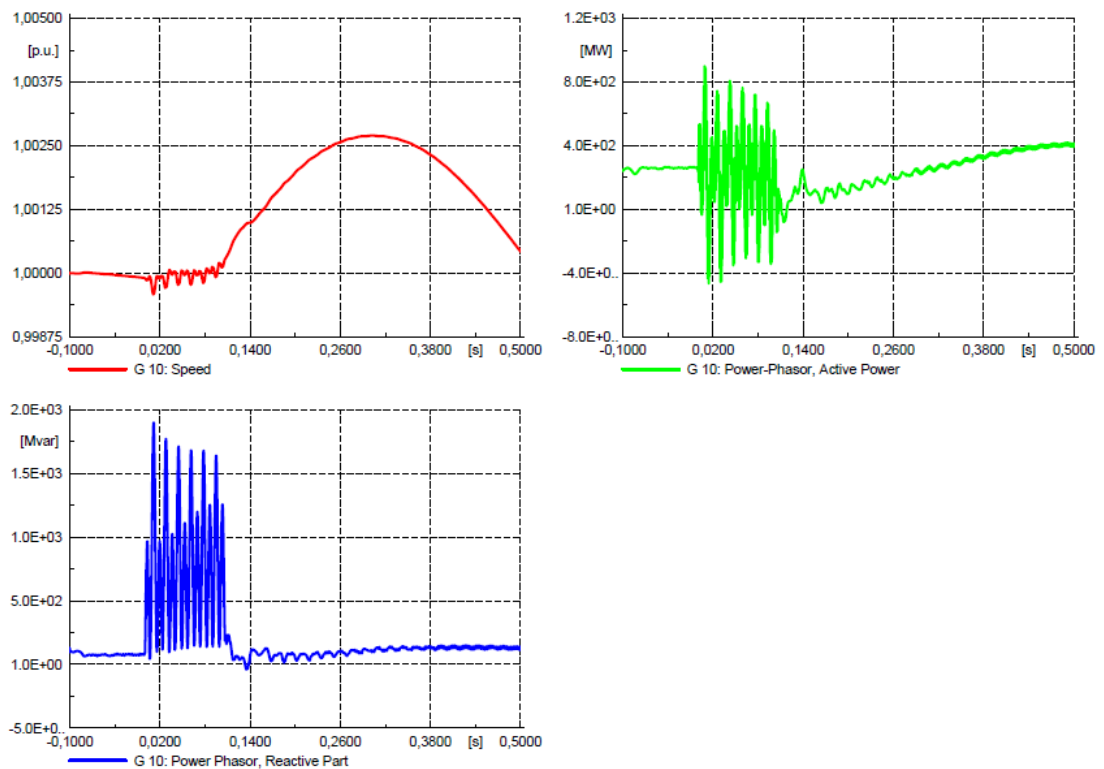
**Figura 2-66 – Opções de simulação (execução) para co-simulação EMT/RMS**

Novamente, objetivando maior rapidez quanto ao tempo de processamento de toda a simulação, foi alterado o tempo total de simulação para  $t=0,5$  s. Contudo, tal alteração não causa qualquer prejuízo ao comportamento do sistema sendo, portanto, aceitável.

Após o processamento dos cálculos na execução da análise de co-simulação, solicitou-se que fossem plotados os gráficos de todas as variáveis solicitadas no Edital. As Figura 2-67 até Figura 2-70 apresentam os resultados obtidos.

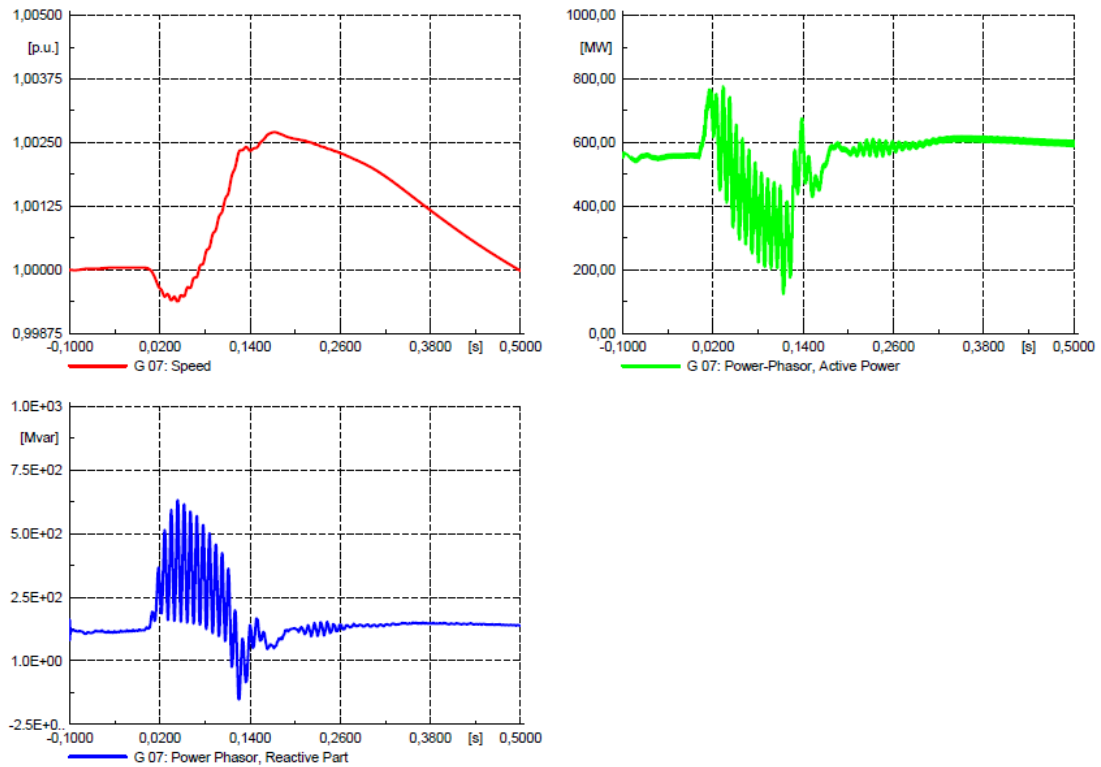


**Figura 2-67 – Resultados Região 1 – EMT (correntes de falta na barra 3)**

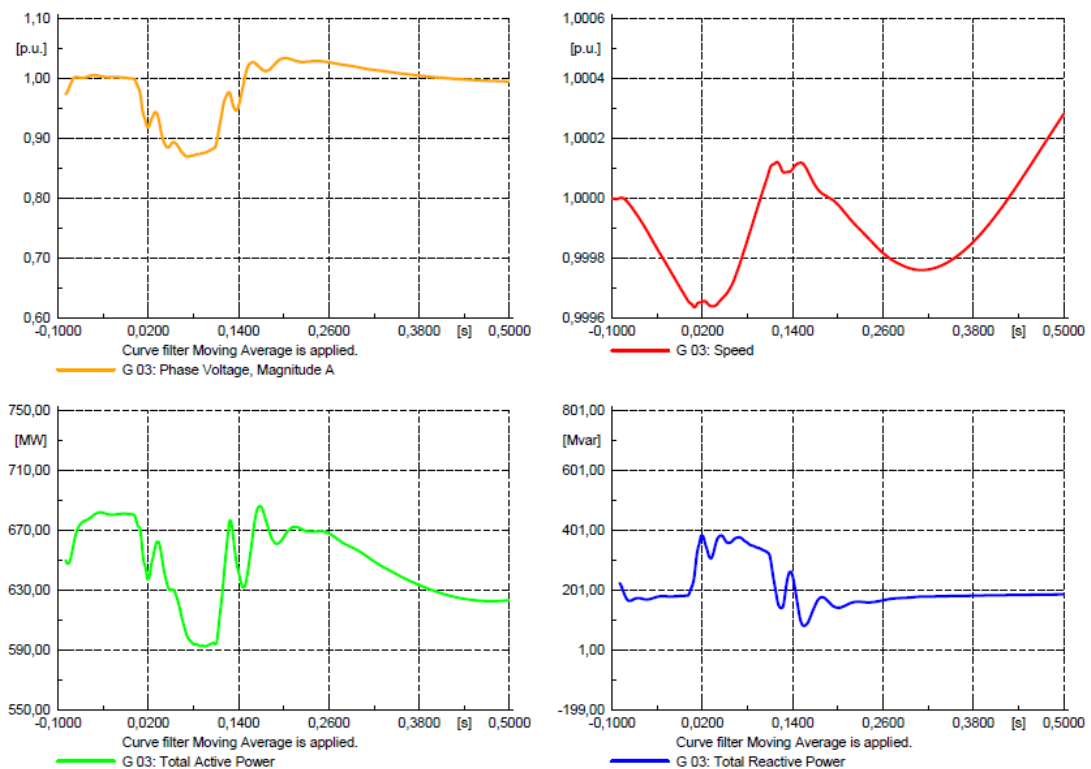


**Figura 2-68 – Resultados Região 1 – EMT (gerador 10 conectado à barra 30)**





**Figura 2-69 – Resultados Região 3 – EMT (gerador 07 conectado à barra 36)**



**Figura 2-70 – Resultados Região 2 – RMS (gerador 03 conectado à barra 32)**

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

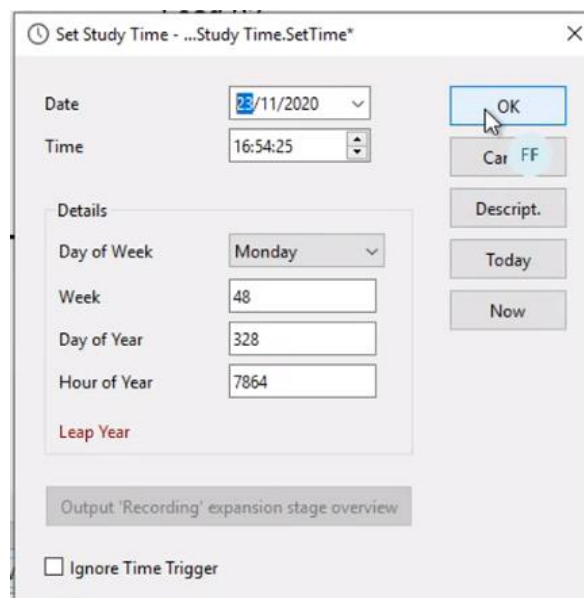
### 2.13. Rotina 12: Gerenciamento Integrado de Topologia e Modelos

Esta rotina tem como objetivo verificar o funcionamento do módulo de gerenciamento da base de dados integrada da ferramenta. A rotina foi separada por cinco etapas, tendo a primeira delas a seguinte instrução:

*"Considerando o sistema obtido no item 1.a, realizar as seguintes operações:*

*a. Salvar como ano 1 todos os parâmetros, dados e a topologia utilizados para as simulações dos itens 1, 5, 6 e 9. Salvar o ponto operativo do caso."*

A licitante iniciou o procedimento esclarecendo que os casos de trabalho e as alterações nos mesmos têm uma dimensão de tempo que pode ser definida pelo usuário, conforme mostrado na Figura 2-71. Nesse sentido, a licitante alterou a data relacionada ao caso base, configurando-o para a data do dia do teste, dia 23/11/2020, sendo este considerado o "ano 1". Como as bases de dados do programa são totalmente integradas, os dados e topologias dos itens 1, 5, 6 e 9 estão automaticamente inseridos no caso base e, portanto, presentes no "ano 1".

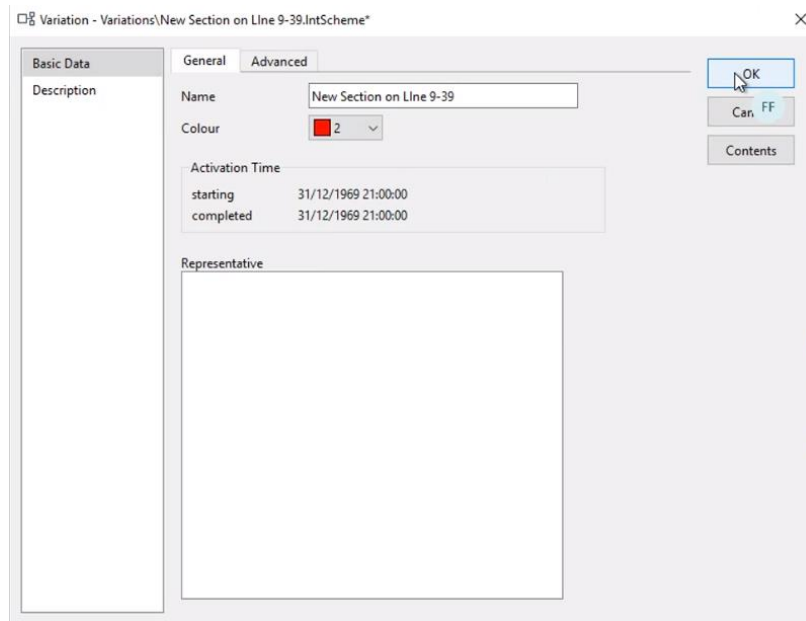


**Figura 2-71 – Correlação do caso base com uma data na linha do tempo**

A segunda etapa da rotina solicita o seguinte:

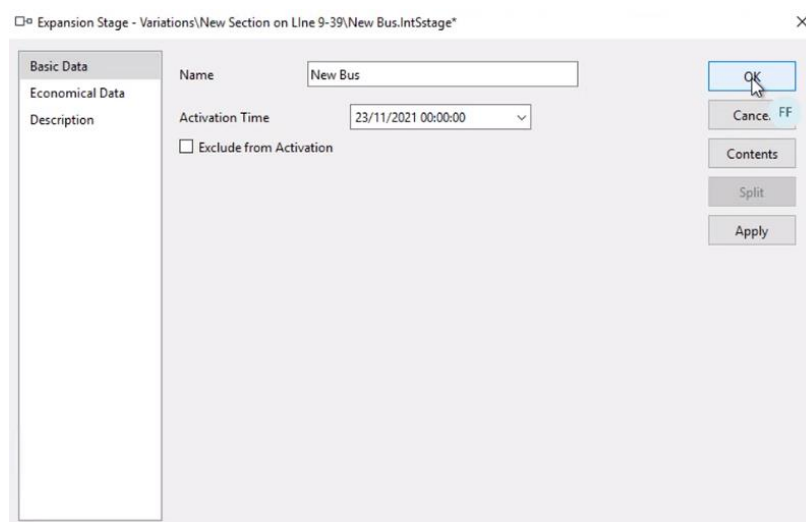
*"b. Adicionar um seccionamento na linha 9-39, em uma nova barra 70, a 50 quilômetros de distância da barra 9. Salvar essa alteração de topologia se iniciando no ano 2;"*

Antes de adicionar a modificação solicitada, a licitante explicou o conceito de *Network Variations* presente na estrutura de base de dados da ferramenta. As chamadas *Variations* são alterações topológicas da rede para as quais pode ser atribuído uma data de entrada, conforme indica a janela mostrada na Figura 2-72.



**Figura 2-72 – Janela para criação de *Variation***

Em seguida, em cada *Variation* pode ser criado um *Expansion Stage*, para o qual é também atribuída uma data de ativação, conforme mostrado na Figura 2-73. Pode ser visto que foi escolhido a data de 23/11/2021, um ano à frente ("ano 2") da data escolhida para o caso base na etapa anterior ("ano 1").



**Figura 2-73 – Janela para criação de novo *Expansion Stage***

Depois de criado o *Expansion Stage* com o nome de *New Bus*, toda a modificação topológica realizada no console fica gravada neste *Expansion Stage*. No caso concreto, a licitante iniciou os procedimentos de criação da nova barra 70 e do seccionamento do circuito duplo da linha 09-39, a 50 km da barra 9.

A Figura 2-74 mostra de forma ilustrativa alguns passos realizados para essa alteração topológica, e a Figura 2-75 mostra o diagrama dessa região do sistema após o seccionamento.

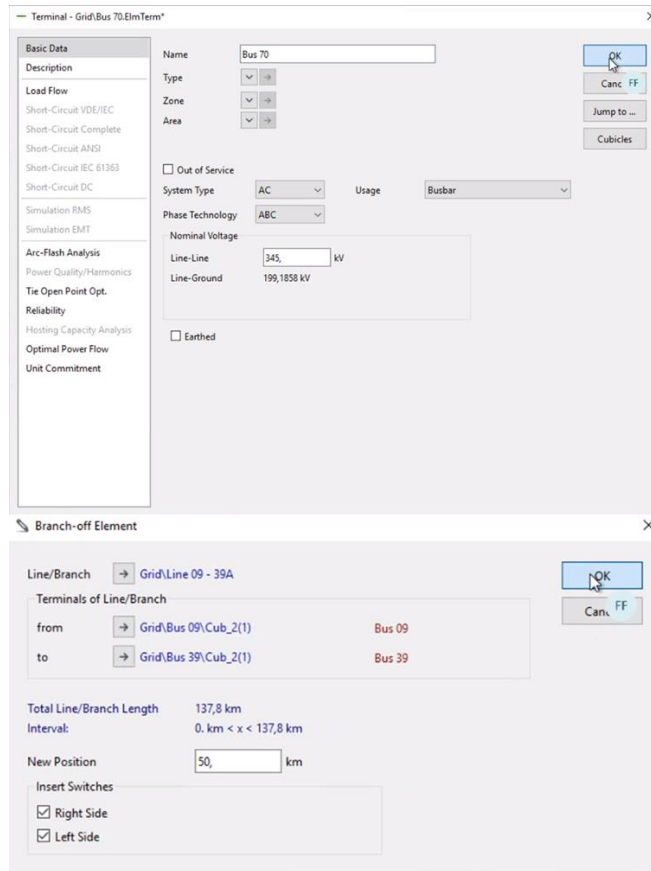


Figura 2-74 – Exemplos de passos para criação de seccionamento

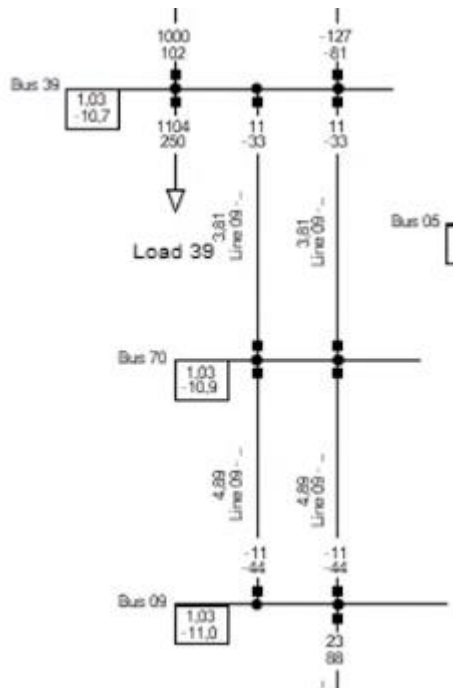
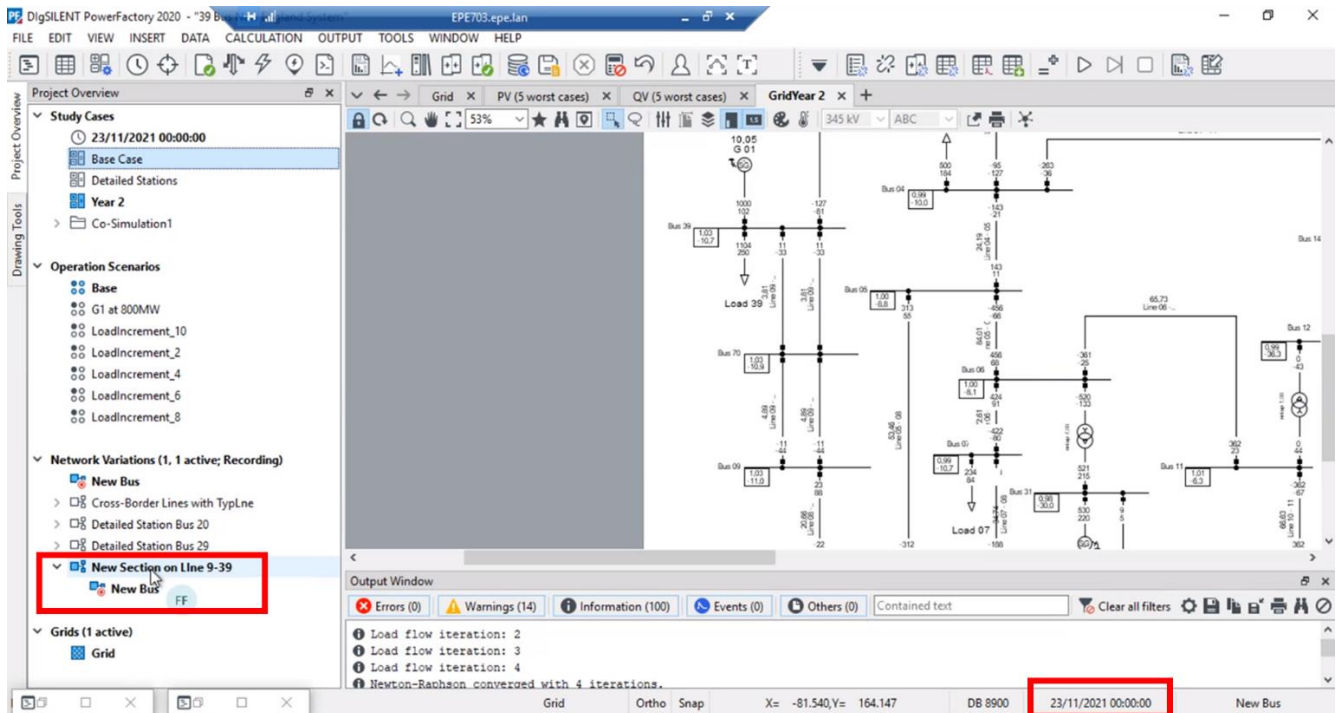


Figura 2-75 – Diagrama após aplicação do seccionamento solicitado

Por fim, a Figura 2-76 mostra a tela do programa, destacando em vermelho que o seccionamento solicitado é uma *Variation* ativa e destacando também a data da *Variation*, que corresponde ao “ano 2”, um à frente do caso base original.



**Figura 2-76 – Tela final sinalizando a criação do seccionamento 1 ano à frente do caso base original**

A terceira etapa da rotina solicita o seguinte:

*“c. Adicionar o valor da carga na barra 70 nos valores de  $P=90$  MW e  $Q=40$  Mvar e salvar em um outro cenário operativo;”*

Para efetuar essa inclusão, a licitante utilizou a mesma *Variation* do exercício anterior, visto que a carga a ser adicionada entra em operação junto com o seccionamento. Desta forma, a licitante continuou gravando no console a adição da carga na barra 70, conforme mostrado na Figura 2-77. Já a Figura 2-78 mostra o diagrama com a barra já adicionada.

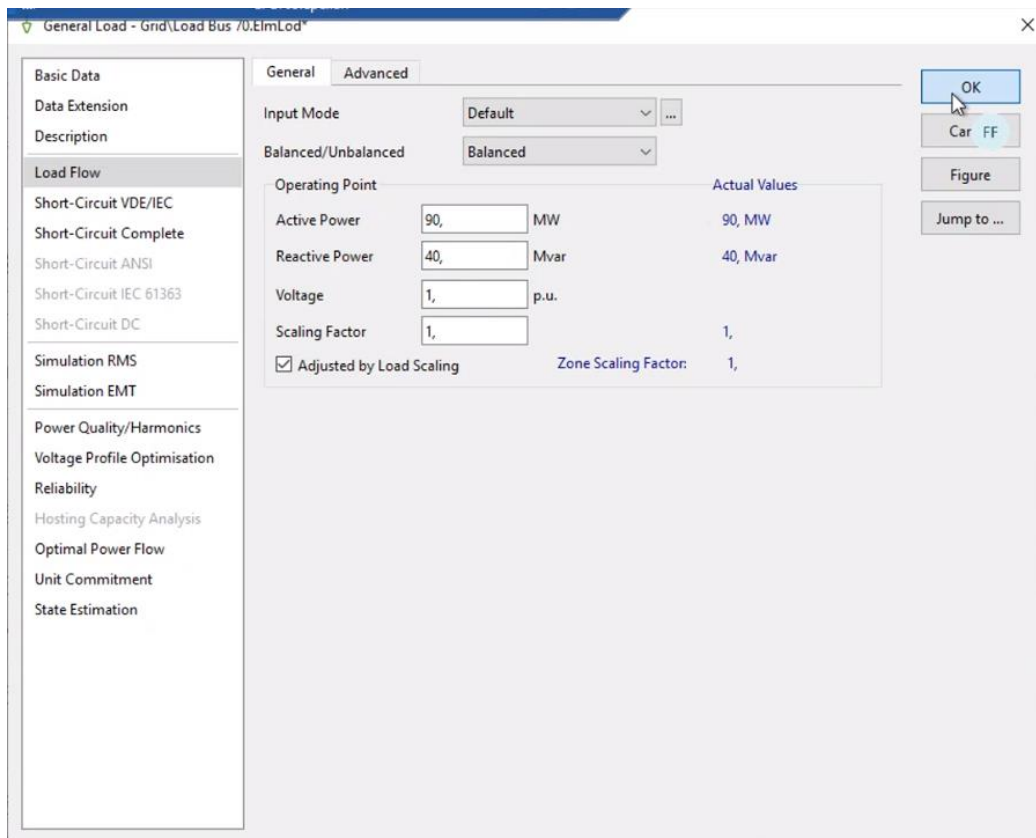


Figura 2-77 – Passo para inclusão de carga na barra 70

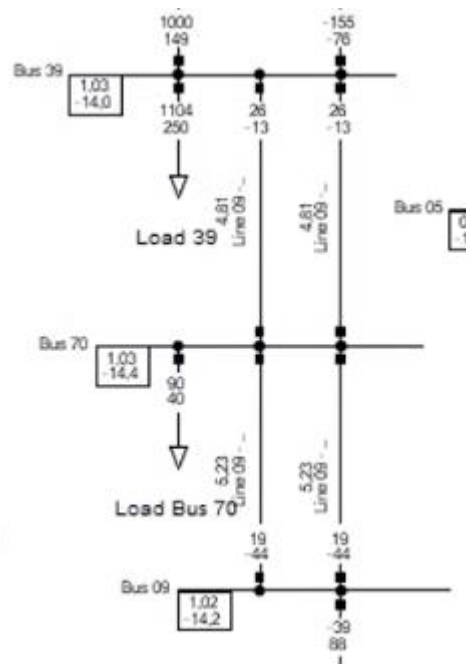
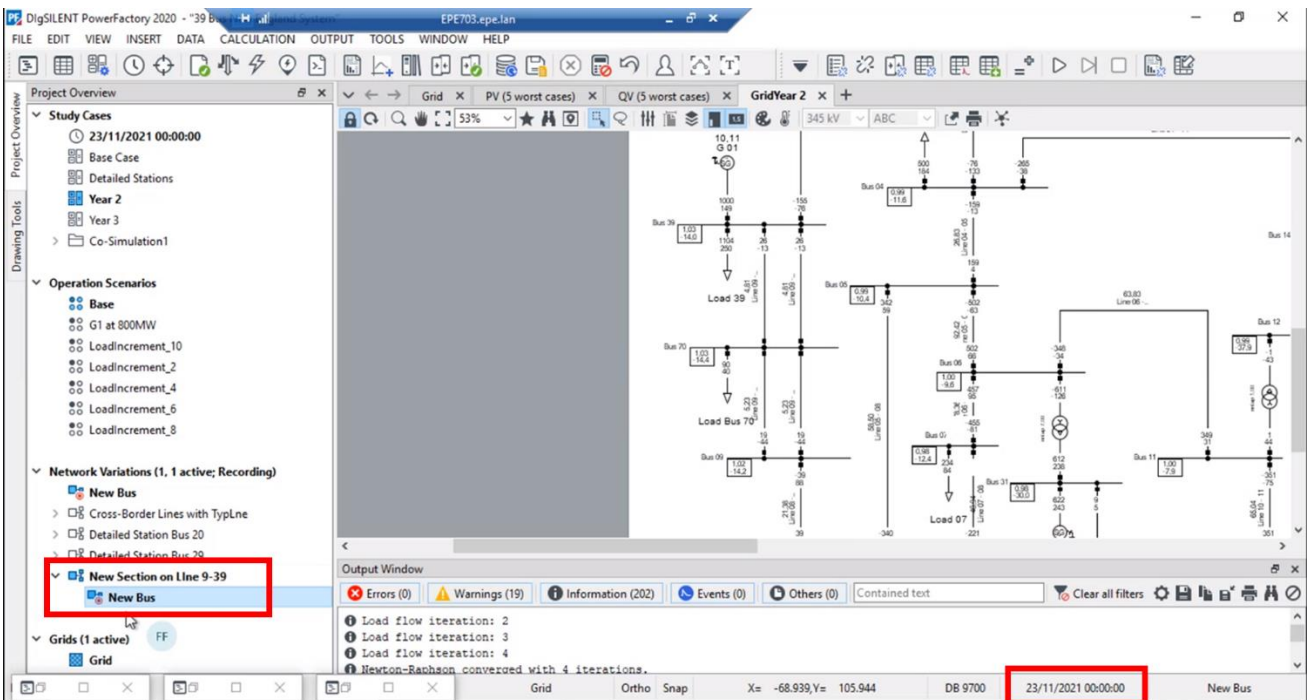


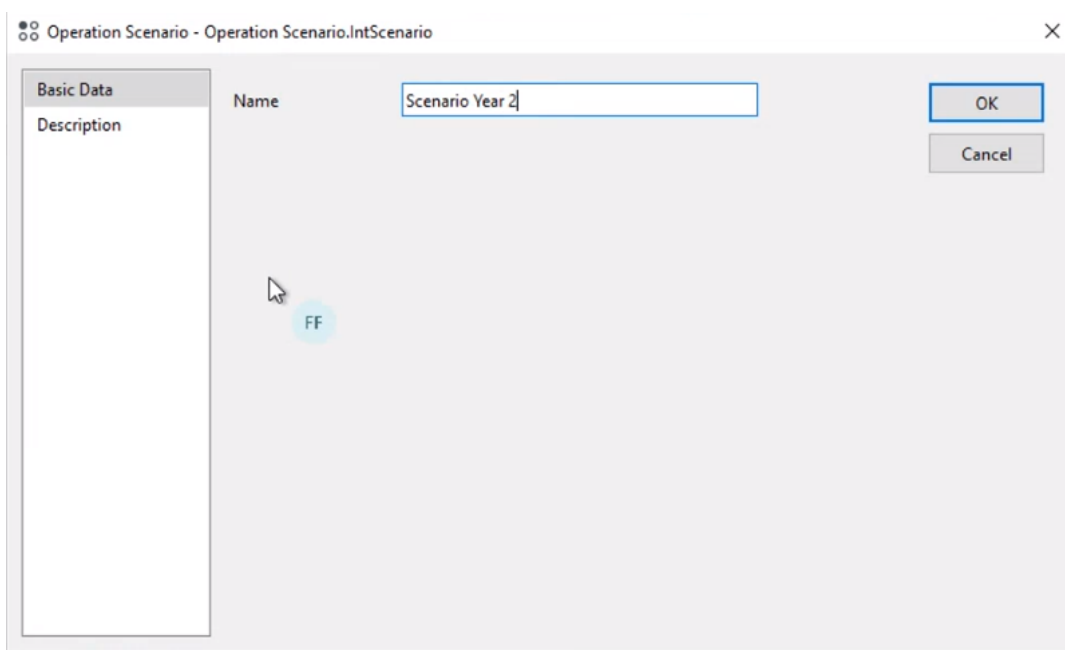
Figura 2-78 - Diagrama após inclusão da carga na Barra 70

Por fim, a Figura 2-79 mostra a tela do programa, destacando em vermelho que o seccionamento solicitado é uma *Variation* ativa e destacando também a data da *Variation*, que corresponde ao “ano 2”, um à frente do caso base original. É possível verificar que a carga da barra 70 está adicionada.



**Figura 2-79 – Tela final sinalizando a criação da carga na barra 70 um ano à frente do caso base original**

Ainda neste exercício, solicita-se salvar o ponto de operação do *load flow*, com essa carga inserida. Antes de adicionar a modificação solicitada, a licitante explicou o conceito de *Operation Scenarios* presente na estrutura de base de dados da ferramenta. Os chamados *Operation Scenarios* contém as variáveis operativas do sistema, tais como posição de tapes, estados operativos, despachos de geração ativa e reativa, etc. Esses cenários não são dependentes do tempo. A Figura 2-80 apresenta a janela para salvar o cenário operativo presente no console, incluindo a carga da barra 70.

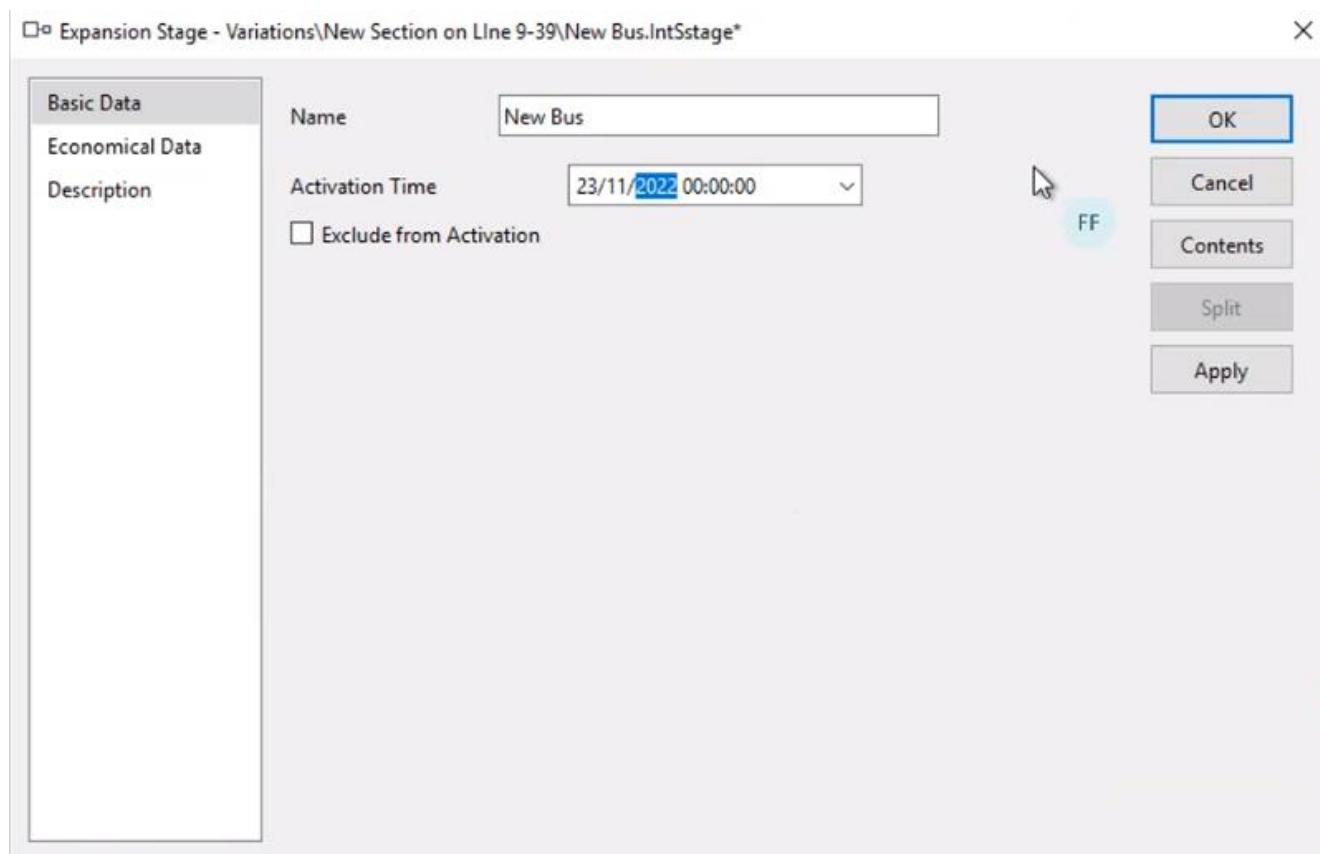


**Figura 2-80 – Janela para salvar novo cenário operativo com os valores da carga 70**

A quarta etapa da rotina solicita o seguinte:

*"d. Alterar a entrada do seccionamento para o ano 3;"*

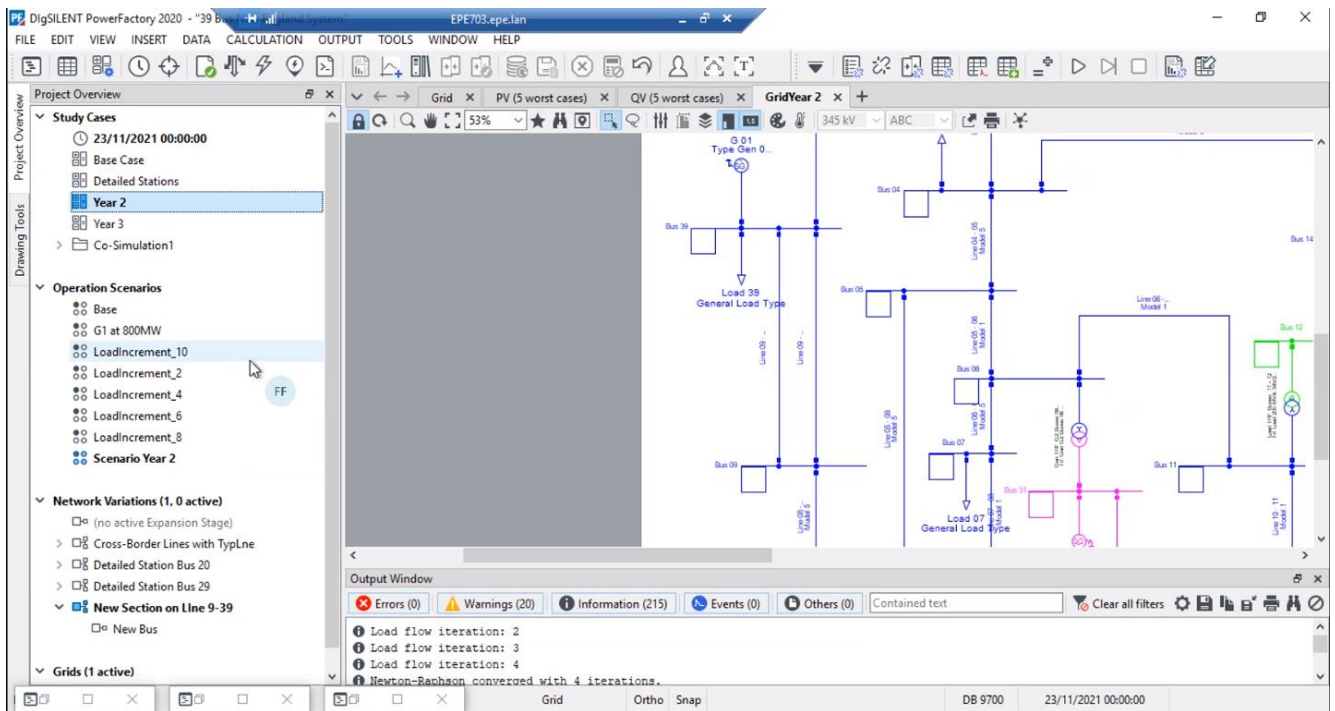
Para fazer essa alteração, basta modificar a data da *Expansion Stage* de nome "New Bus" para um ano à frente da data original do "ano 2", em 23/11/2022, conforme mostrado na Figura 2-81.



**Figura 2-81 – Alteração da data dos reforços anteriores**

Após esta alteração, ao ativar o caso "ano 2", a alteração topológica de seccionamento deixa de aparecer, estando presente apenas no "ano 3", como pode ser observado na Figura 2-82.



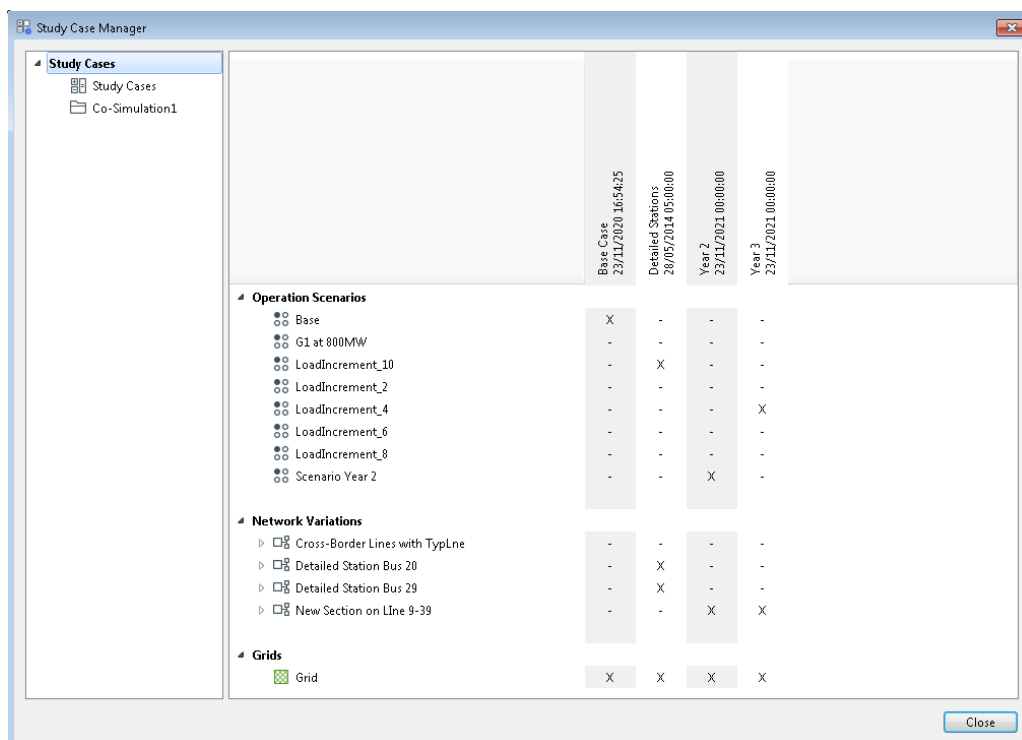


**Figura 2-82 – “Ano 2” após adiamento do seccionamento da linha de transmissão 09-39**

A quinta e última rotina solicita o seguinte:

*"e. Apresentar a integração da base de dados com a interface da ferramenta, alterando a topologia temporal dos anos e alterando o cenário operativo do sistema, sem manuseio de arquivos de dados pelo usuário."*

Basicamente, ao longo de toda a demonstração a licitante fez esse exercício, mostrando que *Network Variations* e *Operating Scenarios* podem ser livremente escolhidos, de forma independente. A Figura 2-83 mostra a funcionalidade *Study Case Manager* que facilita a escolha de quais *Variations* e *Operation Scenarios* cadastrados utilizar em uma simulação.



**Figura 2-83 – Funcionalidade *Study Case Manager***

Finalmente, após a execução dos procedimentos demonstrados anteriormente, conclui-se que os exercícios que compõem esta rotina foram realizados com sucesso e atendem às especificações.

### 3. CONCLUSÃO

A presente Nota Técnica apresentou uma sequência de verificações acerca de cada rotina constante no teste de conformidade utilizando o software *Power Factory*.

A tabela seguinte apresenta um resumo da análise dessas rotinas realizadas pela licitante Figener.

Itens do Roteiro de Teste		
Item	Descrição	Foi atendido? (Sim/Não)
2.1	Verificação das características gerais	Sim
2.2	Rotina 1: Fluxo de Potência	Sim
2.3	Rotina 2: Fluxo de Potência Ótimo	Sim
2.4	Rotina 3: Análise avançada de contingência	Sim
2.5	Rotina 4: Estabilidade de regime permanente (PV-QV)	Sim
2.6	Rotina 5: Análise de curto-circuito	Sim
2.7	Rotina 6: Análise de Estabilidade Eletromecânica	Sim
2.8	Rotina 7: Diagramas e Representações Gráficas	Sim
2.9	Rotina 8: Relatórios de Resultados/Conversão de dados para Excel e arquivos de texto	Sim
2.10	Rotina 9: Representação detalhada de subestações	Sim
2.11	Rotina 10: Automação via Script	Sim
2.12	Rotina 11: Módulo de Co-Simulação entre Transitórios Eletromagnéticos e Domínio Fasorial	Sim
2.13	Rotina 12: Gerenciamento Integrado de Topologia e Modelos	Sim

Conforme detalhado nesta Nota Técnica, todos os itens foram atendidos pela licitante, tendo sido verificado e inspecionado o cumprimento de todas as funcionalidades requeridas do software no âmbito do teste de conformidade.

Os resultados completos estão armazenados na rede de computadores da EPE, com todas as saídas detalhadas e todos os arquivos utilizados nas simulações. Este material registra a memória completa dos testes, e serão guardados para eventuais inspeções e análises. Desta forma contribui-se com a transparência e integridade da sessão de verificação de conformidade.

Logo, dado o atendimento aos requisitos supracitados e conforme previsto no Edital, atesta-se que a licitante foi **aprovada** no teste de conformidade realizado com o software *Power Factory*.

#### 4. REFERÊNCIA

- [1]. "ANÁLISE DE INTEGRIDADE DOS DADOS PARA TESTE DE CONFORMIDADE - Pregão Eletrônico PE.EPE.010/2020 – Primeiro Conjunto de Dados - Licitante: Figener Engenheiros Associados Ltda", EPE-DEE-NT-075/2020-r0 – EPE, novembro/2020
- [2]. "*Power system test cases for EMT-type simulation studies*", Technical Brochure 736 – Cigré, agosto/2018

## 5. ANEXOS

### 5.1. Script em linguagem Python para Curvas PV

```
import powerfactory as pf
app=pf.GetApplication()

stdcase= app.GetActiveStudyCase()
oScript=app.GetCurrentScript()
oldres= oScript.GetContents('*.ElmRes')
for j in oldres:
    j.Delete()

#configure PV command in study case
compv= app.GetFromStudyCase('ComPvcurves')
compv.frLoads=1 #use user-defined loads
res= compv.results # original results file
ldf= app.GetFromStudyCase('ComLdf') #get load flow command
reslist=[]

app.ClearOutputWindow()
app.EchoOff()
app.PrintInfo('==== Script: %s ==== ' %(oScript.loc_name))
app.PrintInfo('Results in increasing MW margin order')

#get calculation buses
usersel= oScript.Buses
if usersel== None:
    allBuses= app.GetCalcRelevantObjects('ElmTerm',0)
else:
    allBuses= usersel.GetAll('ElmTerm')

#loop over all buses
for bus in allBuses:
    elms= bus.GetConnectedElements(1,1,1) #consider switch position
    for elm in elms:
        objclass= elm.GetClassName()
```

```

if objclass=='ElmLod':
    ldf.Execute()
    pinit= elm.GetAttribute('m:P:bus1')
    compv.pSel_Load= elm
    newname= '__PV Load Scaling at Bus '+ bus.loc_name
    newres= oScript.AddCopy(res,newname)
    compv.results= newres
    compv.Execute()
    pfinal= elm.GetAttribute('m:P:bus1')
    pmargin= pfinal-pinit
    reslist.append((bus,pinit,pfinal,pmargin))

```

```
reslist.sort(key=lambda x:x[3], reverse=False)
```

```
for i in reslist:
```

```

    app.PrintInfo('Bus: %-10s   Po=  %6.1d MW   Pf=  %6.1d MW   Margin: %6.1d MW'
%(i[0].loc_name,i[1],i[2],i[3]))

```

```
#restore original result file
```

```
compv.results= res
```

```
app.EchoOff()
```

## 5.2. Script em linguagem Python para Incremento de Carga e Monitoramento de Fluxo na Linha 04-14

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import powerfactory as pf
```

```
app = pf.GetApplication()
```

```
# Delete old operation scenarios created by this script:
```

```
app.PrintInfo('Delete old scenarios...')
```

```
folderScen = app.GetProjectFolder('scen')
```

```
scenarios = folderScen.GetContents('LoadIncrement_*.IntScenario')
```

```
for scenario in scenarios:
```

```
    scenario.Delete()
```

```
# Get or create base scenario:
baseScenario = app.GetActiveScenario()
if baseScenario == None:
    baseScenario = app.SaveAsScenario('Base', 1)

# Get all loads
loads = app.GetCalcRelevantObjects('ElmLod')

# Get line "Line 04 - 14"
line04_14 = app.GetCalcRelevantObjects('Line 04 - 14.ElmLne')
if line04_14 != []:
    line04_14 = line04_14[0]
else:
    app.PrintError("Line "Line 04 - 14" not found in network!")
    exit(1)

# Get load flow command:
ldf = app.GetFromStudyCase('ComLdf')

app.EchoOff()

# Execute load flow
ierr = ldf.Execute()
if ierr != 0:
    app.PrintError('Load flow did not converge!')
    exit(1)

# Save results from base load flow
if line04_14.HasResults():
    Pbase = line04_14.GetAttribute('m:P:bus2')
    Qbase = line04_14.GetAttribute('m:Q:bus2')

loadSteps = [0]
Pflows = [Pbase]
Qflows = [Qbase]
```

```
# Load Increment
for loadStep in range(2, 11, 2):
    loadSteps.append(loadStep)
    for load in loads:
        # New Scale factor for loads:
        # Only valid if scaling factor of all loads is initially set to 1.
        load.scale0 = 1 + loadStep/100

# Save load increment in operation scenario:
oScenario = app.SaveAsScenario('LoadIncrement_' + str(loadStep), 0)

# Execute load flow
ldf.Execute()

# Save results
if line04_14.HasResults():
    Pflows.append(line04_14.GetAttribute('m:P:bus2'))
    Qflows.append(line04_14.GetAttribute('m:Q:bus2'))

baseScenario.DiscardChanges()

# Create plot
ax1 = plt.subplot(121)
ax1.bar(loadSteps, Pflows, color='b', align='center', label = 'Active Power Flow')
ax1.set_xlabel('Load Increment (%)')
ax1.set_ylabel('P [MW]')
ax1.legend(loc='upper center')
ax2 = plt.subplot(122)
ax2.bar(loadSteps, Qflows, color='g', align='center', label = 'Reactive Power Flow')
ax2.set_xlabel('Load Increment (%)')
ax2.set_ylabel('Q [MVar]')
ax2.legend(loc='upper center')

st = plt.suptitle('Power flow over line "' + line04_14.loc_name + "'")
plt.tight_layout()
plt.subplots_adjust(top=0.88)
```



```
plt.show()
```

### **5.3. Script em linguagem Python para Execução Externa e Cálculo de Fluxo de Potência**

```
import sys
sys.path.append(r'C:\Program Files\DIgSILENT\PowerFactory 2020 SP3\Python\3.8')
import powerfactory
pf= powerfactory.GetApplicationExt('bruno.silveira')
pf.Show()

project=pf.ActivateProject('39 Bus New England System')
study=pf.GetActiveStudyCase()
study
Ldf=study.GetContents('*.ComLdf')[0]
Ldf
Ldf.Execute()
```