



**CONPROVE INDÚSTRIA E COMÉRCIO
LTDA.**

ANÁLISE DE EQUIVALÊNCIA:

SOFTWARES
ATP
(ALTERNATIVE TRANSIENTS PROGRAM)
E
PS SIMUL
(POWER SYSTEM SIMULATOR)

UBERLÂNDIA
2019

Termo de Responsabilidade

As informações contidas nesse documento são constantemente verificadas. Entretanto, diferenças na descrição não podem ser completamente excluídas; desta forma, a CONPROVE se exime de qualquer responsabilidade, quanto a erros ou omissões contidos nas informações transmitidas.

Sugestões para aperfeiçoamento desse material são bem vindas, bastando o usuário entrar em contato através do email suporte@conprove.com.br.

O documento contém conhecimentos obtidos dos recursos e dados técnicos no momento em que foi escrito. Portanto a CONPROVE reserva-se o direito de executar alterações nesse documento sem aviso prévio.

Copyright

Copyright © CONPROVE. Todos os direitos reservados. A divulgação, reprodução total ou parcial do seu conteúdo, não está autorizada, a não ser que sejam expressamente permitidos. As violações são passíveis de sanções por leis.

Copyright por CONPROVE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, 2019.

Todos os direitos reservados.

Proibida a reprodução total ou parcial.

Nenhuma parte desta obra,
Poderá ser apropriada
Sem autorização da CONPROVE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.

O software PS Simul foi desenvolvido e produzido no Brasil
Pela CONPROVE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, sob responsabilidade
do engenheiro eletricista
Paulo Sérgio Pereira, Crea 11.348

CONPROVE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA

Fone (34) 3218-6800 / Fax (34) 3218-6810

Rua Visconde de Ouro Preto, 77

Bairro Custódio Pereira - CEP 38.405-202

Uberlândia - MG - Brasil

Controle de Versão

Versão	Descrições	Data	Autor	Revisor
1.0	Versão Inicial	12/03/2019	M.J.B.B.D	G.S.S.

Sumário

1	Capítulo 01 – Introdução	21
2	Capítulo 02 – Fontes.	23
2.1	Cenário 01 - Fonte DC (DC Type 11).....	23
2.2	Cenário 02 – Fonte Rampa (Ramp Type 12)	24
2.3	Cenário 03 - Fonte Rampa (Slope Ramp Type 13).....	25
2.4	Cenário 04 - Fonte AC monofásica (AC Type 14)	26
2.5	Cenário 05 - Fonte AC trifásica (AC 3-ph Type 14).....	27
2.6	Cenário 06 - Fonte Surto Dupla Exponencial (Surge Type 15)	28
2.7	Cenário 07 - Fonte Surto Heidler (Heidler Type 15)	29
2.8	Cenário 08 – Fonte Surto Standler (Standler Type 15)	30
2.9	Cenário 09 – Fonte Surto CIGRÉ (CIGRÉ Type 15).....	31
3	Capítulo 03 – Chaves	32
3.1	Cenário 01 - Chave monofásica controlada por tempo	32
3.2	Cenário 02 - Chave trifásica controlada por tempo.....	33
3.3	Cenário 03 - Chave monofásica controlada por tensão	34
3.4	Cenário 04 - Diodo.....	35
3.5	Cenário 05 - Tiristor.....	36
3.6	Cenário 06 - Triac	37
3.7	Cenário 07 – Chave Estatística	38
3.8	Circuitos modelados para as validações realizadas	39
3.8.1	Cenário 01 - Chaves monofásicas controladas por tempo (3.1).....	39
3.8.2	Cenário 02 - Chaves trifásicas controladas por tempo (3.2).	39
3.8.3	Cenário 03 - Chaves monofásicas controladas por tensão (3.3).	39
3.8.4	Cenário 04 - Diodos (3.4).	39
3.8.5	Cenário 05 - Tiristores (3.5).	40
3.8.6	Cenário 06 - TRIAC (3.6).....	40
4	Capítulo 04 - Elementos Passivos.....	41
4.1	Cenário 01 - Energização de circuito RL com fonte DC no instante $t = 0s$	41
4.2	Cenário 02 - Energização de circuito RC com fonte DC no instante $t = 0s$	43
4.3	Cenário 03 - Energização de circuito LC com fonte DC no instante $t = 0s$	45
4.4	Cenário 04 - Energização de circuito RL com fonte DC no instante $t = 0s$, com condições iniciais de corrente na indutância.	47
4.5	Cenário 05 - Energização de circuito RC com fonte DC no instante $t = 0s$, com condições iniciais de tensão na capacitância.	49
4.6	Cenário 06 - Energização de circuito RLC com fonte DC no instante $t = 0s$	51
4.7	Cenário 07 - Energização de circuito RL com fonte AC no instante $t = 0s$	53
4.8	Cenário 08 - Energização de circuito RC com fonte AC no instante $t = 0s$	55
4.9	Cenário 09 - Energização de circuito LC com fonte AC no instante $t = 0s$	57
4.10	Cenário 10 - Energização de circuito RL com fonte AC no instante $t = 0s$, com condições iniciais de corrente na indutância.	59
4.11	Cenário 11 - Energização de circuito RC com fonte AC no instante $t = 0s$, com condições iniciais de tensão na capacitância.	61
4.12	Cenário 12 - Energização de circuito RLC com fonte AC no instante $t = 0s$	63

4.13	Cenário 13 - Energização de circuito RL trifásico.	65
4.14	Cenário 14 - Energização de circuito RC trifásico.	67
4.15	Cenário 15 - Energização de circuito LC trifásico.	69
4.16	Cenário 16 - Energização de circuito RLC trifásico.	71
4.17	Circuitos modelados para as validações realizadas	73
4.17.1	Cenário 01 – Energização RL com fonte DC (4.1)	73
4.17.2	Cenário 02 – Energização RC com fonte DC (4.2)	73
4.17.3	Cenário 03 – Energização LC com fonte DC (4.3)	73
4.17.4	Cenário 04 – Energização RL com fonte DC – Condições Iniciais (4.4)	73
4.17.5	Cenário 05 – Energização RC com fonte DC – Condições Iniciais (4.5).....	74
4.17.6	Cenário 06 – Energização RLC com fonte DC (4.6).....	74
4.17.7	Cenário 07 – Energização RL com fonte AC (4.7)	74
4.17.8	Cenário 08 – Energização RC com fonte AC (4.8)	74
4.17.9	Cenário 09 – Energização LC com fonte AC (4.9)	75
4.17.10	Cenário 10 – Energização RL com fonte AC – Condições Iniciais (4.10).....	75
4.17.11	Cenário 11 – Energização RC com fonte AC – Condições Iniciais (4.11).....	75
4.17.12	Cenário 12 – Energização RLC com fonte AC (4.12).....	75
4.17.13	Cenário 13 – Energização RL trifásico (4.13).....	76
4.17.14	Cenário 14 – Energização RC trifásico (4.14).....	76
4.17.15	Cenário 15 – Energização LC trifásico (4.15).....	76
4.17.16	Cenário 16 – Energização RLC trifásico (4.16)	76
5	Capítulo 05 - Elementos Não Lineares	77
5.1	Cenário 01 - Resistência não linear (type 99) alimentada por tensão AC.	77
5.2	Cenário 02 - Resistência não linear (type 92) alimentada por tensão AC.	79
5.3	Cenário 03 - Resistência não linear (type 97) alimentada por tensão AC.	81
5.4	Cenário 04 - Resistência não linear (type 91) alimentada por tensão AC.	82
5.5	Cenário 05 - Indutância não linear (type 98) alimentada por tensão AC.	83
5.6	Cenário 06 - Indutância não linear (type 93) alimentada por tensão AC.	85
5.7	Cenário 07 - Indutância não linear (type 96) alimentada por tensão AC.	87
5.8	Cenário 08 - Resistência variável entrada externa alimentada por tensão AC.	89
5.9	Cenário 09 - MOV (Metal Oxide Varist.) type 92 alimentado por tensão AC.....	90
5.10	Circuitos modelados para as validações realizadas	91
5.10.1	Cenário 01 - Resistência não linear (type 99) alimentada por tensão AC (5.1).....	91
5.10.2	Cenário 02 - Resistência não linear (type 92) alimentada por tensão AC (5.2).....	91
5.10.3	Cenário 03 - Resistência não linear (type 97) alimentada por tensão AC (5.3).....	91
5.10.4	Cenário 04 - Resistência não linear (type 91) alimentada por tensão AC (5.4).....	91
5.10.5	Cenário 05 - Indutância não linear (type 98) alimentada por tensão AC (5.5).	91
5.10.6	Cenário 06 - Indutância não linear (type 93) alimentada por tensão AC (5.6).	92
5.10.7	Cenário 07 - Indutância não linear (type 96) alimentada por tensão AC (5.7).	92
5.10.8	Cenário 08 - Resistência variável (entrada externa) (5.8).	92
5.10.9	Cenário 09 - MOV (Metal Oxide Varistor) type 92 (5.9).....	92
6	Capítulo 06 – Transformadores	93
6.1	Cenário 01 – Transformador monofásico ideal.	93

6.2	Cenário 02 – Transformador monofásico real.....	95
6.3	Cenário 03 – Transformador trifásico ideal Y-Y.	97
6.4	Cenário 04 – Transformador trifásico real Y- Δ	99
6.5	Cenário 05 – Autotransformador trifásico real (2 enrolamentos).	101
6.6	Cenário 06 – Transformador trifásico real Y-Y-D.	103
6.7	Cenário 07 – Autotransformador trifásico real com terciário D.....	106
6.8	Cenário 08 – Transformador trifásico real Δ -Y (saturação).....	109
6.9	Circuitos modelados para as validações realizadas	111
6.9.1	Cenário 01 – Transformador monofásico ideal (6.1).....	111
6.9.2	Cenário 02 – Transformador monofásico real (6.2).....	111
6.9.3	Cenário 03 – Transformador trifásico ideal Y-Y (6.3).	111
6.9.4	Cenário 04 – Transformador trifásico real Y- Δ (6.4).	111
6.9.5	Cenário 05 – Autotransformador trifásico real (2 enrolamentos) (6.5).....	112
6.9.6	Cenário 06 – Transformador trifásico real Y-Y-D (6.6).....	112
	112
6.9.7	Cenário 07 – Autotransformador trifásico real com terciário D (6.7).....	112
6.9.8	Cenário 08 – – Transformador trifásico real Δ -Y (saturação) (6.8).....	113
7	Capítulo 07 - Linhas e Cabos.....	114
7.1	Cenário 01 – Linha PI monofásica.....	114
7.2	Cenário 02 – Linha PI trifásica.	116
7.3	Cenário 03 – Linha Bergeron monofásica.....	118
7.4	Cenário 04 – Linha Bergeron trifásica (Transposta).	120
7.5	Cenário 05 – Linha Bergeron trifásica (Cadastro por Geometria).	122
7.6	Cenário 06 – Linha com Modelagem em Frequência trifásica (Cadastro por Geometria).	125
7.7	Cenário 07 – Cabos Modelo Bergeron (Subterrâneo).	128
7.8	Circuitos modelados e curvas cadastradas para as validações realizadas	133
7.8.1	Cenário 01 – Linha PI monofásica (7.1).....	133
7.8.2	Cenário 02 – Linha PI trifásica (7.2).	133
7.8.3	Cenário 03 – Linha Bergeron monofásica (7.3).....	133
7.8.4	Cenário 04 – Linha Bergeron trifásica (Transposta) (7.4).	133
7.8.5	Cenário 05 – Linha Bergeron trifásica (Cadastro por Geometria) (7.5).	134
7.8.6	Cenário 06 – Linha com Modelagem em Frequência trifásica (Cadastro por Geometria) (7.6).	134
7.8.7	Cenário 07 – Cabos Modelo Bergeron (Subterrâneo) (7.7).	134
8	Capítulo 08 – Máquinas	135
8.1	Cenário 01 – Partida de um motor de indução - Rotor Gaiola.	135
8.2	Cenário 02 – Religamentos e desligamentos de motores em um sistema industrial.	138
8.3	Cenário 03 – Gerador de indução (Rotor Gaiola) alimentando cargas no sistema elétrico.	140
8.4	Cenário 04 – Partida de motor de indução – Rotor Bobinado.....	143
8.5	Cenário 05 – Partida de uma máquina DC com estágios resistivos.	147
8.6	Cenário 06 – Curto circuito em sistema isolado alimentado por gerador síncrono (sem controladores de tensão ou potência mecânica).....	149

8.7	Cenário 07 – Chaveamento de cargas em sistema isolado alimentado por gerador síncrono (com regulação de tensão).	152
8.8	Circuitos modelados para as validações realizadas	155
8.8.1	Cenário 01 – Partida de um motor de indução - Rotor Gaiola (8.1).	155
8.8.2	Cenário 02 – Religamentos e desligamentos de motores em um sistema industrial (8.2).	155
8.8.3	Cenário 03 – Gerador de indução (Rotor Gaiola) alimentando cargas no sistema elétrico (8.3).	155
8.8.4	Cenário 04 – Partida de motor de indução – Rotor Bobinado (8.4).	156
8.8.5	Cenário 05 – Partida de uma máquina DC com estágios resistivos (8.5).	156
8.8.6	Cenário 06 – Curto circuito em sistema isolado alimentado por gerador síncrono (sem controladores de tensão ou potência mecânica) (8.6).	157
8.8.7	Cenário 07 – Chaveamento de cargas em sistema isolado alimentado por gerador síncrono (com regulação de tensão) (8.7).	157
9	Capítulo 09 - Controle (TACS e FORTRAN)	158
9.1	Tabela de equivalências entre os controles ATP e PS Simul	158
9.2	Cenário 01 – Análises de parâmetros do sistema elétrico.	162
9.3	Cenário 02 – Modelagem de reguladores de tensão de máquinas.	165
9.4	Cenário 03 – Controle Chave AC – Eletrônica de Potência.	167
9.5	Cenário 04 – Modelagem de funções de proteção.	171
9.6	Circuitos modelados para as validações realizadas	174
9.6.1	Cenário 01 – Análises de parâmetros do sistema elétrico (9.2).	174
9.6.2	Cenário 02 – Modelagem de controladores de excitação de máquinas (9.3).	174
9.6.3	Cenário 03 – Controle Chave AC – Eletrônica de Potência (9.4).	174
9.6.4	Cenário 04 – Modelagem de funções de proteção (9.5).	175
10	Capítulo 10 - Análise de sistemas mais completos com ambos os softwares ...	176
10.1	Análise de Tensões de Restabelecimento Transitórias (TRT) em sistemas.	176
10.1.1	Formas de onda das correntes na chave CH1.	178
10.1.2	Formas de onda das correntes na chave CH2.	178
10.1.3	Formas de onda das tensões F-F no primário do transformador TR1.	179
10.1.4	Formas de onda das tensões F-N no secundário do transformador TR1.	180
10.1.5	Análise da envoltória da TRT.	181
10.2	Chaveamento de bancos capacitivos.	183
10.2.1	Cenário 01 – Banco de capacitores do consumidor é chaveado	184
10.2.2	Cenário 02 – Banco de capacitores da subestação é chaveado	185
10.3	Simulação de descarga atmosférica em uma linha de transmissão.	186
10.3.1	Formas de onda das tensões na fase A em todos os trechos.	188
10.3.2	Formas de onda das correntes na carga resistiva.	189
10.4	Energização de transformadores trifásicos.	190
10.4.1	Cenário 01 – Energização não controlada.	191
10.4.2	Cenário 02 – Energização controlada.	192
10.5	Fenômeno de ferroressonância em transformadores trifásicos.	194
10.5.1	Forma de onda das tensões no primário do transformador.	195
10.6	Religamento de linhas de transmissão.	196
10.6.1	Cenário 01 – Desligamento e religamento com chaves ideais.	197

10.6.2	Cenário 02 – Desligamento e religamento com resistência de pré-inserção.	198
10.7	Ensaio de contingências em sistemas elétricos de transmissão.	199
10.7.1	Cenário 01 – Falta monofásica na barra B8.	201
10.7.2	Cenário 02 – Falta bifásica na barra B5.	207
10.7.3	Cenário 03 – Falta trifásica na barra B4.	212
10.7.4	Cenário 04 – Falta trifásica terra na barra B6.	217
11	Capítulo 11 – Conclusões	223
12	Capítulo 12 – Referências	223

Índice de Figuras

Figura 1– Resultado Fonte DC no software ATP.	23
Figura 2 - Resultado Fonte DC no software PS Simul.	23
Figura 3 - Resultado Fonte Rampa Tipo 12 no software ATP.	24
Figura 4 - Resultado Fonte Rampa Tipo 12 no software PS Simul.	24
Figura 5- Resultado Fonte Rampa Tipo 13 no software ATP.	25
Figura 6- Resultado Fonte Rampa Tipo 13 no software PS Simul.	25
Figura 7- Resultado Fonte Senoidal monofásica no software ATP.	26
Figura 8- Resultado Fonte Senoidal monofásica no software PS Simul.	26
Figura 9- Resultado Fonte Senoidal trifásica no software ATP.	27
Figura 10- Resultado Fonte Senoidal trifásica no software PS Simul.	27
Figura 11- Resultado Fonte Surto Dupla Exponencial Tipo 15 no software ATP.	28
Figura 12- Resultado Fonte Surto Dupla Exponencial no software PS Simul.	28
Figura 13- Resultado Fonte Surto Heidler Tipo 15 no software ATP.	29
Figura 14- Resultado Fonte Surto Heidler Tipo 15 no software PS Simul.	29
Figura 15- Resultado Fonte Surto Standler Tipo 15 no software ATP.	30
Figura 16- Resultado Fonte Surto Standler Tipo 15 no software PS Simul.	30
Figura 17- Resultado Fonte Surto CIGRÉ Tipo 15 no software ATP.	31
Figura 18- Resultado Fonte Surto CIGRÉ Tipo 15 no software PS Simul.	31
Figura 19- Resultado da simulação com a chave monofásica no software ATP.	32
Figura 20 - Resultado da simulação com a chave monofásica no software PS Simul.	32
Figura 21- Resultado da simulação com a chave trifásica no software ATP.	33
Figura 22 - Resultado da simulação com a chave trifásica no software PS Simul.	33
Figura 23- Resultado da simulação com a chave controlada por tensão no software ATP.	34
Figura 24 - Resultado da simulação com a chave controlada por tensão no software PS Simul.	34
Figura 25- Resultado da simulação com o diodo no software ATP.	35
Figura 26 - Resultado da simulação com o diodo no software PS Simul.	35
Figura 27- Resultado da simulação com o tiristor no software ATP.	36
Figura 28 - Resultado da simulação com o tiristor no software PS Simul.	36
Figura 29- Resultado da simulação com o TRIAC no software ATP.	37
Figura 30 - Resultado da simulação com o TRIAC no software PS Simul.	37
Figura 31 – Circuitos modelados para validação das chaves monofásicas controladas por tempo.	39
Figura 32 – Circuitos modelados para validação das chaves trifásicas controladas por tempo.	39
Figura 33 – Circuitos modelados para validação da chave controlada por tensão.	39
Figura 34 – Circuitos modelados para validação do diodo.	39
Figura 35 – Circuitos modelados para validação do tiristor.	40
Figura 36 – Circuitos modelados para validação do TRIAC.	40
Figura 37- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software ATP.	41
Figura 38 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software PS Simul.	41
Figura 39- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software ATP.	42
Figura 40 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software PS Simul.	42
Figura 41- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software ATP.	43
Figura 42 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software PS Simul.	43
Figura 43- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software ATP.	44
Figura 44 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software PS Simul.	44
Figura 45- Forma de onda de tensão da simulação do circuito LC no software ATP.	45
Figura 46 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito LC no software PS Simul.	45
Figura 47- Forma de onda de corrente da simulação do circuito LC no software ATP.	46
Figura 48 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito LC no software PS Simul.	46
Figura 49- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software ATP.	47
Figura 50 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software PS Simul.	47
Figura 51- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software ATP.	48
Figura 52 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software PS Simul.	48
Figura 53- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software ATP.	49
Figura 54 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software PS Simul.	49
Figura 55- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software ATP.	50

Figura 56 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software PS Simul.	50
Figura 57- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RLC no software ATP.....	51
Figura 58 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RLC no software PS Simul.	51
Figura 59- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RLC no software ATP.	52
Figura 60 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RLC no software PS Simul.....	52
Figura 61- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software ATP.	53
Figura 62 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software PS Simul.	53
Figura 63- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software ATP.....	54
Figura 64 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software PS Simul.	54
Figura 65- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software ATP.	55
Figura 66 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software PS Simul.	55
Figura 67- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software ATP.	56
Figura 68 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software PS Simul.	56
Figura 69- Forma de onda de tensão da simulação do circuito LC no software ATP.	57
Figura 70 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito LC no software PS Simul.	57
Figura 71- Forma de onda de corrente da simulação do circuito LC no software ATP.....	58
Figura 72 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito LC no software PS Simul.	58
Figura 73- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software ATP.	59
Figura 74 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software PS Simul.	59
Figura 75- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software ATP.....	60
Figura 76 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software PS Simul.	60
Figura 77- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software ATP.	61
Figura 78 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software PS Simul.	61
Figura 79- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software ATP.	62
Figura 80 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software PS Simul.	62
Figura 81- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RLC no software ATP.....	63
Figura 82 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RLC no software PS Simul.	63
Figura 83- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RLC no software ATP.	64
Figura 84 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RLC no software PS Simul.....	64
Figura 85- Forma de onda das tensões da simulação do circuito RL no software ATP.	65
Figura 86 - Forma de onda das tensões da simulação do circuito RL no software PS Simul.	65
Figura 87- Forma de onda das correntes da simulação do circuito RL no software ATP.	66
Figura 88 - Forma de onda das correntes da simulação do circuito RL no software PS Simul.	66
Figura 89- Forma de onda das tensões da simulação do circuito RC no software ATP.	67
Figura 90 - Forma de onda das tensões da simulação do circuito RC no software PS Simul.	67
Figura 91- Forma de onda das correntes da simulação do circuito RC no software ATP.	68
Figura 92 - Forma de onda das correntes da simulação do circuito RC no software PS Simul.	68
Figura 93- Forma de onda das tensões da simulação do circuito LC no software ATP.	69
Figura 94 - Forma de onda das tensões da simulação do circuito LC no software PS Simul.	69
Figura 95- Forma de onda das correntes da simulação do circuito LC no software ATP.	70
Figura 96 - Forma de onda das correntes da simulação do circuito LC no software PS Simul.	70
Figura 97- Forma de onda das tensões da simulação do circuito RLC no software ATP.....	71
Figura 98 - Forma de onda das tensões da simulação do circuito RLC no software PS Simul.	71
Figura 99- Forma de onda das correntes da simulação do circuito RLC no software ATP.....	72
Figura 100 - Forma de onda das correntes da simulação do circuito RLC no software PS Simul.	72
Figura 101 - Circuitos RL alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.	73
Figura 102 – Circuitos RC alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.	73
Figura 103 – Circuitos LC alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.....	73
Figura 104 – Circuitos RL alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.....	73
Figura 105 – Circuitos RC alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.	74
Figura 106 – Circuitos RLC alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.	74
Figura 107 – Circuitos RL alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.....	74
Figura 108 – Circuitos RC alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.	74
Figura 109 – Circuitos LC alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.....	75
Figura 110 – Circuitos RL alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.....	75
Figura 111 – Circuitos RC alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.	75
Figura 112 – Circuitos RLC alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.	75
Figura 113 – Circuitos RL trifásicos modelados em ambos os softwares.	76
Figura 114 – Circuitos RC trifásicos modelados em ambos os softwares.	76
Figura 115 – Circuitos LC trifásicos modelados em ambos os softwares.	76

Figura 116 – Circuitos RLC trifásicos modelados em ambos os softwares.....	76
Figura 117- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.....	77
Figura 118 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.	78
Figura 119 – Curva levantada da simulação no software ATP (V x I).....	78
Figura 120 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (V x I).	78
Figura 121- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.....	79
Figura 122 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.	79
Figura 123 – Curva levantada da simulação no software ATP (V x I).....	80
Figura 124 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (V x I).	80
Figura 125- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.....	81
Figura 126 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.	81
Figura 127- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.....	82
Figura 128 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.	82
Figura 129- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.....	83
Figura 130 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.	83
Figura 131 – Curva levantada da simulação no software ATP (I x Fluxo).....	84
Figura 132 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (I x Fluxo).	84
Figura 133- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.....	85
Figura 134 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.	85
Figura 135 – Curva levantada da simulação no software ATP (I x Fluxo).....	86
Figura 136 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (I x Fluxo).	86
Figura 137- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.....	87
Figura 138 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.	87
Figura 139 – Curva levantada da simulação no software ATP (I x Fluxo).....	88
Figura 140 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (I x Fluxo).	88
Figura 141- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.....	89
Figura 142 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.	89
Figura 143 – Curva levantada da simulação no software ATP (V x I).....	90
Figura 144 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (V x I).	90
Figura 145 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	91
Figura 146 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	91
Figura 147 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	91
Figura 148 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	91
Figura 149 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	91
Figura 150 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	92
Figura 151 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	92
Figura 152 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	92
Figura 153 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	92
Figura 154 – Forma de onda obtida da corrente do primário do transformador no ATP.....	93
Figura 155 – Forma de onda obtida da corrente do primário do transformador no PS Simul.	93
Figura 156 – Forma de onda obtida da corrente do secundário do transformador no ATP.	94
Figura 157 – Forma de onda obtida da corrente do secundário do transformador no PS Simul.....	94
Figura 158 – Forma de onda obtida da corrente do primário do transformador no ATP.....	95
Figura 159 – Forma de onda obtida da corrente do primário do transformador no PS Simul.	95
Figura 160 – Forma de onda obtida da corrente do secundário do transformador no ATP.	96
Figura 161 – Forma de onda obtida da corrente do secundário do transformador no PS Simul.....	96
Figura 162 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.	97
Figura 163 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.	97
Figura 164 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.	98
Figura 165 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.....	98
Figura 166 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.	99
Figura 167 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.	99
Figura 168 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.	100
Figura 169 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.....	100
Figura 170 – Forma de onda obtida das correntes do primário do autotransformador no ATP.....	101
Figura 171 – Forma de onda obtida das correntes do primário do autotransformador no PS Simul.	101
Figura 172 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do autotransformador no ATP.	102
Figura 173 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do autotransformador no PS Simul.	102
Figura 174 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.	104
Figura 175 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.	104

Figura 176 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.	104
Figura 177 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.	104
Figura 178 – Forma de onda obtida das correntes do terciário do transformador no ATP.	105
Figura 179 – Forma de onda obtida das correntes do terciário do transformador no PS Simul.	105
Figura 180 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.	107
Figura 181 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.	107
Figura 182 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.	107
Figura 183 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.	107
Figura 184 – Forma de onda obtida das correntes do terciário do transformador no ATP.	108
Figura 185 – Forma de onda obtida das correntes do terciário do transformador no PS Simul.	108
Figura 186 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.	110
Figura 187 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.	110
Figura 188 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.	110
Figura 189 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.	110
Figura 190 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	111
Figura 191 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	111
Figura 192 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	111
Figura 193 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	111
Figura 194 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	112
Figura 195 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	112
Figura 196 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	112
Figura 197 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	113
Figura 198 – Tensões em ambos os terminais (ATP) para energização em $t = 0$ s.	115
Figura 199 – Tensões em ambos os terminais (PS SIMUL) para energização em $t = 0$ s.	115
Figura 200 – Tensões em ambos os terminais (ATP) para energização em $t = 4,166$ ms.	115
Figura 201 – Tensões em ambos os terminais (PS SIMUL) para energização em $t = 4,166$ ms.	115
Figura 202 – Tensões na fase A de ambos os terminais (ATP).	116
Figura 203 – Tensões na fase A de ambos os terminais (PS SIMUL).	116
Figura 204 – Tensões na fase B de ambos os terminais (ATP).	117
Figura 205 – Tensões na fase B de ambos os terminais (PS SIMUL).	117
Figura 206 – Tensões na fase C de ambos os terminais (ATP).	117
Figura 207 – Tensões na fase C de ambos os terminais (PS SIMUL).	117
Figura 208 – Tensões em ambos os terminais (ATP) para energização em $t = 0$ s.	118
Figura 209 – Tensões em ambos os terminais (PS SIMUL) para energização em $t = 0$ s.	118
Figura 210 – Tensões em ambos os terminais (ATP) para energização em $t = 4,166$ ms.	119
Figura 211 – Tensões em ambos os terminais (PS SIMUL) para energização em $t = 4,166$ ms.	119
Figura 212 – Tensões na fase A de ambos os terminais (ATP).	120
Figura 213 – Tensões na fase A de ambos os terminais (PS SIMUL).	120
Figura 214 – Tensões na fase B de ambos os terminais (ATP).	121
Figura 215 – Tensões na fase B de ambos os terminais (PS SIMUL).	121
Figura 216 – Tensões na fase C de ambos os terminais (ATP).	121
Figura 217 – Tensões na fase C de ambos os terminais (PS SIMUL).	121
Figura 218 – Tensões na fase A de ambos os terminais (ATP).	123
Figura 219 – Tensões na fase A de ambos os terminais (PS SIMUL).	123
Figura 220 – Tensões na fase B de ambos os terminais (ATP).	123
Figura 221 – Tensões na fase B de ambos os terminais (PS SIMUL).	123
Figura 222 – Tensões na fase C de ambos os terminais (ATP).	124
Figura 223 – Tensões na fase C de ambos os terminais (PS SIMUL).	124
Figura 224 – Correntes que fluem pelas fases da linha (ATP).	124
Figura 225 – Correntes que fluem pelas fases da linha (PS SIMUL).	124
Figura 226 – Tensões na fase A de ambos os terminais (ATP).	126
Figura 227 – Tensões na fase A de ambos os terminais (PS SIMUL).	126
Figura 228 – Tensões na fase B de ambos os terminais (ATP).	126
Figura 229 – Tensões na fase B de ambos os terminais (PS SIMUL).	126
Figura 230 – Tensões na fase C de ambos os terminais (ATP).	127
Figura 231 – Tensões na fase C de ambos os terminais (PS SIMUL).	127
Figura 232 – Correntes que fluem pelas fases da linha (ATP).	127
Figura 233 – Correntes que fluem pelas fases da linha (PS SIMUL).	127
Figura 234 – Tensões na fase A de ambos os terminais dos cabos (ATP).	130
Figura 235 – Tensões na fase A de ambos os terminais dos cabos (PS SIMUL).	130

Figura 236 – Zoom Tensões na fase A de ambos os terminais dos cabos (ATP e PS SIMUL).....	130
Figura 237 – Tensões na fase B de ambos os terminais dos cabos (ATP).....	131
Figura 238 – Tensões na fase B de ambos os terminais dos cabos (PS SIMUL).	131
Figura 239 – Zoom Tensões na fase B de ambos os terminais dos cabos (ATP e PS SIMUL).....	131
Figura 240 – Tensões na fase C de ambos os terminais dos cabos (ATP).....	132
Figura 241 – Tensões na fase C de ambos os terminais dos cabos (PS SIMUL).	132
Figura 242 – Zoom Tensões na fase C de ambos os terminais dos cabos (ATP e PS SIMUL).....	132
Figura 243 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	133
Figura 244 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	133
Figura 245 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	133
Figura 246 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	133
Figura 247 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	134
Figura 248 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	134
Figura 249 – Circuitos modelados em ambos os softwares.....	134
Figura 250 – Forma de onda das correntes que alimentam o motor no software ATP.	136
Figura 251 – Forma de onda das correntes que alimentam o motor no software PS Simul.	136
Figura 252 – Zoom da forma de onda das correntes que alimentam o motor no momento da partida no software ATP.....	136
Figura 253 – Zoom da forma de onda das correntes que alimentam o motor no momento da partida no software PS Simul.	136
Figura 254 – Forma de onda da velocidade do motor no software ATP.	137
Figura 255 – Forma de onda da velocidade do motor no software PS Simul.	137
Figura 256 – Forma de onda das correntes fornecidas ao sistema no software ATP.....	139
Figura 257 – Forma de onda das correntes fornecidas ao sistema no software PS Simul.	139
Figura 258 – Zoom da forma de onda das correntes fornecidas ao sistema no momento da partida do motor no software ATP.	139
Figura 259 – Zoom da forma de onda das correntes fornecidas ao sistema no momento da partida do motor no software PS Simul.	139
Figura 260 – Forma de onda das correntes que saem do gerador no software ATP.....	141
Figura 261 – Forma de onda das correntes que saem do gerador no software PS Simul.	141
Figura 262 – Forma de onda das correntes que saem do barramento infinito no software ATP.	141
Figura 263 – Forma de onda das correntes que saem do barramento infinito no software PS Simul.	141
Figura 264 – Forma de onda das correntes que entram na carga no software ATP.....	142
Figura 265 – Forma de onda das correntes que entram na carga no software PS Simul.	142
Figura 266 – Forma de onda das correntes do motor para a simulação 01 no software ATP.....	144
Figura 267 – Forma de onda das correntes do motor para a simulação 01 no software PS Simul.	144
Figura 268 – Forma de onda das correntes do motor para a simulação 02 no software ATP.....	144
Figura 269 – Forma de onda das correntes do motor para a simulação 02 no software PS Simul.	144
Figura 270 – Zoom da forma de onda das correntes do motor após retirada do primeiro estágio resistivo do rotor no software ATP.....	145
Figura 271 – Zoom da forma de onda das correntes do motor após retirada do primeiro estágio resistivo do rotor no software PS Simul.....	145
Figura 272 – Zoom da forma de onda das correntes do motor após retirada do segundo estágio resistivo do rotor no software ATP.....	145
Figura 273 – Zoom da forma de onda das correntes do motor após retirada do segundo estágio resistivo do rotor no software PS Simul.....	145
Figura 274 – Forma de onda da velocidade do motor para a simulação 01 no software ATP.....	146
Figura 275 – Forma de onda da velocidade do motor para a simulação 01 no software PS Simul.	146
Figura 276 – Forma de onda da velocidade do motor para a simulação 02 no software ATP.....	146
Figura 277 – Forma de onda da velocidade do motor para a simulação 02 no software PS Simul.	146
Figura 278 – Forma de onda da corrente de partida no software ATP.	148
Figura 279 – Forma de onda da corrente de partida no software PS Simul.....	148
Figura 280 – Forma de onda da velocidade da máquina no software ATP.	148
Figura 281 – Forma de onda da velocidade da máquina no software PS Simul.....	148
Figura 282 – Forma de onda das tensões nos terminais do gerador no software ATP.	150
Figura 283 – Forma de onda das tensões nos terminais do gerador no software PS Simul.	150
Figura 284 – Forma de onda das correntes de falta no software ATP.....	150
Figura 285 – Forma de onda das correntes de falta no software PS SIMUL.....	150
Figura 286 – Forma de onda das correntes de carga no software ATP.	151
Figura 287 – Forma de onda das correntes de carga no software PS SIMUL.	151

Figura 288 – Forma de onda das correntes de saída do gerador síncrono no software ATP.	151
Figura 289 – Forma de onda das correntes de saída do gerador síncrono no software PS Simul.	151
Figura 290 – Forma de onda das tensões nos terminais da máquina síncrona (valores instantâneos e RMS) no software ATP.	153
Figura 291 – Forma de onda das tensões nos terminais da máquina síncrona (valores instantâneos e RMS) no software PS Simul.	153
Figura 292 – Zoom da forma de onda das tensões nos terminais da máquina síncrona (valores instantâneos e RMS) no instante da inserção de carga, obtido no software ATP.	153
Figura 293 – Zoom da forma de onda das tensões nos terminais da máquina síncrona (valores instantâneos e RMS) no instante da inserção de carga, obtido no software PS Simul.	153
Figura 294 – Forma de onda das correntes de saída da máquina síncrona no software ATP.	154
Figura 295 – Forma de onda das correntes de saída da máquina síncrona no software PS Simul.	154
Figura 296 – Zoom da forma de onda das correntes de saída da máquina síncrona no instante da inserção de carga, obtido no software ATP.	154
Figura 297 – Zoom da forma de onda das correntes de saída da máquina síncrona no instante da inserção de carga, obtido no software PS Simul.	154
Figura 298 – Sistema modelado para o cenário 01 em ambos os softwares.	155
Figura 299 – Sistema modelado para o cenário 02 em ambos os softwares.	155
Figura 300 – Sistema modelado para o cenário 03 em ambos os softwares.	155
Figura 301 – Sistema modelado para a simulação 01 do cenário 04 em ambos os softwares.	156
Figura 302 – Sistema modelado para a simulação 02 do cenário 04 em ambos os softwares.	156
Figura 303 – Sistema modelado para o cenário 05 em ambos os softwares.	156
Figura 304 – Sistema modelado para a simulação do cenário 06 em ambos os softwares.	157
Figura 305 – Sistema modelado para a simulação do cenário 07 em ambos os softwares.	157
Figura 306 – Medição de frequência obtida no software ATP.	163
Figura 307 – Medição de frequência obtida no software PS SIMUL.	163
Figura 308 – Medição de tensão obtida no software ATP.	163
Figura 309 – Medição de tensão obtida no software PS SIMUL.	163
Figura 310 – Medição da potência que flui para todas as cargas, obtida no software ATP.	164
Figura 311 – Medição da potência que flui para todas as cargas, obtida no software PS SIMUL.	164
Figura 312 – Medições das potências da carga indutiva (vermelho) e capacitiva (verde) obtida no software ATP.	164
Figura 313 – Medições das potências da carga indutiva (vermelho) e capacitiva (verde) obtida no software PS SIMUL.	164
Figura 314 – Malha do sistema a ser modelado para o cenário 02 em ambos os softwares.	165
Figura 315 – Forma de onda obtida no software ATP.	166
Figura 316 – Forma de onda obtida no software PS Simul.	166
Figura 317 – Forma de onda do ângulo de saída do controlador obtida no ATP.	168
Figura 318 – Forma de onda do ângulo de saída do controlador obtida no PS SIMUL.	168
Figura 319 – Forma de onda da corrente RMS na carga obtida no ATP.	169
Figura 320 – Forma de onda da corrente RMS na carga obtida no PS SIMUL.	169
Figura 321 – Forma de onda das tensões de entrada e saída para $I_{ref} = 6$ A RMS, obtida no ATP.	169
Figura 322 – Forma de onda das tensões de entrada e saída para $I_{ref} = 6$ A RMS, obtida no PS SIMUL.	169
Figura 323 – Forma de onda das tensões de entrada e saída para $I_{ref} = 4$ A RMS, obtida no ATP.	170
Figura 324 – Forma de onda das tensões de entrada e saída para $I_{ref} = 4$ A RMS, obtida no PS SIMUL.	170
Figura 325 – Forma de onda da tensão em pu no barramento principal, obtida no ATP.	172
Figura 326 – Forma de onda da tensão em pu no barramento principal, obtida no PS SIMUL.	172
Figura 327 – TRIP da função 27, obtido no ATP.	173
Figura 328 – TRIP da função 27, obtido no PS SIMUL.	173
Figura 329 – Sistema modelado para o cenário 01 em ambos os softwares.	174
Figura 330 – Sistema modelado para o cenário 02 em ambos os softwares.	174
Figura 331 – Sistema modelado para o cenário 03 em ambos os softwares.	174
Figura 332 – Sistema modelado para o cenário 04 em ambos os softwares.	175
Figura 333 – Circuito modelado no software ATP.	176
Figura 334 – Circuito modelado no software PS Simul.	176
Figura 335 – Geometria da linha parametrizada no software ATP.	177
Figura 336 – Geometria da linha parametrizada no software PS Simul.	177
Figura 337 – Forma de onda das correntes na chave CH1 obtidas no ATP.	178

Figura 338 – Forma de onda das correntes na chave CH1 obtidas no PS Simul.	178
Figura 339 – Forma de onda das correntes na chave CH2 obtidas no ATP.	178
Figura 340 – Forma de onda das correntes na chave CH2 obtidas no PS Simul.	178
Figura 341 – Forma de onda das tensões no primário do transformador obtidas no ATP.	179
Figura 342 – Forma de onda das tensões no primário do transformador obtidas no PS Simul.	179
Figura 343 – Zoom da forma de onda das tensões no primário do transformador no ATP.	179
Figura 344 – Zoom da forma de onda das tensões no primário do transformador no PS Simul.	179
Figura 345 – Forma de onda das tensões no secundário do transformador obtidas no ATP.	180
Figura 346 – Forma de onda das tensões no secundário do transformador obtidas no PS Simul.	180
Figura 347 – Zoom da forma de onda das tensões no secundário do transformador no ATP.	180
Figura 348 – Zoom da forma de onda das tensões no secundário do transformador no PS Simul.	180
Figura 349 – Forma de onda das tensões no ponto da retirada da falta obtidas no ATP.	181
Figura 350 – Forma de onda das tensões no ponto da retirada da falta obtidas no PS Simul.	181
Figura 351 – Zoom da forma de onda das tensões no ponto da retirada da falta no ATP.	181
Figura 352 – Zoom da forma de onda das tensões no ponto da retirada da falta no PS Simul.	181
Figura 353 – Análise da envoltória TRT no ATP.	182
Figura 354 – Análise da envoltória TRT no PS Simul.	182
Figura 355 – Zoom da Análise da envoltória TRT no ATP.	182
Figura 356 – Zoom da Análise da envoltória TRT no PS Simul.	182
Figura 357 – Circuito modelado no software ATP.	183
Figura 358 – Circuito modelado no software PS Simul.	183
Figura 359 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco da subestação no ATP.	184
Figura 360 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco da subestação no PS Simul.	184
Figura 361 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco do consumidor no ATP.	184
Figura 362 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco do consumidor no PS Simul.	184
Figura 363 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco da subestação no ATP.	185
Figura 364 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco da subestação no PS Simul.	185
Figura 365 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco do consumidor no ATP.	185
Figura 366 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco do consumidor no PS Simul.	185
Figura 367 – Circuito modelado no software ATP.	186
Figura 368 – Circuito modelado no software PS Simul.	186
Figura 369 – Geometria parametrizada em cada um dos trechos no software ATP.	187
Figura 370 – Geometria parametrizada em cada um dos trechos no software PS Simul.	187
Figura 371 – Forma de onda das tensões na fase A de todos os trechos no ATP.	188
Figura 372 – Forma de onda das tensões na fase A de todos os trechos no PS Simul.	188
Figura 373 – Zoom da forma de onda das tensões na fase A de todos os trechos no ATP.	188
Figura 374 – Zoom da forma de onda das tensões na fase A de todos os trechos no PS Simul.	188
Figura 375 – Forma de onda das correntes na carga resistiva no ATP.	189
Figura 376 – Forma de onda das correntes na carga resistiva no PS Simul.	189
Figura 377 – Zoom da forma de onda das correntes na carga resistiva no ATP.	189
Figura 378 – – Zoom da forma de onda das correntes na carga resistiva no PS Simul.	189
Figura 379 – Circuito modelado em ambos os softwares.	191
Figura 380 – Forma de onda das correntes no primário do transformador no software ATP.	191
Figura 381 – Forma de onda das correntes no primário do transformador no software PS Simul.	191
Figura 382 – Circuito modelado no software ATP.	192
Figura 383 – Circuito modelado no software PS Simul.	192
Figura 384 – Forma de onda das correntes no primário do transformador no software ATP.	193
Figura 385 – Forma de onda das correntes no primário do transformador no software PS Simul.	193
Figura 386 – Forma de onda das tensões no primário do transformador no software ATP.	195
Figura 387 – Forma de onda das tensões no primário do transformador no software PS Simul.	195
Figura 388 – Zoom da forma de onda das tensões no primário do transformador no software ATP.	195
Figura 389 – Zoom da forma de onda das tensões no primário do transformador no software PS Simul.	195
Figura 390 – Informações parametrizadas em cada um dos trechos no software ATP.	196
Figura 391 – Informações parametrizadas em cada um dos trechos no software PS Simul.	196
Figura 392 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	197
Figura 393 – Formas de onda das tensões do terminal aberto no software ATP.	197
Figura 394 – Formas de onda das tensões do terminal aberto no software PS Simul.	197
Figura 395 – Circuitos modelados em ambos os softwares.	198
Figura 396 – Formas de onda das tensões do terminal aberto no software ATP.	198

Figura 397 – Formas de onda das tensões do terminal aberto no software PS Simul.	198
Figura 398 – Circuito modelado no software ATP.	199
Figura 399 – Circuito modelado no software PS Simul.	199
Figura 400 – Figura que ilustra o local de aplicação da contingência no cenário atual.	201
Figura 401 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.	201
Figura 402 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.	201
Figura 403 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.	202
Figura 404 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.	202
Figura 405 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.	202
Figura 406 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.	202
Figura 407 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.	203
Figura 408 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.	203
Figura 409 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.	203
Figura 410 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.	203
Figura 411 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.	204
Figura 412 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.	204
Figura 413 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.	204
Figura 414 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.	204
Figura 415 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.	205
Figura 416 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.	205
Figura 417 – Forma de onda da corrente de falta na fase A no software ATP.	205
Figura 418 – Forma de onda da corrente de falta na fase A no software PS Simul.	205
Figura 419 – Zoom da forma de onda da corrente de falta na fase A no software ATP.	206
Figura 420 – Zoom da forma de onda da corrente de falta na fase A no software PS Simul.	206
Figura 421 – Figura que ilustra o local de aplicação da contingência no cenário atual.	207
Figura 422 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.	207
Figura 423 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.	207
Figura 424 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.	208
Figura 425 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.	208
Figura 426 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.	208
Figura 427 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.	208
Figura 428 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.	209
Figura 429 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.	209
Figura 430 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.	209
Figura 431 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.	209
Figura 432 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.	210
Figura 433 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.	210
Figura 434 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.	210
Figura 435 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.	210
Figura 436 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.	211
Figura 437 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.	211
Figura 438 – Figura que ilustra o local de aplicação da contingência no cenário atual.	212
Figura 439 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.	212
Figura 440 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.	212
Figura 441 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.	213
Figura 442 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.	213
Figura 443 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.	213
Figura 444 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.	213
Figura 445 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.	214
Figura 446 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.	214
Figura 447 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.	214
Figura 448 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.	214
Figura 449 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.	215
Figura 450 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.	215
Figura 451 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.	215
Figura 452 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.	215
Figura 453 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.	216
Figura 454 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.	216
Figura 455 – Figura que ilustra o local de aplicação da contingência no cenário atual.	217
Figura 456 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.	217

Figura 457 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.	217
Figura 458 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.....	218
Figura 459 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.	218
Figura 460 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.	218
Figura 461 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.	218
Figura 462 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.....	219
Figura 463 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.	219
Figura 464 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.	219
Figura 465 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.	219
Figura 466 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.....	220
Figura 467 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.	220
Figura 468 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.	220
Figura 469 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.	220
Figura 470 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.....	221
Figura 471 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.	221
Figura 472 – Formas de onda das correntes de falta no software ATP.	221
Figura 473 – Formas de onda das correntes de falta no software PS Simul.	221
Figura 474 – Zoom das formas de onda das correntes de falta no software ATP.....	222
Figura 475 – Zoom das formas de onda das correntes de falta no software PS Simul.	222

Índice de Tabelas

Tabela 1- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.	23
Tabela 2- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.	24
Tabela 3- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.	25
Tabela 4- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.	26
Tabela 5- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.	27
Tabela 6- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.	28
Tabela 7- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.	29
Tabela 8- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.	30
Tabela 9- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.	31
Tabela 10- Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.	32
Tabela 11- Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.	33
Tabela 12- Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.	34
Tabela 13- Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.	35
Tabela 14- Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.	36
Tabela 15- Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.	37
Tabela 16- Componente e parametrização para estudo estatístico no software ATP.	38
Tabela 17- Componentes e parametrização para estudo estatístico no software PS SIMUL.	38
Tabela 18 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	41
Tabela 19 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	43
Tabela 20 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	45
Tabela 21 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	47
Tabela 22 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	49
Tabela 23 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	51
Tabela 24 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	53
Tabela 25 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	55
Tabela 26 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	57
Tabela 27 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	59
Tabela 28 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	61
Tabela 29 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	63
Tabela 30 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	65
Tabela 31 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	67
Tabela 32 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	69
Tabela 33 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.	71
Tabela 34 - Parametrizações dos elementos não lineares no ATP e PS Simul.	77
Tabela 35 - Curva cadastrada na resistência não linear tipo 99 (Pseudo-Linear).	77
Tabela 36 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.	79
Tabela 37 - Curva cadastrada na resistência não linear tipo 92 (Thevenin).	79
Tabela 38 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.	81
Tabela 39 - Curva cadastrada na resistência não linear tipo 97 (Pseudo-Linear).	81
Tabela 40 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.	82
Tabela 41 - Curva cadastrada na resistência não linear tipo 91 (Thevenin).	82
Tabela 42 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.	83
Tabela 43 - Curva cadastrada na indutância não linear tipo 98 (Pseudo-Linear).	83
Tabela 44 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.	85
Tabela 45 - Curva cadastrada na indutância não linear tipo 93 (Thevenin).	85
Tabela 46 - Parametrizações dos elementos não lineares no ATP e PS Simul.	87
Tabela 47 - Curva cadastrada na indutância não linear tipo 96 (Pseudo-Linear).	87
Tabela 48 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.	89
Tabela 49 - Parametrizações dos elementos não lineares no ATP e PS Simul.	90
Tabela 50 - Curva cadastrada no para-raio.	90
Tabela 51 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.	93
Tabela 52 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.	95
Tabela 53 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.	97
Tabela 54 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.	99
Tabela 55 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.	101
Tabela 56 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.	103

Tabela 57 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.	106
Tabela 58 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.	109
Tabela 59 – Curva cadastrada no para-raio.	109
Tabela 60 - Parametrizações utilizadas nas linhas do ATP e PS Simul.	114
Tabela 61 - Parametrizações utilizadas nas linhas do ATP e PS Simul.	116
Tabela 62 - Parametrizações utilizadas nas linhas do ATP e PS Simul.	118
Tabela 63 - Parametrizações utilizadas nas linhas do ATP e PS Simul.	120
Tabela 64 - Parametrizações utilizadas no software ATP.	122
Tabela 65 - Parametrizações utilizadas no software PS Simul.	122
Tabela 66 - Parametrizações utilizadas no software ATP.	125
Tabela 67 - Parametrizações utilizadas no software PS Simul.	125
Tabela 68 - Parametrizações utilizadas no software ATP.	128
Tabela 69 - Parametrizações utilizadas no software PS Simul.	129
Tabela 70 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.	135
Tabela 71 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.	138
Tabela 72 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.	140
Tabela 73 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.	143
Tabela 74 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.	147
Tabela 75 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.	149
Tabela 76 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.	152
Tabela 77 – Equivalência dos blocos de controle da biblioteca do ATP Draw com os componentes do PS Simul.	158
Tabela 78 – Dados do sistema confeccionado em ambos os softwares.	162
Tabela 79 – Dados do sistema confeccionado em ambos os softwares.	165
Tabela 80 – Dados do sistema de controle confeccionado em ambos os softwares.	167
Tabela 81 – Dados do sistema de controle confeccionado em ambos os softwares.	171
Tabela 82 – Dados utilizados na parametrização das linhas do sistema de transmissão.	200

1 Capítulo 01 – Introdução

Este trabalho tem o propósito de demonstrar uma análise de equivalência realizada entre os softwares ATP (*Alternative Transients Program*) e PS Simul (*Power System Simulator*).

O ATP, escrito na linguagem de programação FORTRAN, foi concebido em 1984 por iniciativa dos Doutores W. Scott Meyer e Tsu- Huei Liu, e desde então tem sido desenvolvido por meio das contribuições de grupos de usuários oficiais localizados em diversos países do mundo. Esse software consiste em uma versão para microcomputadores adaptada de um dos primeiros programas para simulação computacional de transitórios eletromagnéticos, o EMTP (*Eletromagnetic Transients Program*), desenvolvido por Herman W. Dommel na década de 60.

O programa PS SIMUL, por sua vez, vem sendo desenvolvido no Brasil desde o ano de 2009 pela empresa CONPROVE Indústria e Comércio LTDA e teve sua primeira versão lançada no ano de 2014, sendo disponibilizada, desde o seu lançamento, uma versão FREE do *software* no site da empresa. Esse programa, criado com a finalidade principal de permitir ao usuário modelar sistemas de potência e de controle complexos e simular transitórios eletromagnéticos e eletromecânicos, trabalha com uma interface bastante intuitiva e amigável, com uma série de recursos que facilitam a obtenção e avaliação de resultados, visualização de erros e entrada de dados em geral.

É fato que o software ATP, há muitos anos, vem sendo mundialmente empregado no meio acadêmico e profissional para realização de estudos envolvendo a análise de transitórios eletromagnéticos, eletromecânicos e sistemas de controle. Tal fato o torna um dos softwares mais confiáveis e reconhecidos da atualidade.

Neste contexto, a empresa CONPROVE optou por confeccionar este documento, onde serão realizadas simulações de inúmeros cenários nos softwares ATP e PS Simul, envolvendo os principais componentes disponibilizados pelo software ATP e seus equivalentes no software PS Simul. Serão vislumbrados desde cenários extremamente simples com avaliação de comportamentos individuais de modelos, até cenários mais complexos envolvendo as possibilidades de realização de estudos de transitórios eletromagnéticos, estabilidade transitória, sobretensão, descargas atmosféricas, modelagem de máquinas elétricas, partida de motores, curto-circuito, entre outras aplicações.

É válido ressaltar que este documento pretende, única e exclusivamente, comprovar a equivalência da solução empregada por ambos os softwares, limitando-se ao contexto de recursos e modelos disponibilizados pelo ATP. Dessa forma, não serão abrangidos os recursos e componentes exclusivos do software PS Simul, dos quais se destacam:

- Utilização de método híbrido de solução das equações diferenciais (Trapezoidal + Interpolação + Euler) que evita a ocorrência de oscilações numéricas durante a simulação;
- Possibilidade de reprodução de distúrbios reais no software com a importação de arquivos no formato COMTRADE ou CSV;
- Geração automática de relatórios completos das simulações;
- Definição, pelo usuário, de rotinas automatizadas de testes com a declaração de parâmetros como constantes e a posterior realização de avaliações automáticas dos resultados obtidos, por amplitude ou tempo;
- Possibilidade de conexão direta com as malas de testes da empresa CONPROVE

para a geração das formas de onda obtidas na simulação sem a necessidade de exportação para formato COMTRADE;

- Módulo para realização de análises estatísticas dos resultados permitindo a confecção de gráficos lineares, de barras e pizza.
- Método Iterativo que, juntamente com a mala de testes, permite a realização de testes em malha fechada com a realimentação de sinais binários;
- Biblioteca que atualmente conta com mais de 400 blocos divididos pelos grupos: Elementos Passivos, Elementos Não Lineares, Fontes, Chaves/Faltas, Acoplamentos, Transformadores, Linhas/Cabos, Máquinas, Reguladores e Turbinas, Entradas/Saídas (conexão com hardware externo), Controles, Lógicas, Medição, Proteção, Eletrônica de Potência, Link com Runtime, Runtime e Outros.
- Equipe especializada de suporte técnico para atender à necessidade de usuários frente a dúvidas ou sugestões relacionadas ao software;
- Disponibilização de mais de 100 exemplos prontos de estudos envolvendo: Qualidade de Energia, Transformadores, Proteção, Motores, Máquinas Síncronas, Máquinas DC, Máquinas Assíncronas, Manobras em Sistemas Elétricos, Energias Renováveis, Eletrônica/HVDC/FACTS, Linhas de Transmissão, Compensação de Sistemas Elétricos, entre outros.
- Manual completo ressaltando a teoria e características de todos os componentes da biblioteca e demais recursos do software.
- Software em constante atualização de recursos e componentes;
- Disponível nos idiomas Português, Inglês e Espanhol.



A priori será abordado cada um dos grupos de componentes de maneira individual, ressaltando as equivalências de parametrização entre os softwares e também ilustrando as formas de onda obtidas com a simulação de cada cenário. Posteriormente, será realizada a modelagem e simulação de sistemas mais completos envolvendo estudos típicos de transitórios eletromagnéticos e eletromecânicos. Por fim, será feita uma breve discussão dos resultados obtidos no que diz respeito à equivalência de ambos os softwares abordados.

2 Capítulo 02 – Fontes.

Este capítulo abrange as principais fontes disponibilizadas pelo software ATP e suas equivalentes no software PS Simul. Para simulação das fontes de descargas atmosféricas foi utilizado passo de tempo de 0,001 us e para as demais simulação foi utilizado passo de tempo de 10 us.

2.1 Cenário 01 - Fonte DC (DC Type 11)

Tabela 1- Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>DC Type 11</i>	-	 <i>Fonte DC</i>	Nº Fases → 1
	Amp → 100 V		Módulo RMS → 100 V
	-		Frequência → 0 Hz

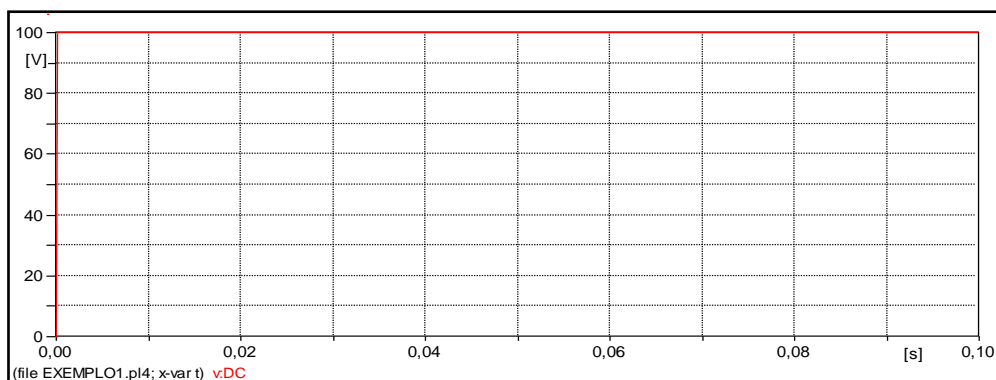


Figura 1– Resultado Fonte DC no software ATP.

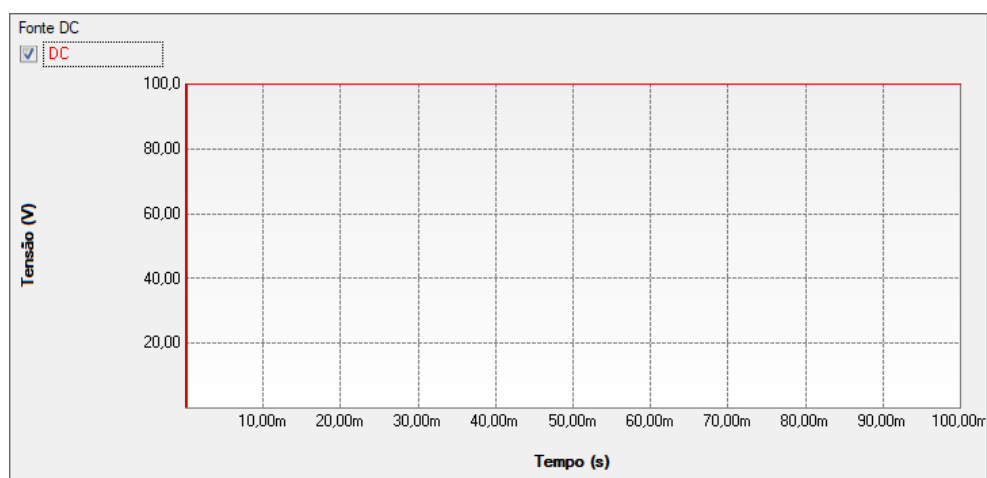




Figura 2 - Resultado Fonte DC no software PS Simul.

2.2 Cenário 02 – Fonte Rampa (Ramp Type 12)

Tabela 2– Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 Ramp Type 12	-	 Fnt Rampa	Nº Rampas → 1
	Amp → 100 V		Ponto 1 > Valor → 100 V
	T_o → 0,01 s		Ponto 1 > Tempo → 0,01 s
	-		Estabilizar → Sim

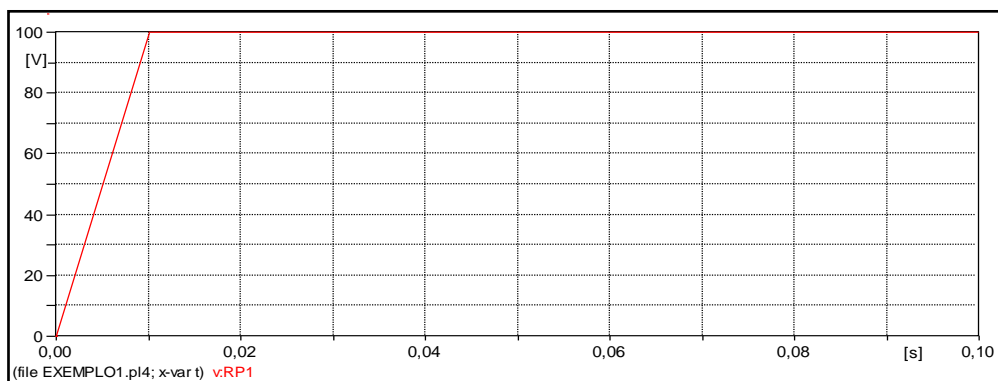


Figura 3 - Resultado Fonte Rampa Tipo 12 no software ATP.

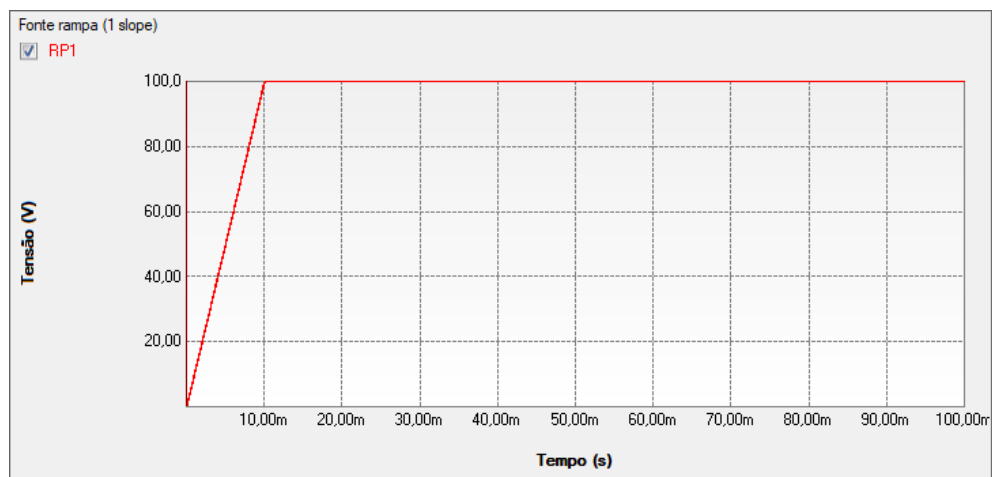




Figura 4 - Resultado Fonte Rampa Tipo 12 no software PS Simul.

2.3 Cenário 03 - Fonte Rampa (Slope Ramp Type 13)

Tabela 3– Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 Slope-Ramp Type 13	-	 Fnt Rampa	Nº Rampas → 2
	Amp → 100 V		Ponto 1 > Valor → 100 V
	T0 → 0,01 s		Ponto 1 > Tempo → 0,01 s
	A1 → 200 V		Ponto 2 > Valor → 200 V
	T1 → 0,03 s		Ponto 2 > Tempo → 0,03 s
	-		Estabilizar → Sim

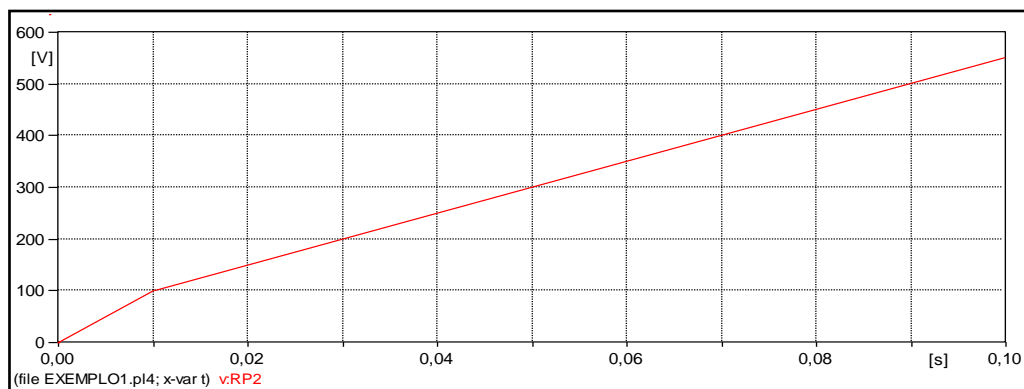


Figura 5- Resultado Fonte Rampa Tipo 13 no software ATP.

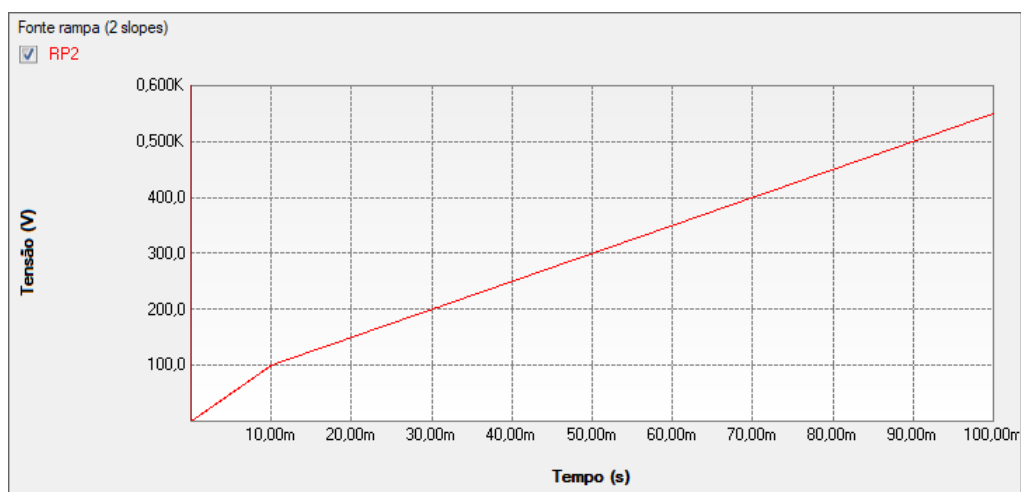




Figura 6- Resultado Fonte Rampa Tipo 13 no software PS Simul.

2.4 Cenário 04 - Fonte AC monofásica (AC Type 14)

Tabela 4– Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 AC Type 14	-	 Fnt Sen/Cos 1Φ	Nº Fases → 1
	-		Tipo Geração → Cosseno
	Amp → 100 V		Módulo RMS → 70,71 V
	f → 60 Hz		Frequência → 60 Hz
	Pha → 0 °		Ângulo → 0 °
	A1 → 0 V		Offset → 0 V

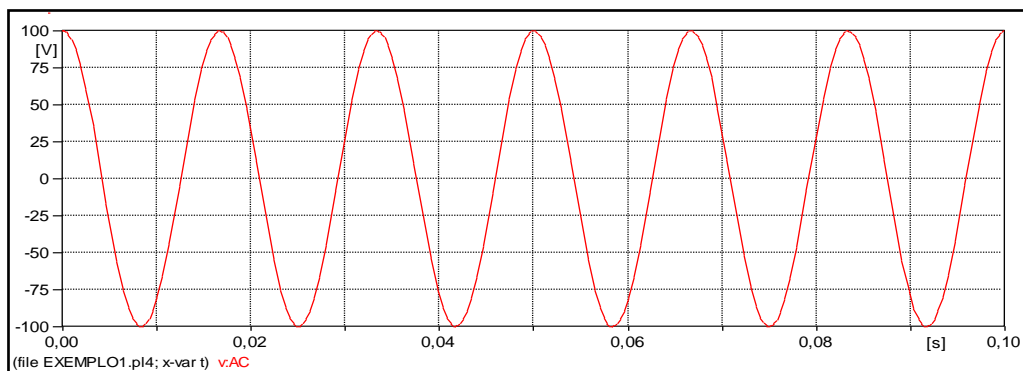


Figura 7- Resultado Fonte Senoidal monofásica no software ATP.

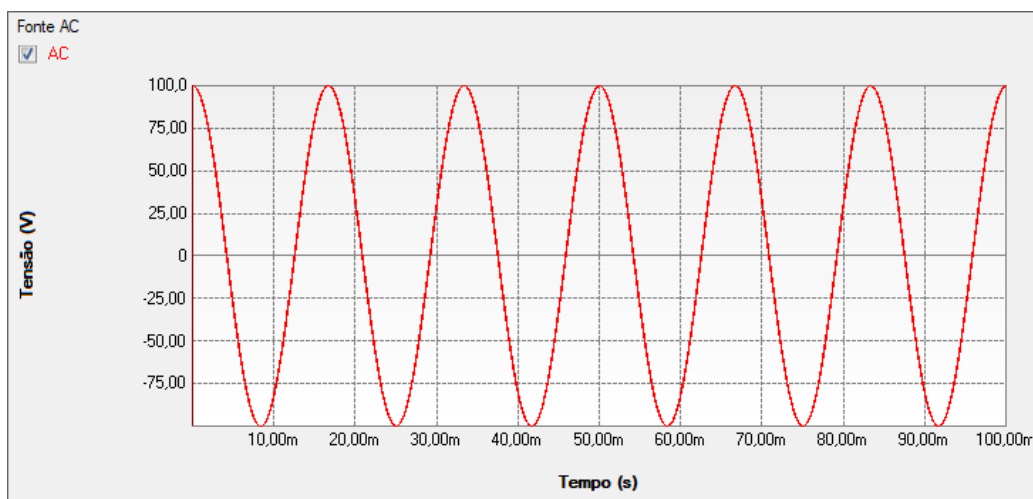

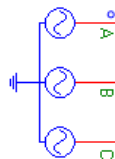


Figura 8- Resultado Fonte Senoidal monofásica no software PS Simul.

2.5 Cenário 05 - Fonte AC trifásica (AC 3-ph Type 14)

Tabela 5– Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 AC 3-ph Type 14	-	 Fnt Sen/Cos 3Φ	Nº Fases → 3
	-		Tipo Geração → Cosseno
	Amp → 200 V		Módulo RMS → 141,42 V
	f → 60 Hz		Frequência → 60 Hz
	Pha → 0 °		Ângulo → 0 °
	A1 → 0 V		Offset → 0 V

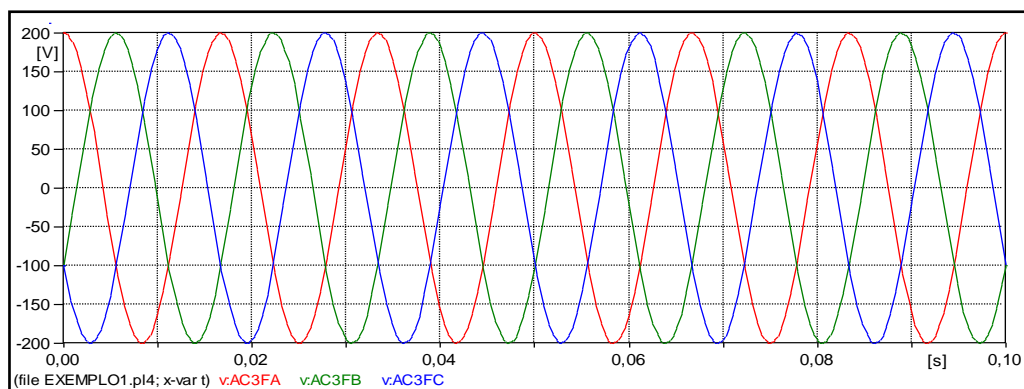


Figura 9- Resultado Fonte Senoidal trifásica no software ATP.

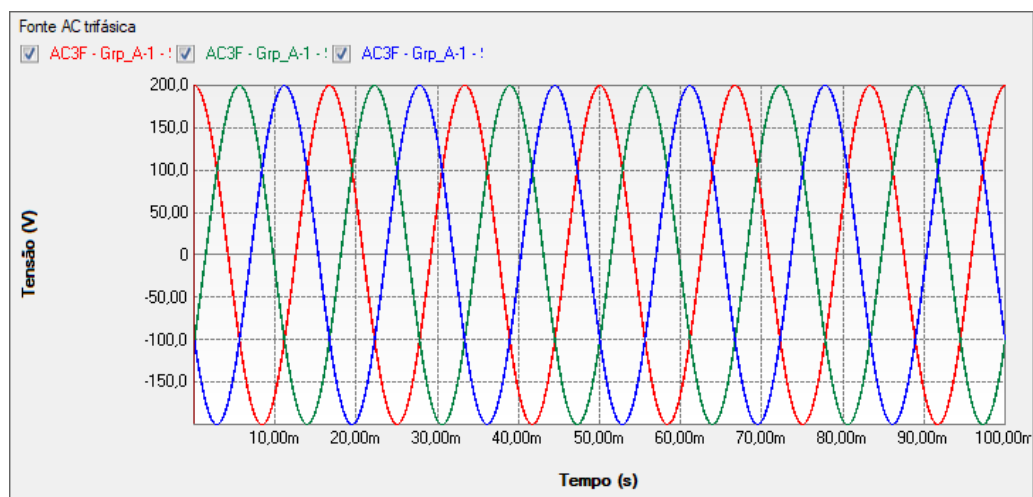




Figura 10- Resultado Fonte Senoidal trifásica no software PS Simul.

2.6 Cenário 06 - Fonte Surto Dupla Exponencial (Surge Type 15)

Tabela 6– Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 Surge Type 15	Amp → 20344 A	 Fnt Exp Normal	Amplitude → 20344 A
	A → -14203,84		A → 14203,84
	B → -4883365,54		B → 4883365,54

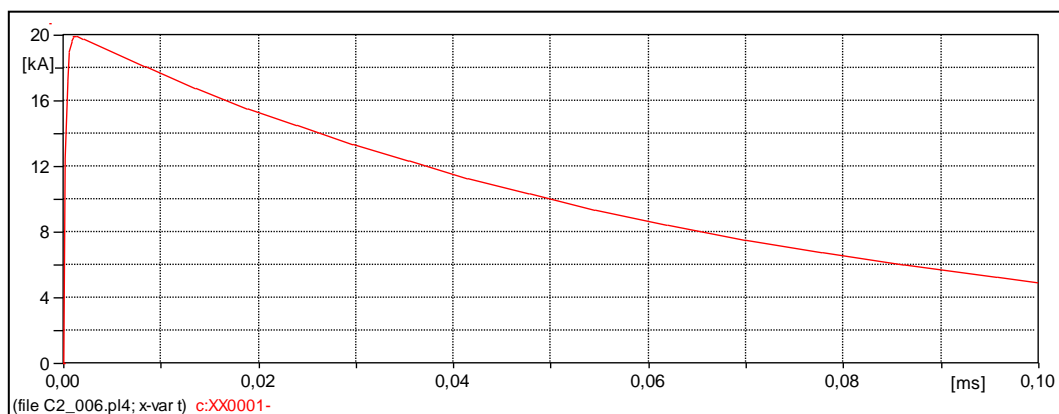


Figura 11- Resultado Fonte Surto Dupla Exponencial Tipo 15 no software ATP.

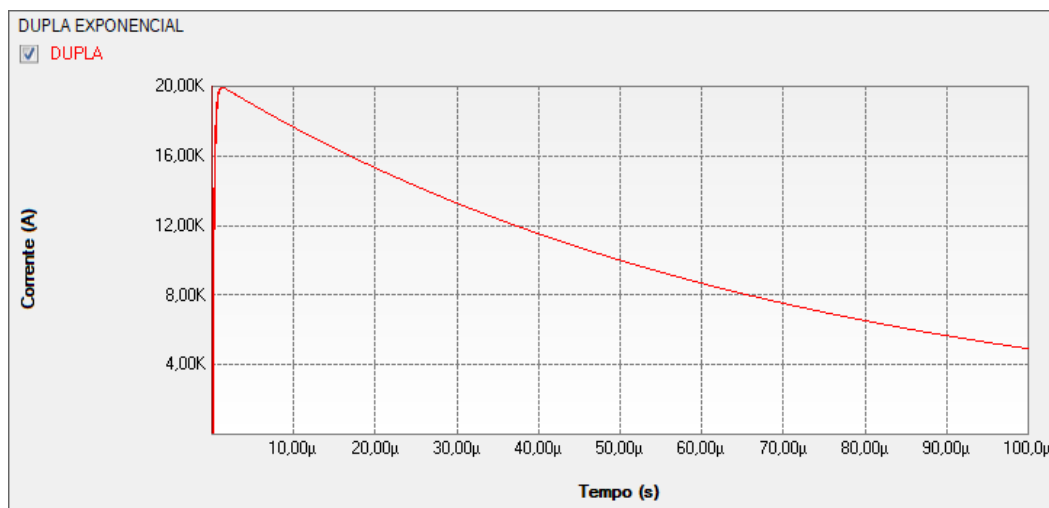




Figura 12- Resultado Fonte Surto Dupla Exponencial no software PS Simul.

2.7 Cenário 07 - Fonte Surto Heidler (Heidler Type 15)

Tabela 7– Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>Heidler Type 15</i>	Amp → 20000 A	 <i>Fnt Exp Heidler</i>	Amplitude → 20000 A
	T _f → 1,2E-6 s		tfrente → 1,2E-6 s
	Tau → 6,9539E-5 s		tau → 6,9539E-5 s
	N → 2		n → 2

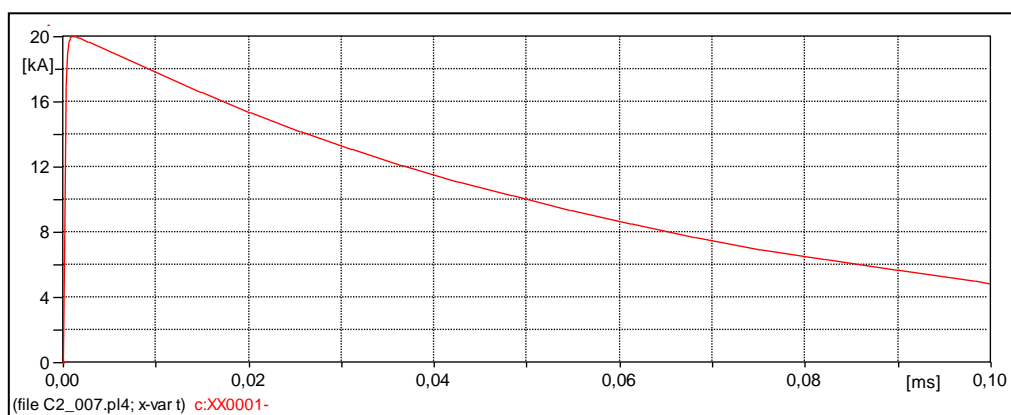


Figura 13- Resultado Fonte Surto Heidler Tipo 15 no software ATP.

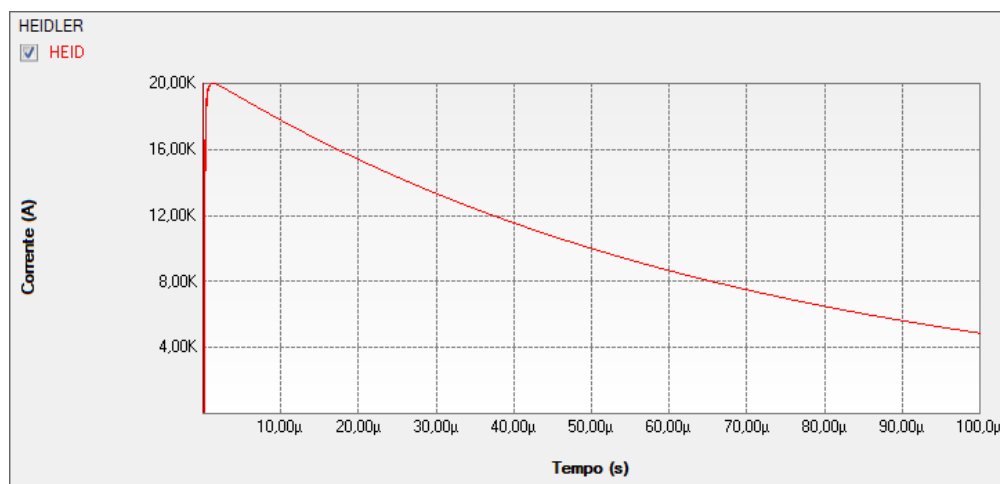




Figura 14- Resultado Fonte Surto Heidler Tipo 15 no software PS Simul.

2.8 Cenário 08 – Fonte Surto Standler (Standler Type 15)

Tabela 8– Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>Standler Type 15</i>	Amp \rightarrow 20000 A	 <i>Fnt Exp Standler</i>	Amplitude \rightarrow 20000 A
	Tau \rightarrow 6,9539E-5 s		tau \rightarrow 6,9539E-5 s
	N \rightarrow 0,1		n \rightarrow 0,1

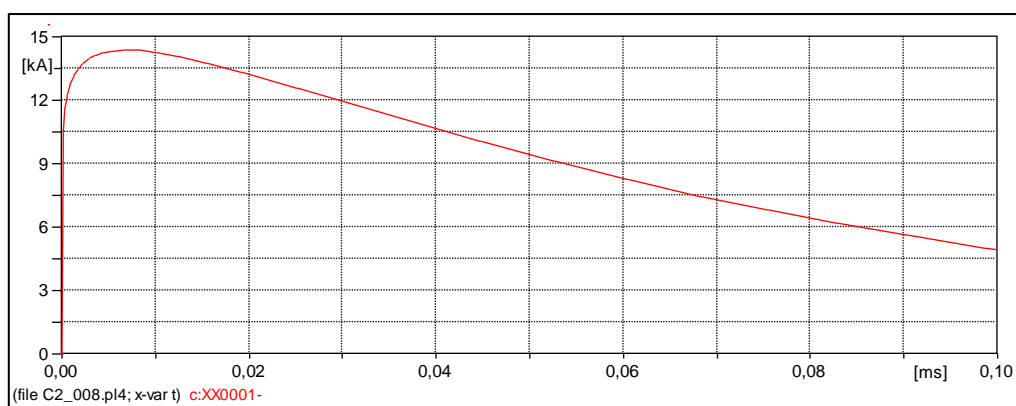


Figura 15- Resultado Fonte Surto Standler Tipo 15 no software ATP.

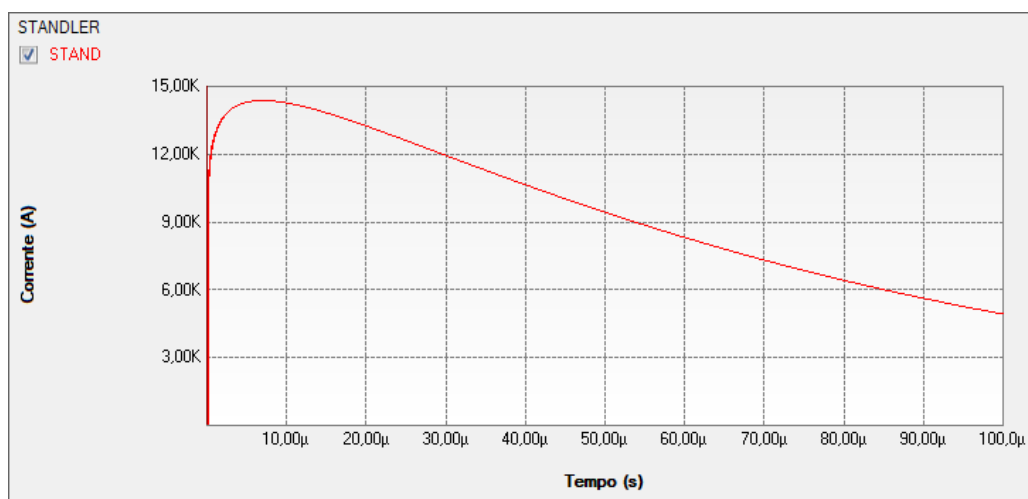




Figura 16- Resultado Fonte Surto Standler Tipo 15 no software PS Simul.

2.9 Cenário 09 – Fonte Surto CIGRÉ (CIGRÉ Type 15)

Tabela 9– Parametrizações utilizadas para comparações das fontes no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>Cigré Type 15</i>	Amp \rightarrow 20000 A	 <i>Fnt Exp Cigré</i>	Amplitude \rightarrow 20000 A
	T _f \rightarrow 1.2E-6 s		T _f \rightarrow 1.2E-6 s
	T _h \rightarrow 50E-6 s		T _h \rightarrow 50E-6 s
	S _{max} \rightarrow 26E9 A/s		S _m \rightarrow 26E9 A/s

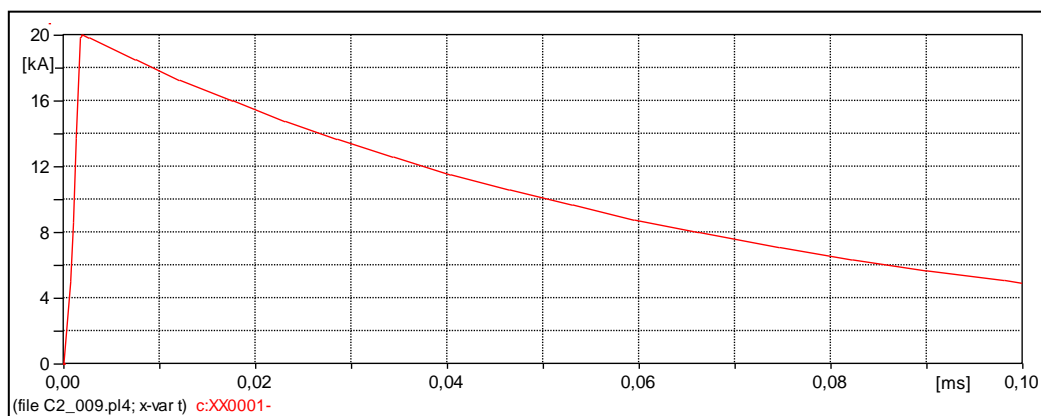


Figura 17- Resultado Fonte Surto CIGRÉ Tipo 15 no software ATP.

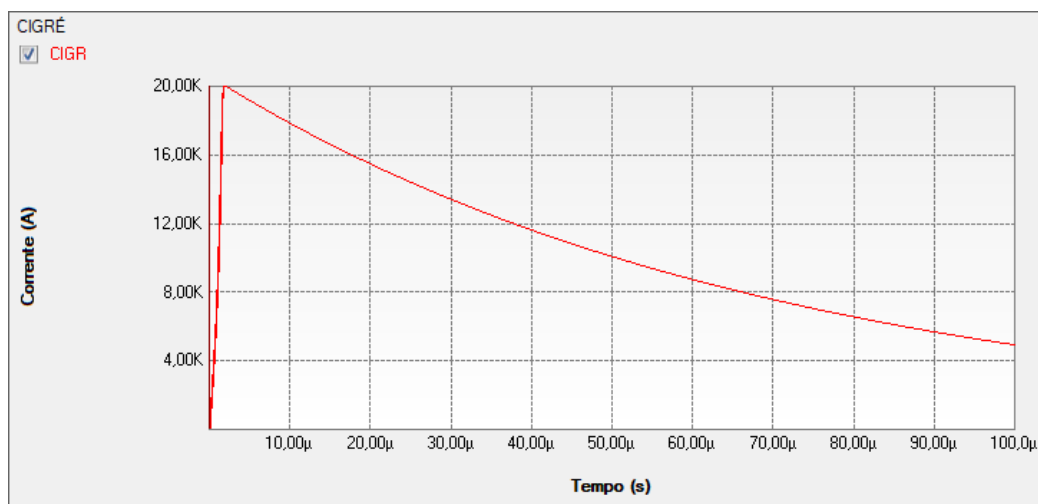




Figura 18- Resultado Fonte Surto CIGRÉ Tipo 15 no software PS Simul.

3 Capítulo 03 – Chaves

Este capítulo abrange os principais elementos para simulações de chaveamentos disponibilizados pelo software ATP e seus equivalentes no software PS Simul.

3.1 Cenário 01 - Chave monofásica controlada por tempo

Tabela 10– Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 Switch time controlled	-	 Chv Tempo 1Φ	Nº Fases → 1
	-		Controle Fechamento → Tempo
	Imar → 0 A		Corrente Máxima p/ Abrir → 0 A
	-		Estado inicial → Aberta
	T-cl → 0,01 s		Tempo Chv 001 → 0,01 s
	T-op → 0,03 s		Tempo Chv 002 → 0,03 s

Para tal validação foi utilizado um circuito com uma fonte cossenoidal com valor de pico de 10 V e frequência de 60 Hz. Tal fonte foi conectada a uma chave que interliga uma carga resistiva de 1 ohm. Foi medida então a tensão na resistência. O passo de tempo adotado para a simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (3.8.1).

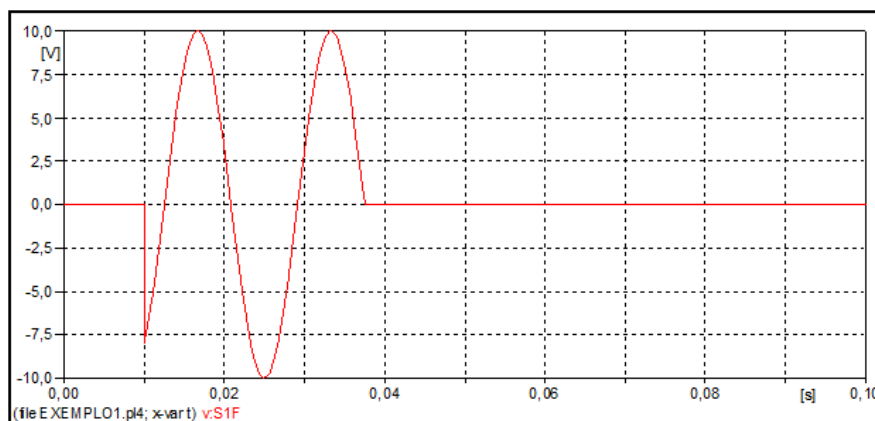


Figura 19- Resultado da simulação com a chave monofásica no software ATP.

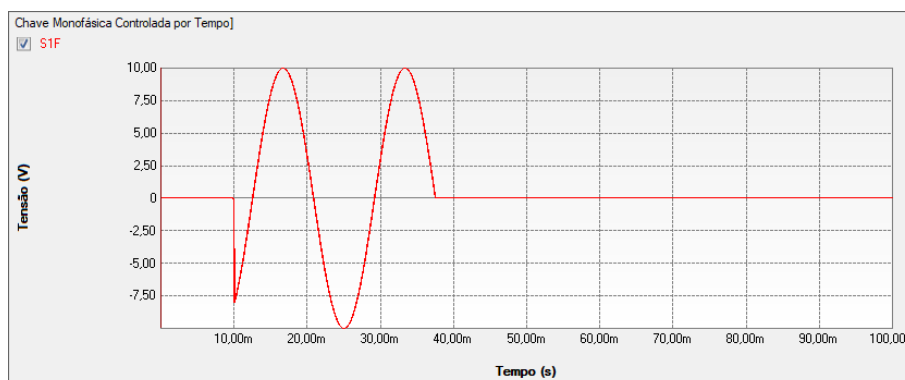

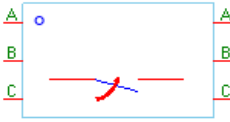


Figura 20 - Resultado da simulação com a chave monofásica no software PS Simul.

3.2 Cenário 02 - Chave trifásica controlada por tempo

Tabela 11– Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 Switch time 3-ph	-	 Chv Tempo 3Φ	Nº Fases → 3
	-		Controle Fechamento → Tempo (Interno)
	Imar → 0 A		Corrente Máx. Abrir → 0 A
	-		Fase A-B-C > Est. inicial → Aberta
	T-cl_1 → 0,01 s		Fase A > Tempo Chv 001 → 0,01 s
	T-cl_2 → 0,02 s		Fase B > Tempo Chv 001 → 0,02 s
	T-cl_3 → 0,03 s		Fase C > Tempo Chv 001 → 0,03 s
	T-op_1 → 0,03 s		Fase A > Tempo Chv 002 → 0,03 s
	T-op_2 → 0,04 s		Fase B > Tempo Chv 002 → 0,04 s
	T-op_3 → 0,05 s		Fase C > Tempo Chv 002 → 0,05 s

Para tal validação foi utilizado um circuito com uma fonte cossenoidal com valor de pico de 10 V (F-N) e frequência de 60 Hz. Tal fonte foi conectada a uma chave que interliga uma carga trifásica resistiva com valor de 1 ohm por fase. Foi medida então a tensão na resistência. O passo de tempo adotado para a simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (3.8.2).

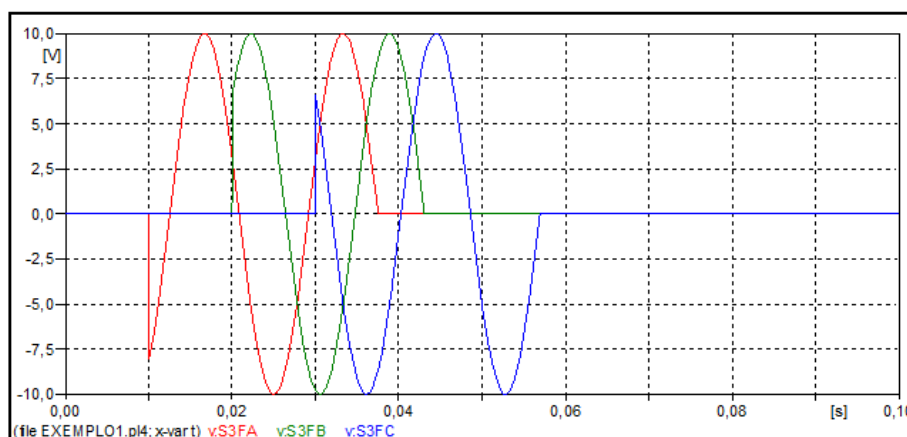


Figura 21- Resultado da simulação com a chave trifásica no software ATP.

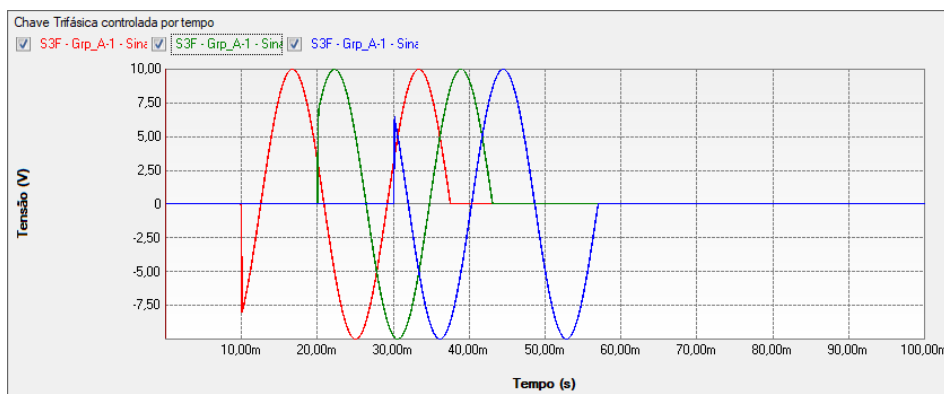




Figura 22 - Resultado da simulação com a chave trifásica no software PS Simul.

3.3 Cenário 03 - Chave monofásica controlada por tensão

Tabela 12– Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 Switch voltage contr.	V-fl \rightarrow 5 V	 Chv Tempo Controlada por Tensão	Tensão Mín. Fechar \rightarrow 5 V
	Imar \rightarrow 0 A		Corrente Máx. Abrir \rightarrow 0 A
	T-cl \rightarrow 0,01 s		Tempo de Fch \rightarrow 0,01 s
	T-de \rightarrow 0,0001 s		Tempo Mínimo de Fch \rightarrow 0,0001 s

Para tal validação foi utilizado um circuito com uma fonte cossenoidal com valor de pico de 10 V e frequência de 60 Hz. Tal fonte foi conectada a uma chave que interliga uma carga resistiva com valor de 1 ohm. Foi medida então a tensão na resistência. Com as parametrizações realizadas, espera-se que haja o fechamento da chave no instante $t = 10$ ms e, posteriormente, a cada novo semi-ciclo a chave aguarde a tensão de 5 V para fechar. O passo de tempo adotado para a simulação foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (3.8.3).

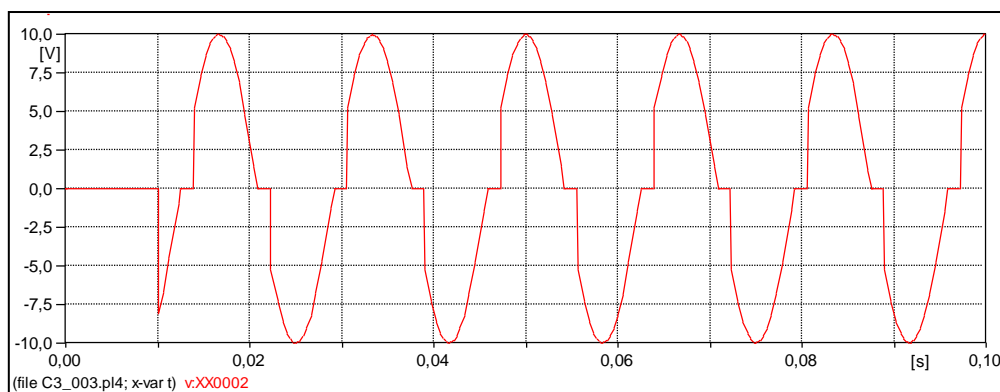


Figura 23- Resultado da simulação com a chave controlada por tensão no software ATP.

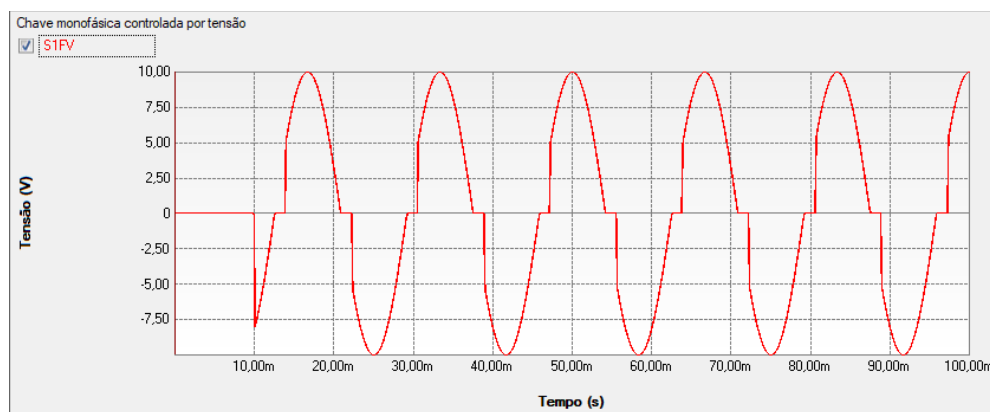




Figura 24 - Resultado da simulação com a chave controlada por tensão no software PS Simul.

3.4 Cenário 04 - Diodo

Tabela 13– Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 Diode (Type 11)	Vig \rightarrow 0 V	 Diodo	Tens. Mín. Fechar \rightarrow 0 V
	Ihold \rightarrow 0 A		Corr. Máx. Abrir \rightarrow 0 A
	CLOSED \rightarrow 1		Estado inicial \rightarrow Fechada

Para tal validação foi utilizado um circuito com uma fonte cossenoidal com valor de pico de 10 V e frequência de 60 Hz. Tal fonte foi conectada a uma chave que interliga uma carga resistiva com valor de 1 ohm. Foi medida então a tensão na resistência. Neste caso, espera-se que haja condução apenas nos semi-ciclos positivos. O passo de tempo adotado para a simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (3.8.4).

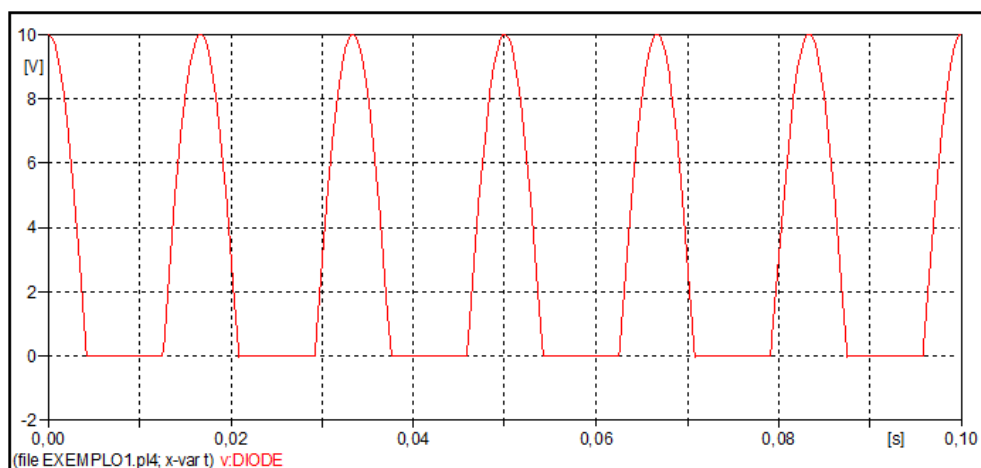


Figura 25- Resultado da simulação com o diodo no software ATP.

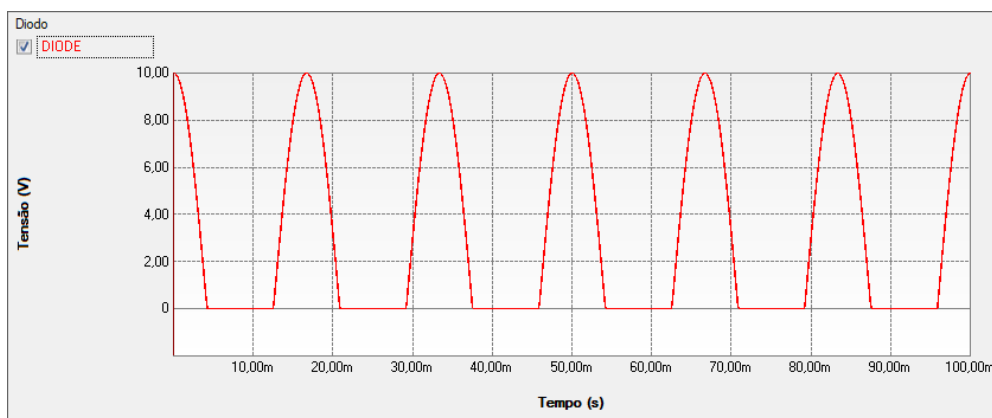




Figura 26 - Resultado da simulação com o diodo no software PS Simul.

3.5 Cenário 05 - Tiristor

Tabela 14– Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 Valve (Type 11)	Vig \rightarrow 0 V	 Tiristor	Tensão Mín. Fechar \rightarrow 0 V
	Ihold \rightarrow 0 A		Corrente Máx. Abrir \rightarrow 0 A
	CLOSED \rightarrow 0		Estado inicial \rightarrow Aberta

Para tal validação foi utilizado um circuito com uma fonte senoidal com valor de pico de 10 V e frequência de 60 Hz. Tal fonte foi conectada a uma chave que interliga uma carga resistiva com valor de 1 ohm. Para a geração dos pulsos para o tiristor, foi utilizada uma fonte de pulsos com frequência de 60 Hz e com comprimento do pulso de 0,005 segundos, sendo o instante de início da geração dos pulsos em 1/8 de ciclo (reproduz um ângulo de ativação de 45° aos tiristores). Foi medida então a tensão na resistência. O passo de tempo adotado para a simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (3.8.5).

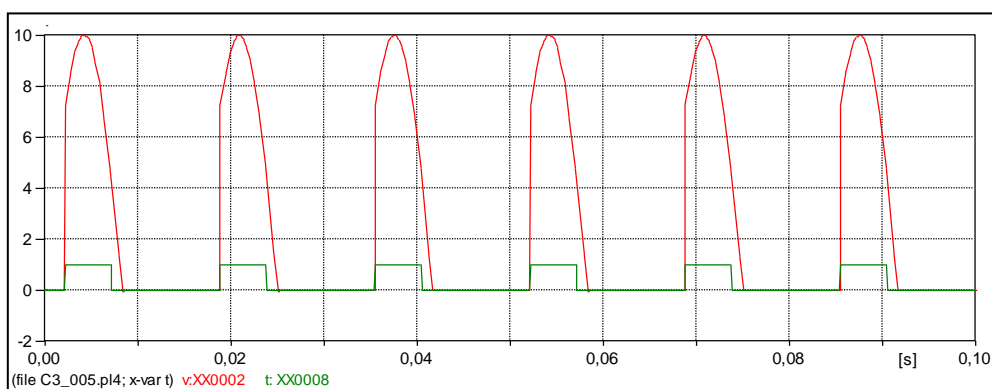


Figura 27- Resultado da simulação com o tiristor no software ATP.

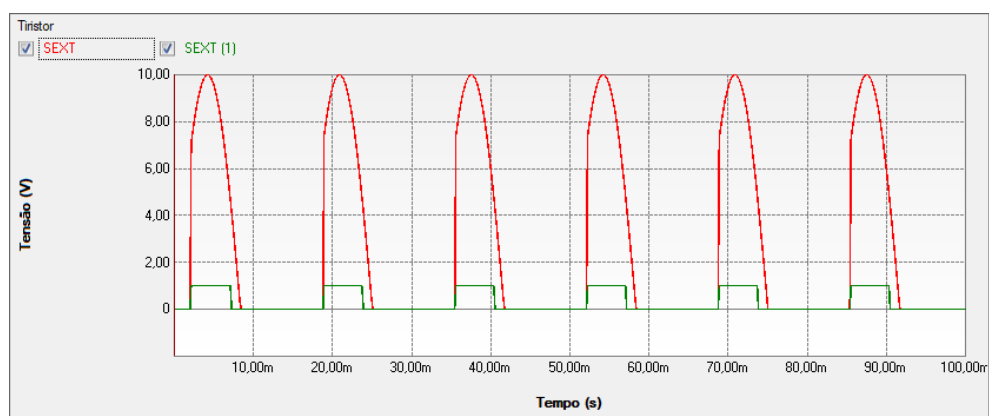




Figura 28 - Resultado da simulação com o tiristor no software PS Simul.

3.6 Cenário 06 - Triac

Tabela 15– Parametrizações utilizadas para comparações das chaves no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 Triac (Type 12)	Vig \rightarrow 0 V	 Triac	Tensão Mín. Fechar \rightarrow 0 V
	Ihold \rightarrow 0 A		Corrente Máx. Abrir \rightarrow 0 A
	CLOSED \rightarrow 0		Estado inicial \rightarrow Aberta

Para tal validação foi utilizado um circuito com uma fonte senoidal com valor de pico de 10 V e frequência de 60 Hz. Tal fonte foi conectada a uma chave que interliga uma carga resistiva com valor de 1 ohm. Para a geração dos pulsos para o tiristor, foi utilizada uma fonte de pulsos com frequência de 120 Hz e com comprimento do pulso de 0,005 segundos, sendo o instante de início da geração dos pulsos em 1/8 de ciclo (reproduz um ângulo de ativação de 45° ao TRIAC). Esta fonte foi conectada à entrada SPARK e na entrada CLAMP foi mantido nível baixo para que o controle do TRIAC seja realizado exclusivamente pela entrada SPARK. O passo de tempo adotado para a simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (3.8.6).

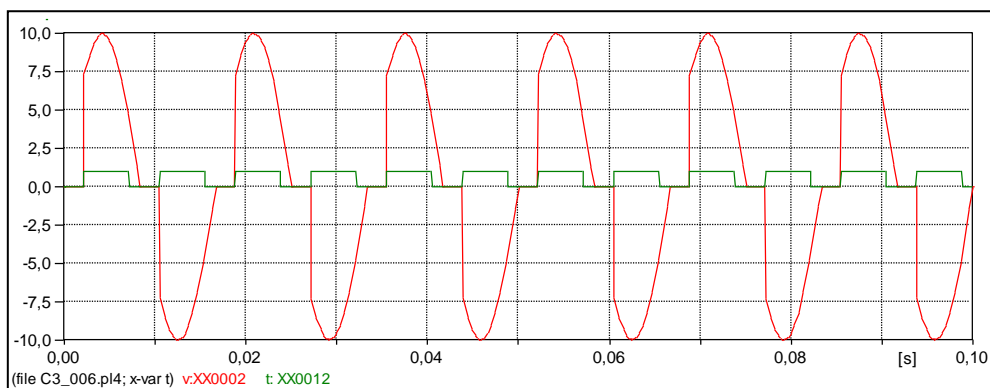


Figura 29- Resultado da simulação com o TRIAC no software ATP.

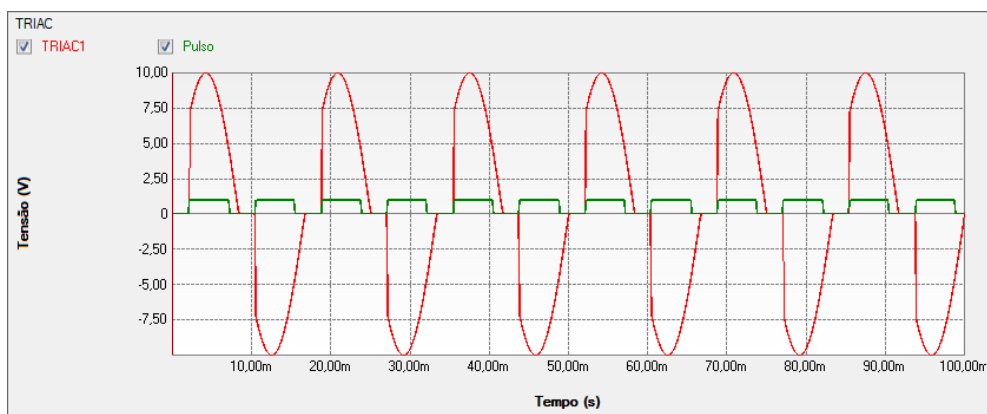



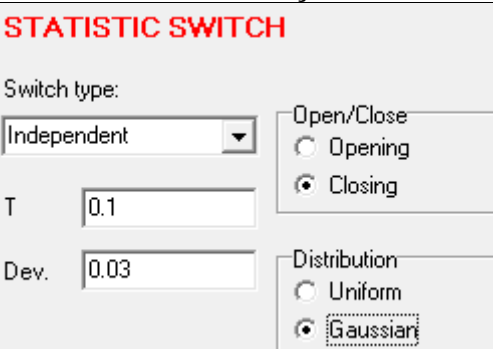
Figura 30 - Resultado da simulação com o TRIAC no software PS Simul.

3.7 Cenário 07 – Chave Estatística

Para viabilizar a realização de estudos estatísticos o software ATP disponibiliza a chave estatística em sua biblioteca. Estes mesmos estudos são também viabilizados pelo software PS Simul com utilização do componente de geração de números randômicos.

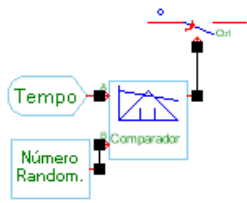
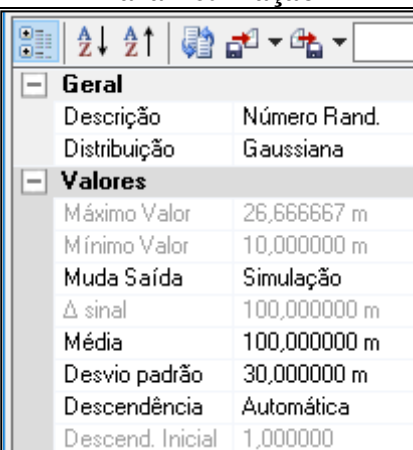
Para fins de exemplificação, suponha que o usuário queira estudar o fechamento de uma chave em seu sistema respeitando a distribuição gaussiana, com tempo médio de fechamento no instante $t = 0,1$ s e desvio padrão de 30 ms. No software ATP o usuário deverá inserir o componente denominado chave estatística e parametrizá-lo da forma a seguir:

Tabela 16– Componente e parametrização para estudo estatístico no software ATP.

Componentes	Parametrização
	

No software PS Simul o usuário deverá parametrizar o componente de geração de número randômico com a curva definida, sendo a saída deste componente o tempo em que a chave deverá ser fechada. Com isso, deve-se realizar a comparação (componente “Comparador”) desta saída com o tempo da simulação (componente “Tempo”), visando enviar um sinal de fechamento para a chave do sistema. A forma de parametrização e modelagem destes componentes segue:

Tabela 17– Componentes e parametrização para estudo estatístico no software PS SIMUL.

Componentes	Parametrização
	

3.8 Circuitos modelados para as validações realizadas

3.8.1 Cenário 01 - Chaves monofásicas controladas por tempo (3.1).

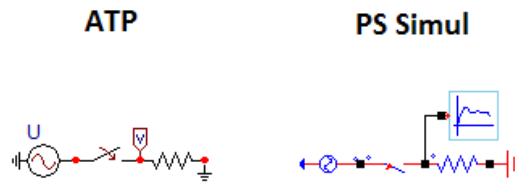


Figura 31 – Circuitos modelados para validação das chaves monofásicas controladas por tempo.

3.8.2 Cenário 02 - Chaves trifásicas controladas por tempo (3.2).

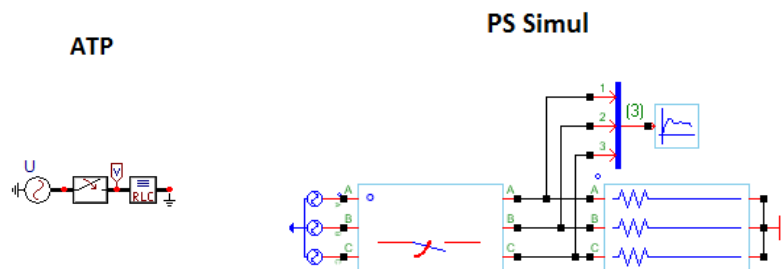


Figura 32 – Circuitos modelados para validação das chaves trifásicas controladas por tempo.

3.8.3 Cenário 03 - Chaves monofásicas controladas por tensão (3.3).

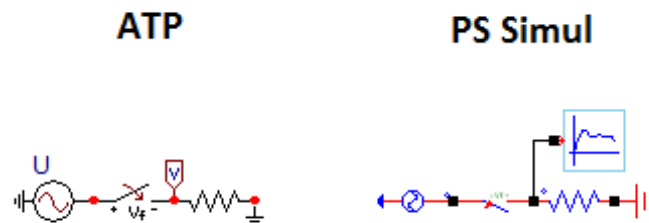


Figura 33 – Circuitos modelados para validação da chave controlada por tensão.

3.8.4 Cenário 04 - Diodos (3.4).

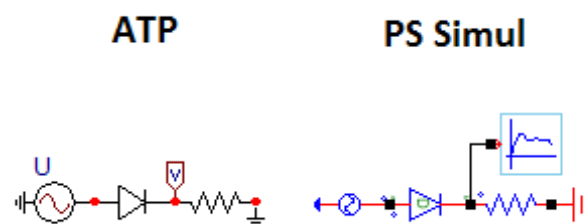


Figura 34 – Circuitos modelados para validação do diodo.

3.8.5 Cenário 05 - Tiristores (3.5).

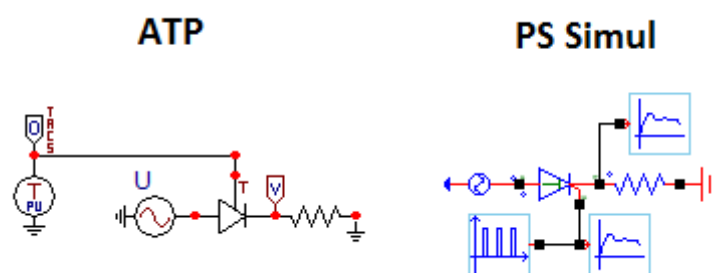


Figura 35 – Circuitos modelados para validação do tiristor.

3.8.6 Cenário 06 - TRIAC (3.6).

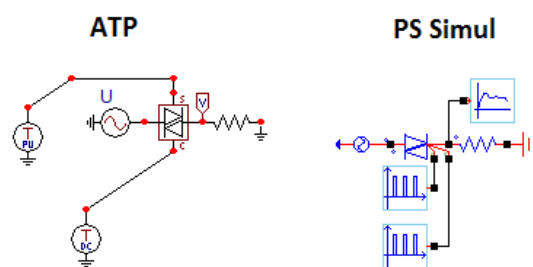






Figura 36 – Circuitos modelados para validação do TRIAC.

4 Capítulo 04 - Elementos Passivos

Este capítulo abrange os principais elementos passivos disponibilizados pelo software ATP e seus equivalentes no software PS Simul. A fim de validá-los, foram modelados diversos cenários onde tais elementos são dispostos em várias configurações e energizados tanto com alimentação AC quanto DC.

4.1 Cenário 01 - Energização de circuito RL com fonte DC no instante $t = 0s$.

Tabela 18 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
01	 Resistor	RES → 10 Ω	 R	Resistência → 10 Ω
	 Inductor	L → 100 mH Kp → 0 pu	 L	Indutância → 100e-3 H -

Para tal validação foi utilizada uma fonte DC com amplitude de 100V, uma resistência de 10 ohms e uma indutância de 100 mH. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na indutância. O passo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.1).

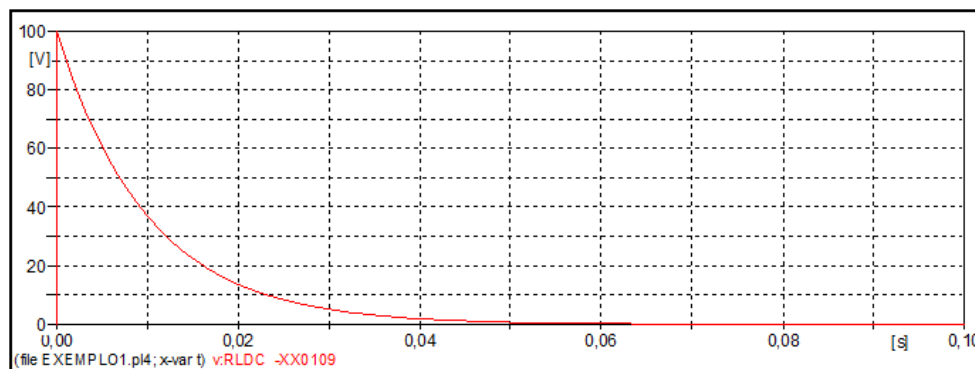


Figura 37- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software ATP.

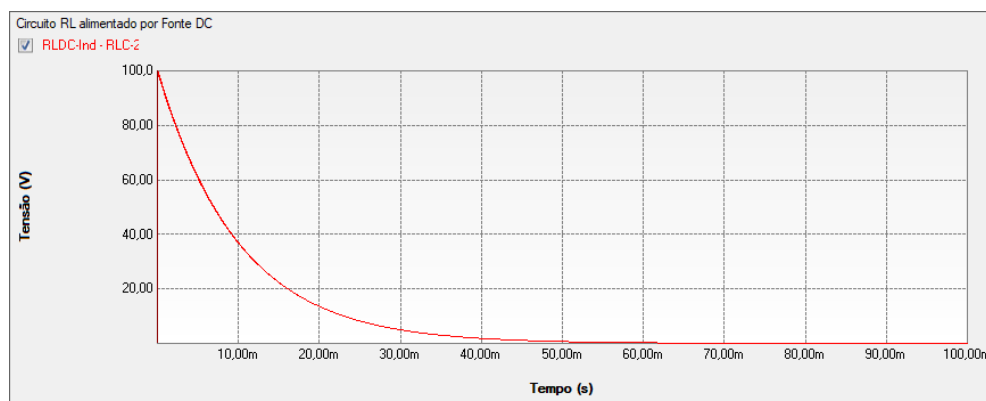


Figura 38 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software PS Simul.

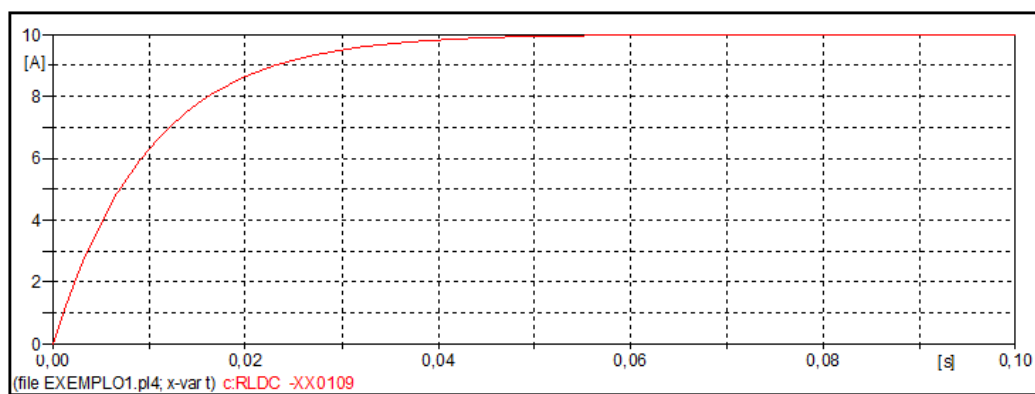


Figura 39- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software ATP.

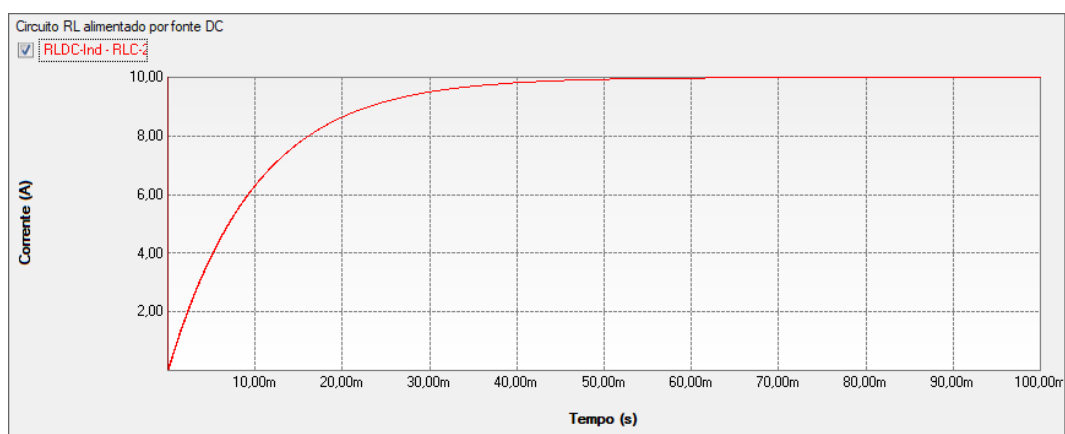






Figura 40 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software PS Simul.

4.2 Cenário 02 - Energização de circuito RC com fonte DC no instante $t = 0s$.

Tabela 19 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
02	 Resistor	RES $\rightarrow 10 \Omega$	 R	Resistência $\rightarrow 10 \Omega$
	 Capacitor	C $\rightarrow 1000 \mu F$ Ks $\rightarrow 0 \text{ pu}$	 C	Capacitância $\rightarrow 1e-3 \text{ F}$ -

Para tal validação foi utilizada uma fonte DC com amplitude de 100V, uma resistência de 10 ohms e uma capacitância de 1000 μF . Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na capacitância. O passo utilizado na simulação foi de 10 μs . Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.2).

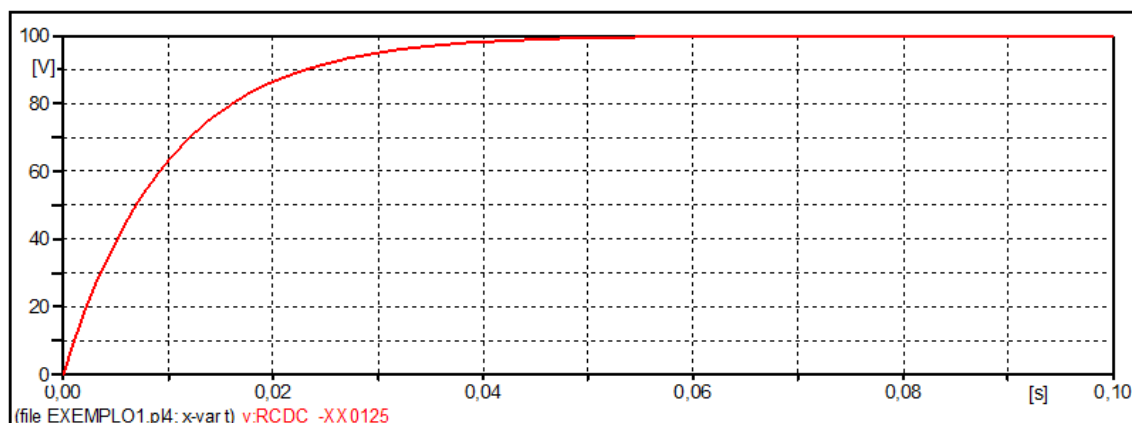


Figura 41- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software ATP.

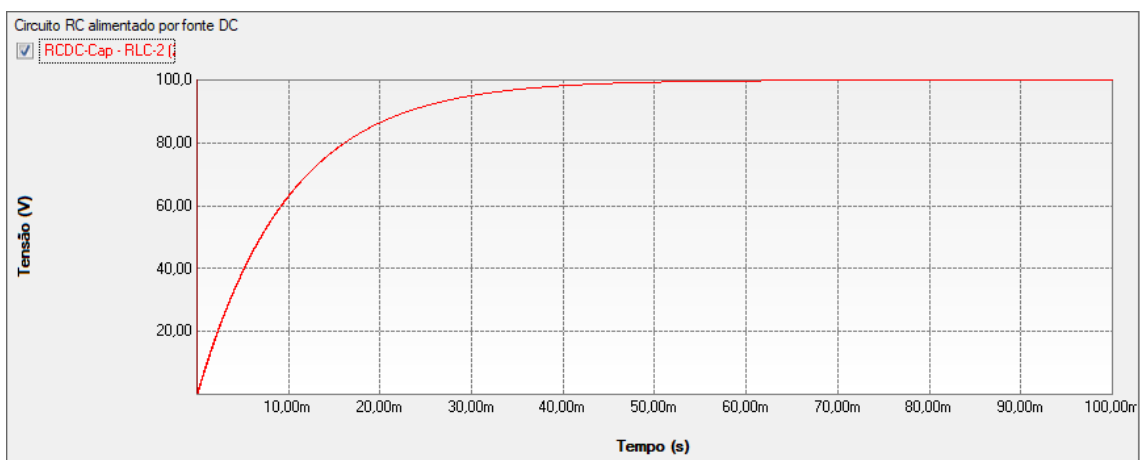


Figura 42 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software PS Simul.

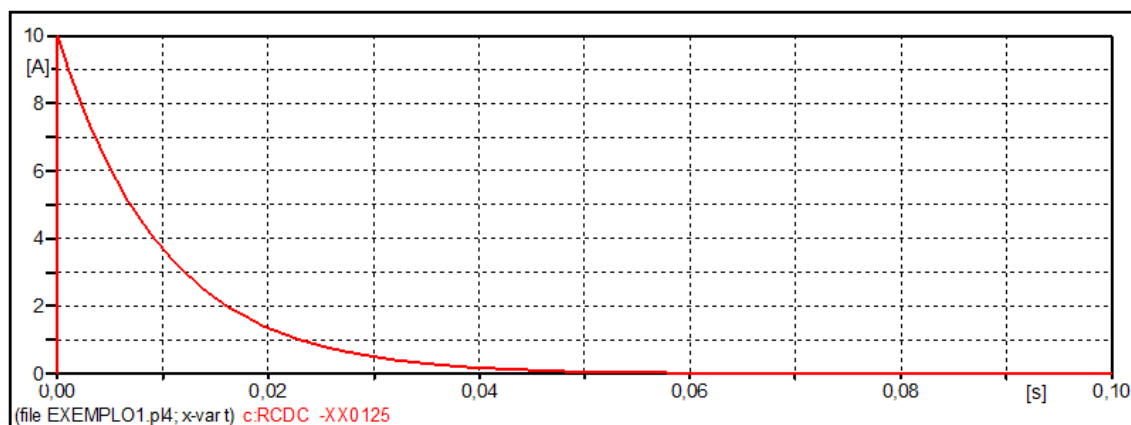


Figura 43- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software ATP.

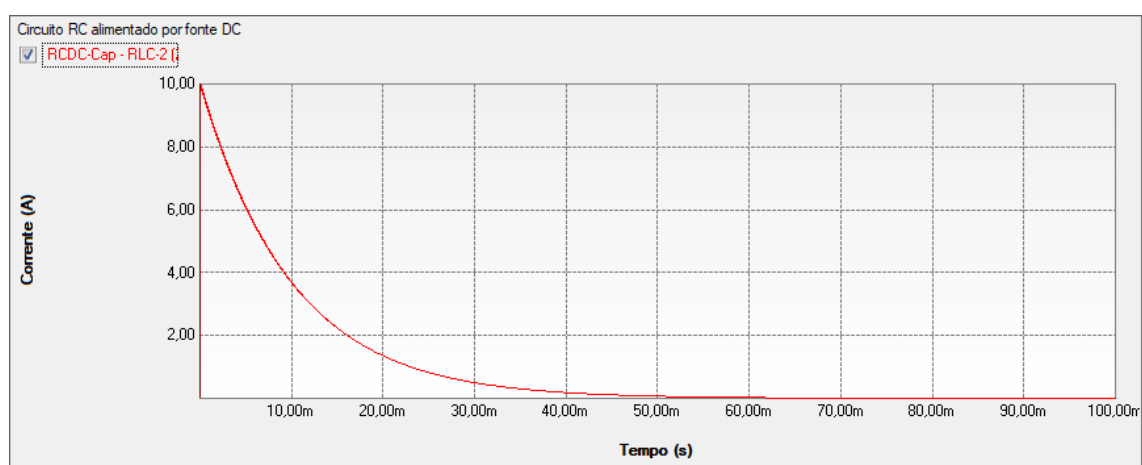






Figura 44 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software PS Simul.

4.3 Cenário 03 - Energização de circuito LC com fonte DC no instante $t = 0s$.

Tabela 20 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
03	 <i>Inductor</i>	$L \rightarrow 0,5 \text{ mH}$	 L	Indutância $\rightarrow 0,5e-3 \text{ H}$
		$Kp \rightarrow 0 \text{ pu}$		-
	 <i>Capacitor</i>	$C \rightarrow 25 \text{ uF}$	 C	Capacitância $\rightarrow 25e-6 \text{ F}$
		$Ks \rightarrow 0 \text{ pu}$		-

Para tal validação foi utilizada uma fonte DC com amplitude de 100V, uma indutância de 0,5 mH e uma capacitância de 25 uF. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na indutância. O passo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.3).

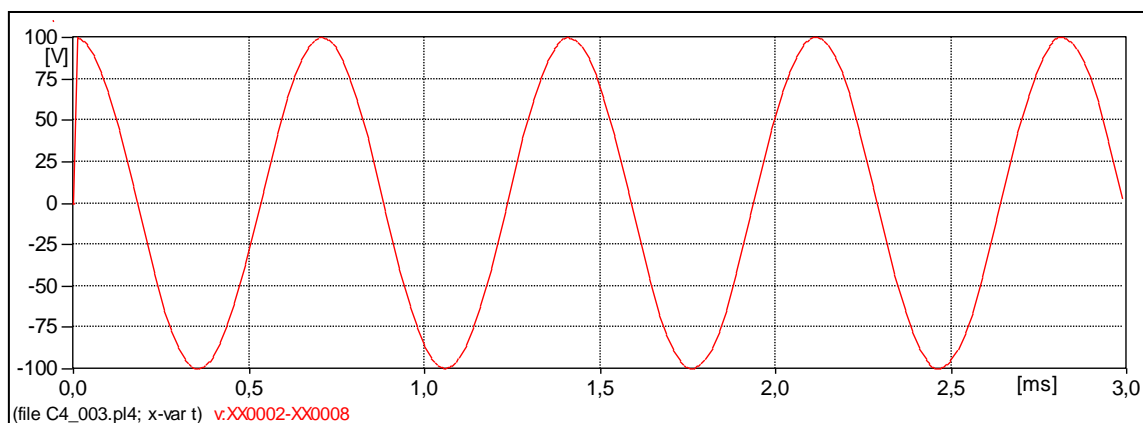


Figura 45- Forma de onda de tensão da simulação do circuito LC no software ATP.

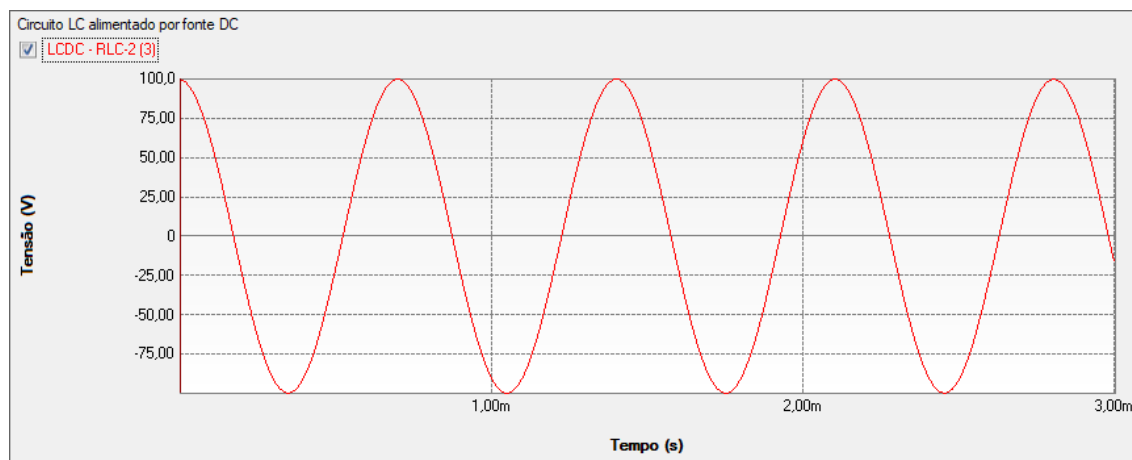


Figura 46 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito LC no software PS Simul.

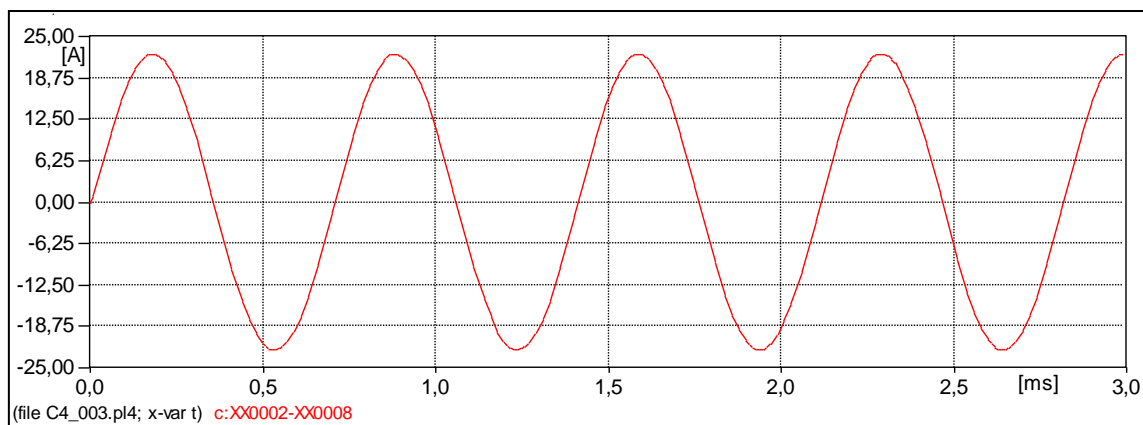


Figura 47- Forma de onda de corrente da simulação do circuito LC no software ATP.

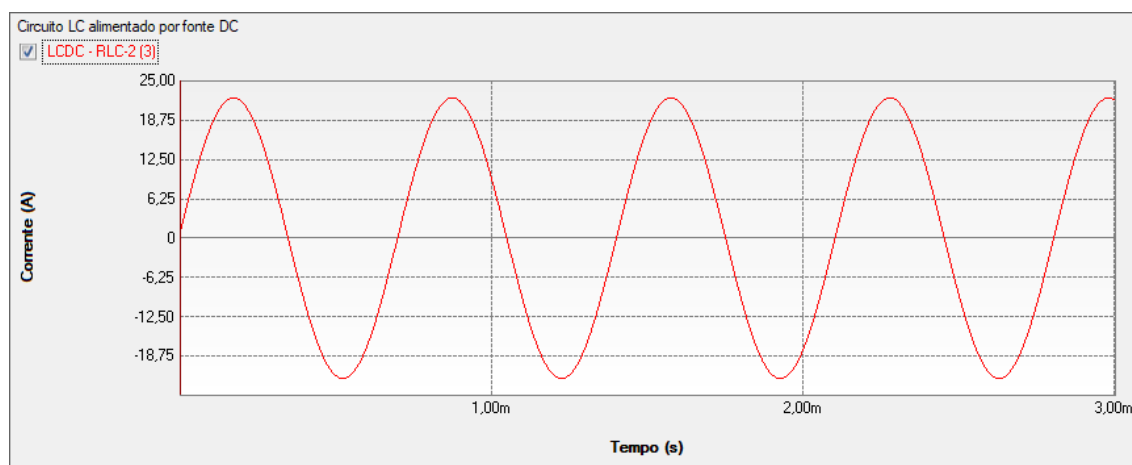






Figura 48 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito LC no software PS Simul.

4.4 Cenário 04 - Energização de circuito RL com fonte DC no instante $t = 0s$, com condições iniciais de corrente na indutância.

Tabela 21 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
04	 Resistor	RES $\rightarrow 10 \Omega$	 R	Resistência $\rightarrow 10 \Omega$
	 $L : I(0)$	L $\rightarrow 100 \text{ mH}$	 L	Indutância $\rightarrow 100e-3 \text{ H}$
		-		Hab. Inicial. $\rightarrow \text{Sim}$
		$I(0) \rightarrow 5 \text{ A}$		Corrente Inic. $\rightarrow 5 \text{ A}$

Para tal validação foi utilizada uma fonte DC com amplitude de 100V, uma resistência de 10 ohms e uma indutância de 100 mH, sendo sua corrente inicial de 5 A. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na indutância. O passo utilizado nas simulações foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.4).

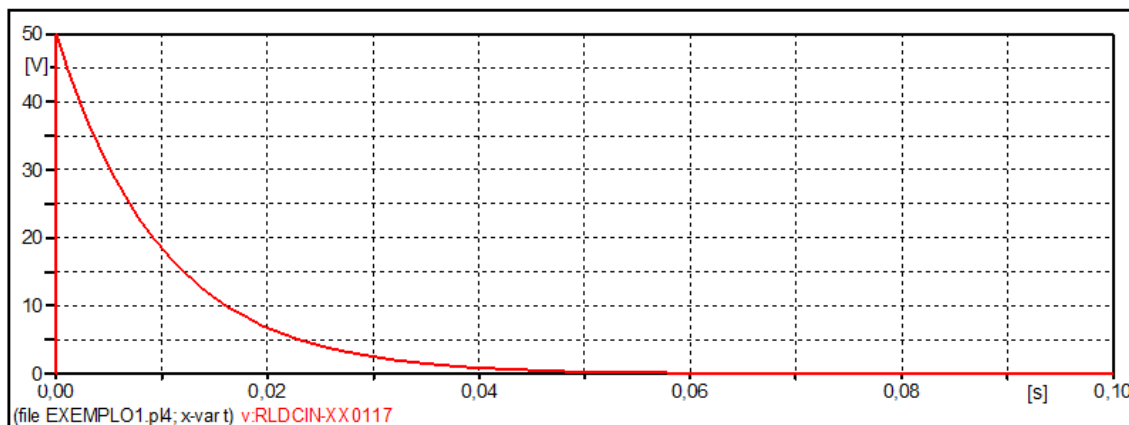


Figura 49- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software ATP.

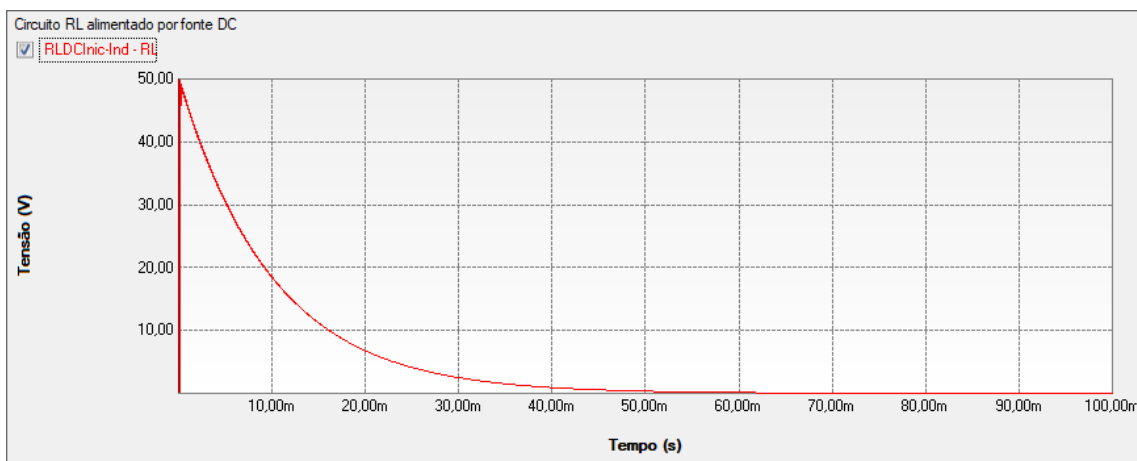


Figura 50 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software PS Simul.

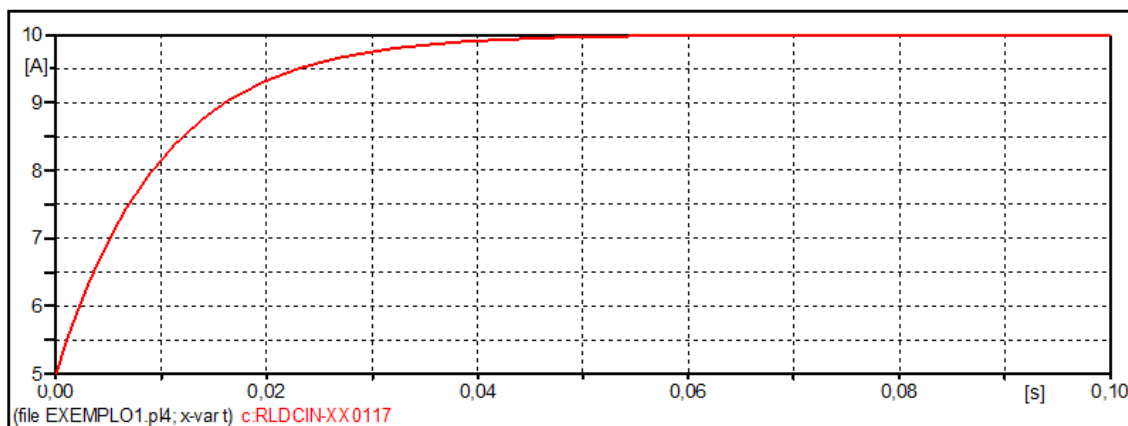


Figura 51 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software ATP.

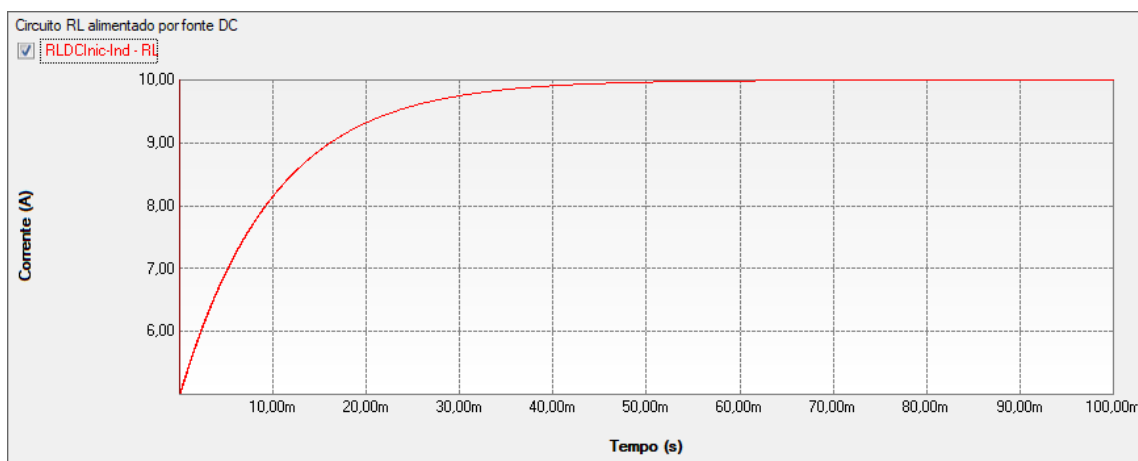



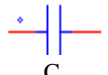


Figura 52 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software PS Simul.

4.5 Cenário 05 - Energização de circuito RC com fonte DC no instante $t = 0s$, com condições iniciais de tensão na capacitância.

Tabela 22 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
05	 Resistor	RES $\rightarrow 10 \Omega$	 R	Resistência $\rightarrow 10 \Omega$
	 $C : V(0)$	C $\rightarrow 1000 \mu F$	 C	Capacitância $\rightarrow 1e-3 F$
		-		Hab. Inicial. $\rightarrow Sim$
		V(0)+ $\rightarrow 50 V$ V(0)- $\rightarrow 0 V$		Tensão Inic. $\rightarrow 50 V$

Para tal validação foi utilizada uma fonte DC com amplitude de 100V, uma resistência de 10 ohms e uma capacitância de 1000 μF , sendo sua tensão inicial de 50 V. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na capacitância. O passo utilizado na simulação foi de 10 μs . Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.5).

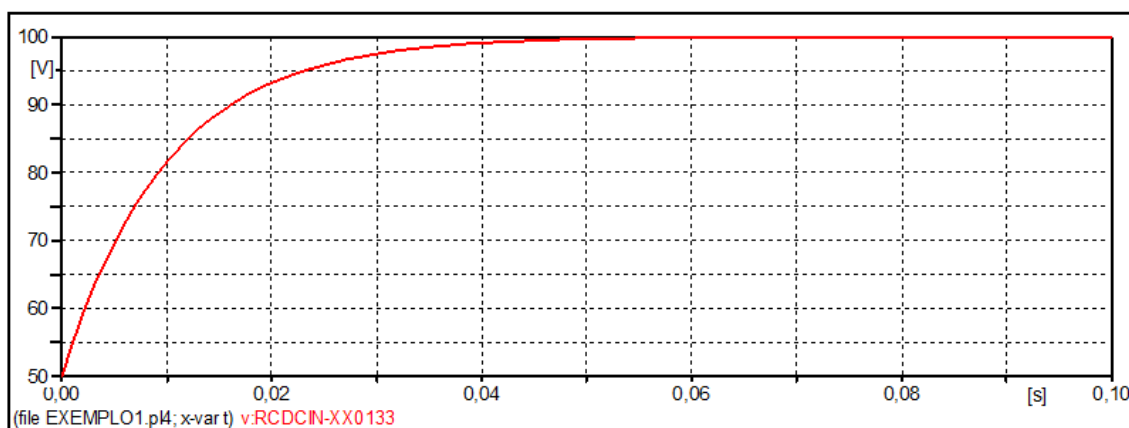


Figura 53- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software ATP.

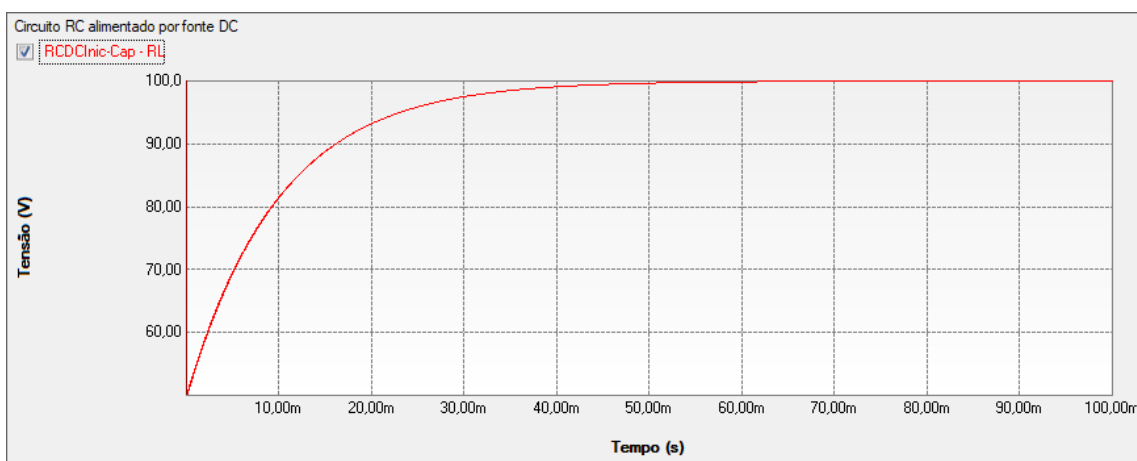


Figura 54 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software PS Simul.

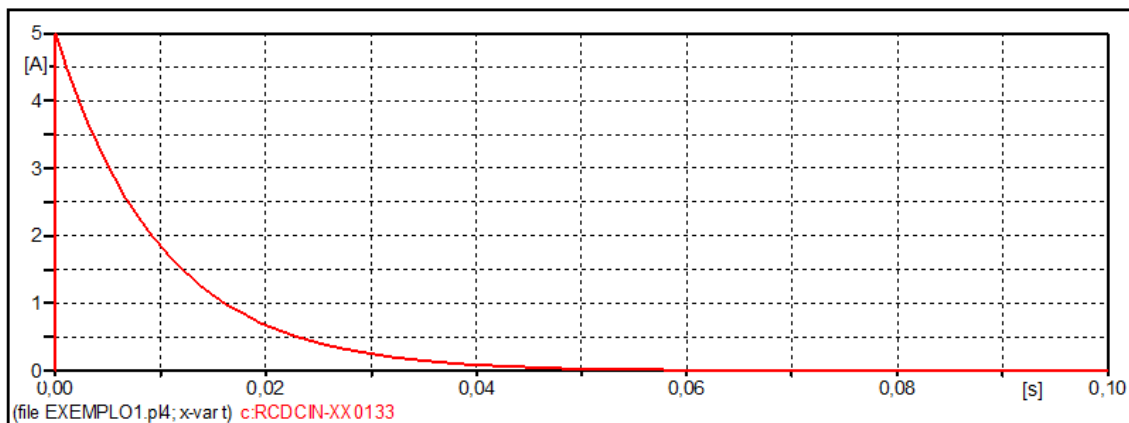


Figura 55- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software ATP.

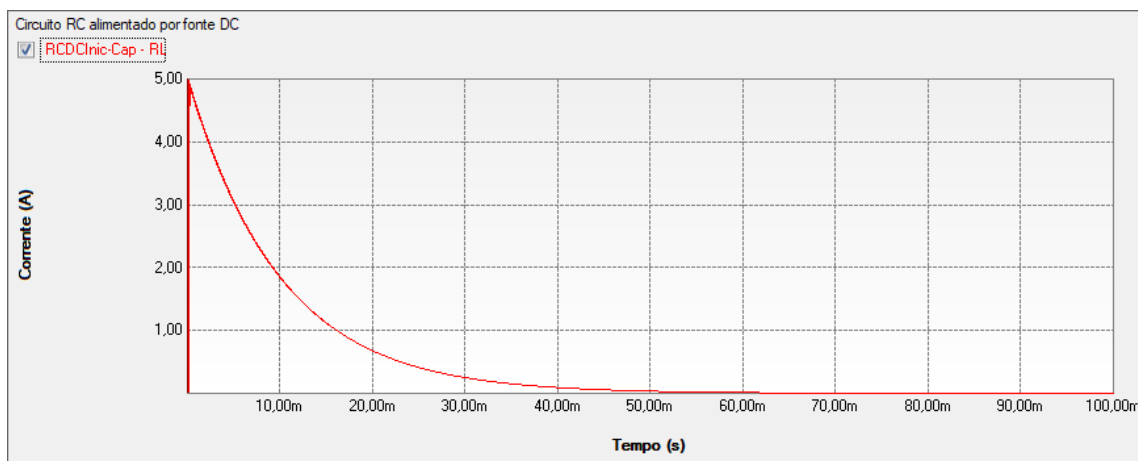








Figura 56 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software PS Simul.

4.6 Cenário 06 - Energização de circuito RLC com fonte DC no instante $t = 0s$.

Tabela 23 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
06	 Resistor	RES $\rightarrow 0,01 \Omega$	 R	Resistência $\rightarrow 0,01 \Omega$
	 Inductor	L $\rightarrow 0,5 \text{ mH}$	 L	Indutância $\rightarrow 0,5e-3 \text{ H}$
		Kp $\rightarrow 0 \text{ pu}$		-
	 Capacitor	C $\rightarrow 25 \text{ uF}$	 C	Capacitância $\rightarrow 25e-6 \text{ F}$
		Ks $\rightarrow 0 \text{ pu}$		-

Para tal validação foi utilizada uma fonte DC com amplitude de 100V, uma resistência de 0,01 ohms, uma indutância de 0,5 mH e uma capacitância de 25 uF. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na indutância. O passo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.6).

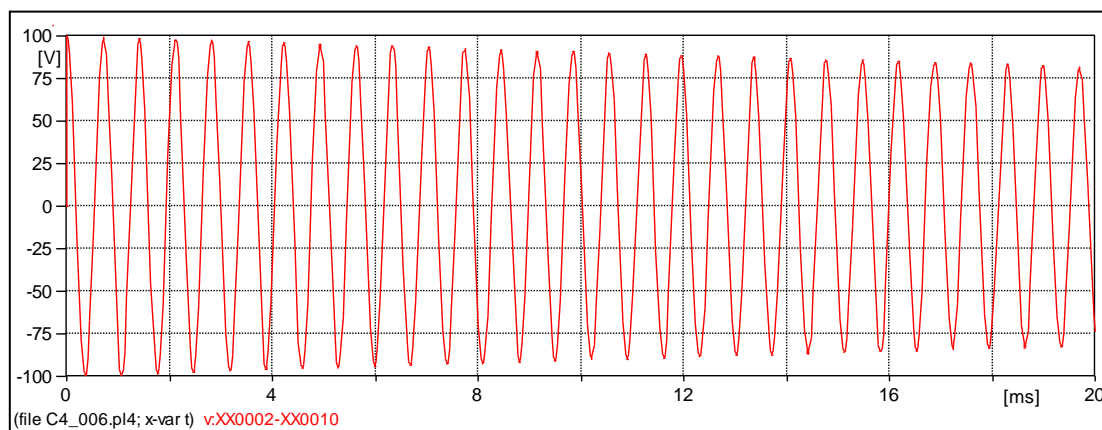


Figura 57- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RLC no software ATP.

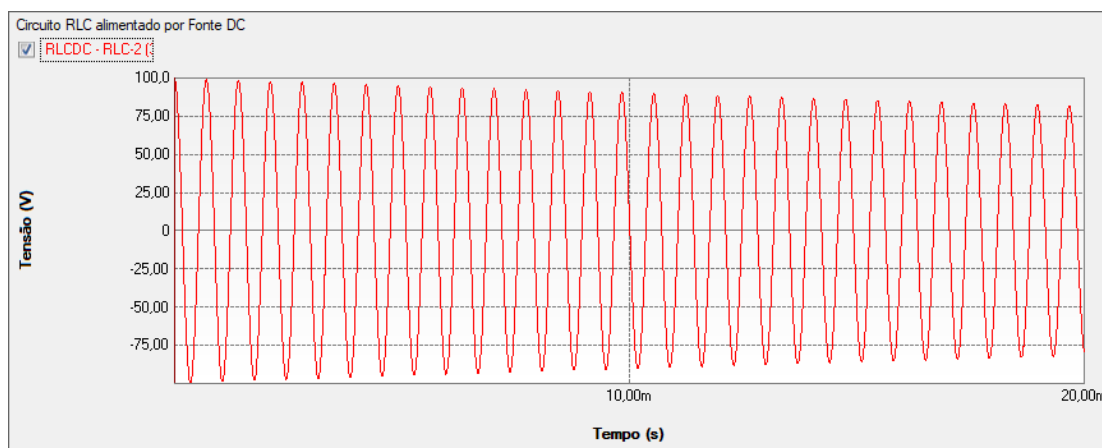


Figura 58 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RLC no software PS Simul.

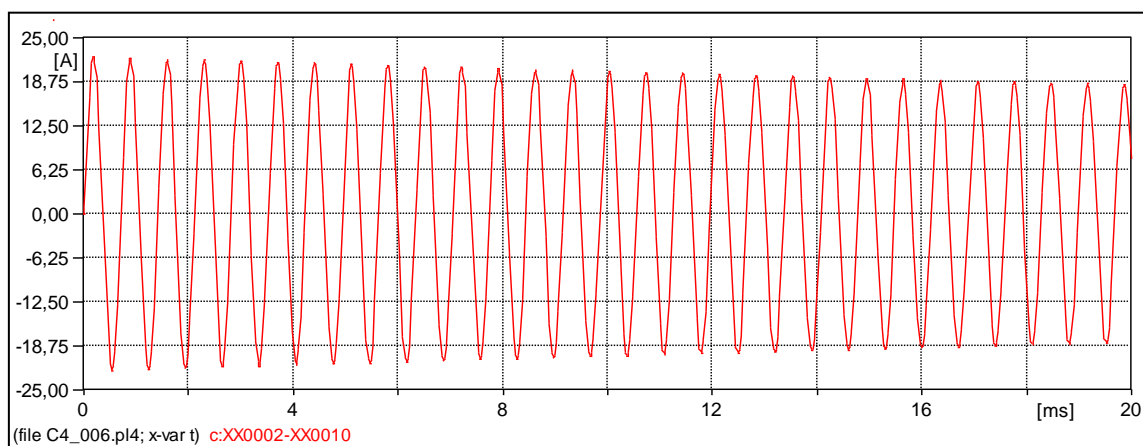


Figura 59- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RLC no software ATP.

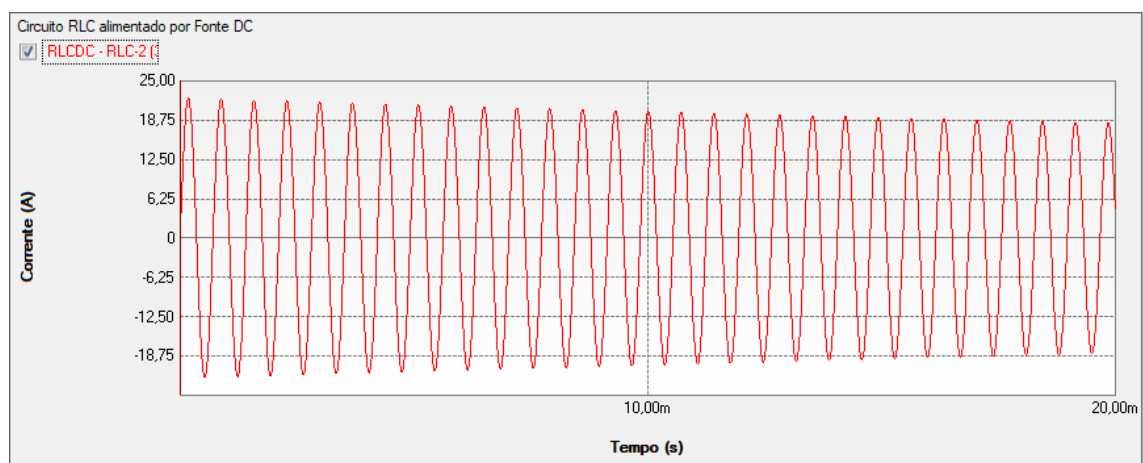






Figura 60 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RLC no software PS Simul.

4.7 Cenário 07 - Energização de circuito RL com fonte AC no instante $t = 0s$.

Tabela 24 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
07	 Resistor	RES $\rightarrow 10 \Omega$	 R	Resistência $\rightarrow 10 \Omega$
	 Inductor	L $\rightarrow 100 \text{ mH}$	 L	Indutância $\rightarrow 100e-3 \text{ H}$
		Kp $\rightarrow 0 \text{ pu}$		-

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), uma resistência de 10 ohms e uma indutância de 100 mH. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na indutância. O passo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.7).

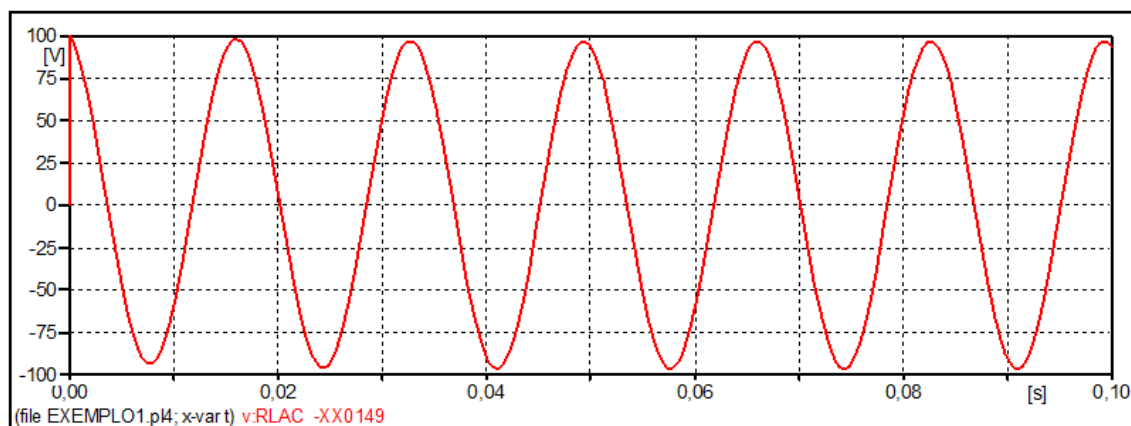


Figura 61- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software ATP.

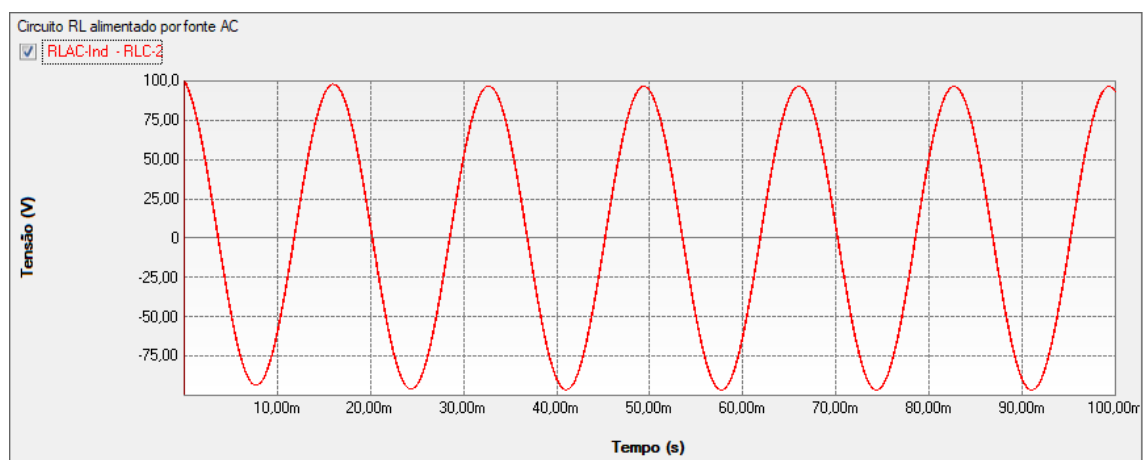


Figura 62 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software PS Simul.

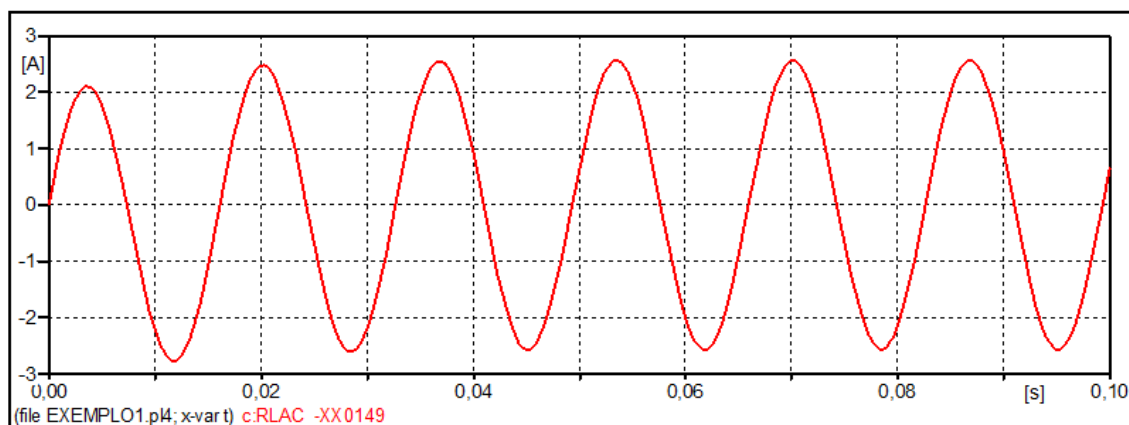


Figura 63- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software ATP.

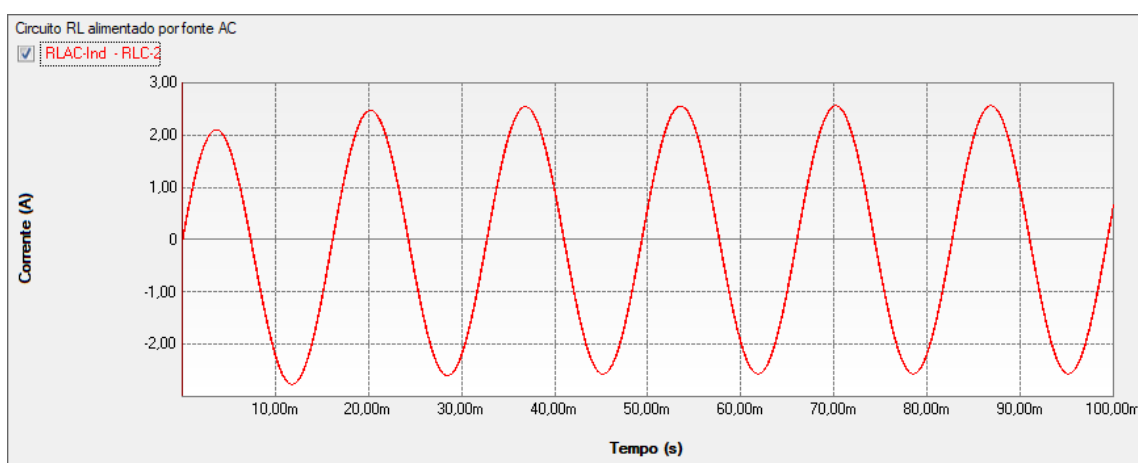






Figura 64 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software PS Simul.

4.8 Cenário 08 - Energização de circuito RC com fonte AC no instante $t = 0s$.

Tabela 25 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
08	 Resistor	RES $\rightarrow 10 \Omega$	 R	Resistência $\rightarrow 10 \Omega$
	 Capacitor	C $\rightarrow 1000 \mu F$	 C	Capacitância $\rightarrow 1e-3 F$
		Ks $\rightarrow 0 pu$		-

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), uma resistência de 10 ohms e uma capacitância de 1000 μF . Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na capacitância. O passo utilizado na simulação foi de 10 μs . Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.8).

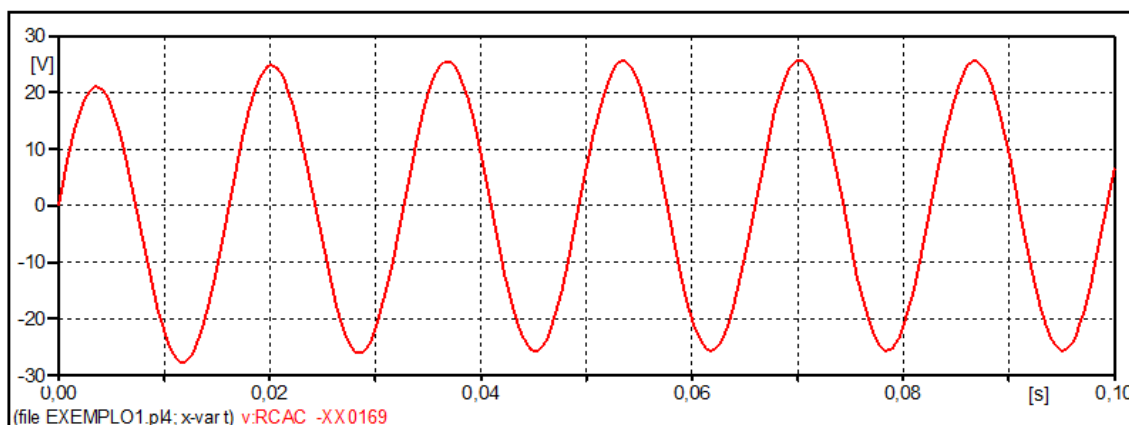


Figura 65- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software ATP.

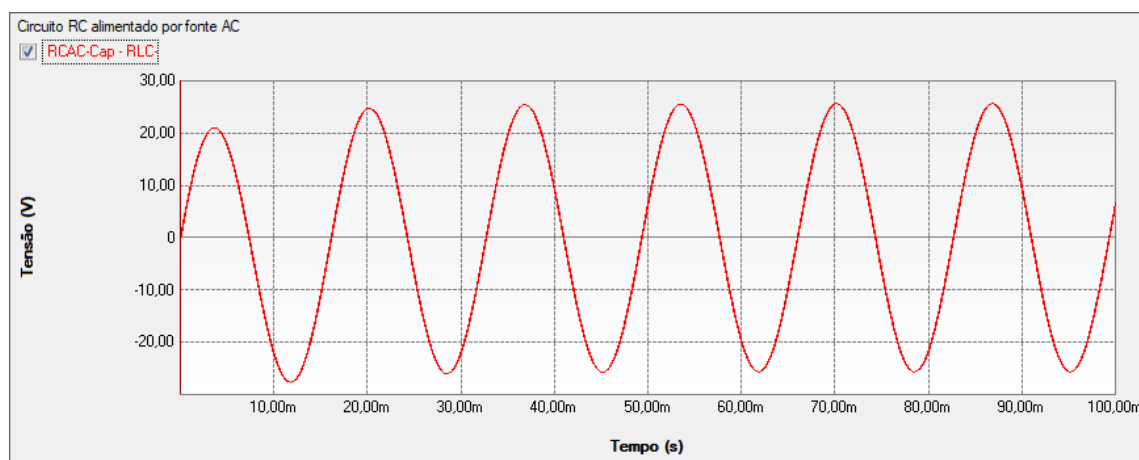


Figura 66 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software PS Simul.

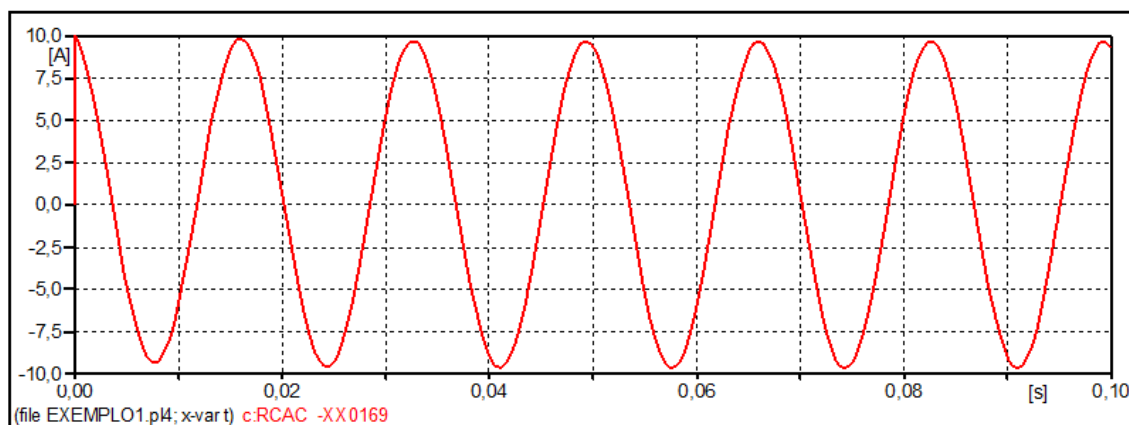


Figura 67- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software ATP.

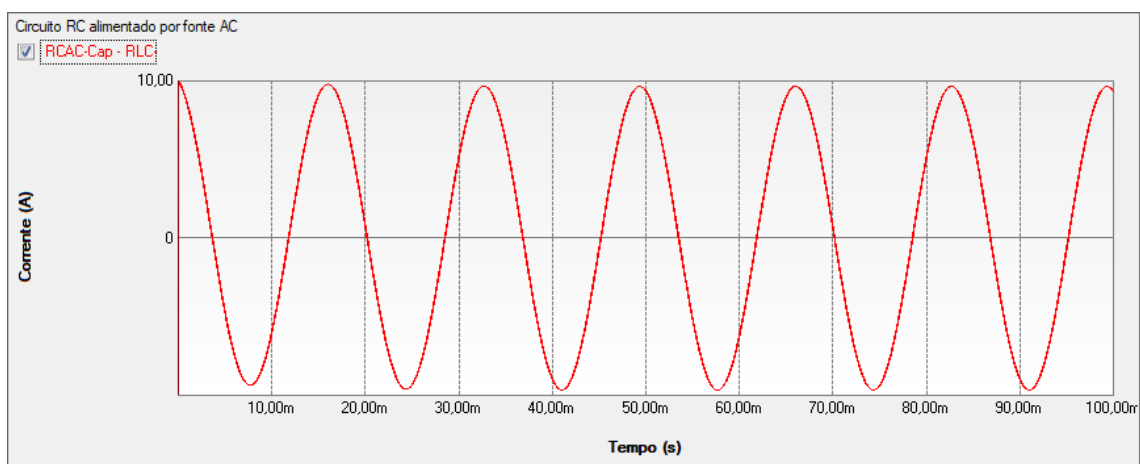






Figura 68 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software PS Simul.

4.9 Cenário 09 - Energização de circuito LC com fonte AC no instante $t = 0s$.

Tabela 26 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
09	 <i>Inductor</i>	$L \rightarrow 0,5 \text{ mH}$	 L	Indutância $\rightarrow 0,5e-3 \text{ H}$
		$Kp \rightarrow 0 \text{ pu}$		-
	 <i>Capacitor</i>	$C \rightarrow 25 \text{ uF}$	 C	Capacitância $\rightarrow 25e-6 \text{ F}$
		$Ks \rightarrow 0 \text{ pu}$		-

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), uma indutância de 0,5 mH e uma capacitância de 25 uF. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na indutância. O passo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.9).

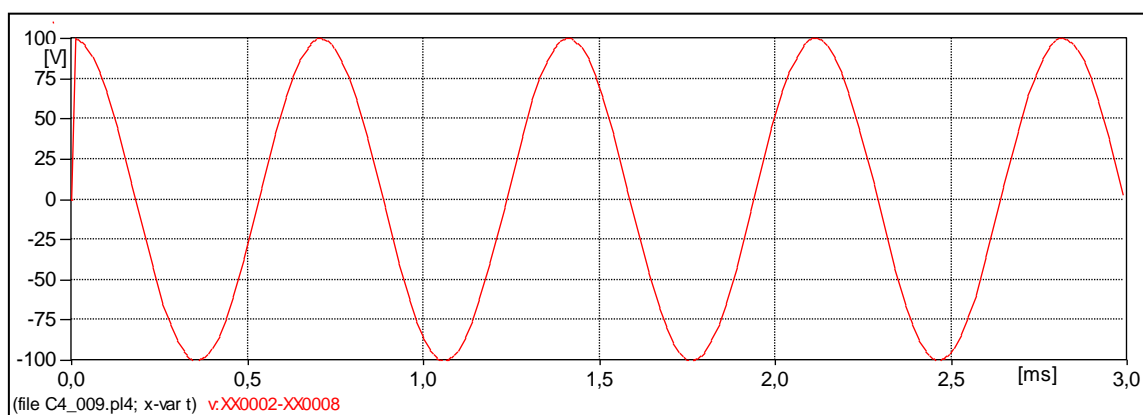


Figura 69- Forma de onda de tensão da simulação do circuito LC no software ATP.

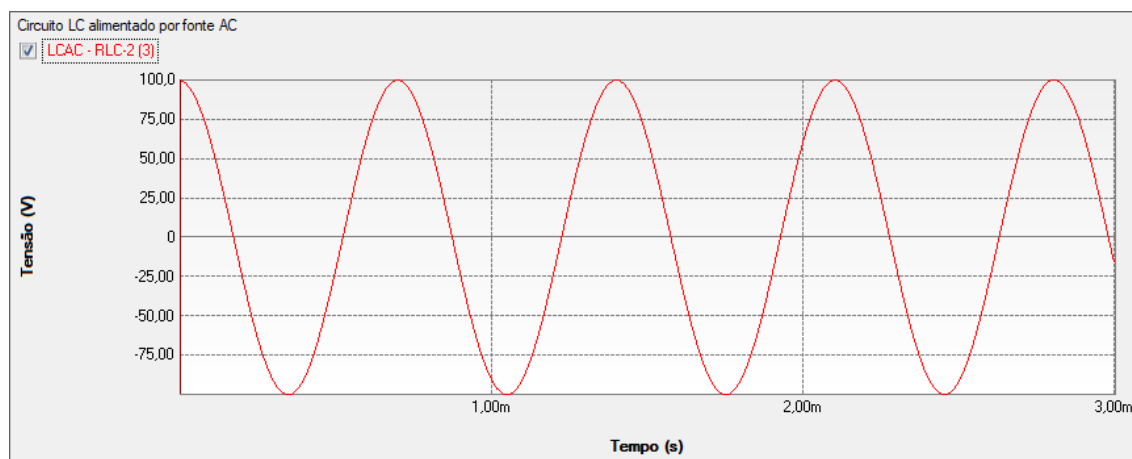


Figura 70 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito LC no software PS Simul.

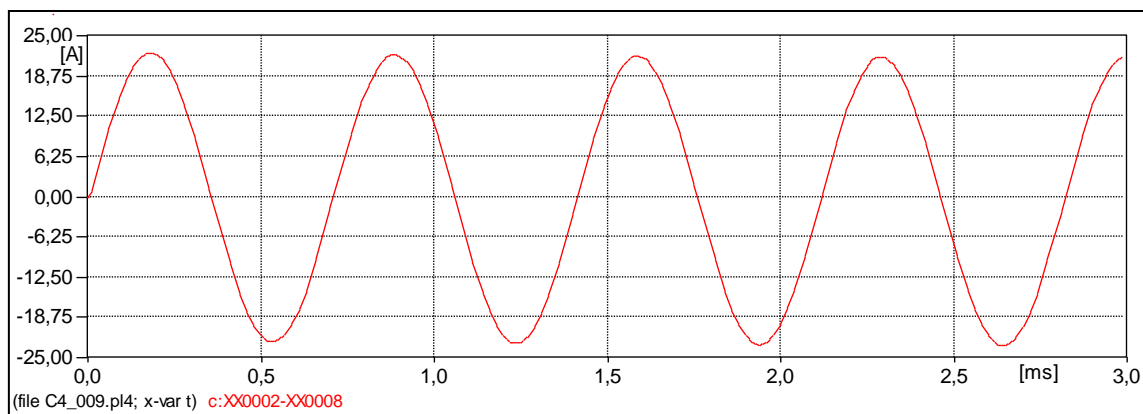


Figura 71- Forma de onda de corrente da simulação do circuito LC no software ATP.

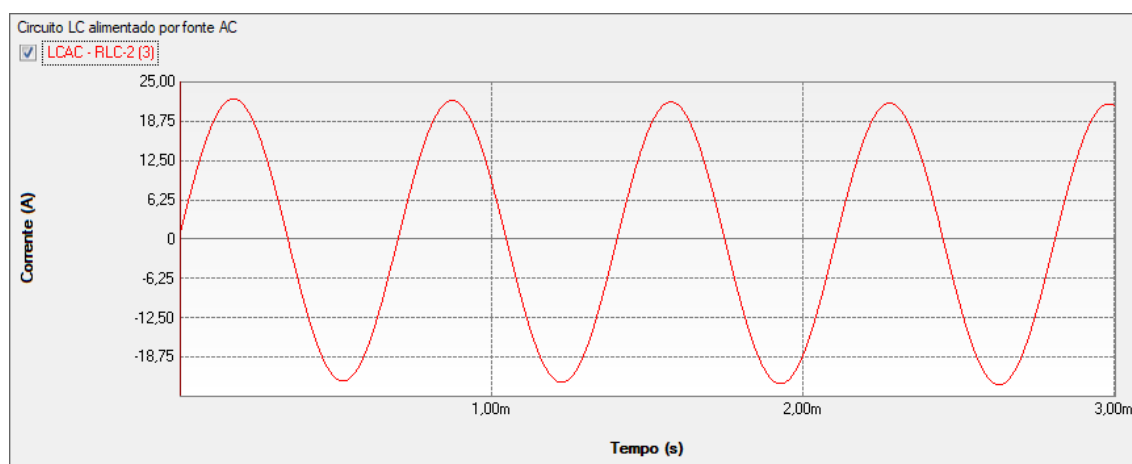






Figura 72 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito LC no software PS Simul.

4.10 Cenário 10 - Energização de circuito RL com fonte AC no instante $t = 0s$, com condições iniciais de corrente na indutância.

Tabela 27 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
10	 Resistor	RES $\rightarrow 10\ \Omega$	 R	Resistência $\rightarrow 10\ \Omega$
	 $L : I(0)$	L $\rightarrow 100\text{ mH}$	 L	Indutância $\rightarrow 100e-3\text{ H}$
		-		Hab. Inicial. $\rightarrow \text{Sim}$
		$I(0) \rightarrow 5\text{ A}$		Corrente Inic. $\rightarrow 5\text{ A}$

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), uma resistência de 10 ohms e uma indutância de 100 mH com condição de corrente inicial de 5 A. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na indutância. O passo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.10).

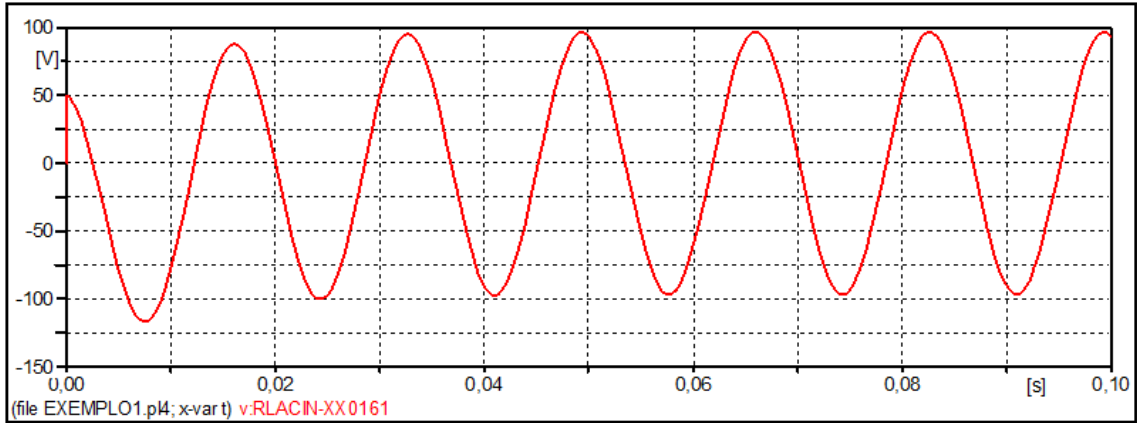


Figura 73- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software ATP.

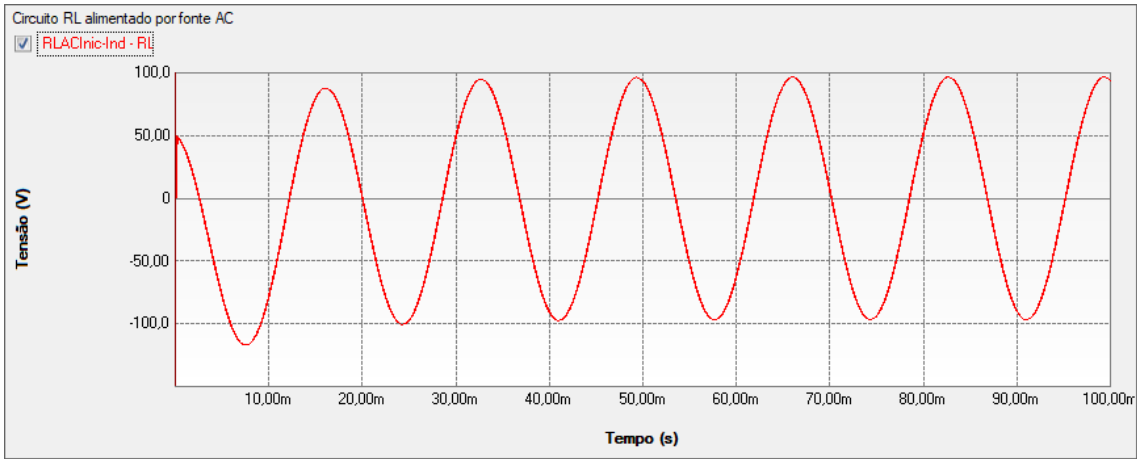


Figura 74 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RL no software PS Simul.

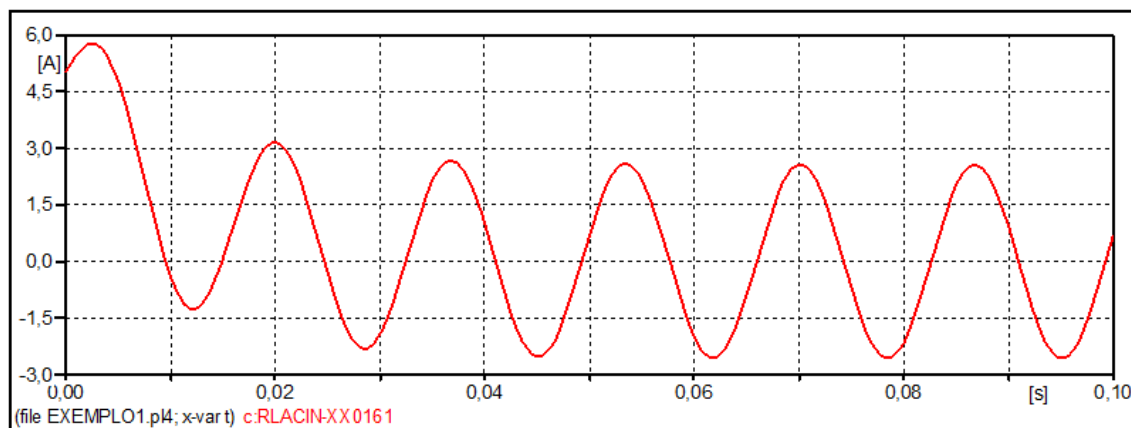


Figura 75- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software ATP.

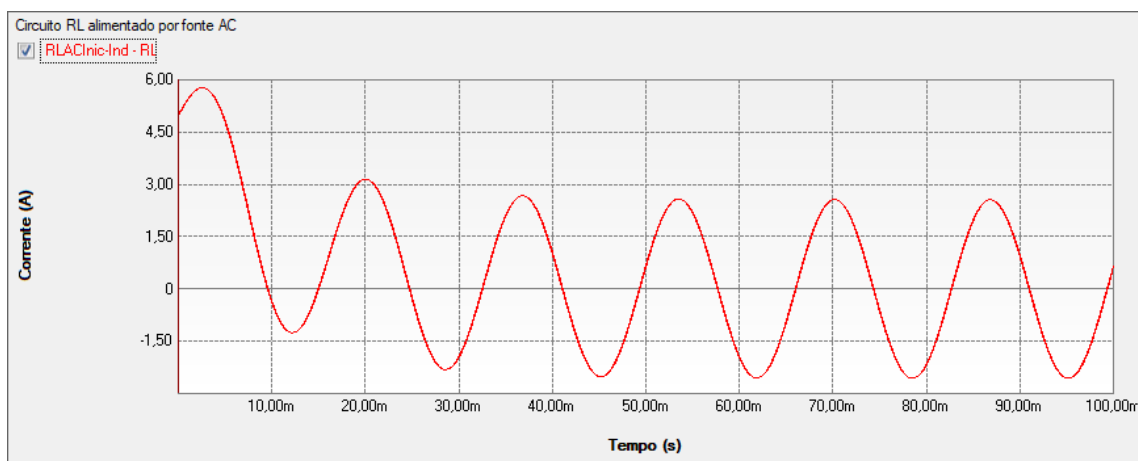



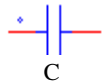


Figura 76 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RL no software PS Simul.

4.11 Cenário 11 - Energização de circuito RC com fonte AC no instante $t = 0s$, com condições iniciais de tensão na capacitância.

Tabela 28 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
11	 Resistor	RES $\rightarrow 10 \Omega$	 R	Resistência $\rightarrow 10 \Omega$
	 C : V(0)	C $\rightarrow 1000 \mu F$	 C	Capacitância $\rightarrow 1e-3 F$
		-		Hab. Inicial. $\rightarrow Sim$
		V(0)+ $\rightarrow 50 V$ V(0)- $\rightarrow 0 V$		Tensão Inic. $\rightarrow 50 V$

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), uma resistência de 10 ohms e uma capacitância de 1000 μF com condição de tensão inicial de 50 V. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na capacitância. O passo utilizado na simulação foi de 10 μs . Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.11).

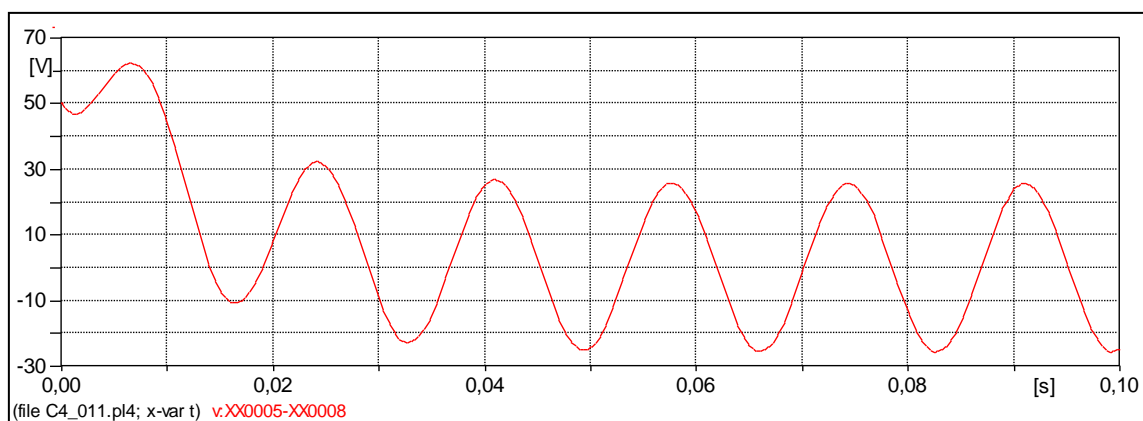


Figura 77- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software ATP.

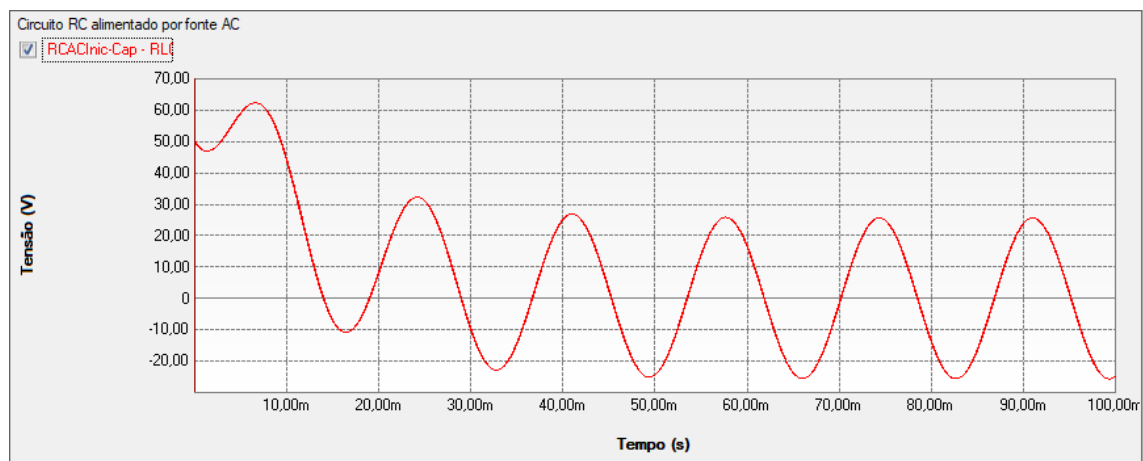


Figura 78 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RC no software PS Simul.

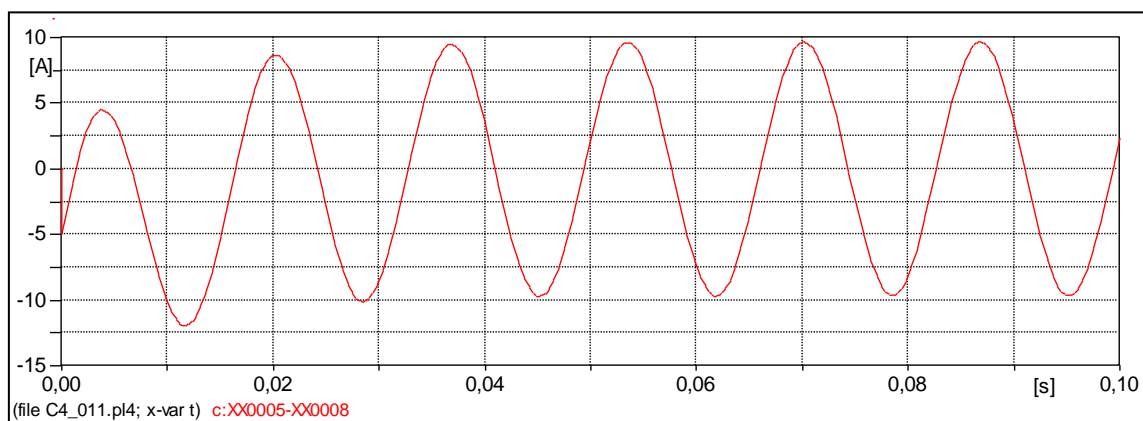


Figura 79- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software ATP.

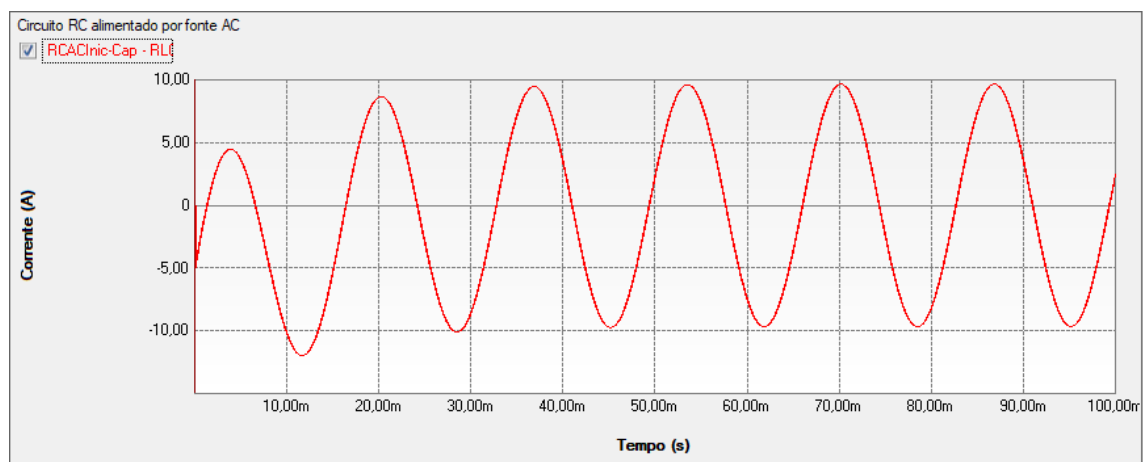








Figura 80 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RC no software PS Simul.

4.12 Cenário 12 - Energização de circuito RLC com fonte AC no instante $t = 0s$.

Tabela 29 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
12	 Resistor	RES $\rightarrow 0,01 \Omega$	 R	Resistência $\rightarrow 0,01 \Omega$
	 Inductor	L $\rightarrow 0,5 \text{ mH}$	 L	Indutância $\rightarrow 0,5e-3 \text{ H}$
		Kp $\rightarrow 0 \text{ pu}$		-
	 Capacitor	C $\rightarrow 25 \text{ uF}$	 C	Capacitância $\rightarrow 25e-6 \text{ F}$
		Ks $\rightarrow 0 \text{ pu}$		-

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), uma resistência de 0,01 ohms, uma indutância de 0,5 mH e uma capacitância de 25 uF com condição de tensão inicial de 50 V. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente na indutância. O passo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.12).

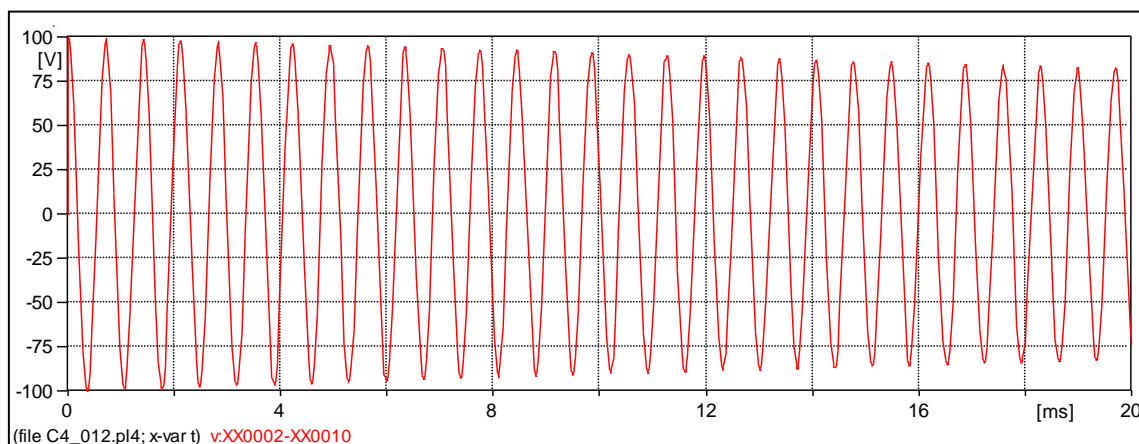


Figura 81- Forma de onda de tensão da simulação do circuito RLC no software ATP.

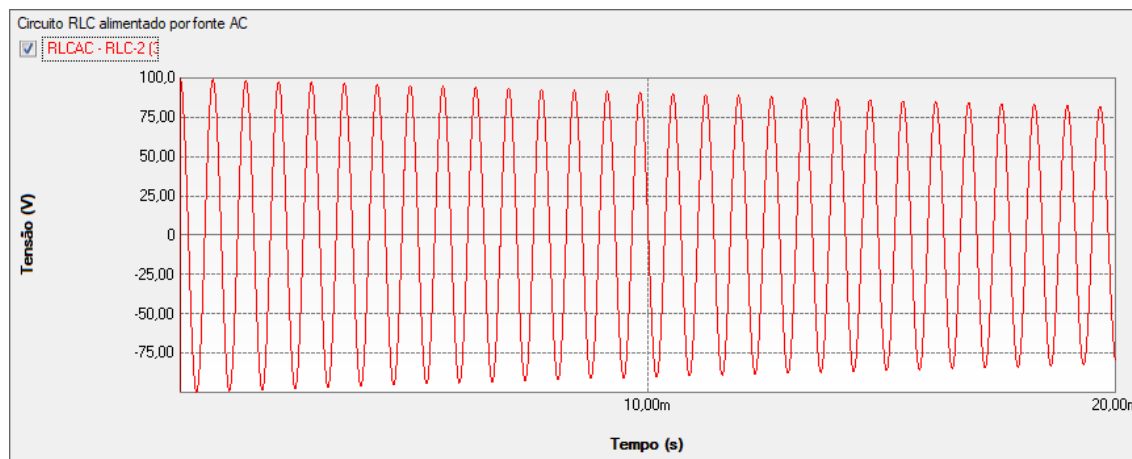


Figura 82 - Forma de onda de tensão da simulação do circuito RLC no software PS Simul.

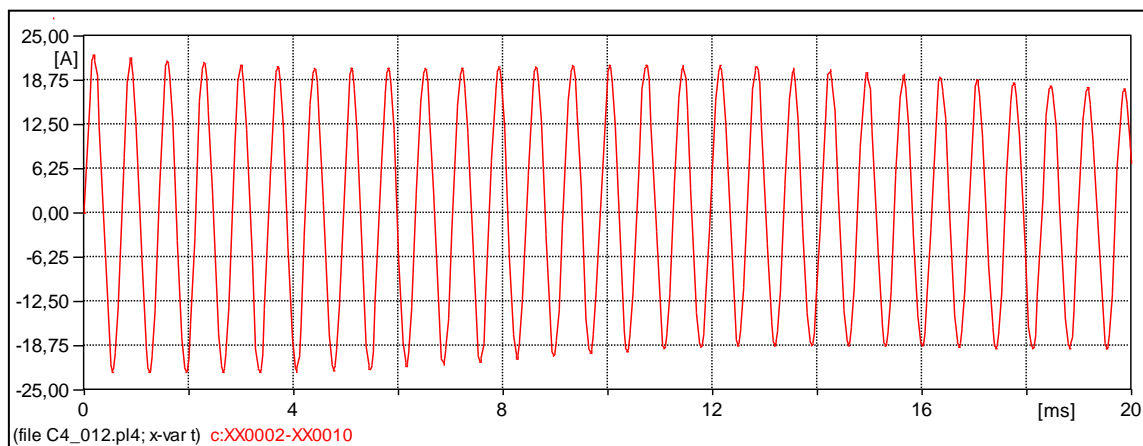


Figura 83- Forma de onda de corrente da simulação do circuito RLC no software ATP.

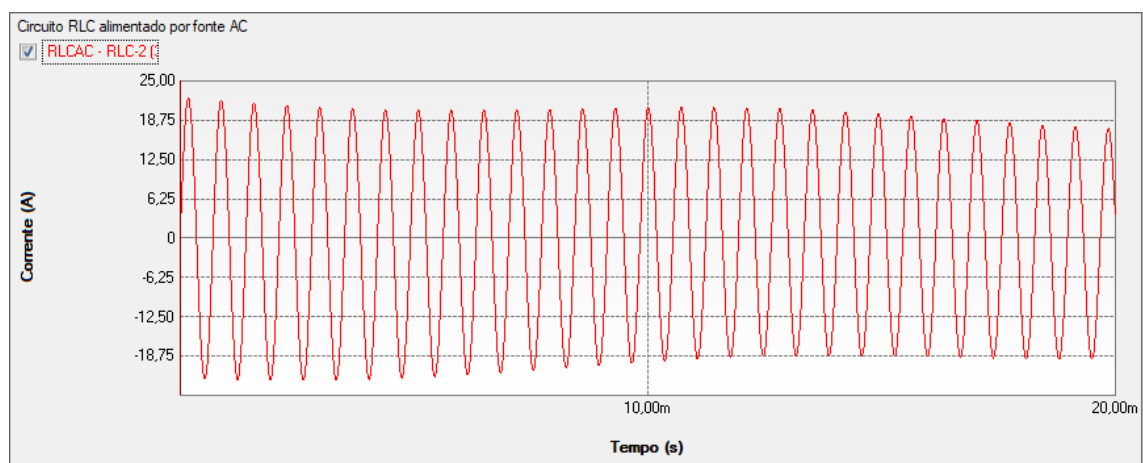

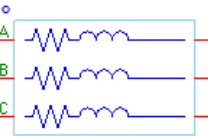


Figura 84 - Forma de onda de corrente da simulação do circuito RLC no software PS Simul.

4.13 Cenário 13 - Energização de circuito RL trifásico.

Tabela 30 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
13	 RLC	-	 RLC 3Φ Série	Tipo → RL
		-		Valores Iguais → Sim
		R_1=2=3 → 10 Ω		Resistência → 10 Ω
		L_1=2=3 → 100 mH		Indutância → 100e-3 H

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), conectada a uma carga RL série com $R = 10$ ohms e $L = 100$ mH, através de uma chave. A fase A da chave irá fechar no instante $t = 0$ s, a fase B em $t = 0,01$ s e a fase C em $t = 0,02$ s. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente que fluem pela carga. O passo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.13).

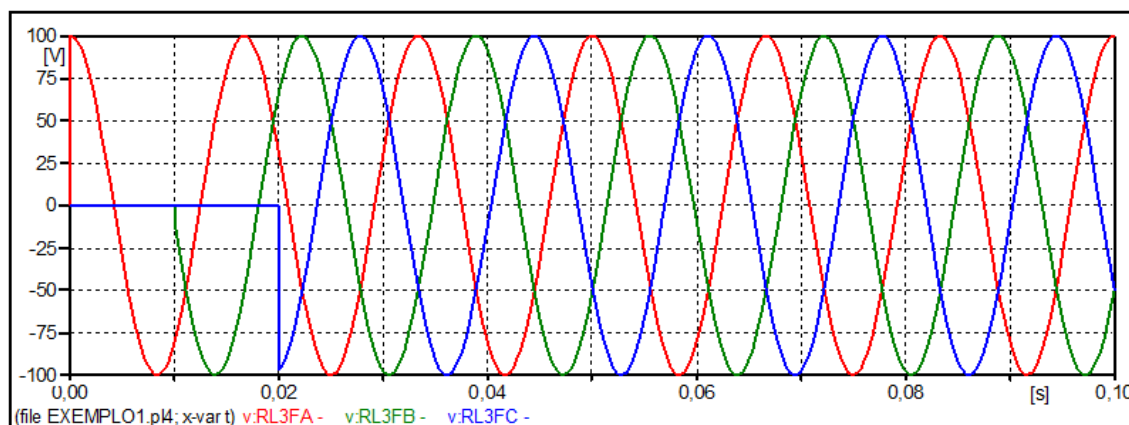


Figura 85- Forma de onda das tensões da simulação do circuito RL no software ATP.

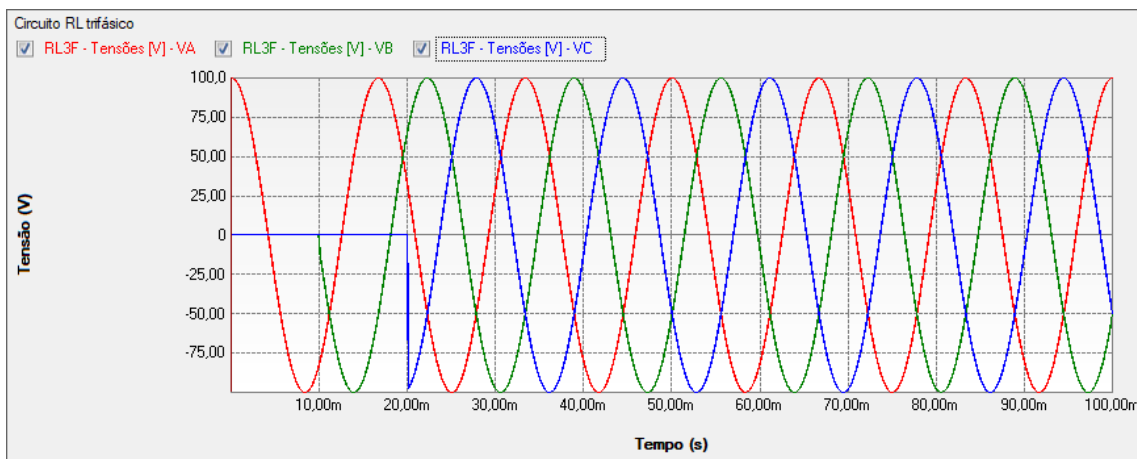


Figura 86 - Forma de onda das tensões da simulação do circuito RL no software PS Simul.

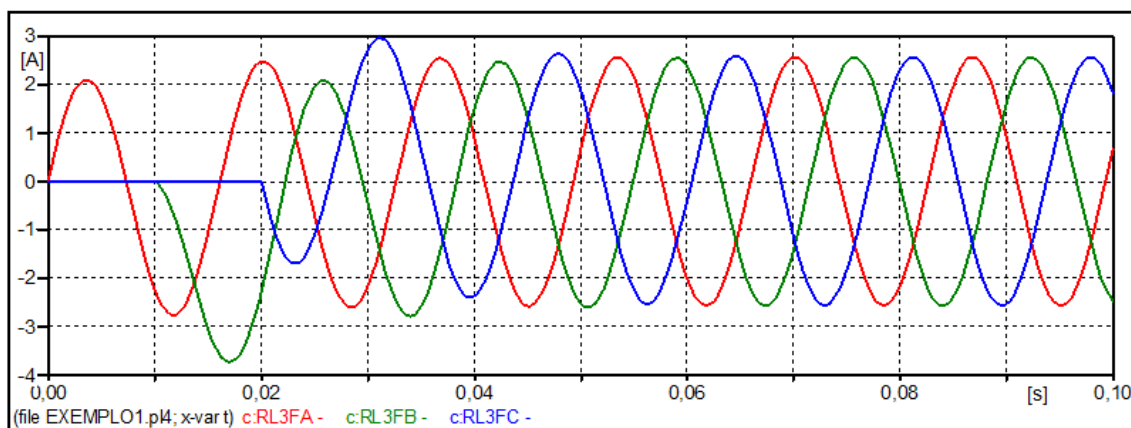


Figura 87- Forma de onda das correntes da simulação do circuito RL no software ATP.

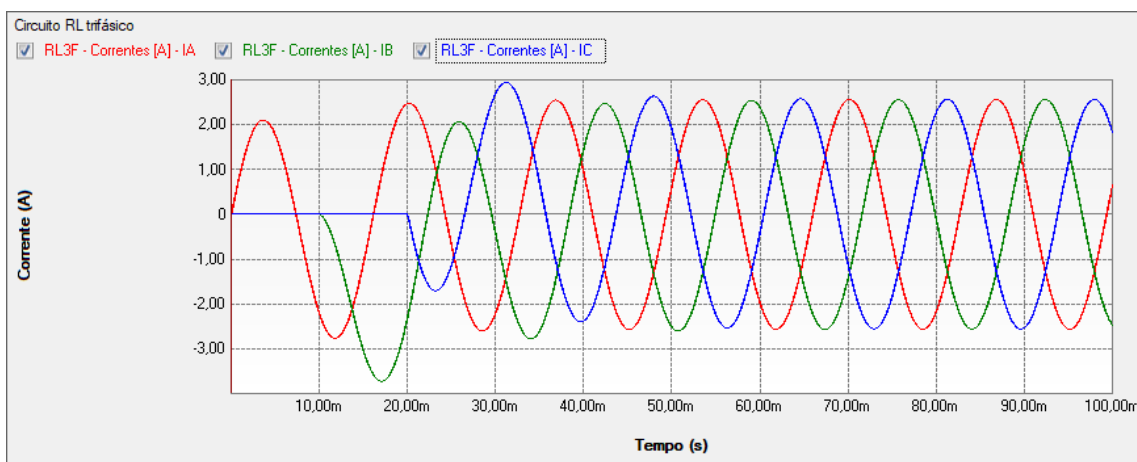

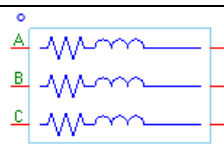


Figura 88 - Forma de onda das correntes da simulação do circuito RL no software PS Simul.

4.14 Cenário 14 - Energização de circuito RC trifásico.

Tabela 31 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
14	 RLC	-	 RLC 3Φ Série	Tipo → RC
		-		Valores Iguais → Sim
		R_1=2=3 → 10 Ω		Resistência → 10 Ω
		C_1=2=3 → 1000 uF		Capacitância → 1e-3 F

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), conectada a uma carga RC série com $R = 10$ ohms e $C = 1000$ uF, através de uma chave. A fase A da chave irá fechar no instante $t = 0$ s, a fase B em $t = 0,01$ s e a fase C em $t = 0,02$ s. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente que fluem pela carga. O passo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.14).

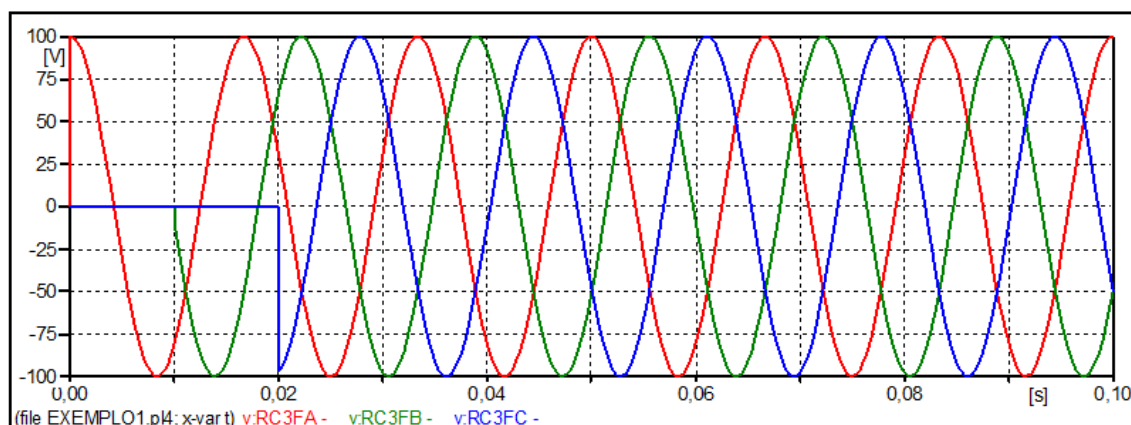


Figura 89- Forma de onda das tensões da simulação do circuito RC no software ATP.

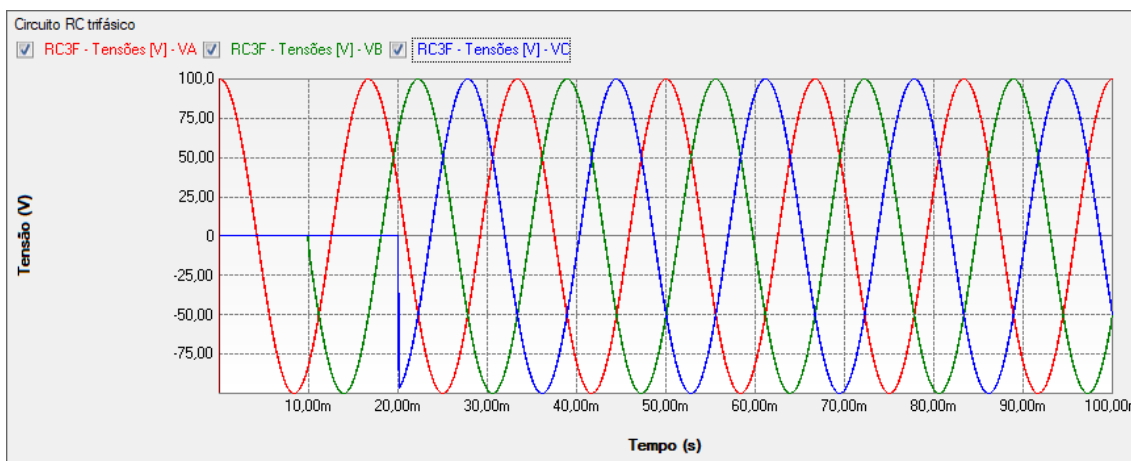


Figura 90 - Forma de onda das tensões da simulação do circuito RC no software PS Simul.

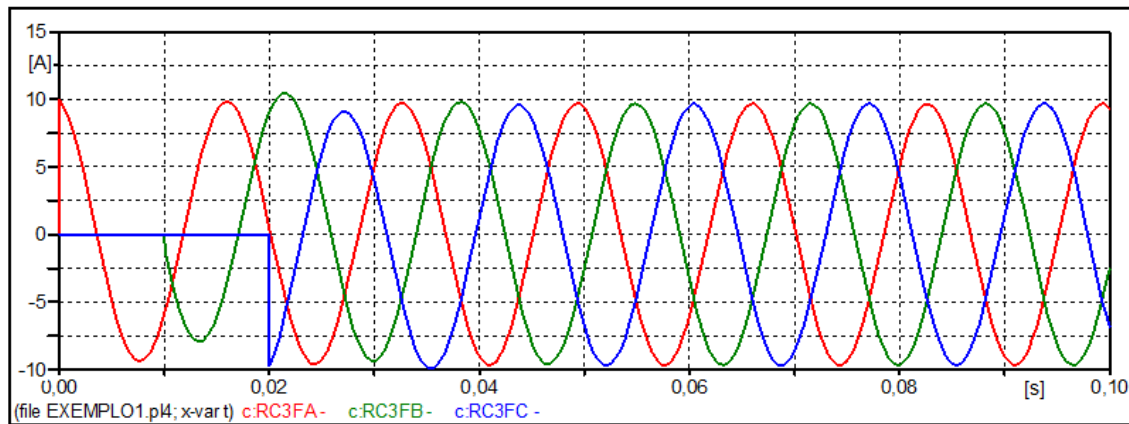


Figura 91- Forma de onda das correntes da simulação do circuito RC no software ATP.

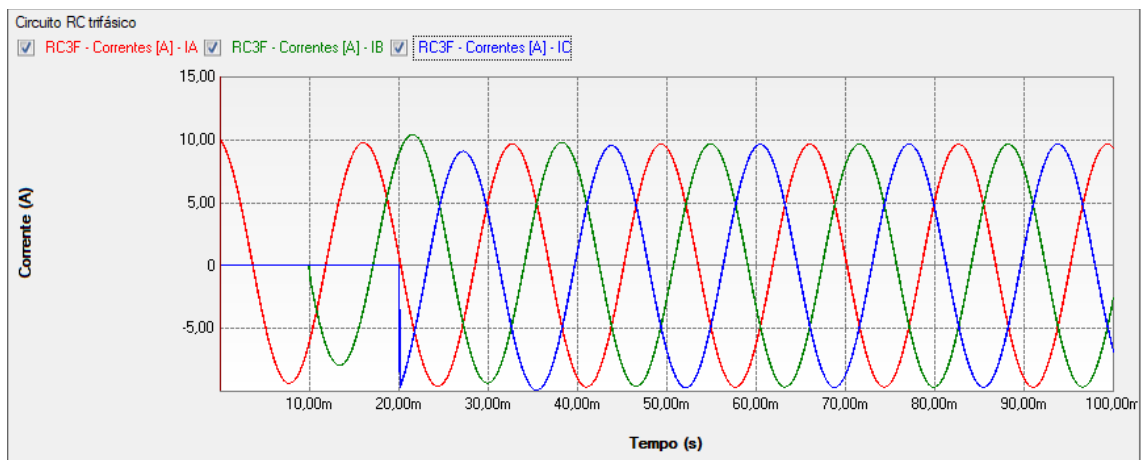

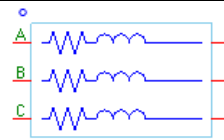


Figura 92 - Forma de onda das correntes da simulação do circuito RC no software PS Simul.

4.15 Cenário 15 - Energização de circuito LC trifásico.

Tabela 32 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
15	 RLC	-	 RLC 3Φ Série	Tipo → LC
		-		Valores Iguais → Sim
		$L_{1=2=3} \rightarrow 0,5 \text{ mH}$		Indutância → $0,5e-3 \text{ H}$
		$C_{1=2=3} \rightarrow 25 \text{ uF}$		Capacitância → $25e-6 \text{ F}$

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), conectada a uma carga LC série com $L = 0,5 \text{ mH}$ e $C = 25 \text{ uF}$, através de uma chave. A fase A da chave irá fechar no instante $t = 0\text{s}$, a fase B em $t = 0,002\text{s}$ e a fase C em $t = 0,004\text{s}$. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente que fluem pela carga. O passo utilizado na simulação foi de 10 us . Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.15).

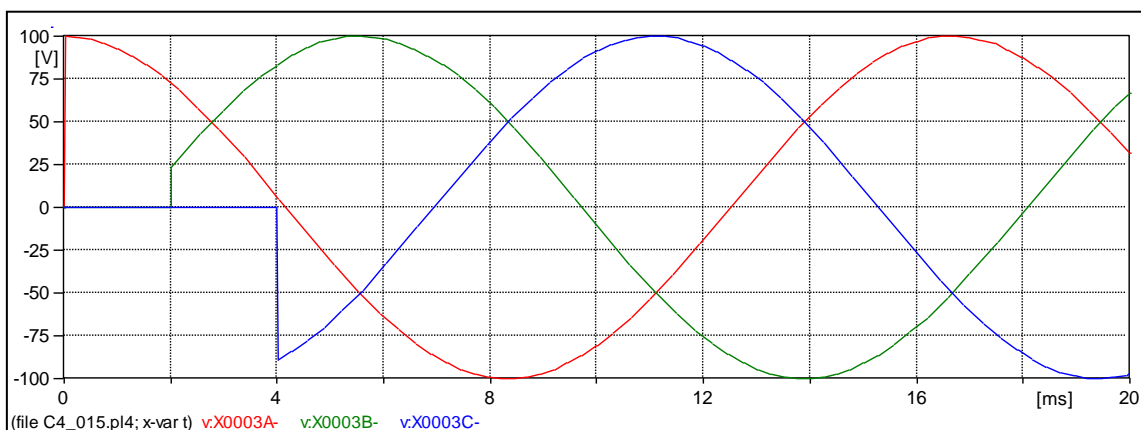


Figura 93- Forma de onda das tensões da simulação do circuito LC no software ATP.

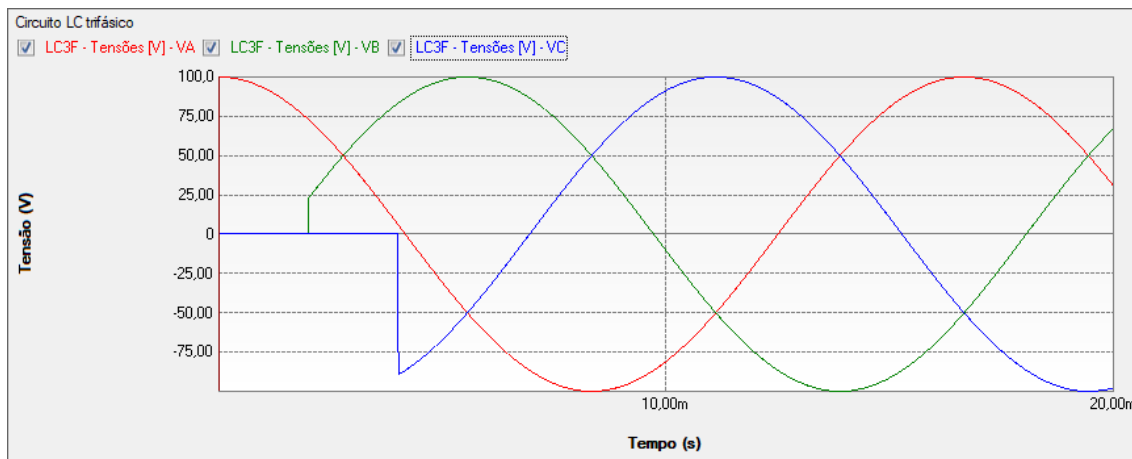


Figura 94 - Forma de onda das tensões da simulação do circuito LC no software PS Simul.

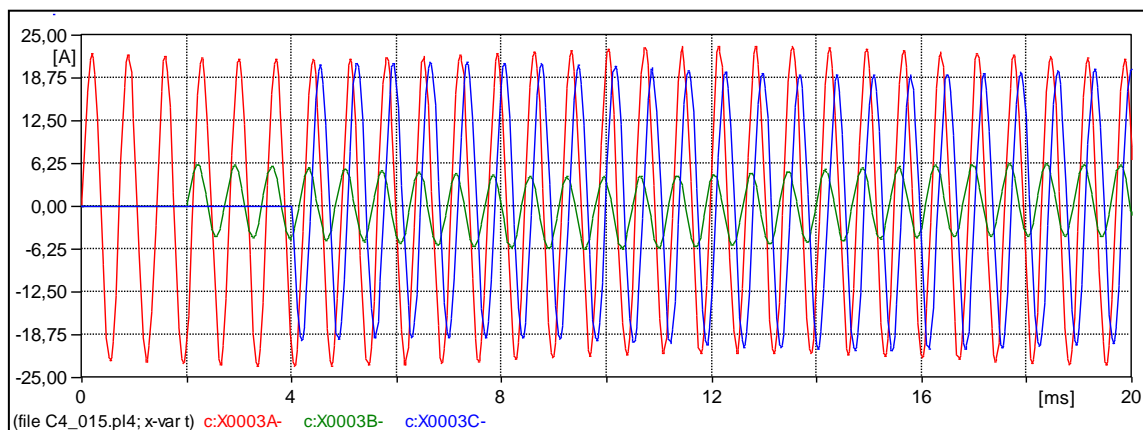


Figura 95- Forma de onda das correntes da simulação do circuito LC no software ATP.

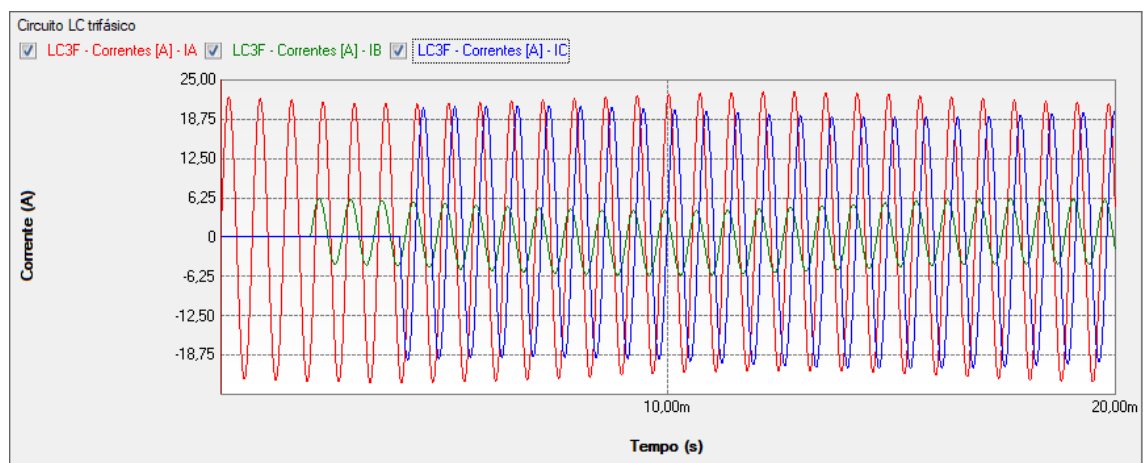
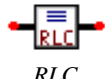
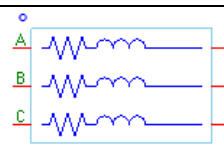


Figura 96 - Forma de onda das correntes da simulação do circuito LC no software PS Simul.

4.16 Cenário 16 - Energização de circuito RLC trifásico.

Tabela 33 - Parametrizações dos elementos passivos no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
16	 RLC	-	 RLC 3Φ Série	Tipo → RLC
		-		Valores Iguais → Sim
		$R_{1=2=3} \rightarrow 0,1 \, \Omega$		Resistência → $0,1 \, \Omega$
		$L_{1=2=3} \rightarrow 0,5 \, \text{mH}$		Indutância → $0,5 \times 10^{-3} \, \text{H}$
		$C_{1=2=3} \rightarrow 25 \, \mu\text{F}$		Capacitância → $25 \times 10^{-6} \, \text{F}$

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz), conectada a uma carga RLC série com $R = 0,1 \, \Omega$, $L = 0,5 \, \text{mH}$ e $C = 25 \, \mu\text{F}$, através de uma chave. A fase A da chave irá fechar no instante $t = 0\text{s}$, a fase B em $t = 0,001\text{s}$ e a fase C em $t = 0,002\text{s}$. Foram medidas as variáveis de tensão e corrente que fluem pela carga. O passo utilizado na simulação foi de $10 \, \mu\text{s}$. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (4.17.16).

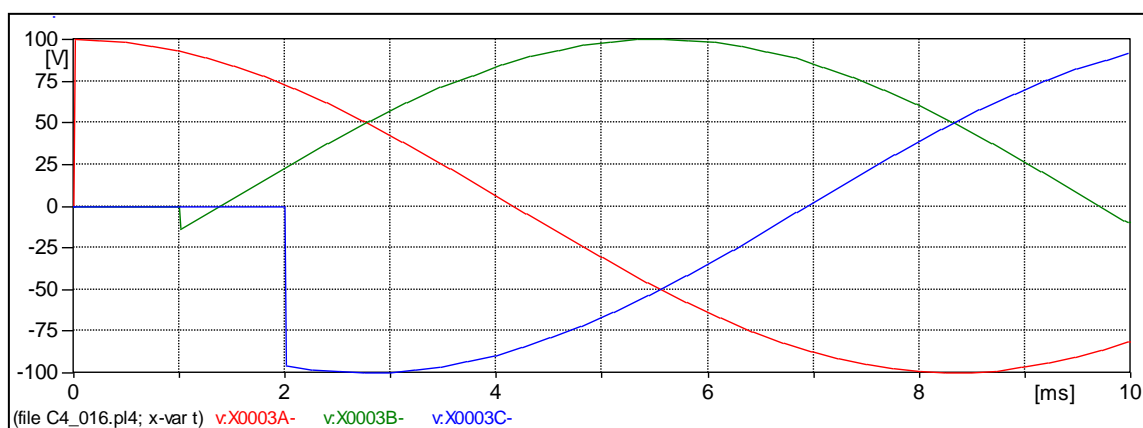


Figura 97- Forma de onda das tensões da simulação do circuito RLC no software ATP.

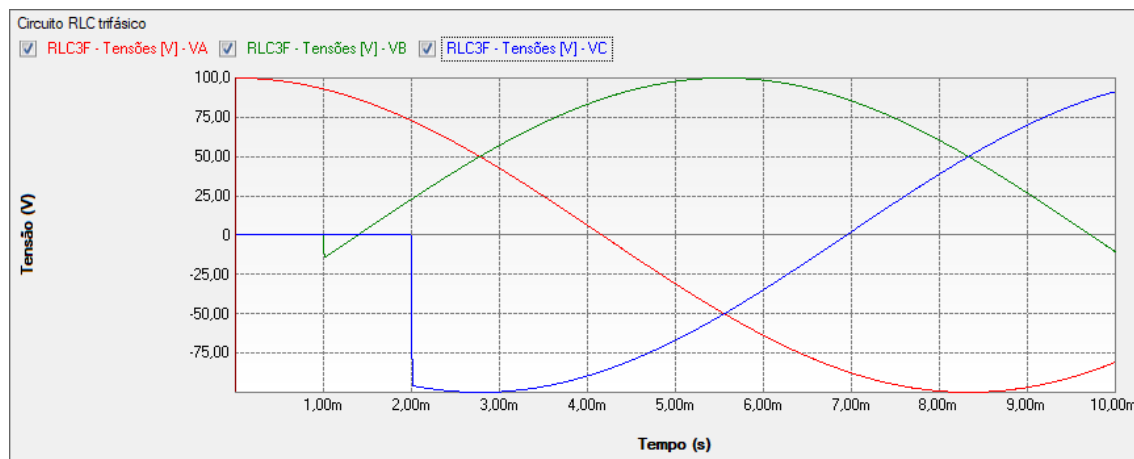


Figura 98 - Forma de onda das tensões da simulação do circuito RLC no software PS Simul.

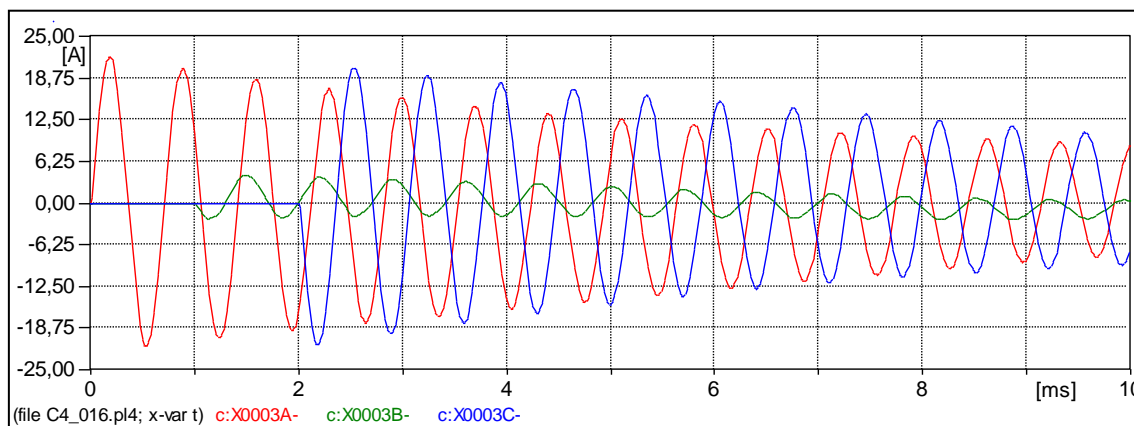


Figura 99- Forma de onda das correntes da simulação do circuito RLC no software ATP.

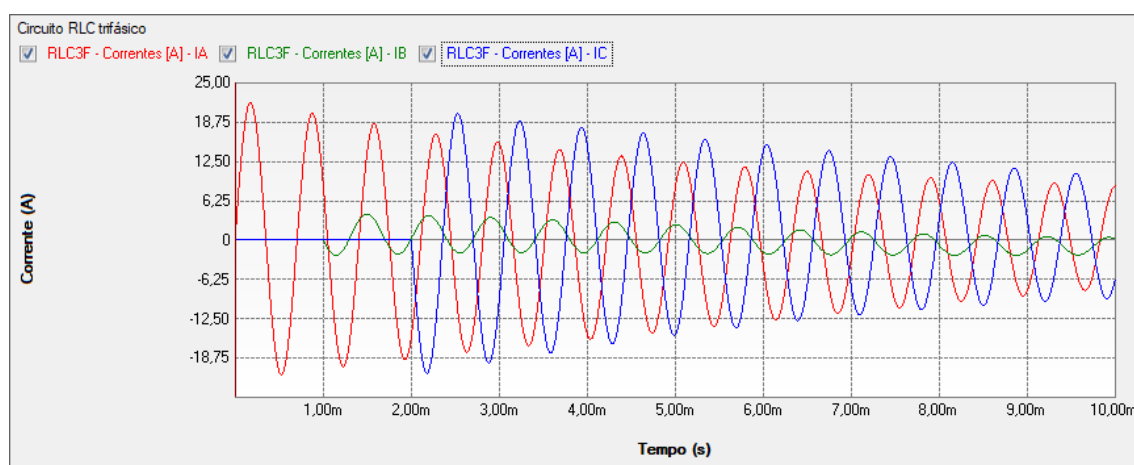


Figura 100 - Forma de onda das correntes da simulação do circuito RLC no software PS Simul.

4.17 Circuitos modelados para as validações realizadas

4.17.1 Cenário 01 – Energização RL com fonte DC (4.1)

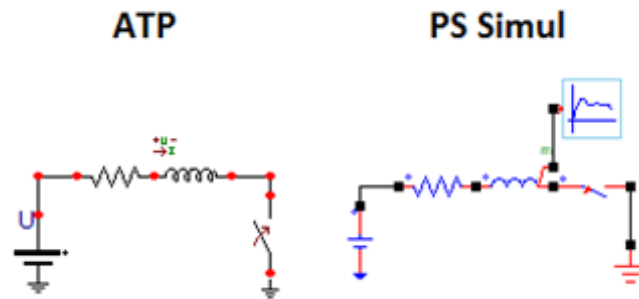


Figura 101 - Circuitos RL alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.

4.17.2 Cenário 02 – Energização RC com fonte DC (4.2)

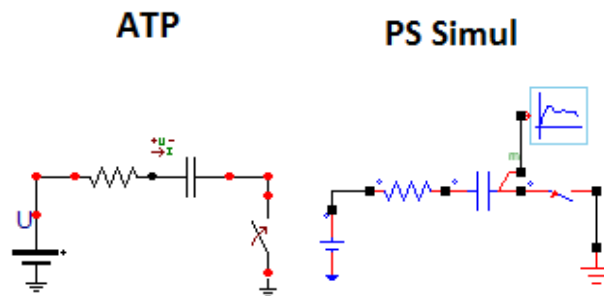


Figura 102 – Circuitos RC alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.

4.17.3 Cenário 03 – Energização LC com fonte DC (4.3)

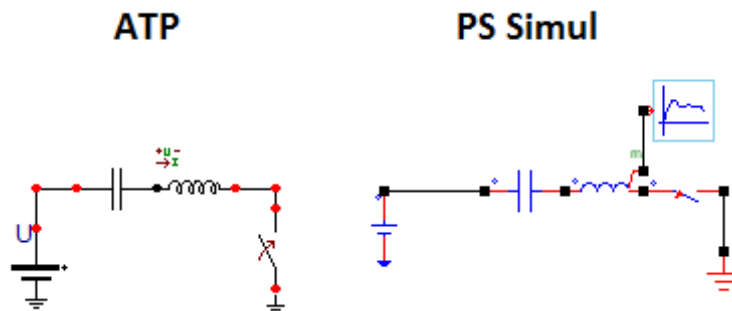


Figura 103 – Circuitos LC alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.

4.17.4 Cenário 04 – Energização RL com fonte DC – Condições Iniciais (4.4)

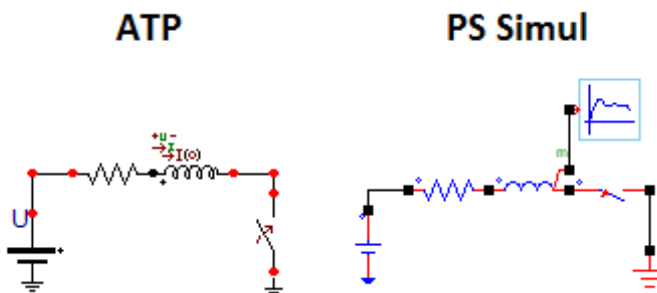


Figura 104 – Circuitos RL alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.

4.17.5 Cenário 05 – Energização RC com fonte DC – Condições Iniciais (4.5)

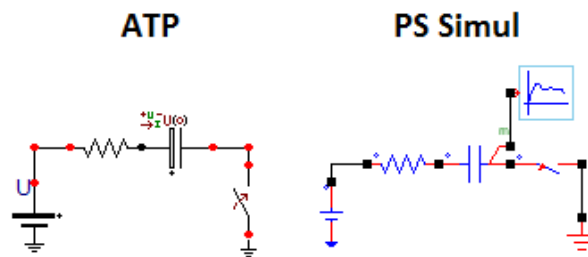


Figura 105 – Circuitos RC alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.

4.17.6 Cenário 06 – Energização RLC com fonte DC (4.6)

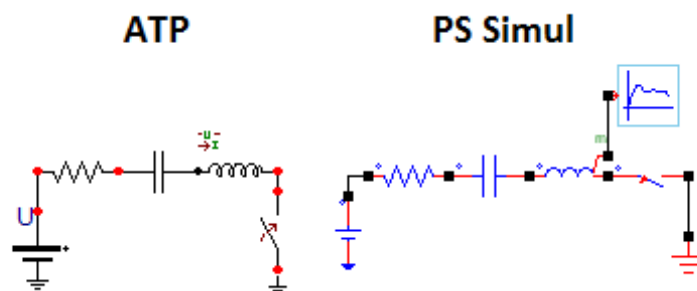


Figura 106 – Circuitos RLC alimentados por fonte DC modelados em ambos os softwares.

4.17.7 Cenário 07 – Energização RL com fonte AC (4.7)

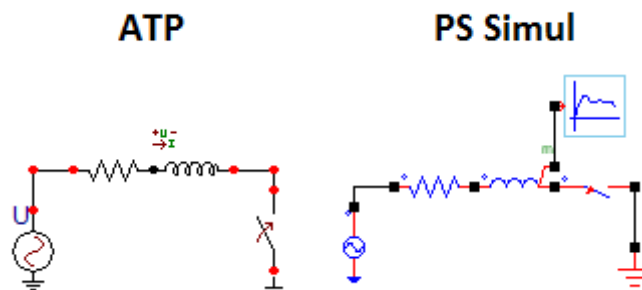


Figura 107 – Circuitos RL alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.

4.17.8 Cenário 08 – Energização RC com fonte AC (4.8)

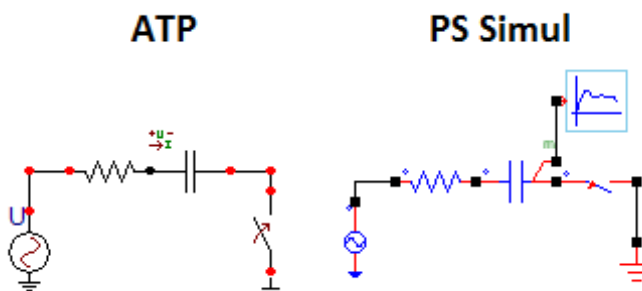


Figura 108 – Circuitos RC alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.

4.17.9 Cenário 09 – Energização LC com fonte AC (4.9)

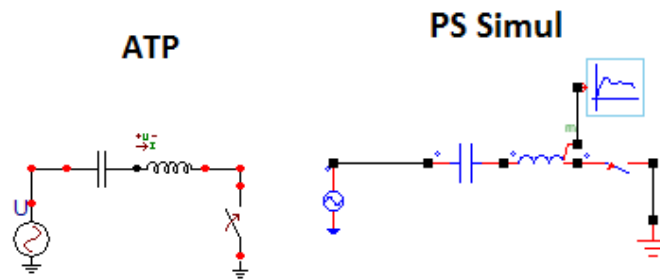


Figura 109 – Circuitos LC alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.

4.17.10 Cenário 10 – Energização RL com fonte AC – Condições Iniciais (4.10)

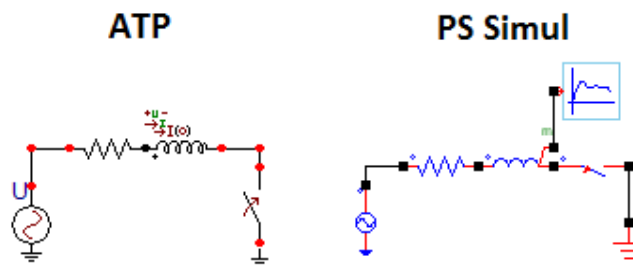


Figura 110 – Circuitos RL alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.

4.17.11 Cenário 11 – Energização RC com fonte AC – Condições Iniciais (4.11)

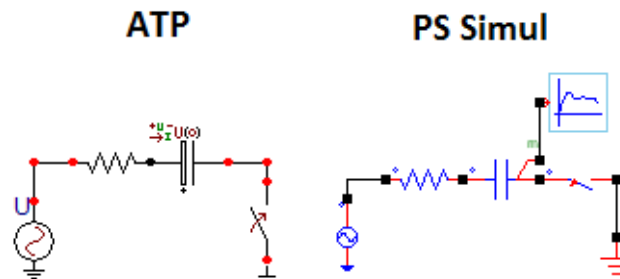


Figura 111 – Circuitos RC alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.

4.17.12 Cenário 12 – Energização RLC com fonte AC (4.12)

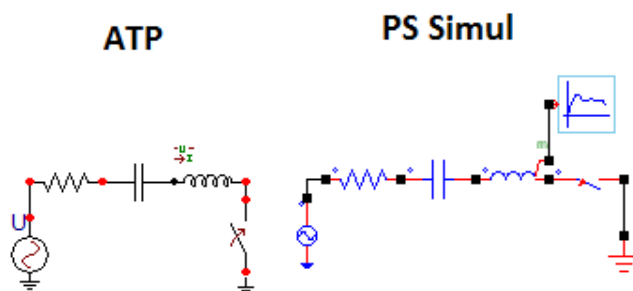


Figura 112 – Circuitos RLC alimentados por fonte AC modelados em ambos os softwares.

4.17.13 Cenário 13 – Energização RL trifásico (4.13)

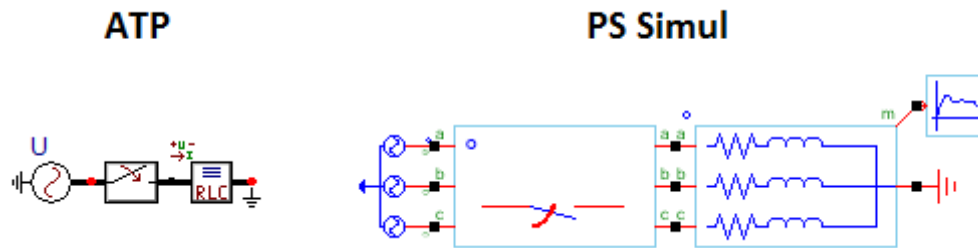


Figura 113 – Circuitos RL trifásicos modelados em ambos os softwares.

4.17.14 Cenário 14 – Energização RC trifásico (4.14)

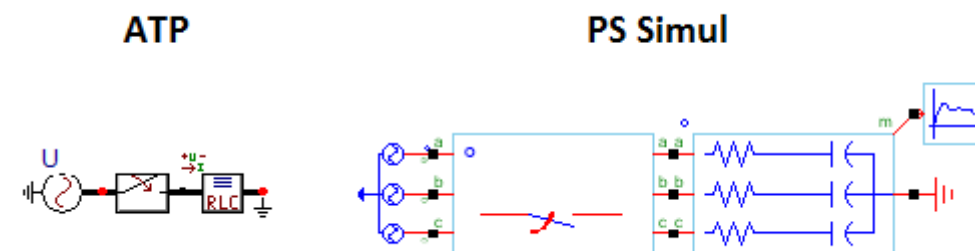


Figura 114 – Circuitos RC trifásicos modelados em ambos os softwares.

4.17.15 Cenário 15 – Energização LC trifásico (4.15)

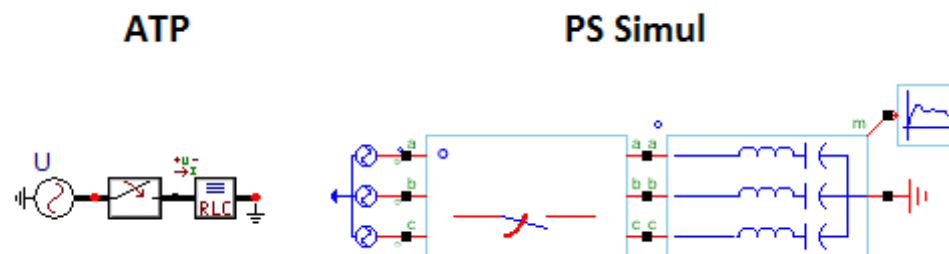


Figura 115 – Circuitos LC trifásicos modelados em ambos os softwares.

4.17.16 Cenário 16 – Energização RLC trifásico (4.16)

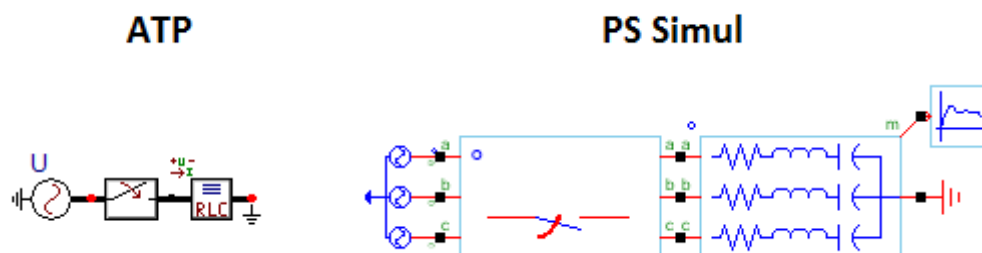



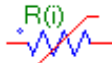
Figura 116 – Circuitos RLC trifásicos modelados em ambos os softwares.

5 Capítulo 05 - Elementos Não Lineares

Este capítulo abrange os principais elementos não lineares disponibilizados pelo software ATP e seus equivalentes no software PS Simul. A fim de validá-los, foi modelado um caso para cada tipo de elemento não linear do software ATP, sendo estes alimentados por fontes AC.

5.1 Cenário 01 - Resistência não linear (type 99) alimentada por tensão AC.

Tabela 34 - Parametrizações dos elementos não lineares no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>R(i) Type 99</i>	Vflash → 0 V	 <i>Rvar(i) – Pseudo Linear</i>	Tensão p/ Operar → 0 V
	Tdelay → 0 s		T. Mín. Operando → 0 s
	-		Forçar Segm. Inic → Sim
	Jump → 0		Segm. Inic → 0
	VSEAL → 0 V		Tensão p/ Abrir → 0 V

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 400 kV de pico (60 Hz) conectada a uma resistência não-linear do tipo 99 do ATP (ou do tipo R(i) Pseudo-Linear do PS Simul). Foi medida a corrente da resistência. O passo de tempo utilizado na simulação foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (5.10.1). Nesta simulação, a curva cadastrada foi obtida de um para-raios ZnO, sem gap, com tensão nominal de 144 kV e segue apresentada abaixo:

Tabela 35 – Curva cadastrada na resistência não linear tipo 99 (Pseudo-Linear).

Corrente (kA)	1,5	3	5	10	20	40	100
Tensão (kV)	289	302	312	328	361	394	400

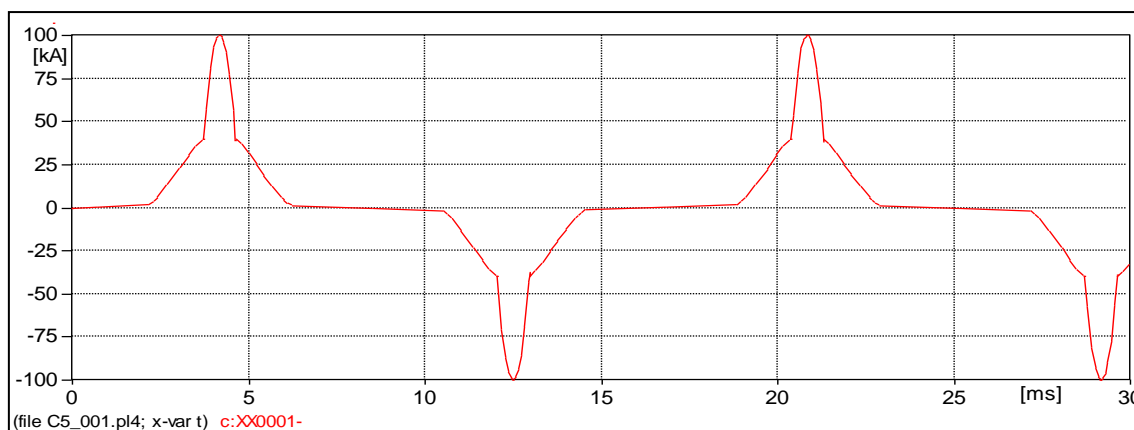


Figura 117- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.

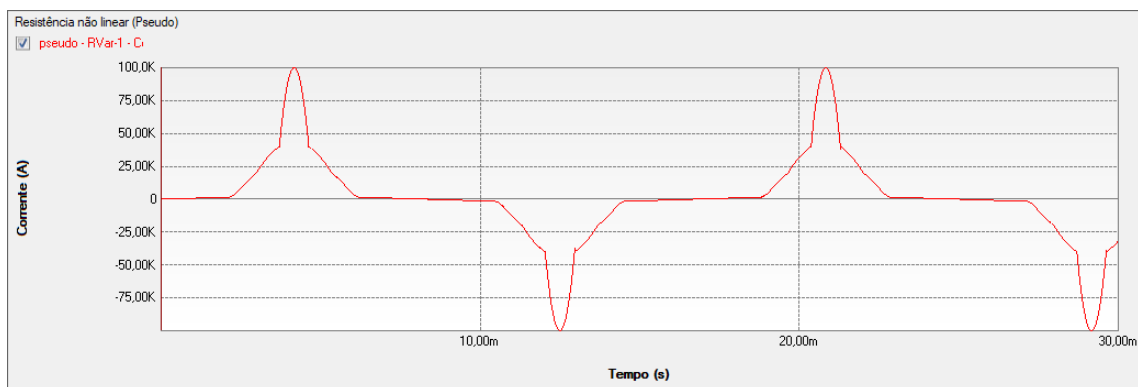


Figura 118 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.

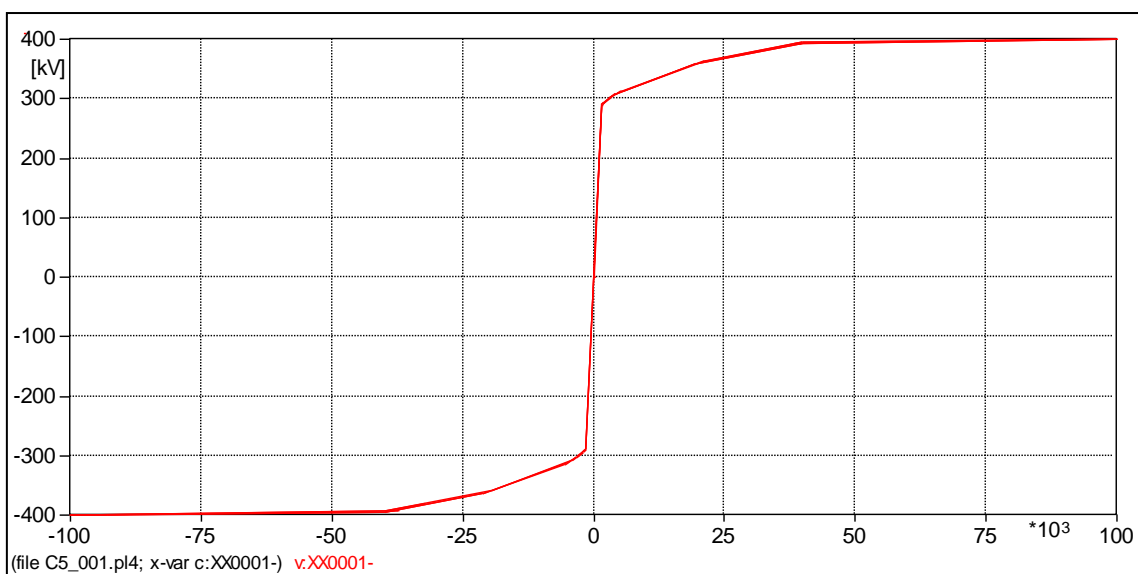


Figura 119 – Curva levantada da simulação no software ATP (V x I).

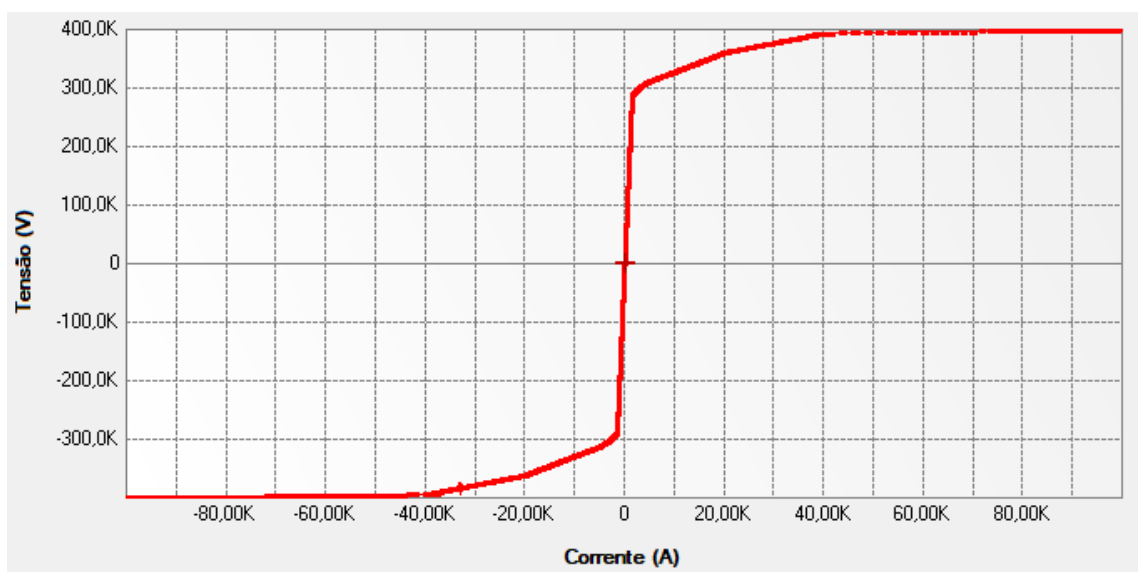
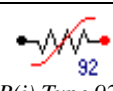
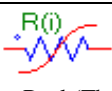


Figura 120 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (V x I).

5.2 Cenário 02 - Resistência não linear (type 92) alimentada por tensão AC.

Tabela 36 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>R(i) Type 92</i>	NFLASH \rightarrow 0	 <i>Rvar(i) – Real (Thevenin)</i>	Tipo de Fch/Abr \rightarrow Fch/Abr N Vezes
	RLIN \rightarrow 0 Ω		R série \rightarrow 0 Ω
	Vzero \rightarrow 0 V		Tensão p/ Operar \rightarrow 0 V

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 400 kV de pico (60 Hz) conectada a uma resistência não-linear do tipo 92 do ATP (ou do tipo R(i) Thevenin do PS Simul). Foi medida a corrente da resistência. O passo de tempo utilizado na simulação foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (5.10.2). A curva cadastrada foi obtida de um para-raios ZnO, sem gap, com tensão nominal de 144 kV e segue apresentada abaixo:

Tabela 37 – Curva cadastrada na resistência não linear tipo 92 (Thevenin).

Corrente (kA)	1,5	3	5	10	20	40	100
Tensão (kV)	289	302	312	328	361	394	400

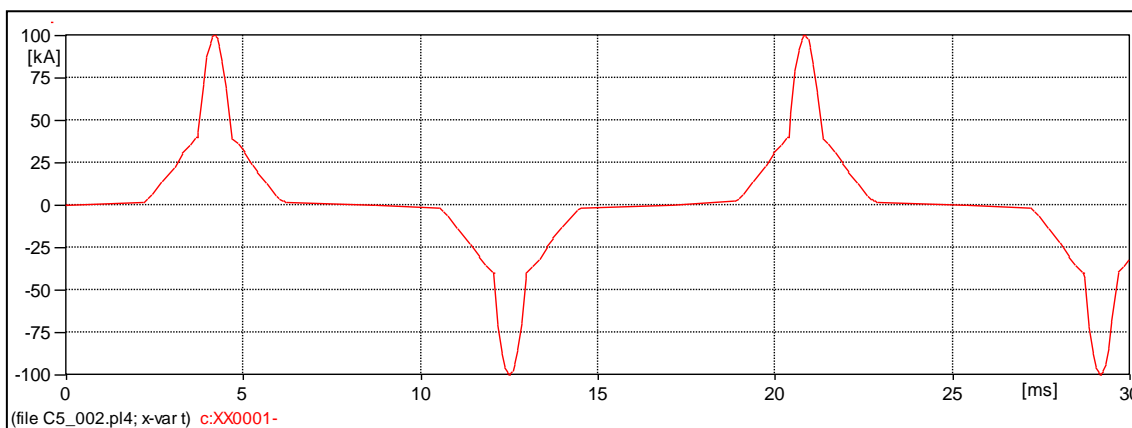


Figura 121- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.

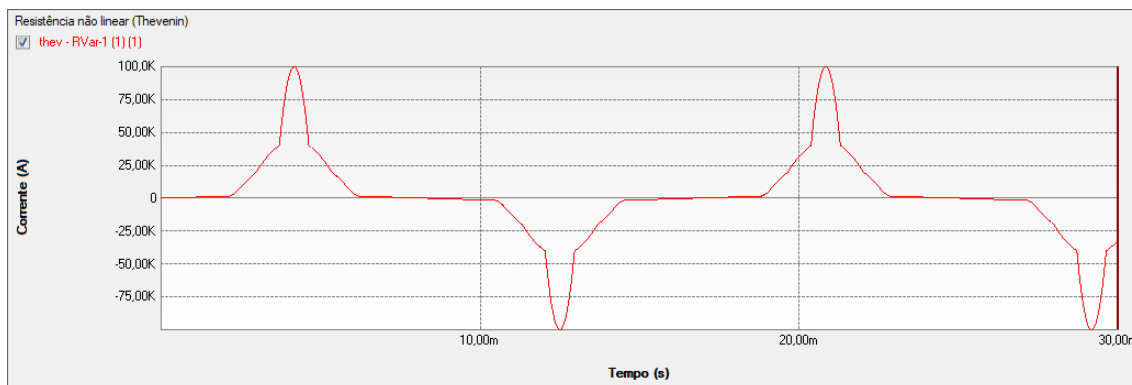


Figura 122 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.

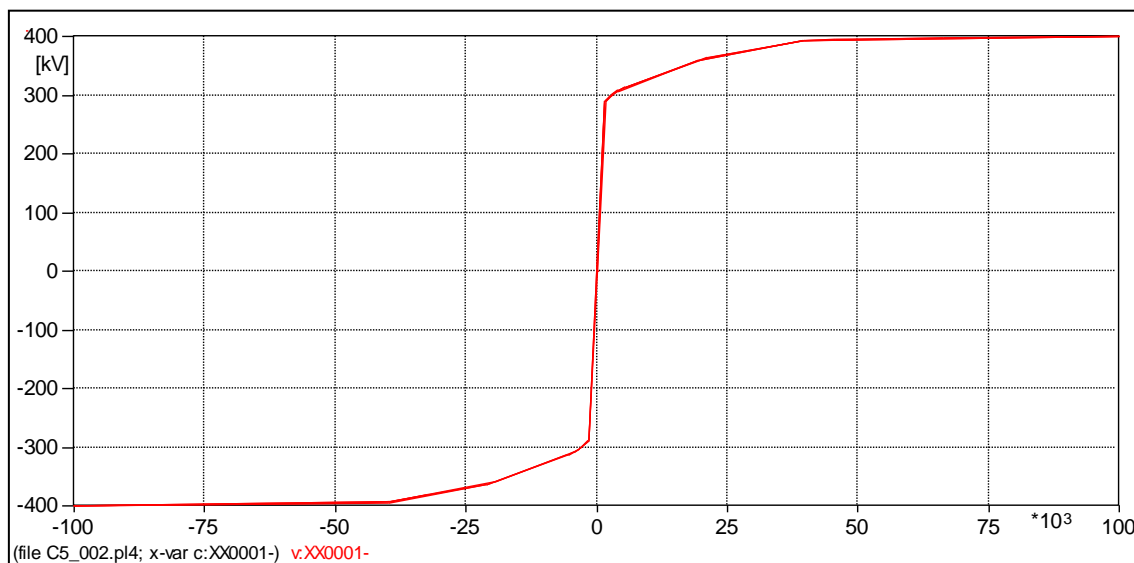


Figura 123 – Curva levantada da simulação no software ATP (V x I).

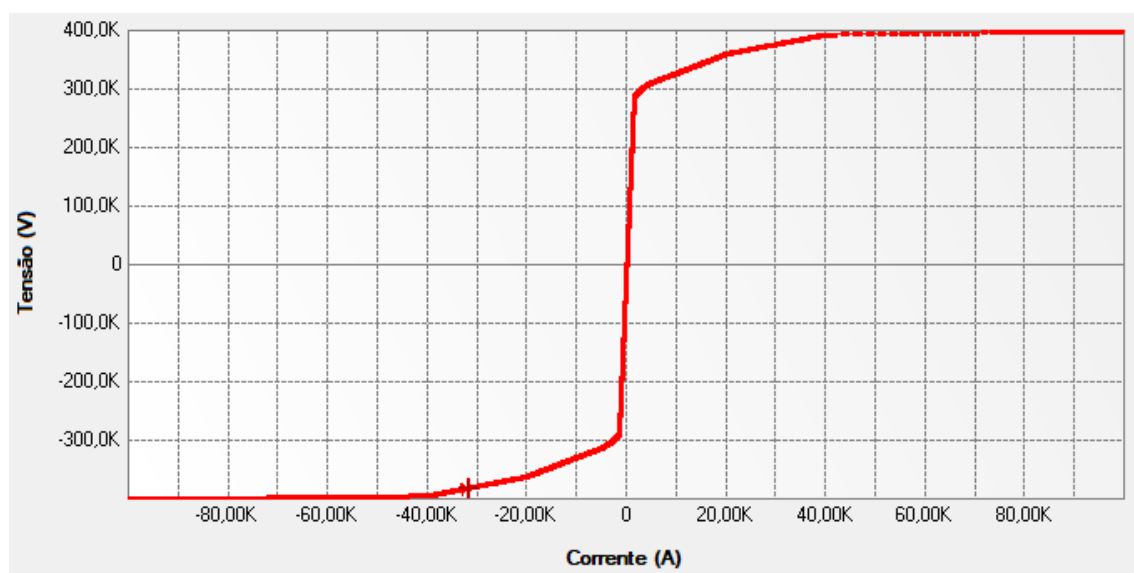




Figura 124 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (V x I).

5.3 Cenário 03 - Resistência não linear (type 97) alimentada por tensão AC.

Tabela 38 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 $R(t)$ Type 97	Vflash \rightarrow 0 V	 $Rvar(t)$ – Pseudo Linear	Tensão p/ Operar \rightarrow 0 V
	Tdelay \rightarrow 0 s		Delay p/ Operar \rightarrow 0 s

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (50 Hz) conectada a uma resistência não-linear do tipo 97 do ATP (ou do tipo R(t) Pseudo-linear do PS Simul). Foi medida a corrente da resistência. O passo de tempo utilizado na simulação foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (5.10.3). A curva cadastrada neste cenário foi a seguinte:

Tabela 39 – Curva cadastrada na resistência não linear tipo 97 (Pseudo-Linear).

Tempo (s)	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Resistência (Ω)	1	2	3	4	5

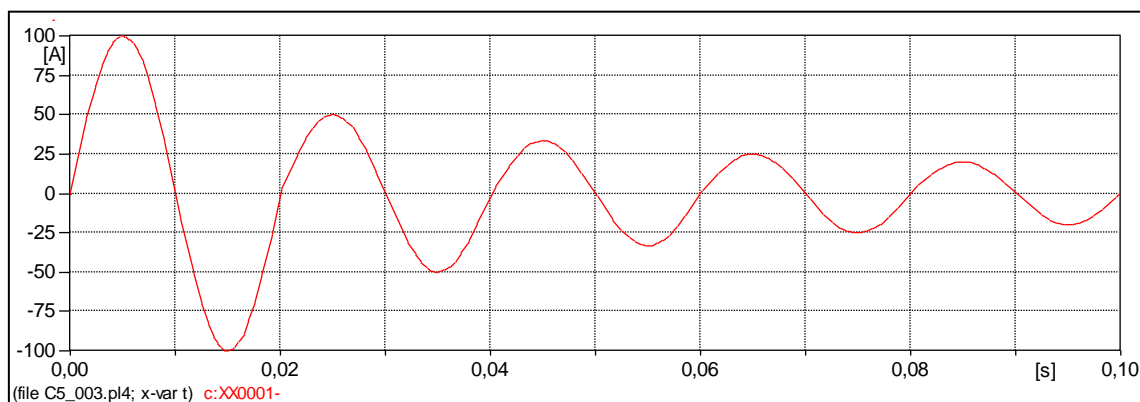


Figura 125- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.

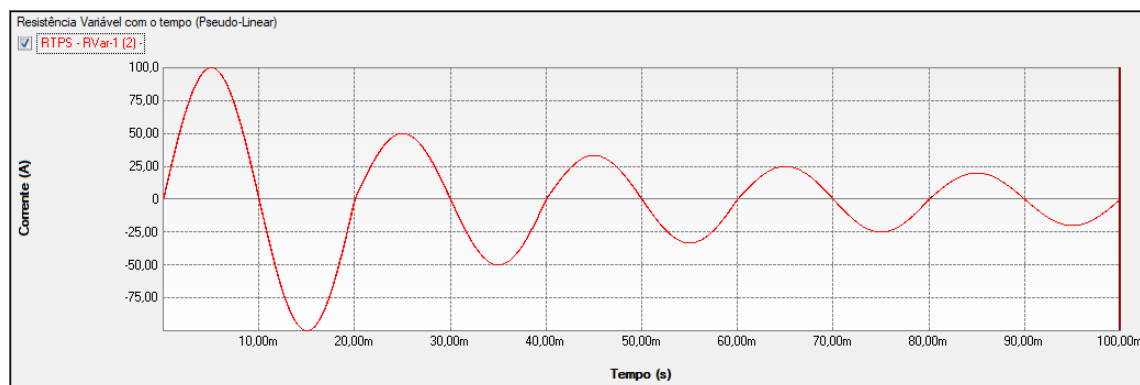
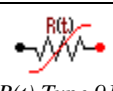
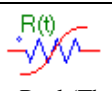


Figura 126 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.

5.4 Cenário 04 - Resistência não linear (type 91) alimentada por tensão AC.

Tabela 40 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>R(t) Type 91</i>	Vstart → 1 V	 <i>Rvar(t) – Real (Thevenin)</i>	Tensão p/ Operar → 1 V

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz) conectada a uma resistência não-linear do tipo 91 do ATP (ou do tipo R(t) Thevenin do PS Simul). Foi medida a corrente da resistência. O passo de tempo utilizado na simulação foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (5.10.4). A curva cadastrada neste cenário foi a seguinte:

Tabela 41 – Curva cadastrada na resistência não linear tipo 91 (Thevenin).

Tempo (s)	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Resistência (Ω)	1	2	3	4	5

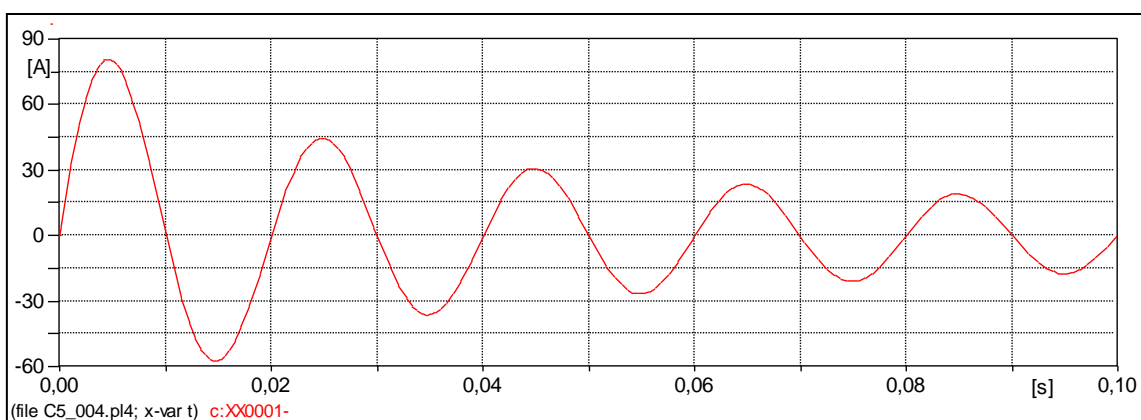


Figura 127- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.

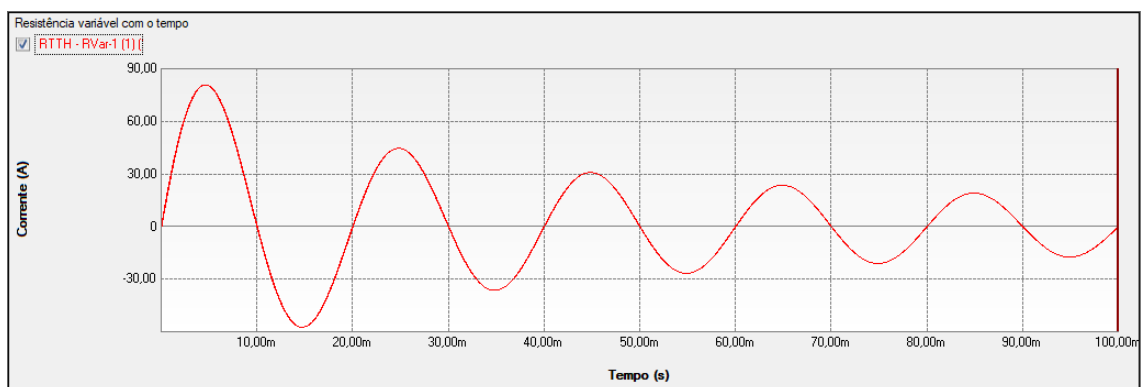




Figura 128 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.

5.5 Cenário 05 - Indutância não linear (type 98) alimentada por tensão AC.

Tabela 42 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>L(i) Type 98</i>	CURR → 0 A	 Lvar – Pseudo Linear	Corrente Inicial (I0) → 0 A
	FLUX → 0 Wb		Fluxo Inicial (Φ0) → 0 Wb

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 24 kV de pico (60 Hz) conectada a uma indutância não-linear do tipo 98 do ATP (ou do tipo Lvar - Pseudo-Linear do PS Simul), visando provoca o fluxo (pico) de 63,65 Wb. Foi medida a corrente da indutância. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (5.10.5). O passo de tempo utilizado na simulação foi de 1 us. A curva cadastrada neste cenário foi obtida de um transformador e segue apresentada abaixo:

Tabela 43 – Curva cadastrada na indutância não linear tipo 98 (Pseudo-Linear).

Corrente (A)	0,041	0,41	4,1	41	100
Fluxo (Wb)	51,81	58,41	63,28	65,53	66,00

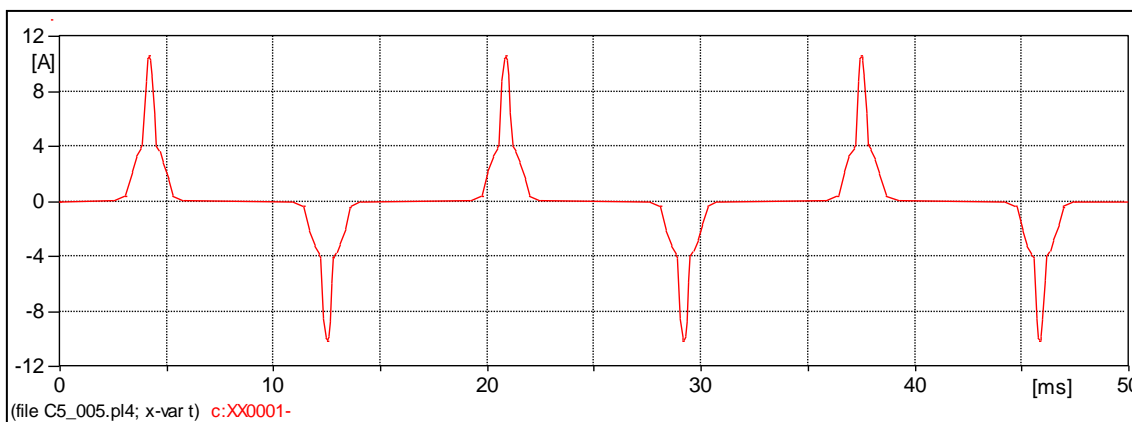


Figura 129- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.

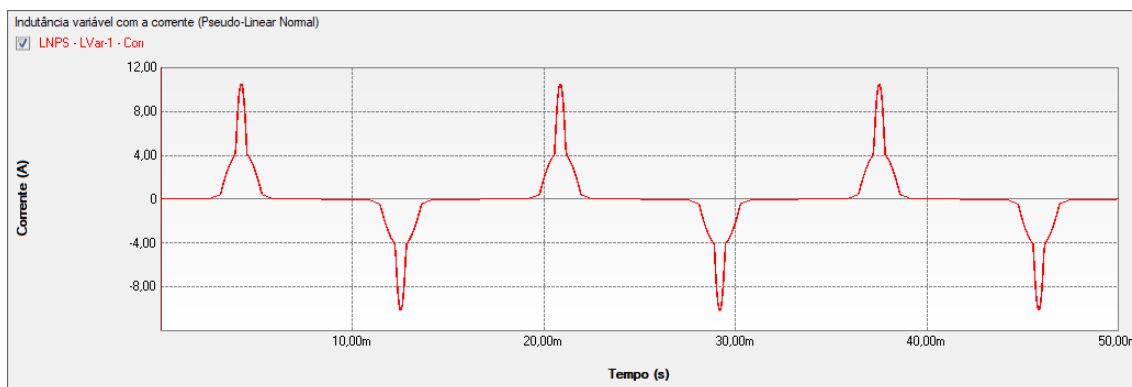


Figura 130 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.

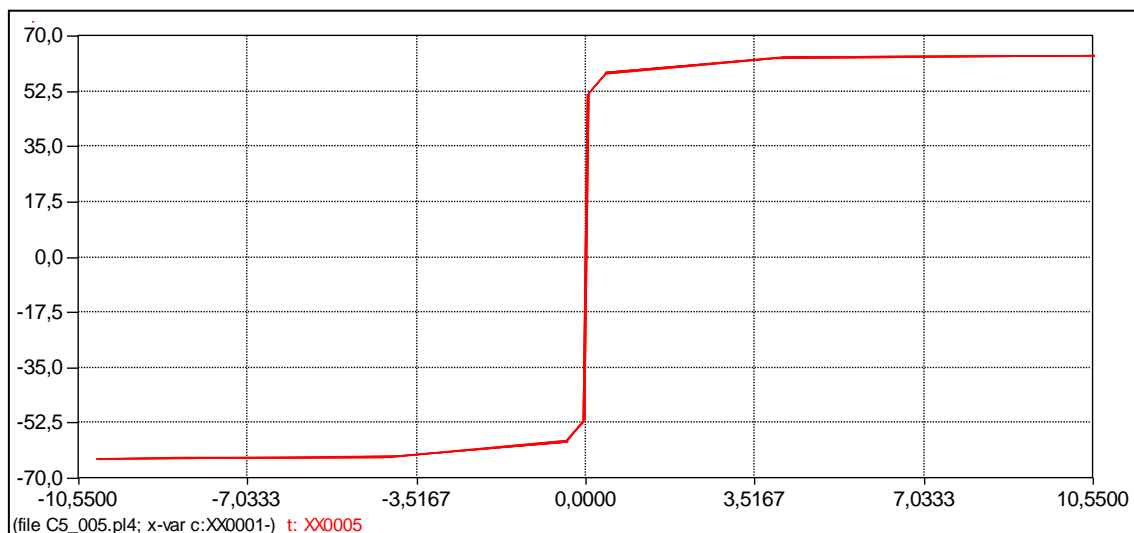


Figura 131 – Curva levantada da simulação no software ATP (I x Fluxo).

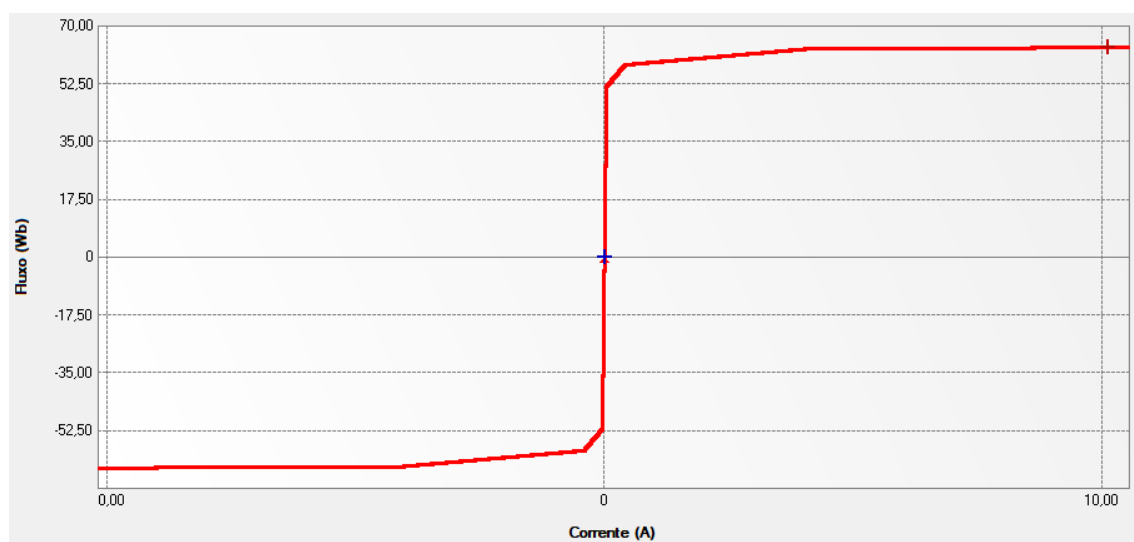




Figura 132 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (I x Fluxo).

5.6 Cenário 06 - Indutância não linear (type 93) alimentada por tensão AC.

Tabela 44 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>L(i) Type 93</i>	CURR → 0 A	 <i>Lvar – Real (Thevenin)</i>	Corrente Inicial (I0) → 0 A
	FLUX → 0 Wb		Fluxo Inicial (Φ0) → 0 Wb

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 24 kV de pico (60 Hz) conectada a uma indutância não-linear do tipo 93 do ATP (ou do tipo Lvar – Real (Thevenin) do PS Simul), visando provoca o fluxo (pico) de 63,65 Wb. Foi medida a corrente da indutância. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (5.10.6). O passo de tempo utilizado na simulação foi de 1 us. A curva cadastrada neste cenário foi obtida de um transformador e segue apresentada abaixo:

Tabela 45 – Curva cadastrada na indutância não linear tipo 93 (Thevenin).

Corrente (A)	0,041	0,41	4,1	41	100
Fluxo (Wb)	51,81	58,41	63,28	65,53	66,00

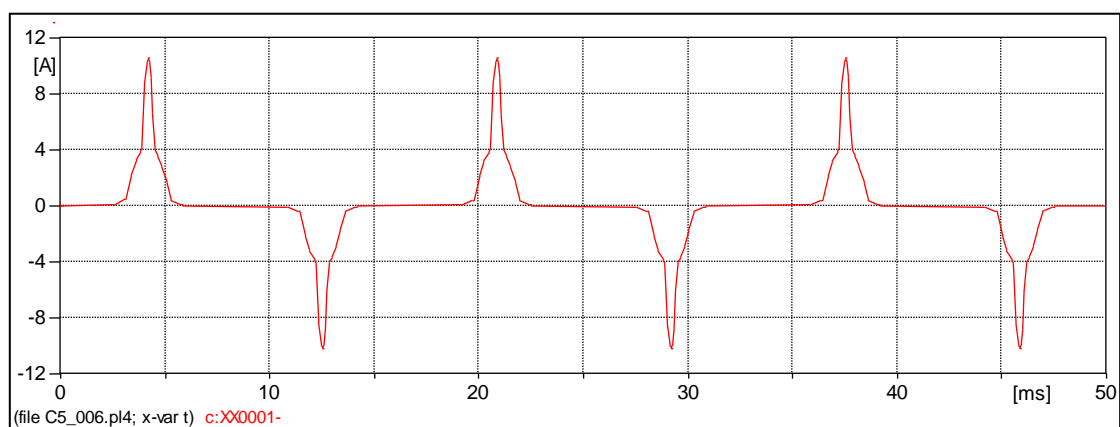


Figura 133- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.

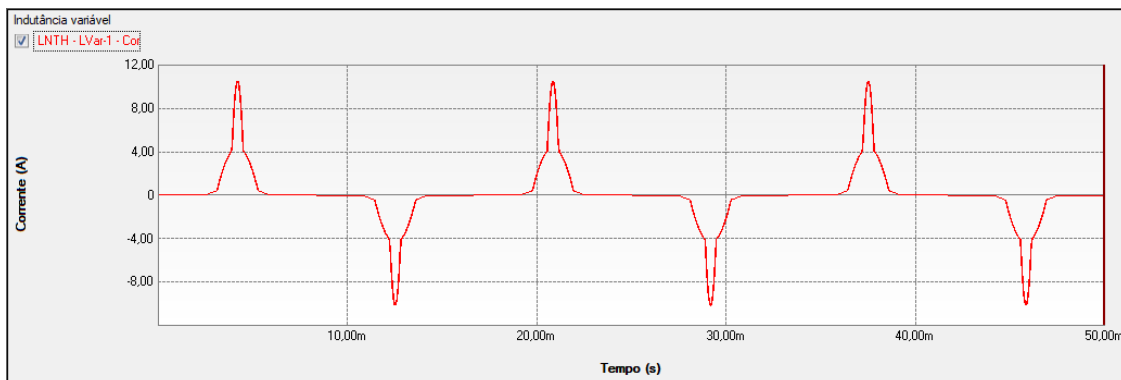


Figura 134 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.

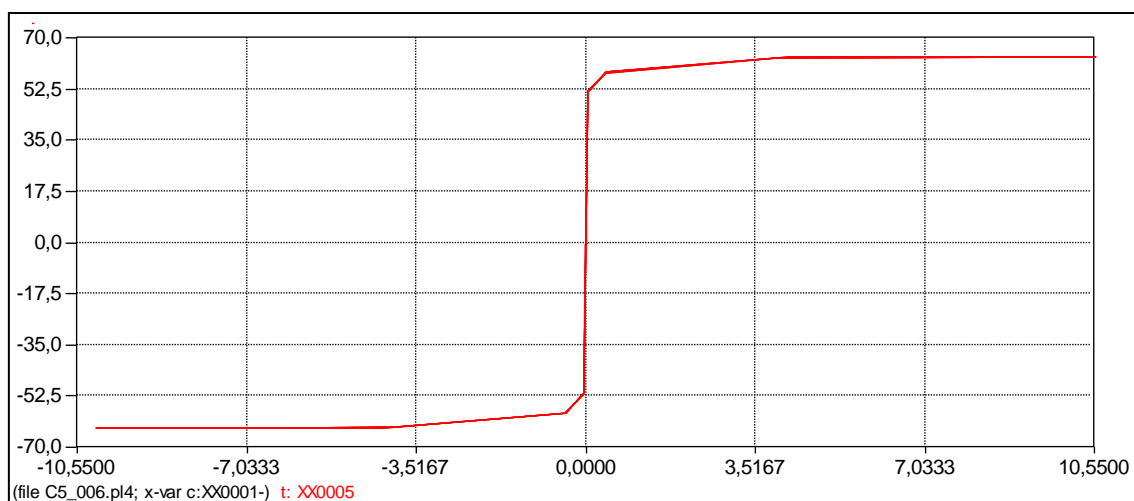


Figura 135 – Curva levantada da simulação no software ATP (I x Fluxo).

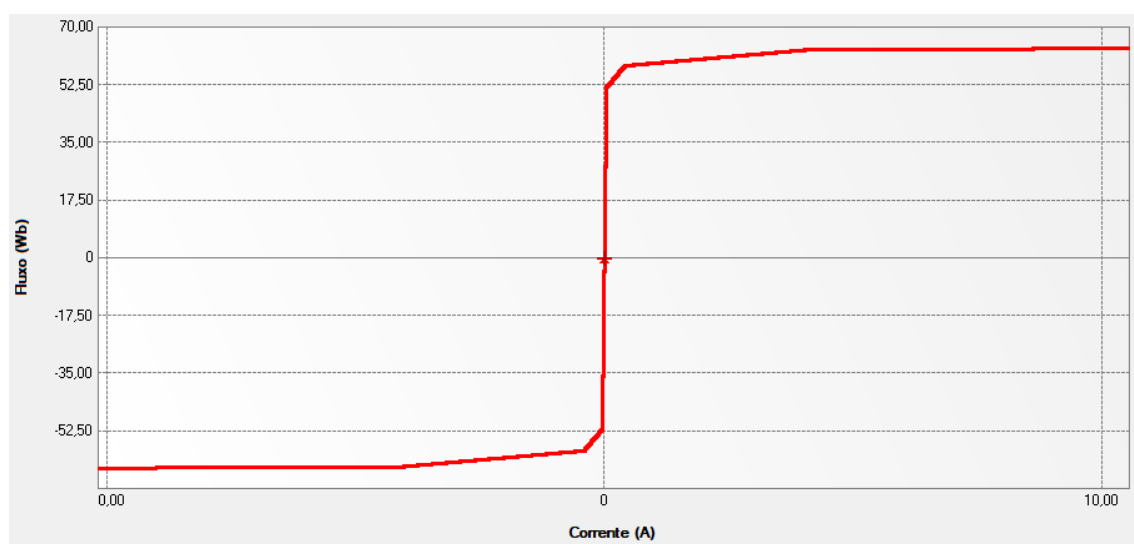




Figura 136 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (I x Fluxo).

5.7 Cenário 07 - Indutância não linear (type 96) alimentada por tensão AC.

Tabela 46 - Parametrizações dos elementos não lineares no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>L(i) Type 96</i>	CURR \rightarrow 0 A	 Lvar Histerese – Pseudo Linear	Corrente Inicial (I0) \rightarrow 0 A
	FLUX \rightarrow 0 Wb		Fluxo Inicial (Φ 0) \rightarrow 0 Wb
	RESID \rightarrow 0 Wb		Fluxo Residual (Φ_r) \rightarrow 0 Wb

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz) conectada a uma indutância não-linear do tipo 96 do ATP (ou do tipo Lvar – Histerese (Pseudo Linear) do PS Simul). Foi medida a corrente da indutância. O passo de tempo utilizado na simulação foi de 1 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (5.10.7). A curva cadastrada neste cenário foi a seguinte:

Tabela 47 – Curva cadastrada na indutância não linear tipo 96 (Pseudo-Linear).

Corrente (A)	-3,00	-2,25	-1,88	-1,50	-0,75	-0,37	0	0,37	0,75	1,50	1,88	2,25	3,00
Fluxo (Wb)	-1,20	-1,13	-1,09	-1,05	-0,96	-0,91	-0,85	-0,74	-0,22	0,98	1,06	1,11	1,2

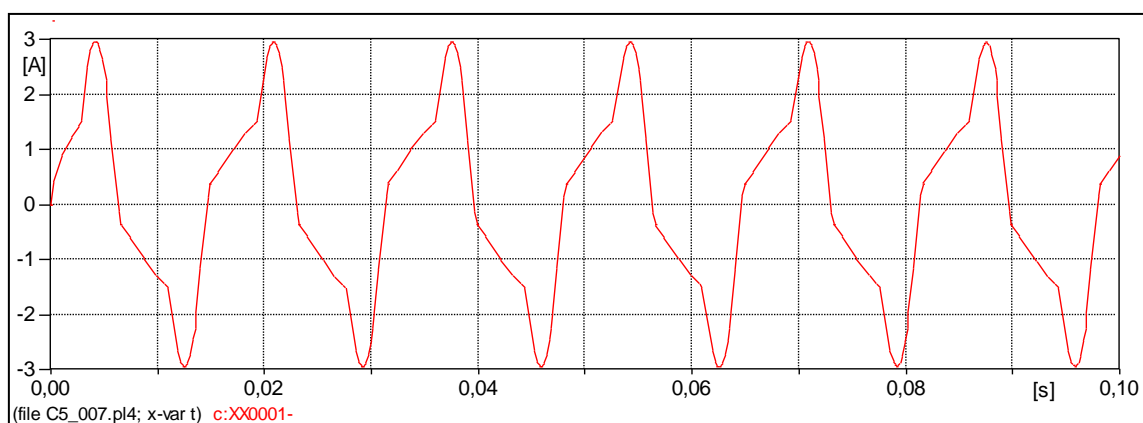


Figura 137- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.

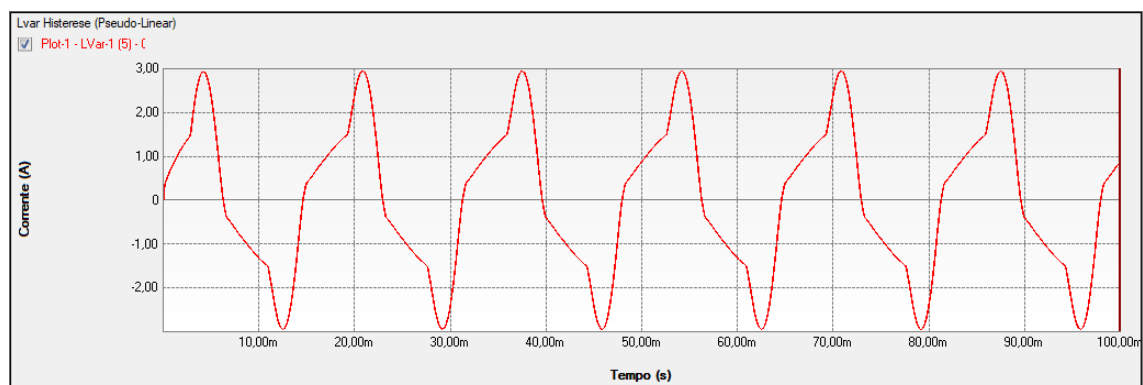


Figura 138 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.

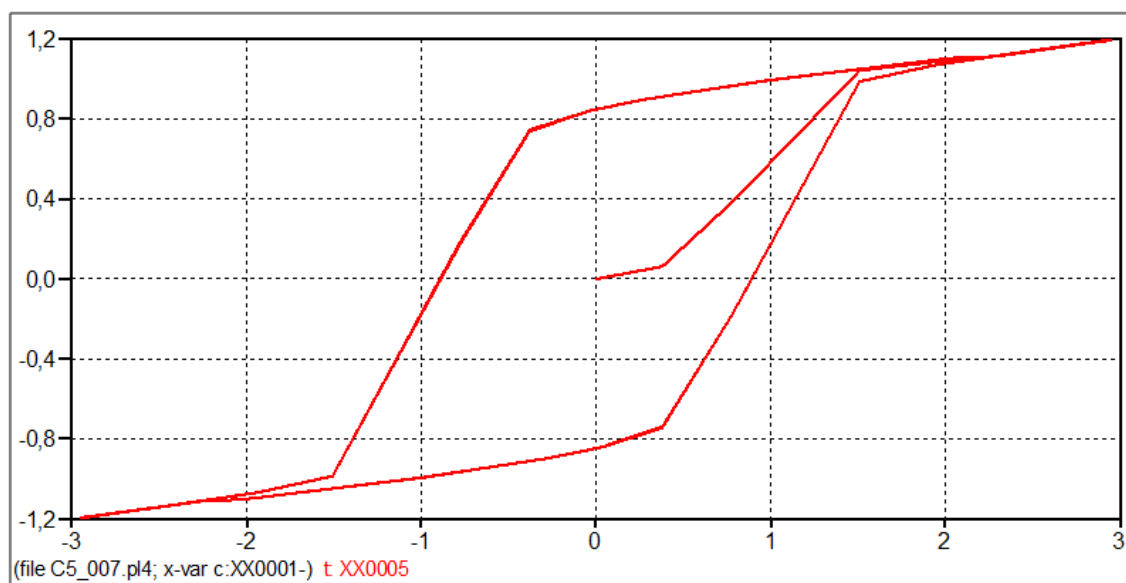


Figura 139 – Curva levantada da simulação no software ATP (I x Fluxo).

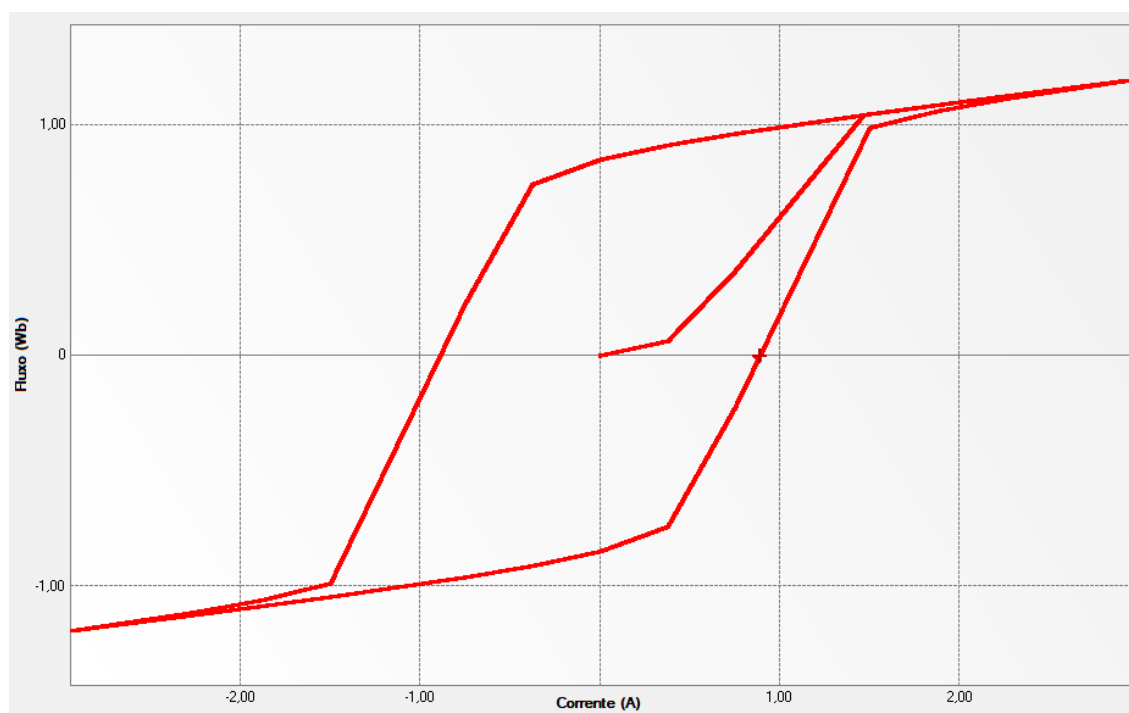

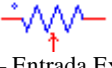


Figura 140 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (I x Fluxo).

5.8 Cenário 08 - Resistência variável entrada externa alimentada por tensão AC.

Tabela 48 - Parametrizações utilizadas nas comparações de elementos não lineares no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 <i>R(TACS) Type 91</i>	--	 Rvar – Entrada Externa	Valor Ini $\rightarrow 1 \Omega$ Valor Máximo $\rightarrow 1e6 \Omega$ Valor Mínimo $\rightarrow 1e-9 \Omega$

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz) conectada a uma resistência não-linear do tipo R(TACS) 91 do ATP (ou do tipo Rvar – Entrada Externa do PS Simul). Foi medida a corrente da resistência. Para modificar o valor da resistência foi construído um circuito externo com uma fonte rampa de período igual a 0,1 s com valor máximo de 10 V e um limitador impondo valor mínimo de sua saída em 1. O passo de tempo utilizado na simulação foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (5.10.8).

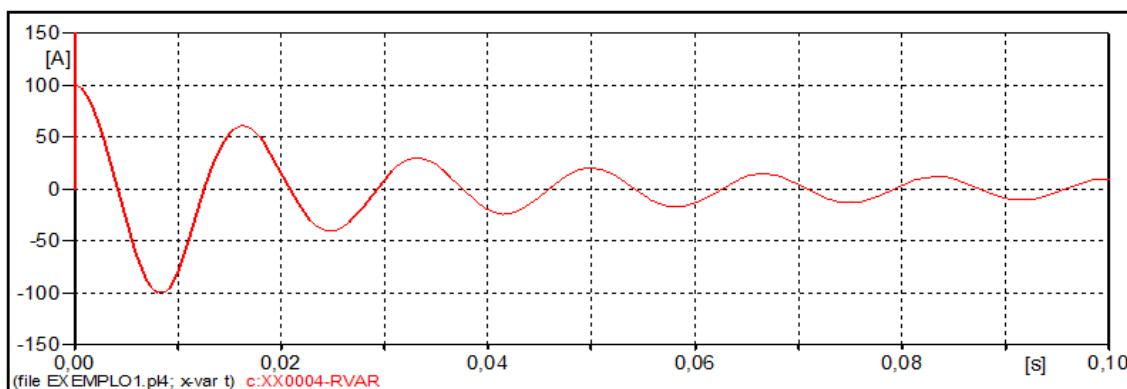


Figura 141- Forma de onda de corrente do circuito modelado no software ATP.

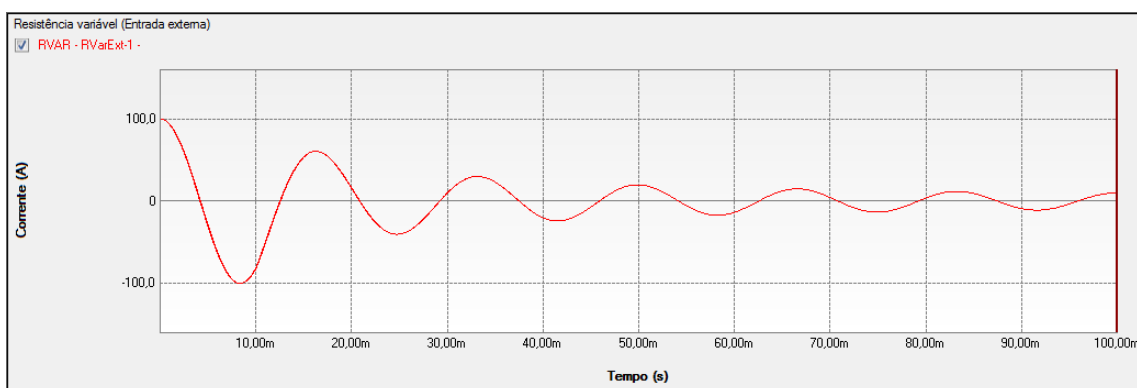




Figura 142 - Forma de onda de corrente do circuito modelado no software PS Simul.

5.9 Cenário 09 - MOV (Metal Oxide Varist.) type 92 alimentado por tensão AC.

Tabela 49 - Parametrizações dos elementos não lineares no ATP e PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 MOV Type 92	Vzero → 0 V	 Para-Raio – Pseudo Linear	Tensão para Abrir → 0 V
	Vref → 1 V		Tensão Referência → 1 V
	-		Corrente Referência → 1 A
	COL → 1		Número de colunas → 1
	SER → 1		Número Blocos Série → 1
	-		Tipo Curva → I x V

Para tal validação foi utilizada uma fonte AC com amplitude de 100V de pico (60 Hz) conectada a um MOV do tipo 92 do ATP (ou do tipo Para-Raio – Pseudo Linear do PS Simul). Foi levantada a curva de tensão por corrente do para-raio. O passo de tempo utilizado na simulação foi de 1 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (5.10.9). A curva cadastrada neste cenário foi obtida de um para-raios ZnO, sem gap, com tensão nominal de 144 kV e segue apresentada abaixo

:

Tabela 50 – Curva cadastrada no para-raio.

Corrente (kA)	1,5	3,0	5,0	10,0	20,0	40,0
Tensão (kV)	289	302	312	328	361	394

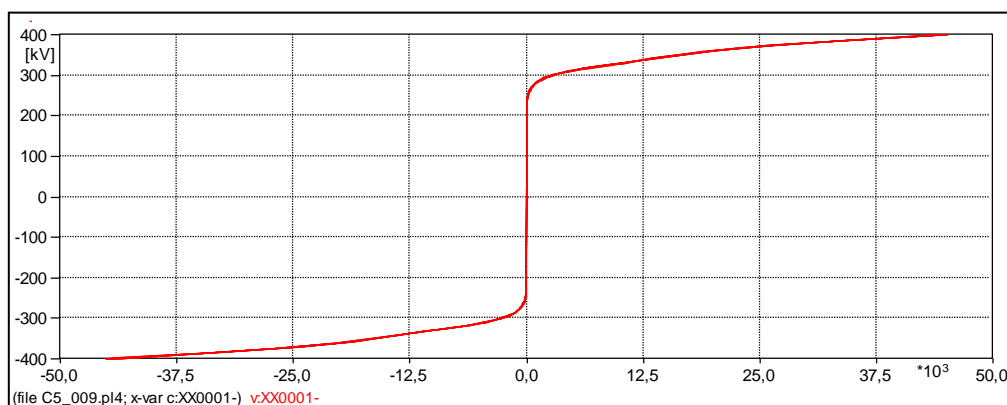


Figura 143 – Curva levantada da simulação no software ATP (V x I).

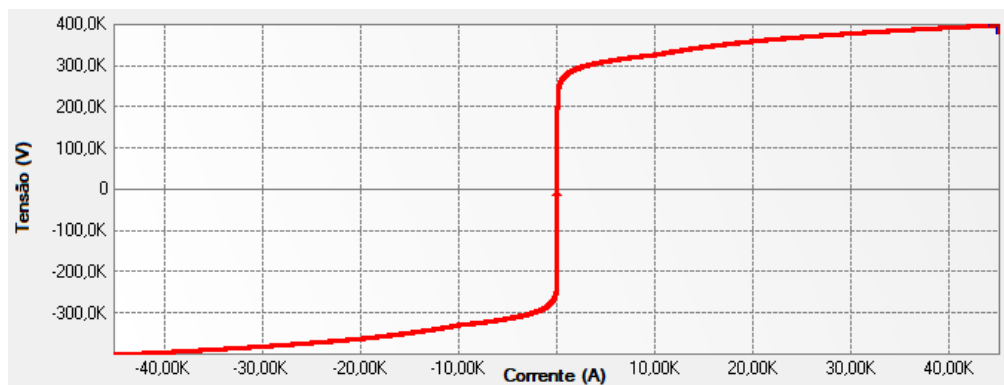


Figura 144 – Curva levantada da simulação no software PS Simul (V x I).

5.10 Circuitos modelados para as validações realizadas

5.10.1 Cenário 01 - Resistência não linear (type 99) alimentada por tensão AC (5.1).

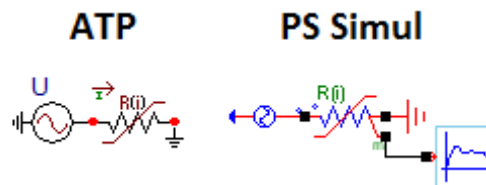


Figura 145 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

5.10.2 Cenário 02 - Resistência não linear (type 92) alimentada por tensão AC (5.2).

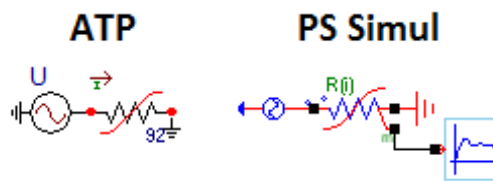


Figura 146 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

5.10.3 Cenário 03 - Resistência não linear (type 97) alimentada por tensão AC (5.3).

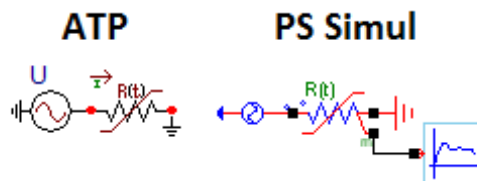


Figura 147 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

5.10.4 Cenário 04 - Resistência não linear (type 91) alimentada por tensão AC (5.4).

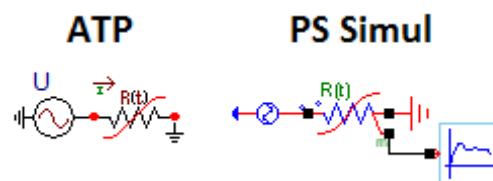


Figura 148 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

5.10.5 Cenário 05 - Indutância não linear (type 98) alimentada por tensão AC (5.5).

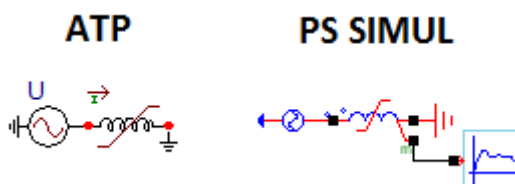


Figura 149 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

5.10.6 Cenário 06 - Indutância não linear (type 93) alimentada por tensão AC (5.6).

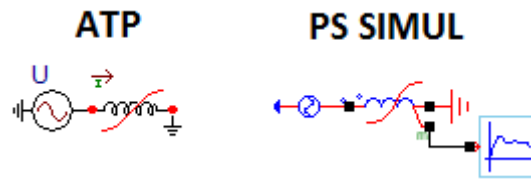


Figura 150 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

5.10.7 Cenário 07 - Indutância não linear (type 96) alimentada por tensão AC (5.7).

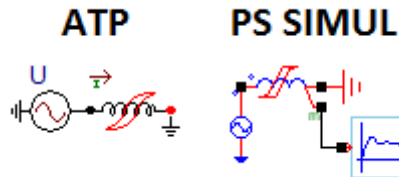


Figura 151 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

5.10.8 Cenário 08 - Resistência variável (entrada externa) (5.8).

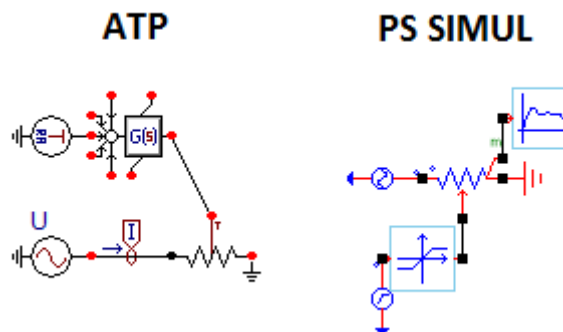


Figura 152 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

5.10.9 Cenário 09 - MOV (Metal Oxide Varistor) type 92 (5.9).

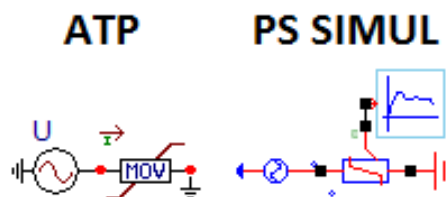



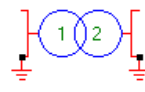
Figura 153 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

6 Capítulo 06 – Transformadores

Este capítulo abrange os principais transformadores disponibilizados pelo software ATP e seus equivalentes no software PS Simul. A fim de validá-los foi modelado um caso para cada uma das principais variações de configuração dos transformadores, sendo estes elementos alimentados por fontes AC.

6.1 Cenário 01 – Transformador monofásico ideal.

Tabela 51 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
01	 <i>Ideal 1 phase</i>	$N \rightarrow 62,727$	 Trf Ideal 1Φ2 Enr	Rel. Enr. 1/Enr. 2 $\rightarrow 62,727$
		BRANCH $\rightarrow 1$		-

Para tal validação do transformador simulado (100 kVA – 13800/220V), o primário deste foi alimentado por uma barra infinita (7,967 kV) e o secundário conectado a uma carga (127 V - 100 kVA- FP = 0,8). Foram realizadas as leituras das correntes que fluem no primário e secundário do transformador. O passo de tempo utilizado foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (6.9.1).

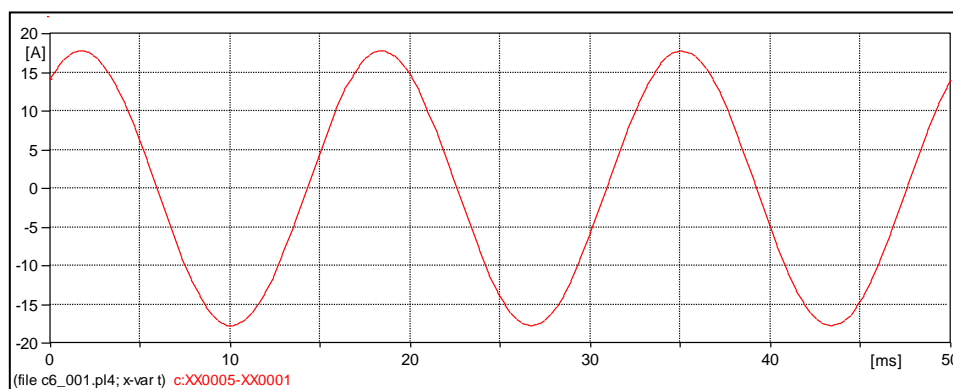


Figura 154 – Forma de onda obtida da corrente do primário do transformador no ATP.

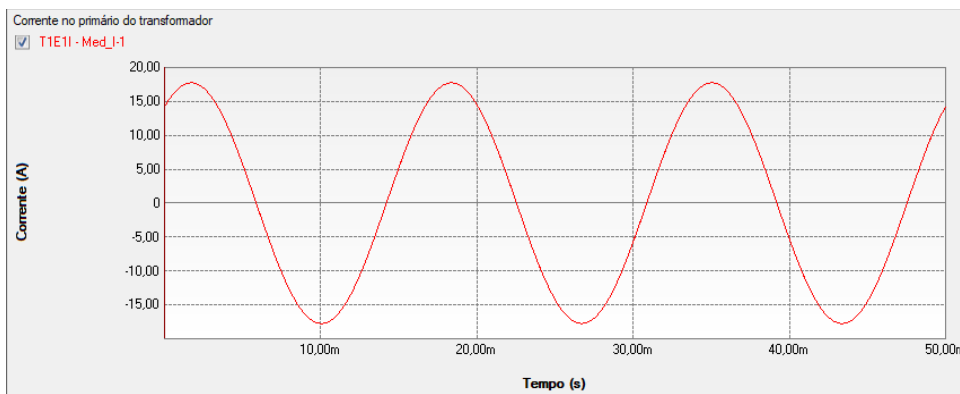


Figura 155 – Forma de onda obtida da corrente do primário do transformador no PS Simul.

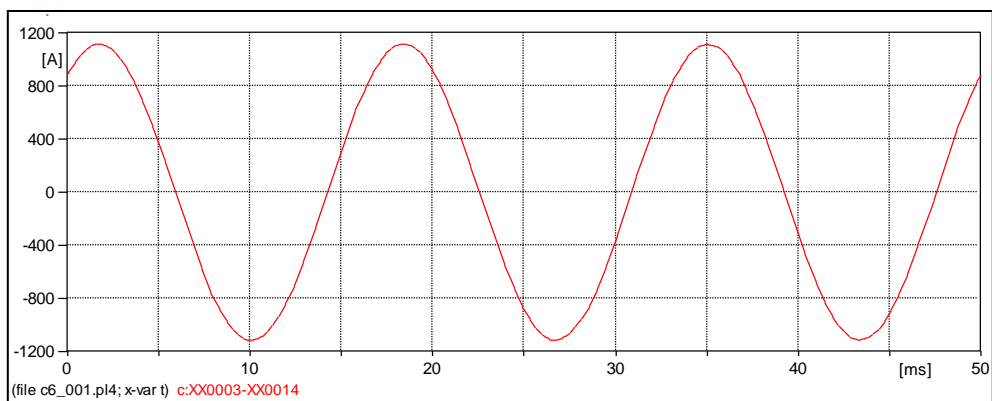


Figura 156 – Forma de onda obtida da corrente do secundário do transformador no ATP.

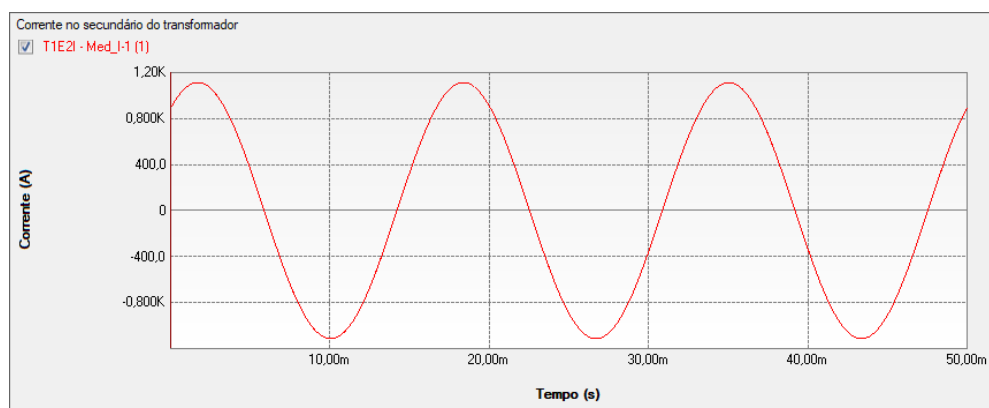

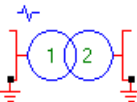


Figura 157 – Forma de onda obtida da corrente do secundário do transformador no PS Simul.

6.2 Cenário 02 – Transformador monofásico real.

Tabela 52 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
02	 Saturable 1 phase	$R_{mag} \rightarrow 100000 \Omega$	 Trf Real 1Φ 2 Enr	$Resist. R_m \rightarrow 100000 \Omega$
		$R_p \rightarrow 10,6 \Omega$		$REnr. 1 \rightarrow 10,6 \Omega$
		$L_p \rightarrow 110 \text{ mH}$		$LEnr. 1 \rightarrow 110\text{e-}3 \text{ H}$
		$V_{rp} \rightarrow 13,8 \text{ kV}$		$V_{Enr. 1} \rightarrow 13,8\text{e}3 \text{ V}$
		$R_s \rightarrow 0,03 \Omega$		$REnr. 2 \rightarrow 0,03 \Omega$
		$L_s \rightarrow 0,028 \text{ mH}$		$LEnr. 2 \rightarrow 0,028\text{e-}3 \text{ H}$
		$V_{rs} \rightarrow 0,22 \text{ kV}$		$V_{Enr. 2} \rightarrow 220 \text{ V}$

Para tal validação do transformador simulado (100 kVA – 13800/220V), o primário deste foi alimentado através de uma barra infinita (7,967 kV) e o secundário conectado a uma carga (127 V - 100 kVA – FP = 0,8). Foram considerados transformadores com núcleos ideais e realizaram-se as leituras das correntes que fluem no primário e secundário do transformador. O passo de tempo utilizado foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (6.9.2).

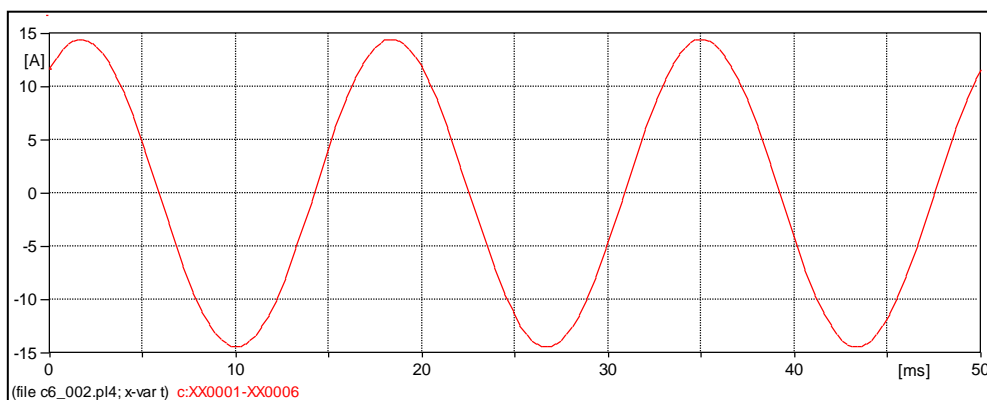


Figura 158 – Forma de onda obtida da corrente do primário do transformador no ATP.

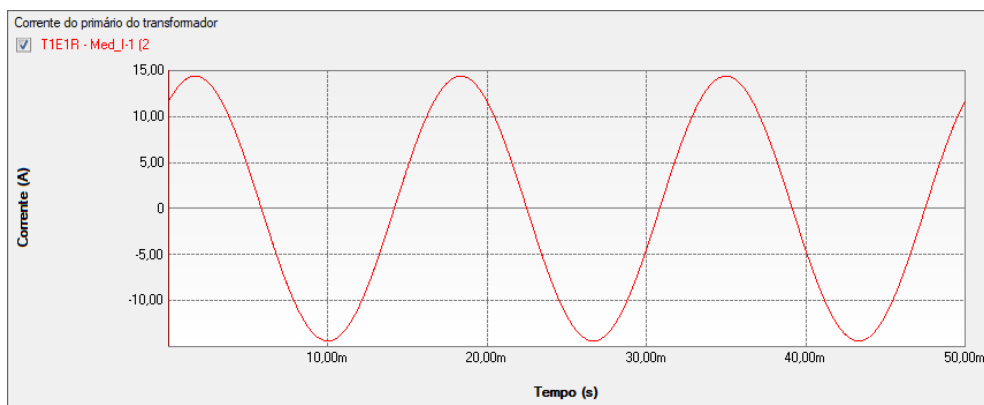


Figura 159 – Forma de onda obtida da corrente do primário do transformador no PS Simul.

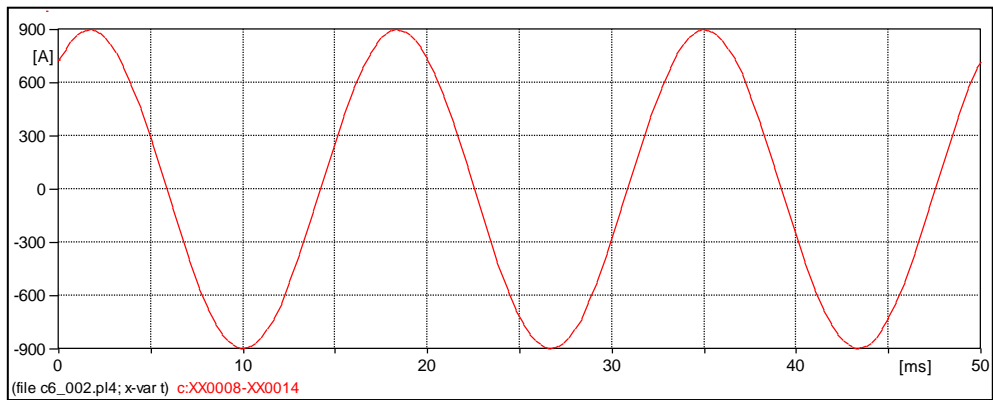


Figura 160 – Forma de onda obtida da corrente do secundário do transformador no ATP.

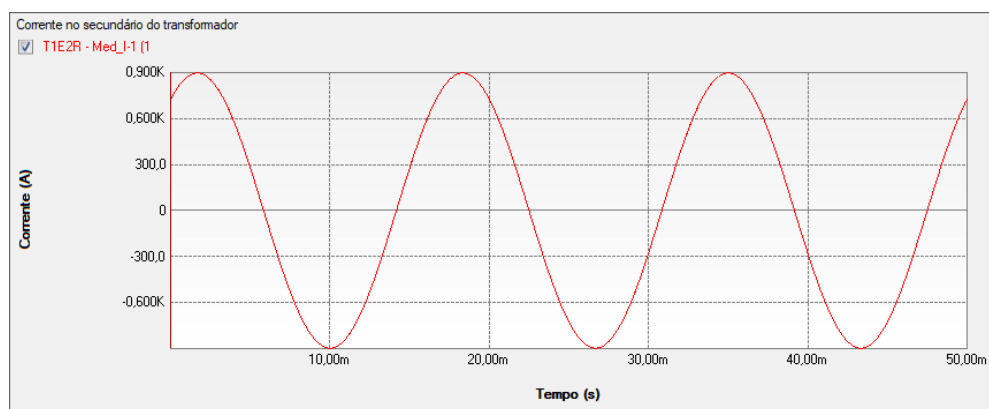
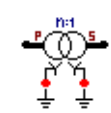
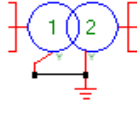


Figura 161 – Forma de onda obtida da corrente do secundário do transformador no PS Simul.

6.3 Cenário 03 – Transformador trifásico ideal Y-Y.

Tabela 53 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
03	 <i>Ideal 3 phase</i>	-	 Trf Ideal 3Φ 2 Enr	Conex Enr. 1 → Y
		-		Conex Enr. 2 → Y
		-		Grupo Vet. Enr. 2 → 0
		N → 36,316		Rel. Enr. 1/Enr. 2 → 36,316
		BRANCH → 1		-

Para tal validação do transformador simulado (300 kVA – 13800/380V), o primário deste foi alimentado através de uma barra infinita (13,8 kV F-F) e o secundário conectado a uma carga (380 V - 300 kVA – FP = 0,8). Foram realizadas as leituras das correntes que fluem no primário e secundário do transformador. O passo de tempo utilizado foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (6.9.3).

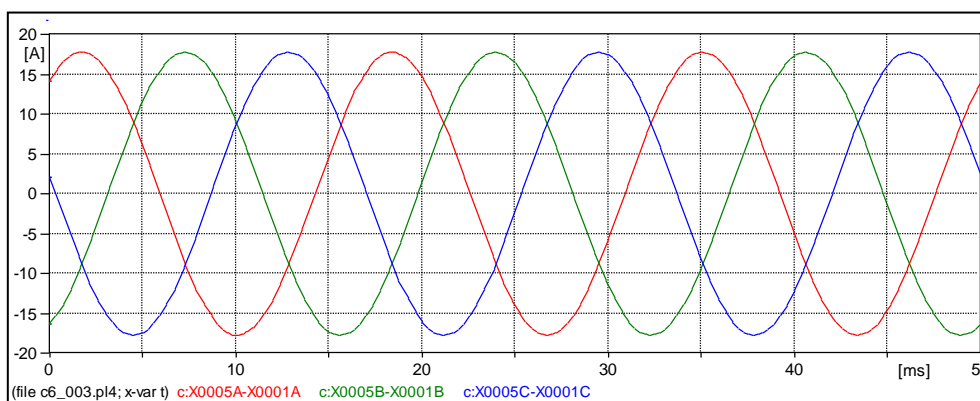


Figura 162 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.

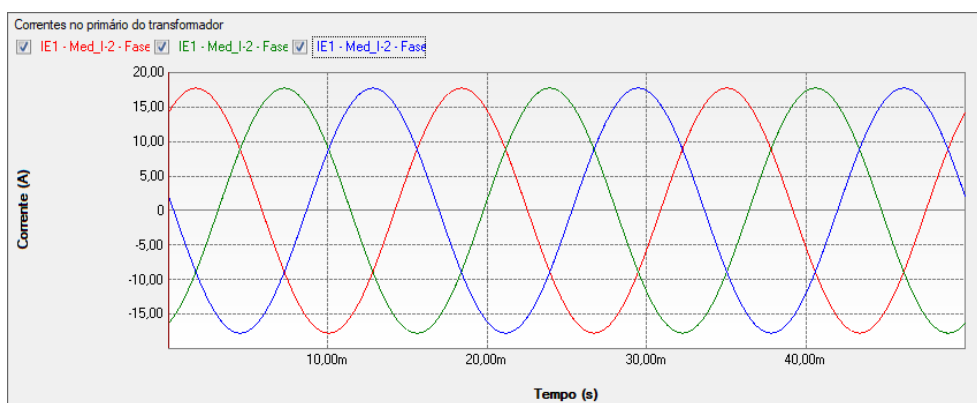


Figura 163 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.

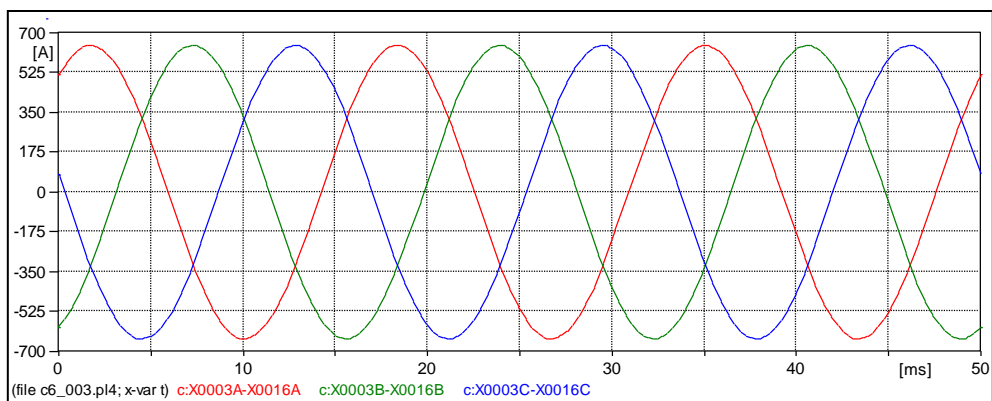


Figura 164 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.

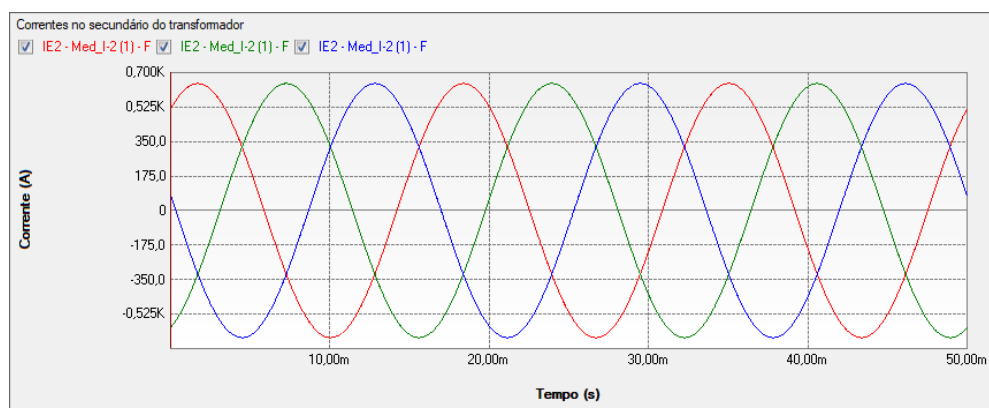
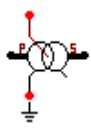
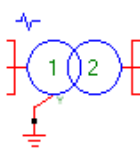


Figura 165 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.

6.4 Cenário 04 – Transformador trifásico real Y-Δ.

Tabela 54 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
04	 Saturable 3 phase (2-winding)	U Prim \rightarrow 7967,43 V	 Trf Real 3Φ 2 Enr	VEnr. 1 FF \rightarrow 13800 V
		U Sec \rightarrow 380 V		VEnr. 2 FF \rightarrow 380 V
		R Prim \rightarrow 10,6 Ω		REnr. 1 \rightarrow 10,6 Ω
		R Sec \rightarrow 0,03 Ω		REnr. 2 \rightarrow 0,03 Ω
		L Prim \rightarrow 110 mH		LEnr. 1 \rightarrow 110e-3 H
		L Sec \rightarrow 0,028 mH		LEnr. 2 \rightarrow 0,028e-3 H
		Conex Prim \rightarrow Y		Conex Enr. 1 \rightarrow Y
		Conex Sec \rightarrow D		Conex Enr. 2 \rightarrow D
		Phase Shift Sec \rightarrow 30°		Grupo Vet. Enr. 2 \rightarrow 1
		Rm \rightarrow 1000000 Ω		Resist. Rm \rightarrow 1000000 Ω

Para tal validação do transformador simulado (300 kVA – 13800/380V), o primário deste foi alimentado através de uma barra infinita (13,8 kV F-F) e o secundário conectado a uma carga (380 V - 300 kVA – FP = 0,8). Foram considerados transformadores com núcleos ideais e realizaram-se as leituras das correntes que fluem no primário e secundário do transformador. O passo de tempo utilizado foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (6.9.4).

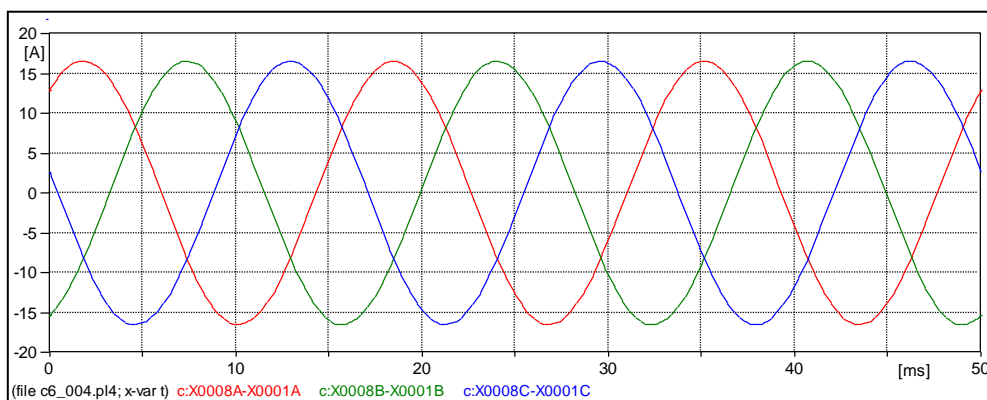


Figura 166 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.

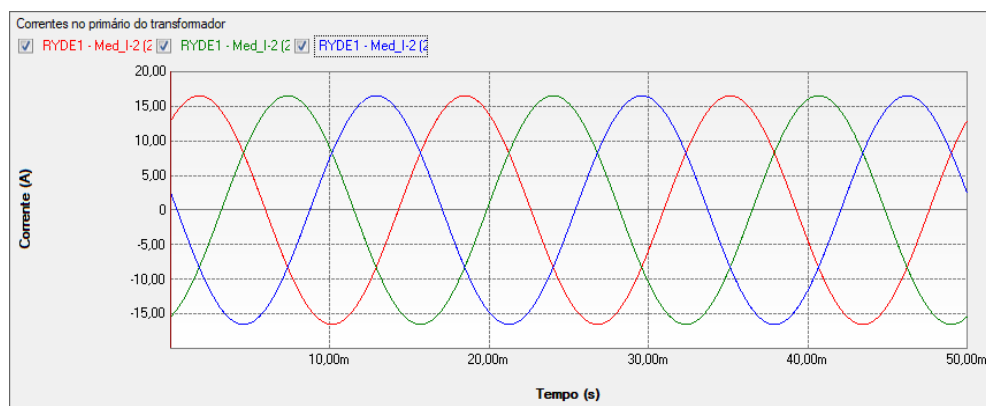


Figura 167 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.

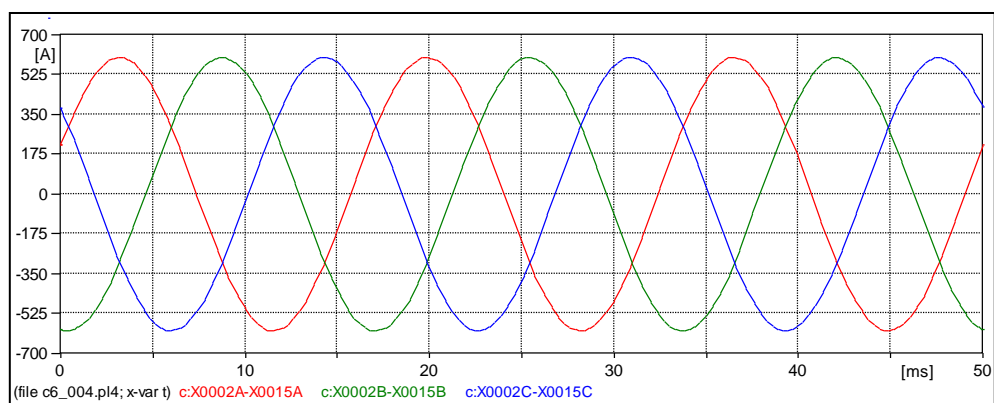


Figura 168 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.

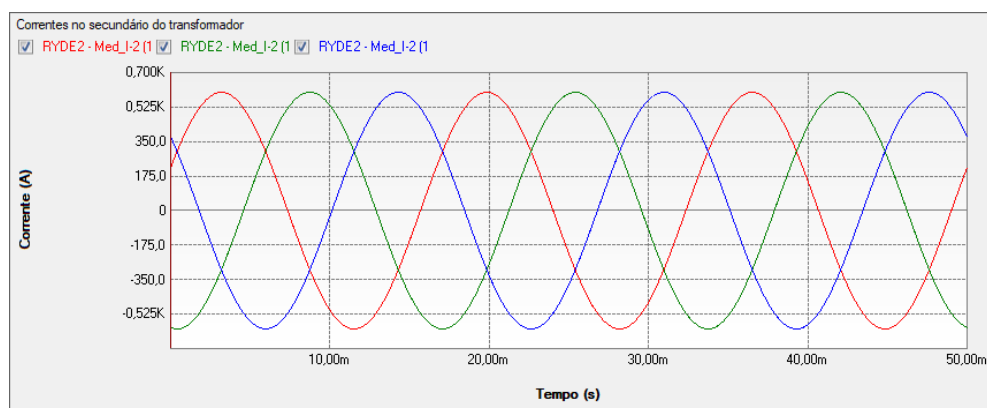
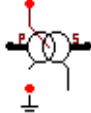



Figura 169 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.

6.5 Cenário 05 – Autotransformador trifásico real (2 enrolamentos).

Tabela 55 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
05	 Saturable 3 phase (2-winding)	-	 Autotransformador 3Φ Real	Tipo Z(Autotransf.) → ZA1 e ZA2
		-		Hab. Enr. Terciário → Não
		U Prim → 20700 V		VEnr. 1 (A1) FF → 34500 V
		U Sec → 13800 V		VEnr. 2 (A2) FF → 13800 V
		R Prim → 0,642 Ω		REnrA1 → 0,642 Ω
		R Sec → 0,4277 Ω		REnrA2 → 0,4277 Ω
		L Prim → 6,59 mH		LEnrA1 → 6,59e-3 H
		L Sec → 4,39 mH		LEnrA2 → 4,39e-3 H
		Conex Prim → A		-
		Conex Sec → A		-
		Phase Shift Sec → 0		-
		Rm → 1000000 Ω		Resist. Rm → 1000000 Ω

Para tal validação do autotransformador simulado (6400 kVA – 34,5/13,8 kV), o primário deste foi alimentado através de uma barra infinita (34,5 kV F-F) e o secundário conectado a uma carga (13,8 kV - 5000 kVA – FP = 0,8). Foram considerados transformadores com núcleos ideais e realizaram-se as leituras das correntes que fluem no primário e secundário do transformador. O passo de tempo utilizado foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (6.9.5).

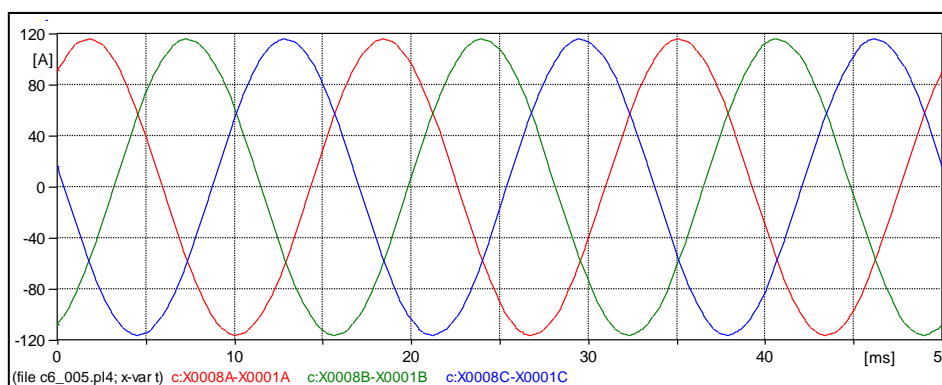


Figura 170 – Forma de onda obtida das correntes do primário do autotransformador no ATP.

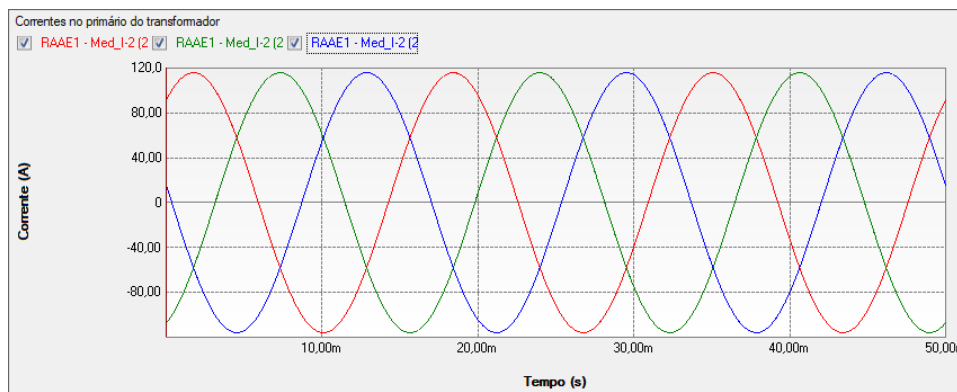


Figura 171 – Forma de onda obtida das correntes do primário do autotransformador no PS Simul.

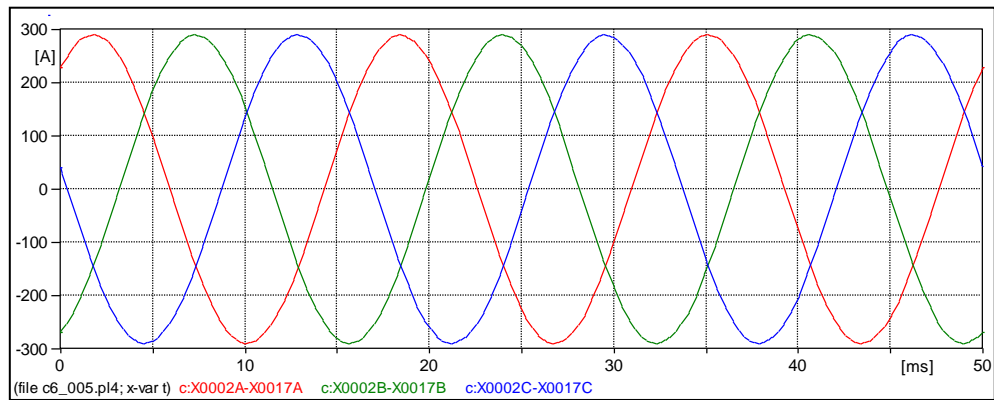


Figura 172 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do autotransformador no ATP.

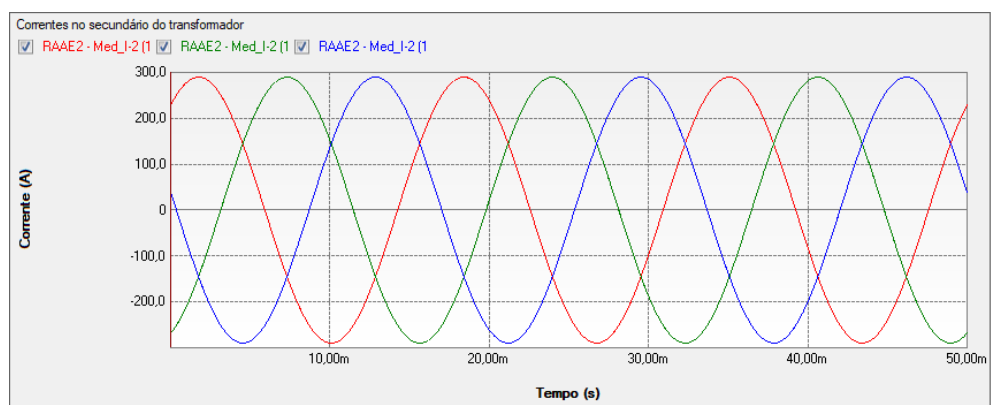
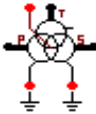
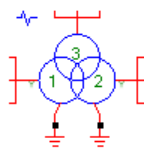


Figura 173 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do autotransformador no PS Simul.

6.6 Cenário 06 – Transformador trifásico real Y-Y-D.

Tabela 56 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
06	 Saturable 3 phase (3-winding)	U Prim \rightarrow 132689,56 V	 Trf Real 3 Φ – 3 Enr	VEnr. 1 FF \rightarrow 230000 V
		U Sec \rightarrow 50806,823 V		VEnr. 2 FF \rightarrow 88000 V
		U Tert \rightarrow 13800 V		VEnr. 3 FF \rightarrow 13800 V
		R Prim \rightarrow 0,328 Ω		REnr. 1 \rightarrow 0,328 Ω
		R Sec \rightarrow 0,065 Ω		REnr. 2 \rightarrow 0,065 Ω
		R Tert \rightarrow 0,029 Ω		REnr. 3 \rightarrow 0,029 Ω
		L Prim \rightarrow 103,51 mH		LEnr. 1 \rightarrow 103,51e-3 H
		L Sec \rightarrow 1,05 mH		LEnr. 2 \rightarrow 1,05e-3 H
		L Tert \rightarrow 1,84 mH		LEnr. 3 \rightarrow 1,84e-3 H
		Conex Prim \rightarrow Y		Conex Enr. 1 \rightarrow Y
		Conex Sec \rightarrow Y		Conex Enr. 2 \rightarrow Y
		Conex Tert \rightarrow D		Conex Enr. 2 \rightarrow D
		Phase Shift Sec \rightarrow 0°		Grupo Vet. Enr. 2 \rightarrow 0
		Phase Shift Tert \rightarrow 30°		Grupo Vet. Enr. 3 \rightarrow 1
		Rm \rightarrow 1000000 Ω		Resist. Rm \rightarrow 1000000 Ω

Para tal validação do transformador simulado (100/100/18 MVA – 230/88/13,8 kV), o primário deste foi alimentado através de uma barra infinita (230 kV F-F), o secundário conectado a uma carga (88 kV - 80 MVA – FP = 0,8) e o terciário a outra carga (13,8 kV – 15 MVA – FP = 0,8). Foram considerados transformadores com núcleos ideais e realizaram-se as leituras das correntes dos enrolamentos primário, secundário e terciário do transformador. O passo de tempo utilizado foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (6.9.6).

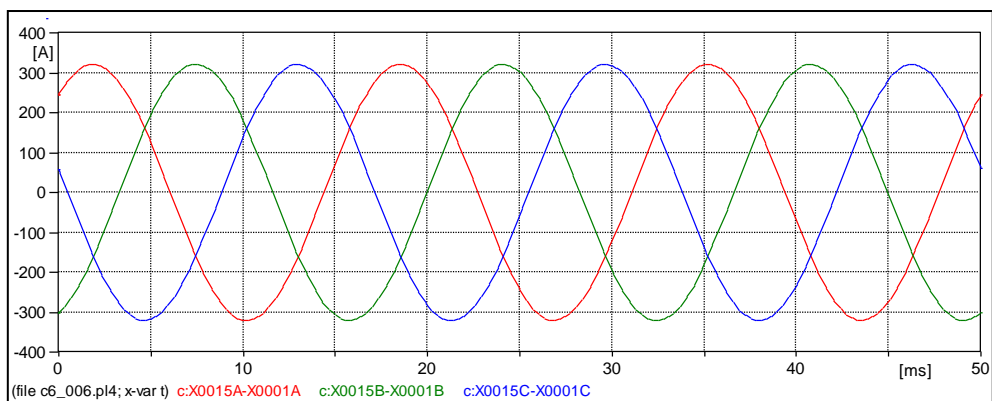


Figura 174 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.

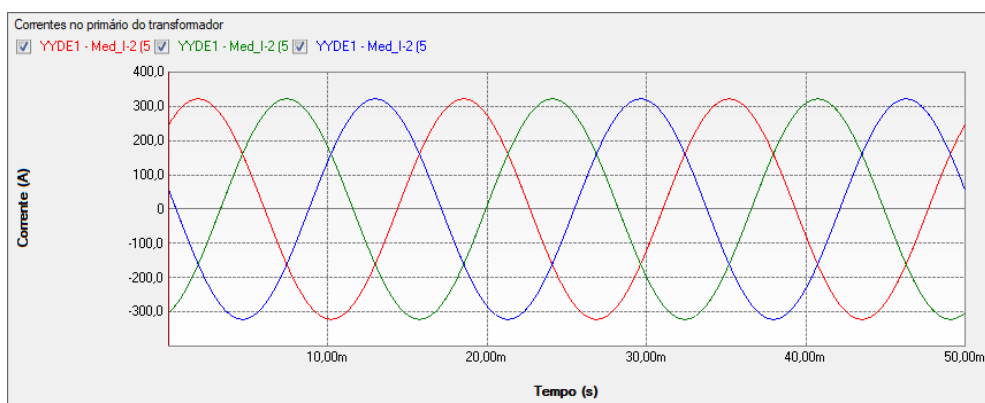


Figura 175 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.

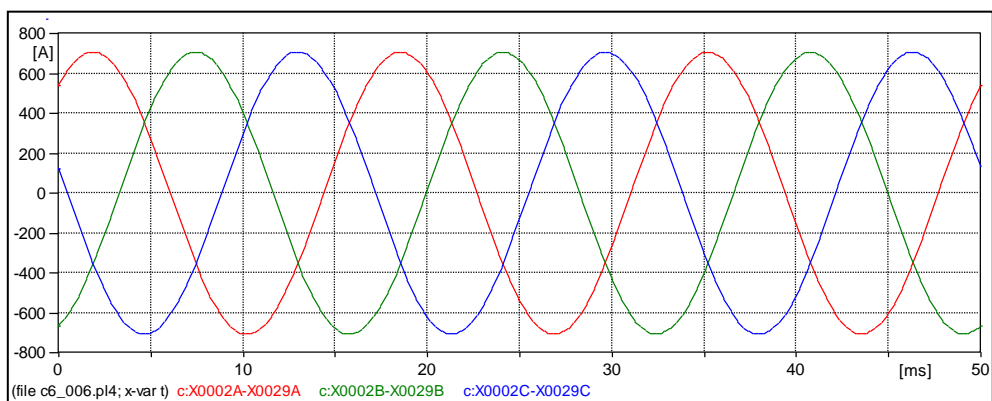


Figura 176 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.

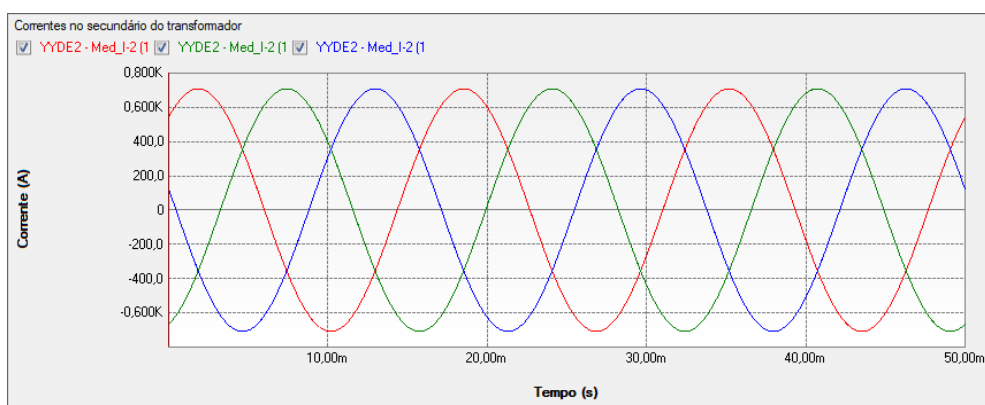


Figura 177 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.

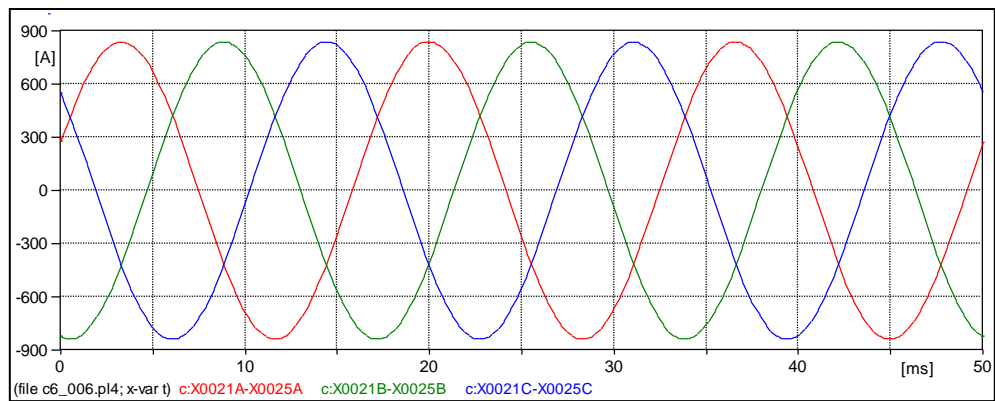


Figura 178 – Forma de onda obtida das correntes do terciário do transformador no ATP.

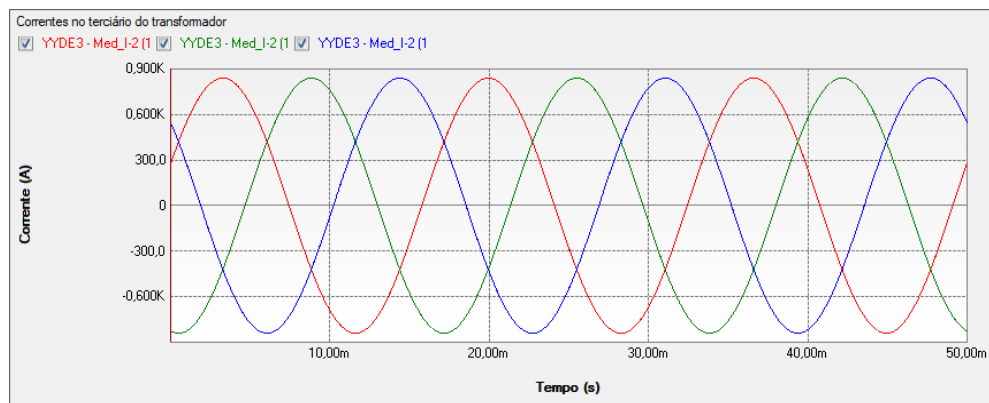
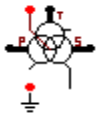
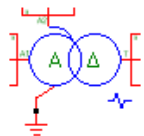


Figura 179 – Forma de onda obtida das correntes do terciário do transformador no PS Simul.

6.7 Cenário 07 – Autotransformador trifásico real com terciário D.

Tabela 57 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
07	 Saturable 3 phase (3-winding)	-	 Autotransformador 3Φ Real	Tipo Z(Autotransf.) → ZA1 e ZA2
		-		Hab. Enr. Terciário → Sim
		U Prim → 11951,15 V		VEnr. 1 (A1) FF → 34500 V
		U Sec → 7967,43 V		VEnr. 2 (A2) FF → 13800 V
		U Tert → 2400 V		VEnr. 2 (T) FF → 2400 V
		R Prim → 0,642 Ω		REnrA1 → 0,642 Ω
		R Sec → 0,4277 Ω		REnrA2 → 0,4277 Ω
		R Tert → 0,024 Ω		REnrT → 0,024 Ω
		L Prim → 6,59 mH		LEnrA1 → 6,59e-3 H
		L Sec → 4,39 mH		LEnrA2 → 4,39e-3 H
		L Tert → 0,246 mH		LEnrT → 0,246e-3 H
		Conex Prim → A		-
		Conex Sec → A		-
		Conex Tert → D		Conex. Enr. T → D
		Phase Shift Sec → 0		-
		Phase Shift Tert → 30		Grupo Vet Enr. T → 1
		Rm → 1000000 Ω		Resist. Rm → 1000000 Ω

Para tal validação do autotransformador simulado (6,4/6,4/2,4 MVA – 34,5/13,8/2,4 kV), seu primário foi alimentado por uma barra infinita (34,5 kV), o secundário conectado a uma carga (13,8 kV - 5 MVA – FP = 0,8) e o terciário conectado a outra carga (2,4 kV–2 MVA – FP = 0,8). Foram considerados transformadores com núcleos ideais e realizaram-se medições das correntes que fluem no primário, secundário e terciário do transformador. O passo de tempo utilizado foi de 10 us. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (6.9.7).

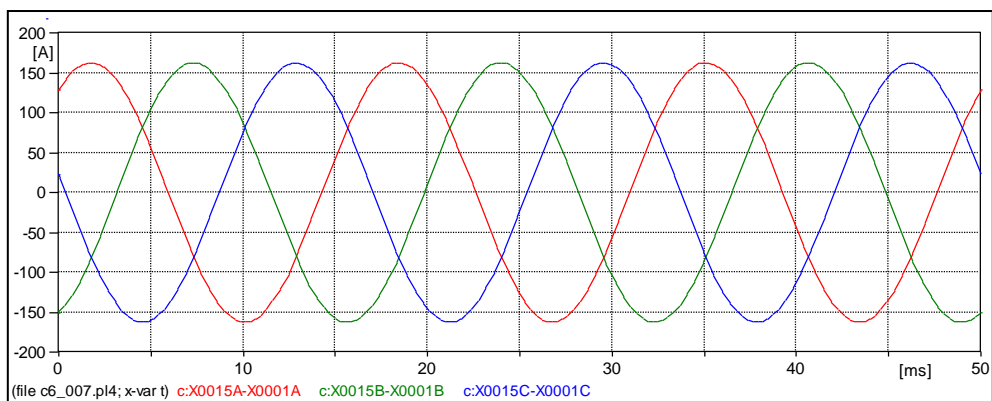


Figura 180 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.

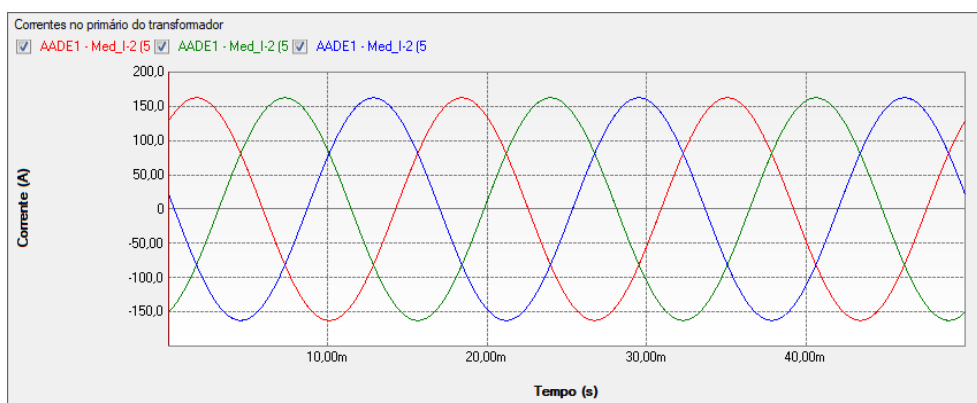


Figura 181 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.

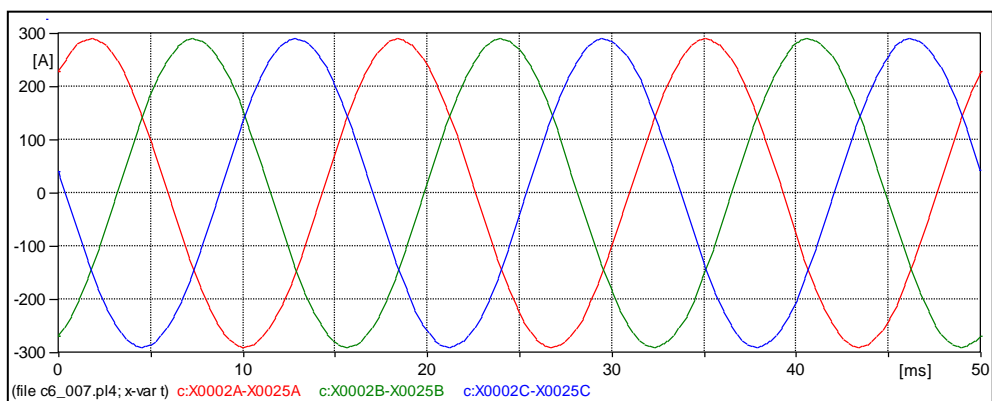


Figura 182 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.

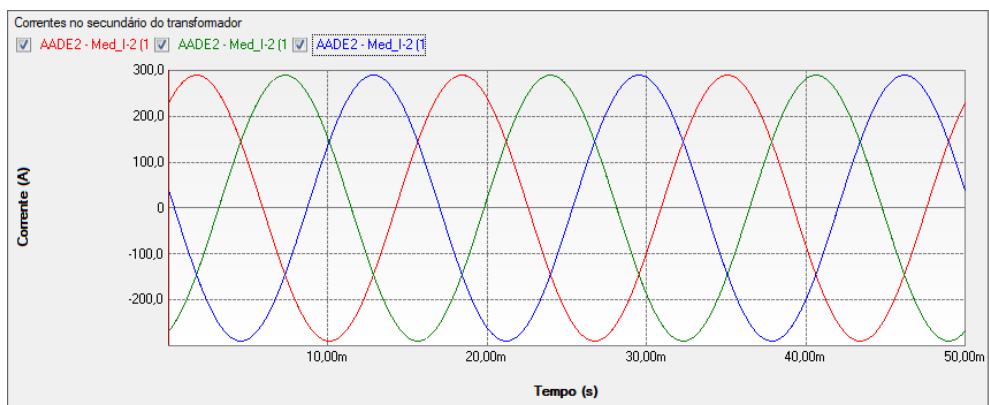


Figura 183 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.

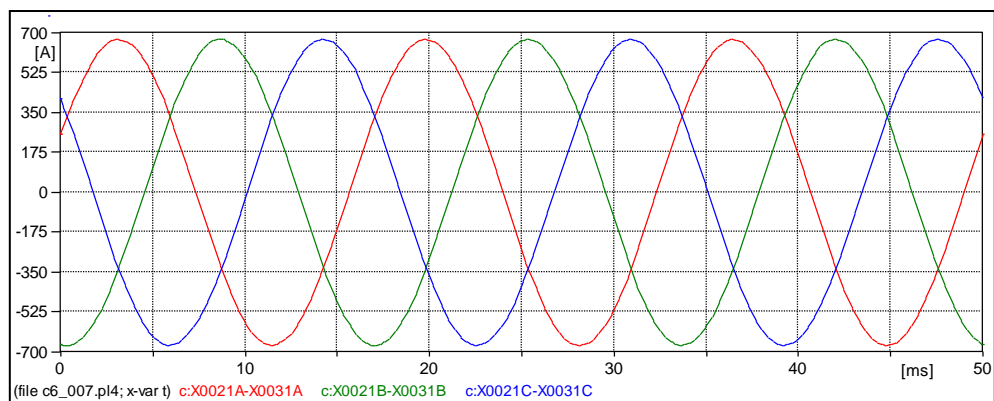


Figura 184 – Forma de onda obtida das correntes do terciário do transformador no ATP.

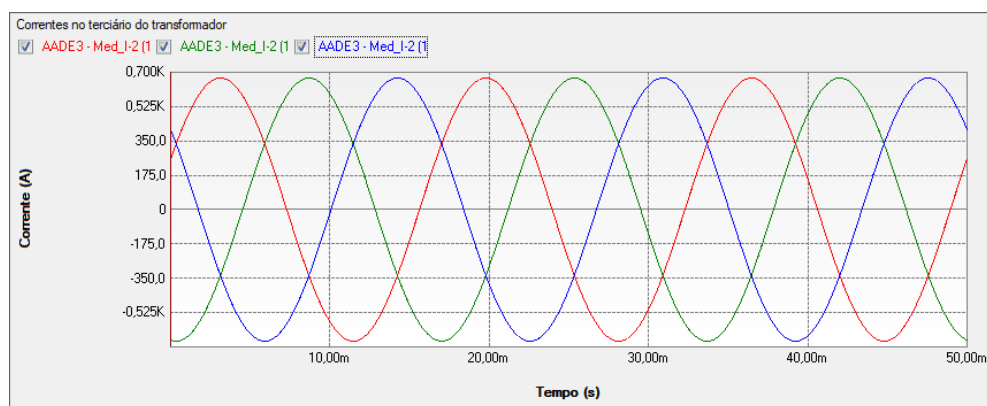
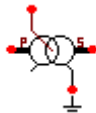
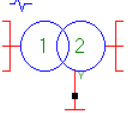


Figura 185 – Forma de onda obtida das correntes do terciário do transformador no PS Simul.

6.8 Cenário 08 – Transformador trifásico real Δ -Y (saturação).

Tabela 58 - Parametrizações utilizadas nas comparações de transformadores no ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
04	 Saturable 3 phase (2-winding)	U Prim \rightarrow 13800 V	 Trf Real 3 Φ 2 Enr	VEnr. 1 FF \rightarrow 13800 V
		U Sec \rightarrow 219,393 V		VEnr. 2 FF \rightarrow 380 V
		R Prim \rightarrow 10,6 Ω		REnr. 1 \rightarrow 10,6 Ω
		R Sec \rightarrow 0,028 Ω		REnr. 2 \rightarrow 0,028 Ω
		L Prim \rightarrow 110 mH		LEnr. 1 \rightarrow 110e-3 H
		L Sec \rightarrow 0,027 mH		LEnr. 2 \rightarrow 0,027e-3 H
		Conex Prim \rightarrow D		Conex Enr. 1 \rightarrow D
		Conex Sec \rightarrow Y		Conex Enr. 2 \rightarrow Y
		Phase Shift Sec \rightarrow 30°		Grupo Vet. Enr. 2 \rightarrow 1
		Rm \rightarrow 1000000 Ω		Resist. Rm \rightarrow 1000000 Ω
		I(0) \rightarrow 0,184 A		Corrente Inic. (I0) \rightarrow 0,184A
		F(0) \rightarrow 51,8 Wb		Fluxo Inic. (Φ 0) \rightarrow 51,8Wb

Para tal validação do transformador simulado (300 kVA – 13800/380V), o primário deste foi alimentado através de uma barra infinita (13,8 kV F-F) e o secundário conectado a uma carga (380 V - 300 kVA – FP = 0,8). A curva de saturação considerada neste cenário segue:

Tabela 59 – Curva cadastrada no para-raio.

Corrente (A)	0,0184	0,184	1,84
Fluxo (Wb)	6,475	51,8	52,2

No instante $t = 50$ ms foi simulada uma sobretensão para 1,2 pu no primário do transformador. Realizaram-se as leituras das correntes que fluem no primário e secundário do transformador. O passo de tempo utilizado foi de 10 μ s. Os circuitos modelados podem ser consultados no tópico (6.9.8).

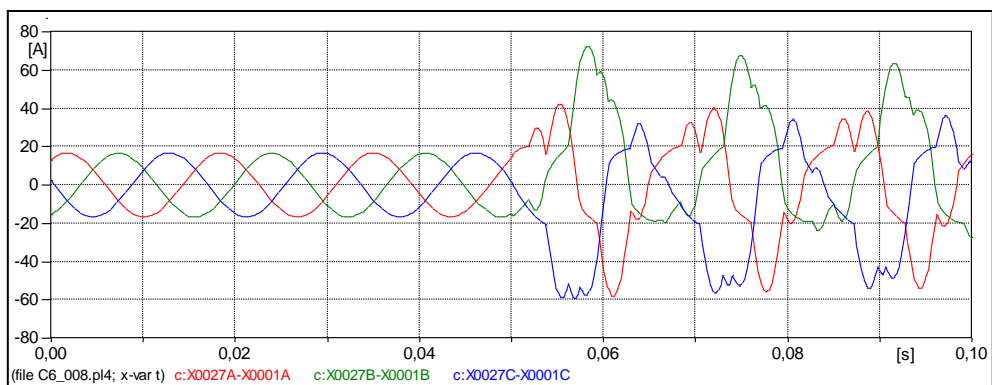


Figura 186 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no ATP.

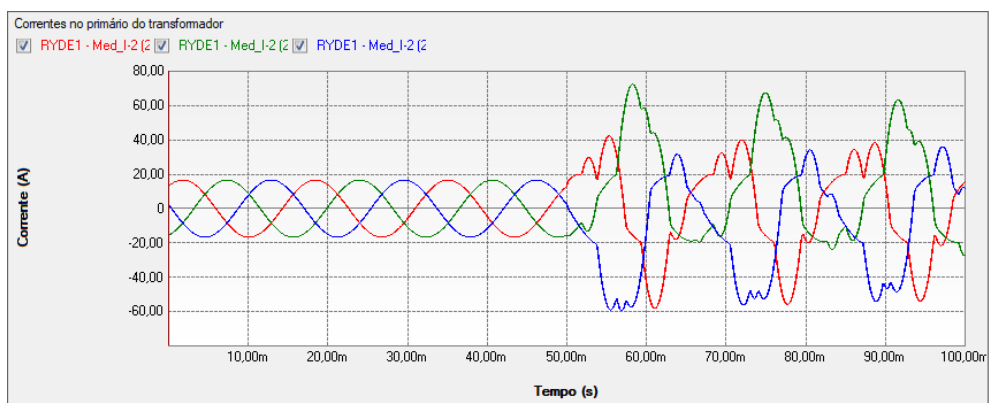


Figura 187 – Forma de onda obtida das correntes do primário do transformador no PS Simul.

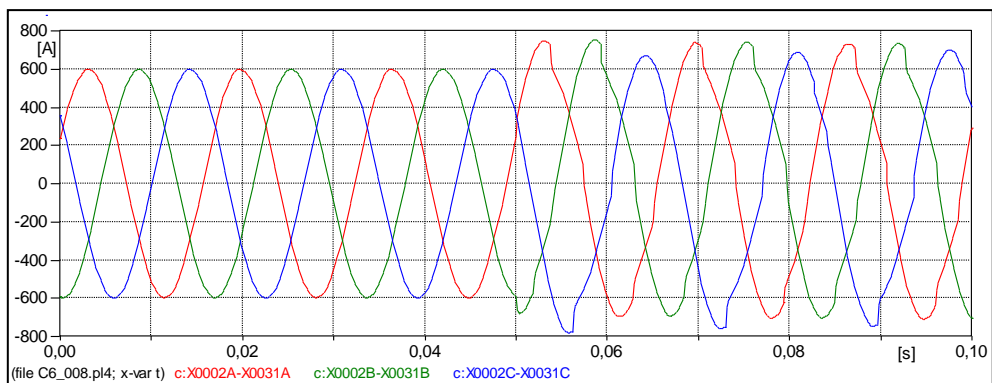


Figura 188 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no ATP.

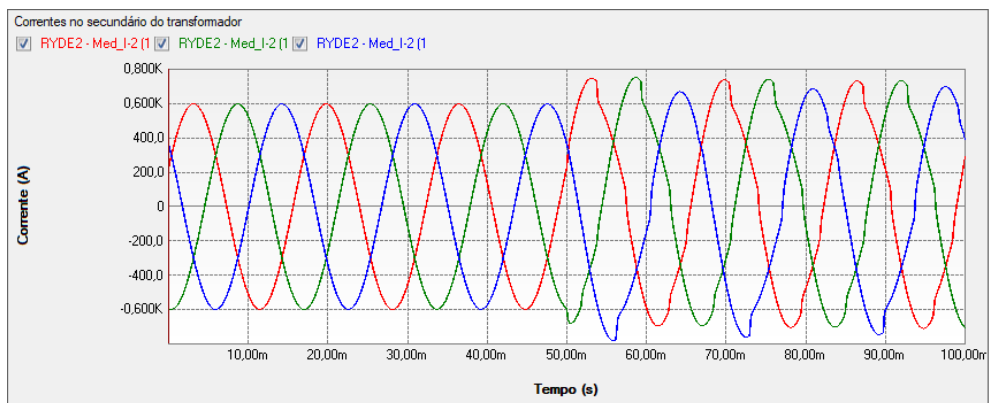


Figura 189 – Forma de onda obtida das correntes do secundário do transformador no PS Simul.

6.9 Circuitos modelados para as validações realizadas

6.9.1 Cenário 01 – Transformador monofásico ideal (6.1).

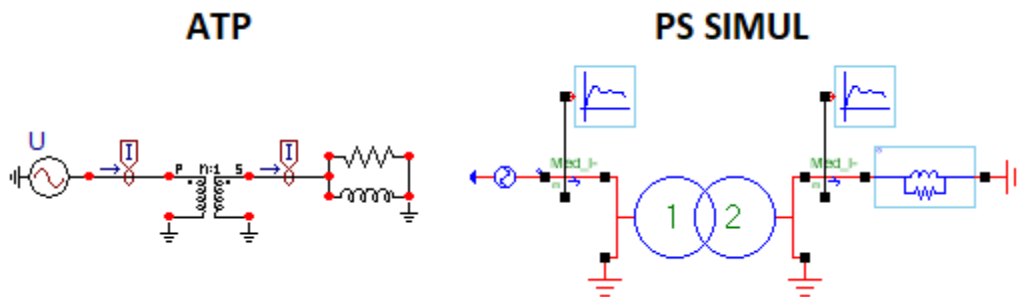


Figura 190 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

6.9.2 Cenário 02 – Transformador monofásico real (6.2).

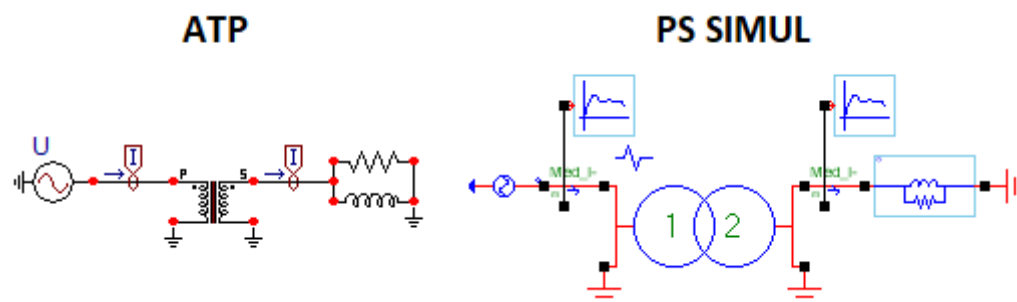


Figura 191 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

6.9.3 Cenário 03 – Transformador trifásico ideal Y-Y (6.3).

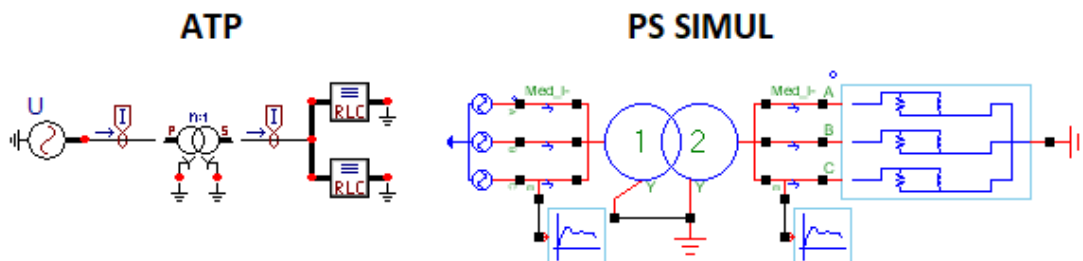


Figura 192 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

6.9.4 Cenário 04 – Transformador trifásico real Y-Δ (6.4).

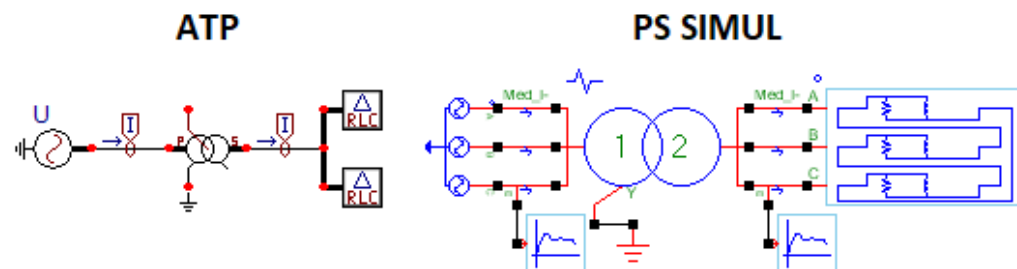


Figura 193 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

6.9.5 Cenário 05 – Autotransformador trifásico real (2 enrolamentos) (6.5).

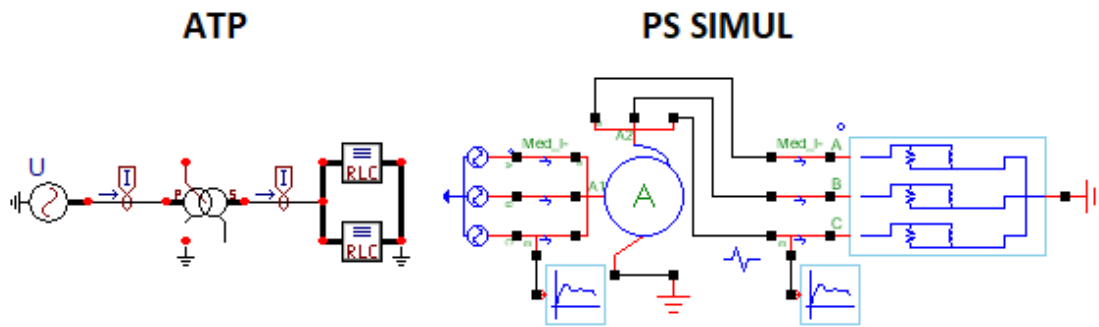


Figura 194 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

6.9.6 Cenário 06 – Transformador trifásico real Y-Y-D (6.6).

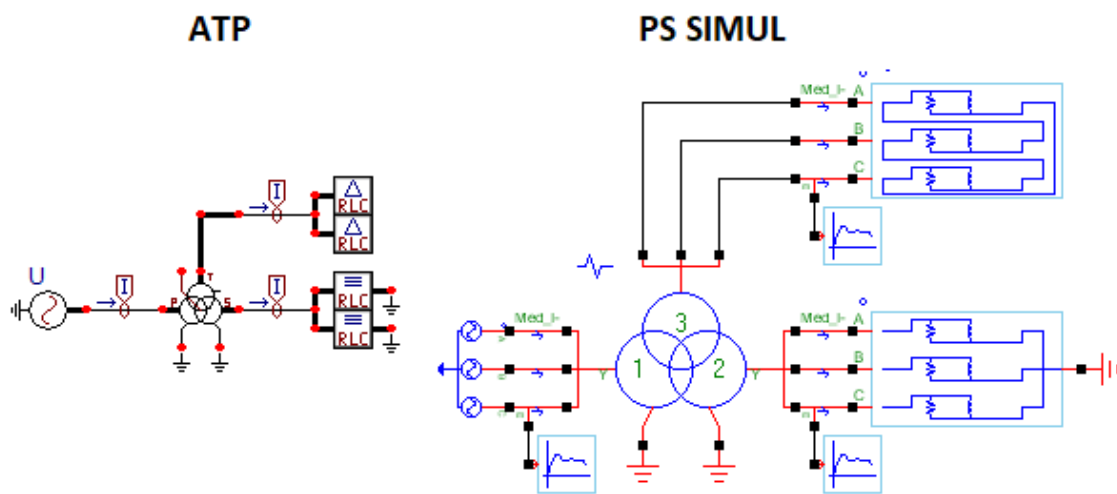


Figura 195 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

6.9.7 Cenário 07 – Autotransformador trifásico real com terciário D (6.7).

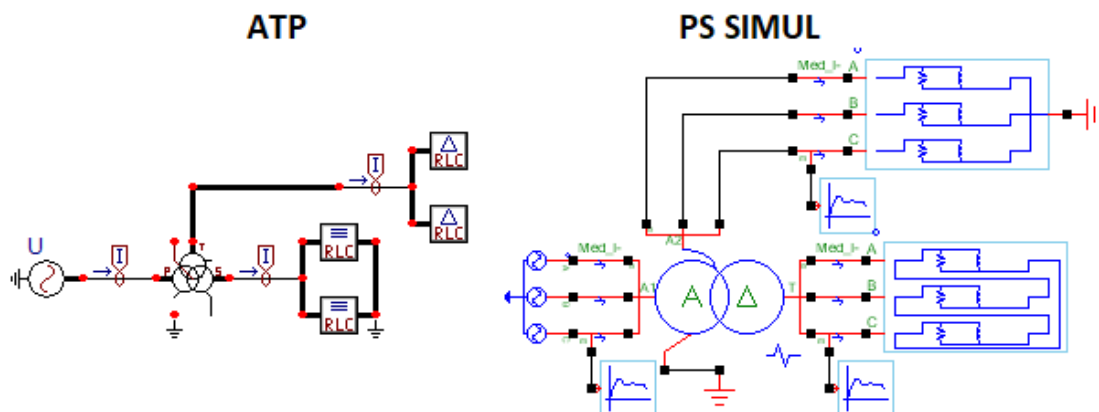


Figura 196 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

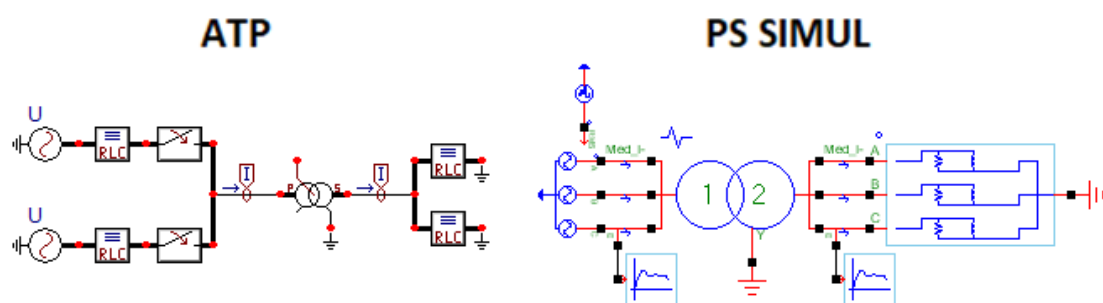
6.9.8 Cenário 08 – – Transformador trifásico real Δ -Y (saturação) (6.8).



Figura 197 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

7 Capítulo 07 - Linhas e Cabos

Este capítulo abrange os principais modelos de linhas e cabos disponibilizados pelo software ATP e seus equivalentes no software PS Simul. A fim de validá-los, foram modelados casos simples para diversas variações de linhas/cabos.

7.1 Cenário 01 – Linha PI monofásica.

Tabela 60 - Parametrizações utilizadas nas linhas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
01	 <i>RLC Pi-equiv.1 (1 phase)</i>	-	 Linha	Entrada Dados → Matriz RLC
		-		Transposta → Não
		-		Parâmetros Distribuídos → Não
		-		Modelo → PI
		-		Nº Fases → 1
		R → 5,8587 Ω		R11 → 5,8587 Ω
		L → 68,609 mH		L11 → 68,609e-3 H
		C → 0,5956 μ F		C11 → 0,5956e-6 F

Para tal validação foi realizada a energização da linha através de uma fonte AC cossenoidal com amplitude de 408,248 kV de pico (60 Hz). O terminal remoto foi mantido aberto. Com isso, foram simulados dois cenários: no primeiro a linha será energizada quando a fonte passa por seu valor de pico ($t = 0$ s) e no segundo quando a fonte passa pelo valor zero ($t = 4,166$ ms). Foram realizadas as leituras das tensões em ambos os terminais da linha, a fim de verificar os transitórios de energização. O passo utilizado foi de 10 μ s. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (7.8.1).

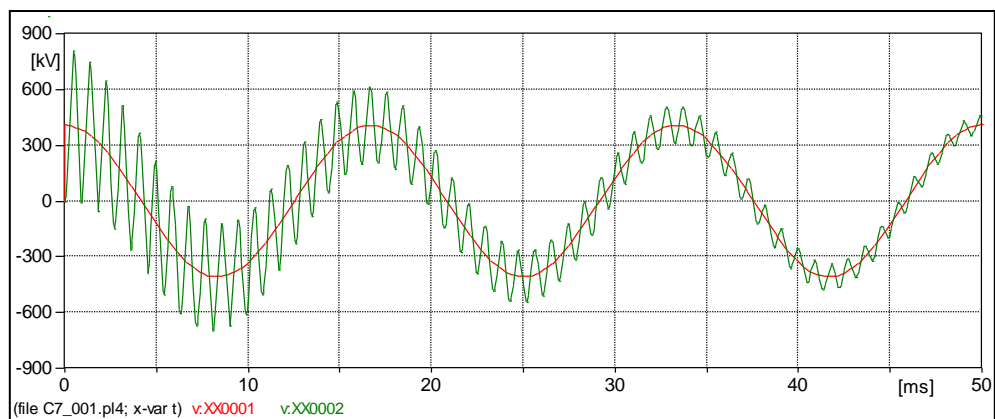


Figura 198 – Tensões em ambos os terminais (ATP) para energização em $t = 0$ s.

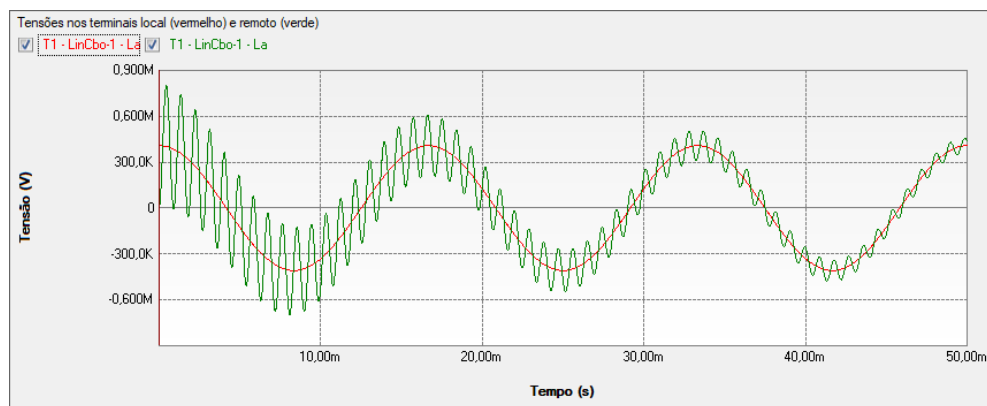


Figura 199 – Tensões em ambos os terminais (PS SIMUL) para energização em $t = 0$ s.

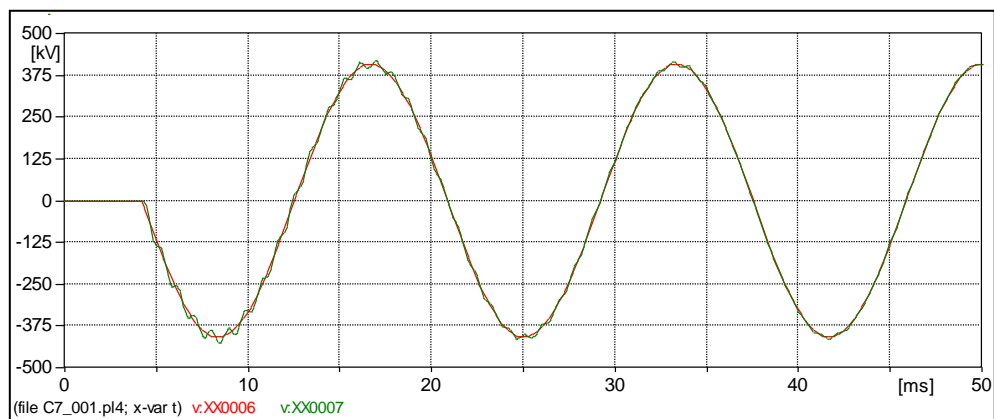


Figura 200 – Tensões em ambos os terminais (ATP) para energização em $t = 4,166$ ms.

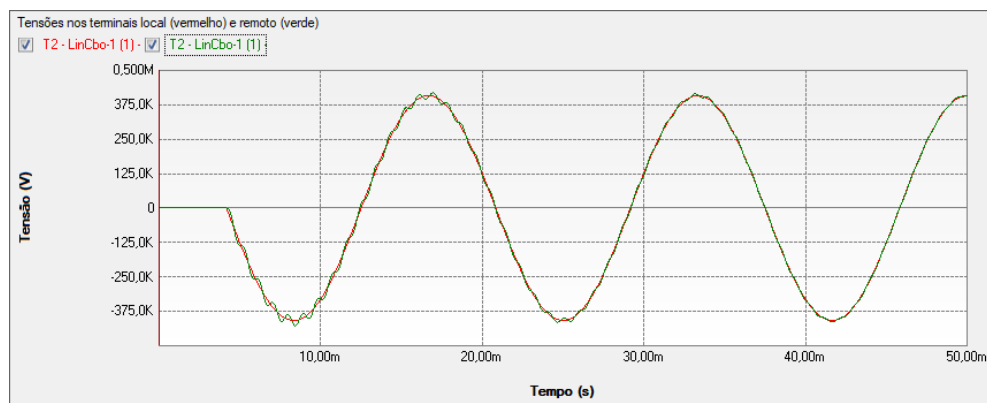

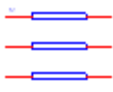


Figura 201 – Tensões em ambos os terminais (PS SIMUL) para energização em $t = 4,166$ ms.

7.2 Cenário 02 – Linha PI trifásica.

Tabela 61 - Parametrizações utilizadas nas linhas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
02	 RLC Pi-equiv.1 (3 phase)	-	 Linha	Entr. Dados → Matriz RLC
		-		Transposta → Não
		-		Parâm. Distribuídos → Não
		-		Modelo → PI
		-		Nº Fases → 3
		$R(xx) \rightarrow 5,8587 \Omega$		$R(xx) \rightarrow 5,8587 \Omega$
		$R(xy) \rightarrow 5,1262 \Omega$		$R(xy) \rightarrow 5,1262 \Omega$
		$L(xx) \rightarrow 68,6093 \text{ mH}$		$L(xx) \rightarrow 68,6093\text{e-}3 \text{ H}$
		$L(xy) \rightarrow 27,306 \text{ mH}$		$L(xy) \rightarrow 27,306\text{e-}3 \text{ H}$
		$C(xx) \rightarrow 0,5956 \text{ uF}$		$C(xx) \rightarrow 0,5956\text{e-}6 \text{ F}$
		$C(xy) \rightarrow -0,0977 \text{ uF}$		$C(xy) \rightarrow -0,0977\text{e-}6 \text{ F}$

Para tal validação foi realizada a energização da linha através de uma fonte AC cossenoidal com amplitude de 500 kV F-F RMS (60 Hz). O terminal remoto foi mantido aberto. A energização foi realizada no instante $t = 10 \text{ ms}$. Foram realizadas as leituras das tensões em ambos os terminais da linha, a fim de verificar os transitórios de energização. O passo utilizado foi de 10 us . Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (7.8.2).

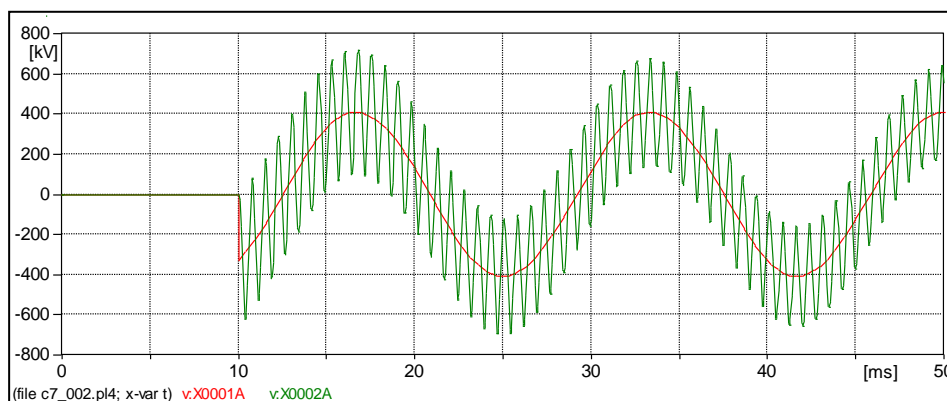


Figura 202 – Tensões na fase A de ambos os terminais (ATP).

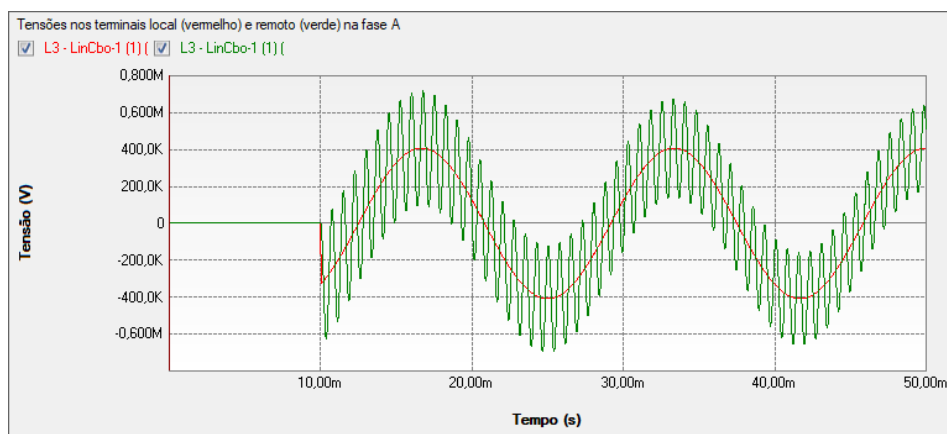


Figura 203 – Tensões na fase A de ambos os terminais (PS SIMUL).

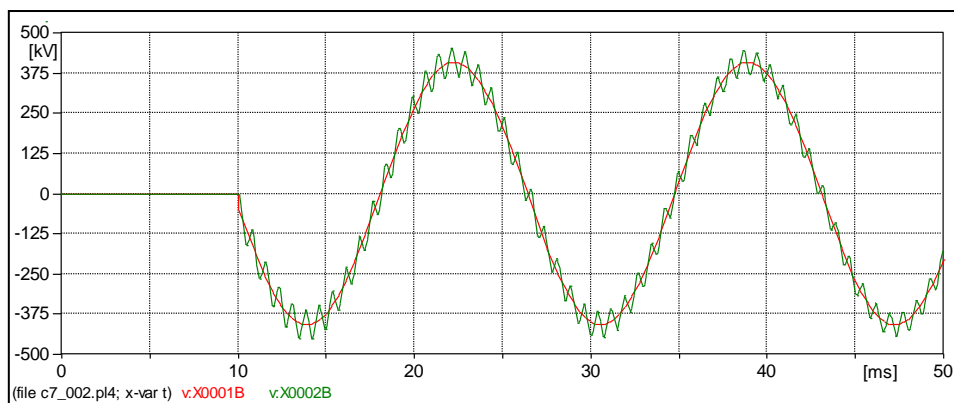


Figura 204 – Tensões na fase B de ambos os terminais (ATP).

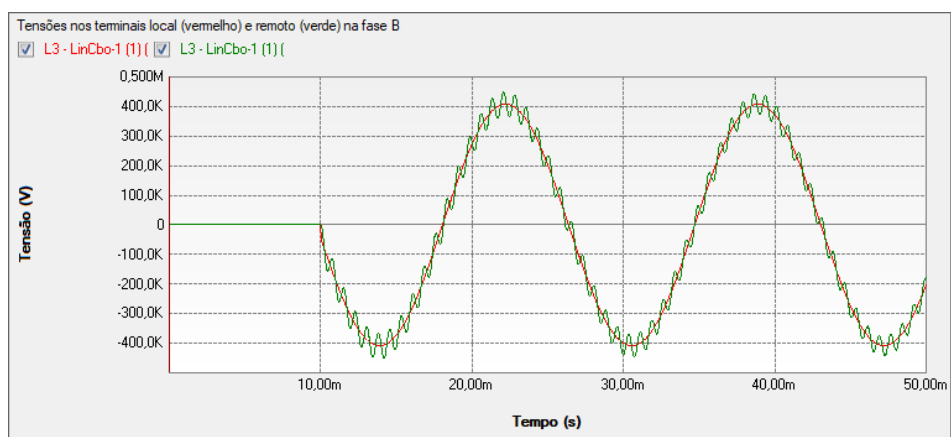


Figura 205 – Tensões na fase B de ambos os terminais (PS SIMUL).

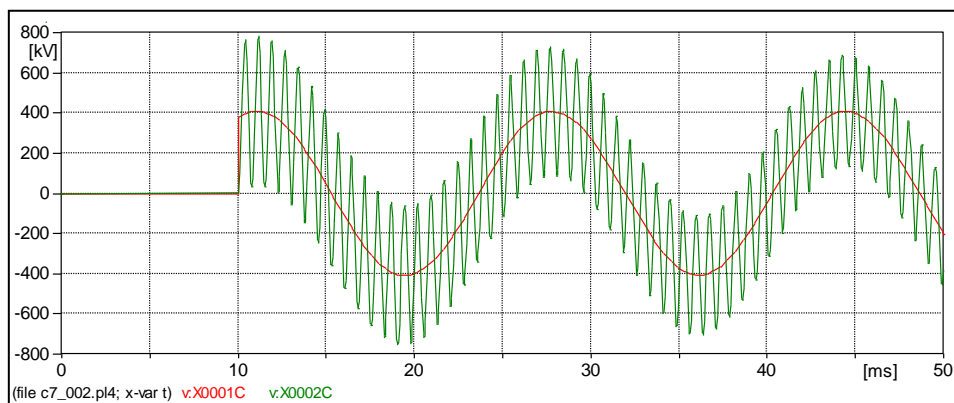


Figura 206 – Tensões na fase C de ambos os terminais (ATP).

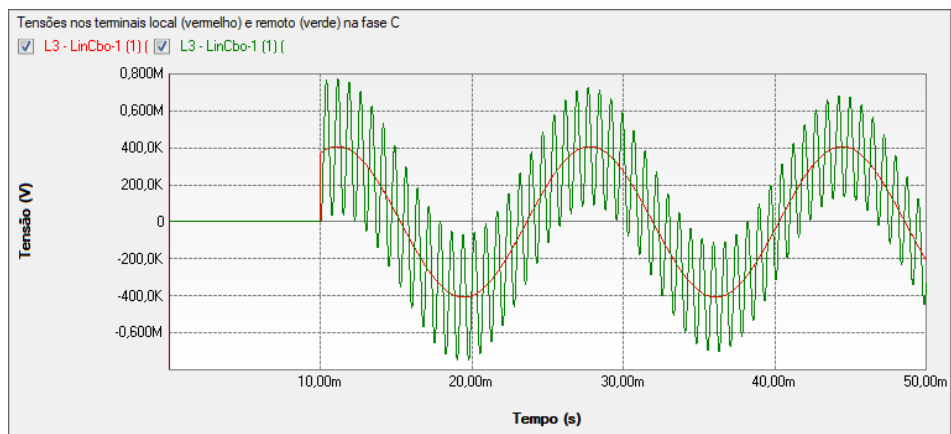




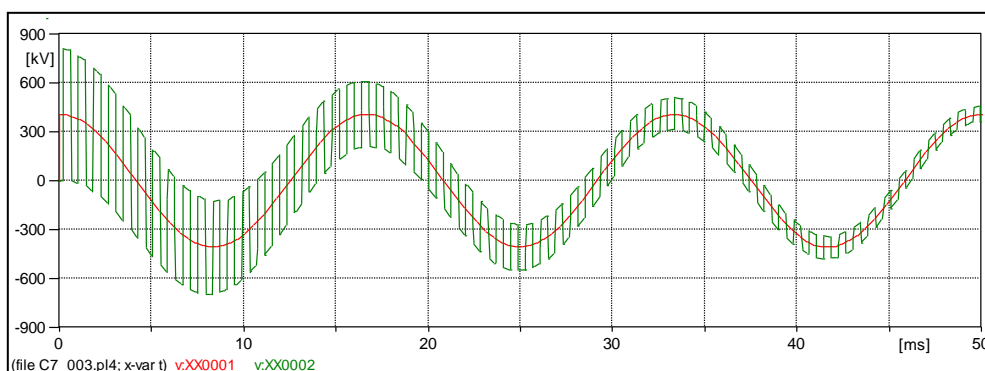
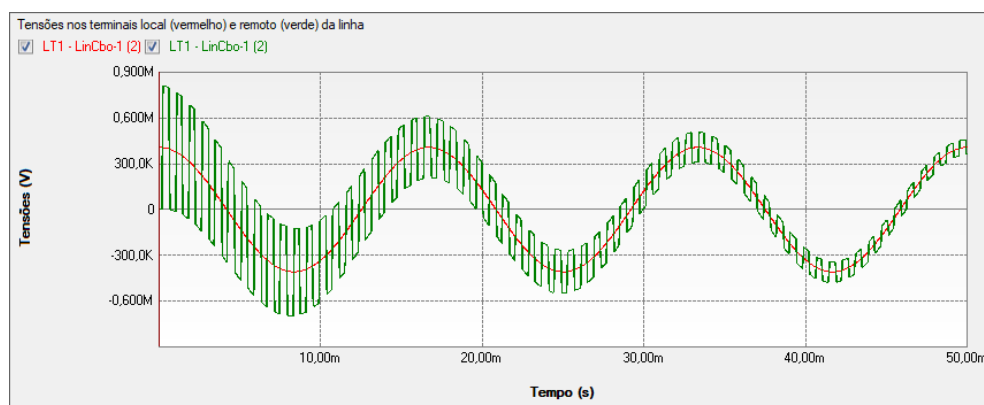
Figura 207 – Tensões na fase C de ambos os terminais (PS SIMUL).

7.3 Cenário 03 – Linha Bergeron monofásica.

Tabela 62 - Parametrizações utilizadas nas linhas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
03	 Transposed Lines (Clarke) (1 phase)	-	 Linha	Entrada Dados → Matriz RLC
		-		Transposta → Não
		-		Parâm. Distribuídos → Sim
		L → 50 km		Comprimento → 50 km
		ILINE → 0		-
		-		Modelo → Bergeron
		-		Nº Fases → 1
		R/I → 0,11717 Ω/km		R/I → 0,11717 Ω/km
		A → 1,3721 mH/km		L/I → 1,3721e-3 H/km
		B → 0,01191 uF/km		C/I → 0,01191e-6 F/km

Para tal validação foi realizada a energização da linha através de uma fonte AC cossenoidal com amplitude de 408,248 kV de pico (60 Hz). O terminal remoto foi mantido aberto. Com isso, foram simulados dois cenários: no primeiro a linha será energizada quando a fonte passa por seu valor de pico ($t = 0$ s) e no segundo quando a fonte passa pelo valor zero ($t = 4,166$ ms). Foram realizadas as leituras das tensões em ambos os terminais da linha, a fim de verificar os transitórios de energização. O passo de tempo utilizado foi de 1 μ s. Os circuitos modelados estão disposto no tópico (7.8.3).

Figura 208 – Tensões em ambos os terminais (ATP) para energização em $t = 0$ s.Figura 209 – Tensões em ambos os terminais (PS SIMUL) para energização em $t = 0$ s.

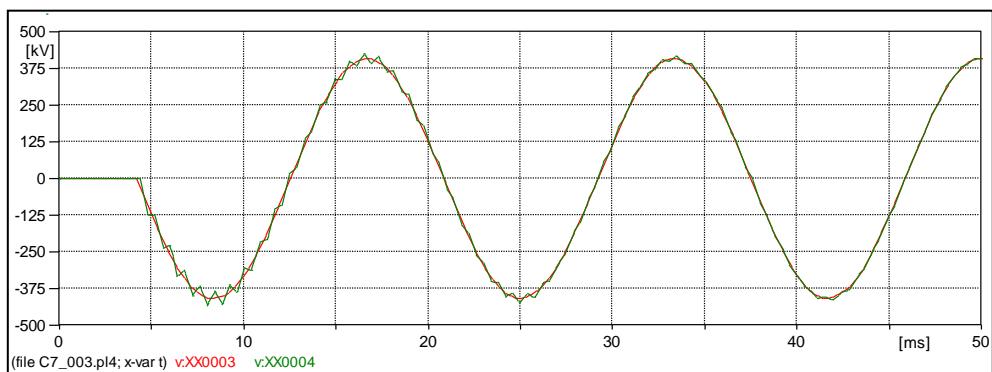


Figura 210 – Tensões em ambos os terminais (ATP) para energização em $t = 4,166$ ms.

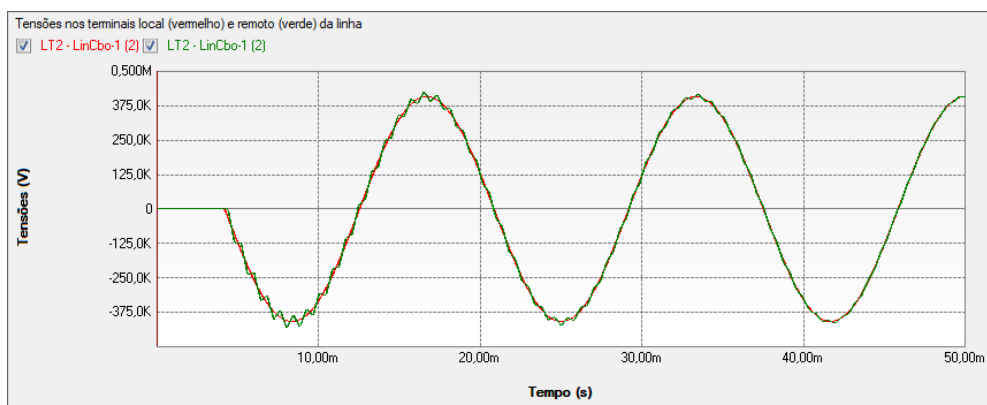




Figura 211 – Tensões em ambos os terminais (PS SIMUL) para energização em $t = 4,166$ ms.

7.4 Cenário 04 – Linha Bergeron trifásica (Transposta).

Tabela 63 - Parametrizações utilizadas nas linhas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
04	 Transposed Lines (Clarke) (3 phase)	-	 Linha	Entrada Dados → Matriz Seq
		-		Transposta → Sim
		-		Tipo Transposição → Total
		-		Parâm. Distribuídos → Sim
		L → 50 km		Comprimento → 50 km
		ILINE → 0		-
		-		Modelo → Bergeron
		-		Nº Fases → 3
		R/I + → 0,01465 Ω/km		R + → 0,01465 Ω/km
		R/I 0 → 0,32222 Ω/km		R 0 → 0,32222 Ω/km
		A + → 0,82606 mH/km		L + → 0,82606e-3 H/km
		A 0 → 2,4644 mH/km		L 0 → 2,4644e-3 H/km
		B + → 0,0138675 uF/km		C + → 0,0138675e-6 F/km
		B 0 → 0,0080027 uF/km		C 0 → 0,0080027e-6 F/km

Para tal validação foi realizada a energização da linha através de uma fonte AC cossenoidal com amplitude de 500 kV F-F RMS (60 Hz). O terminal remoto foi mantido aberto. A energização foi realizada no instante $t = 10$ ms. Foram realizadas as leituras das tensões em ambos os terminais da linha, a fim de verificar os transitórios de energização. O passo de tempo utilizado foi de 1 us. Os circuitos modelados estão disposto no tópic (7.8.4).

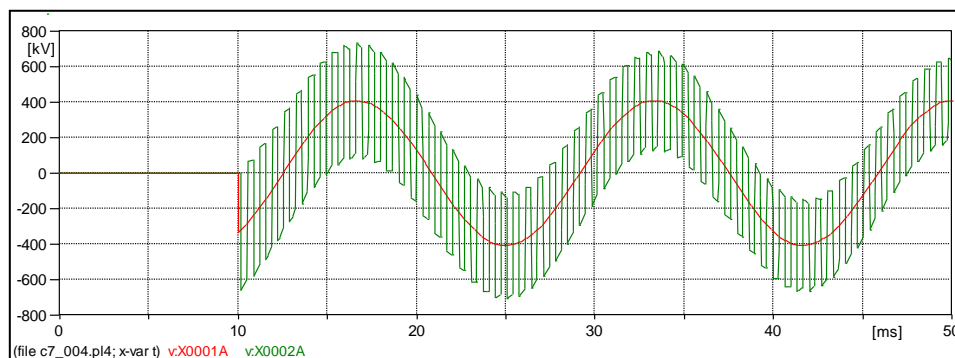


Figura 212 – Tensões na fase A de ambos os terminais (ATP).

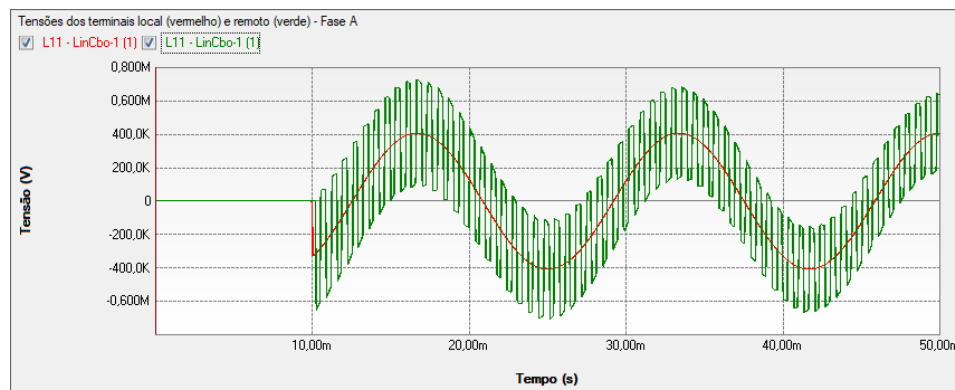


Figura 213 – Tensões na fase A de ambos os terminais (PS SIMUL).

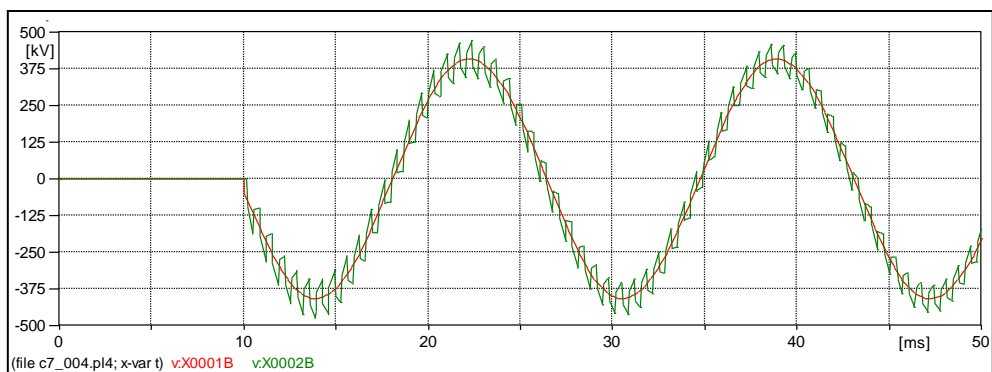


Figura 214 – Tensões na fase B de ambos os terminais (ATP).

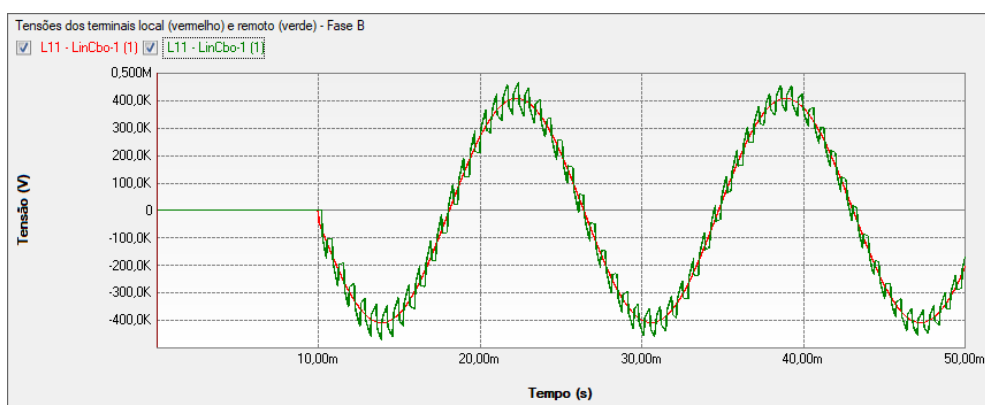


Figura 215 – Tensões na fase B de ambos os terminais (PS SIMUL).

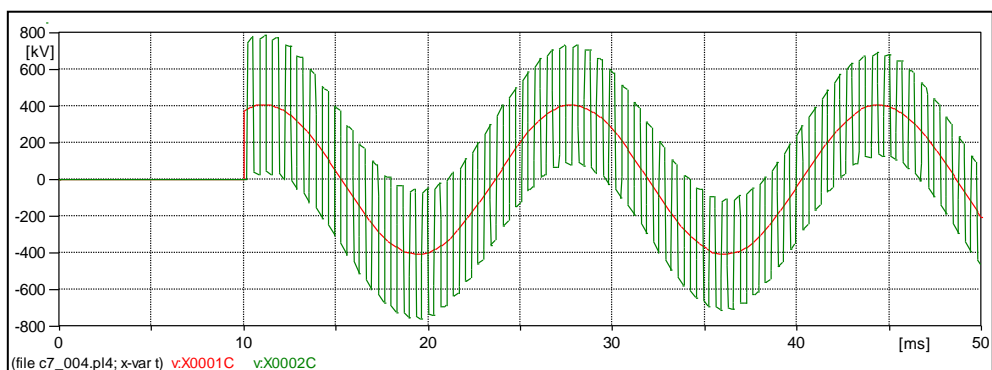


Figura 216 – Tensões na fase C de ambos os terminais (ATP).

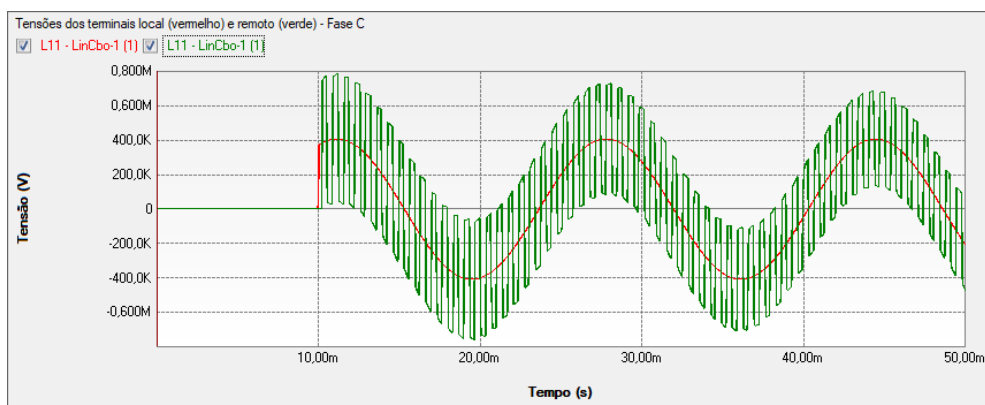


Figura 217 – Tensões na fase C de ambos os terminais (PS SIMUL).

7.5 Cenário 05 – Linha Bergeron trifásica (Cadastro por Geometria).

Tabela 64 - Parametrizações utilizadas no software ATP.

Cenário

05

ATP

Parametrização

LCC
(Dados Gerais)
(Overhead Line)

System type
Overhead Line

#Ph: 3

☒ Transposed

☒ Auto bundling

☒ Skin effect

☐ Segmented ground

☐ Real transf. matrix

Units

☒ Metric

☐ English

Standard data

Rho [ohm*m]1000

Freq. init [Hz]60

Length [km]80

Model
Type

☒ Bergeron

☐ PI

☐ JMarti

☐ Semlyen

☐ Noda

LCC
(Geometria)
(Overhead Line)

	Ph.no.	Rin	Rout	Resis	Horiz	Vtower	Vmid	Separ	Alpha	NB
#		[cm]	[cm]	[ohm/km DC]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[deg]	
1	1	0	1.4795	0.06	-10	34.5	17.5	45.7	45	4
2	2	0	1.4795	0.06	0	39.4	22.4	45.7	45	4
3	3	0	1.4795	0.06	10	34.5	17.5	45.7	45	4
4	0	0	0.6945	0.64	8.65	44.4	27.4	0	0	1
5	0	0	0.6945	0.64	-8.65	44.4	27.4	0	0	1

Tabela 65 - Parametrizações utilizadas no software PS Simul.

Cenário	PS Simul												
	Componente	Parametrização											
05	Linha (Dados Gerais)	<div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div></div></div></div>											

Para tal validação foi realizada a energização da linha através de uma fonte AC cossenoidal com amplitude de 500 kV F-F RMS (60 Hz). O terminal remoto foi mantido aberto. A energização foi realizada no instante $t = 5$ ms. Foram realizadas as leituras das tensões em ambos os terminais da linha e das correntes que fluem pelas fases, a fim de verificar os transitórios de energização. O passo utilizado foi de 1 μ s. Os circuitos modelados estão disposto no tópico (7.8.5).

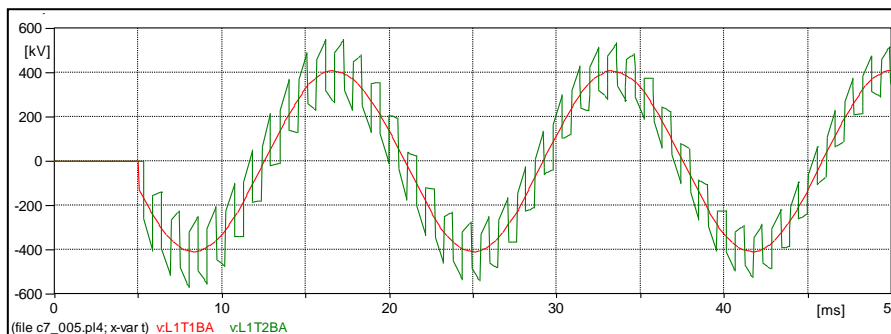


Figura 218 – Tensões na fase A de ambos os terminais (ATP).

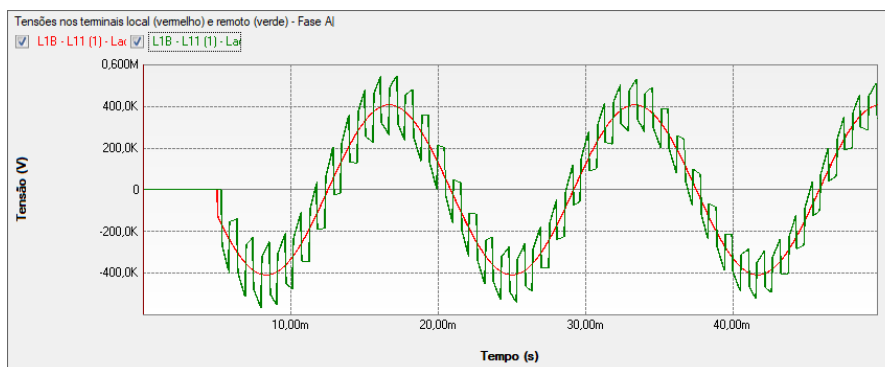


Figura 219 – Tensões na fase A de ambos os terminais (PS SIMUL).

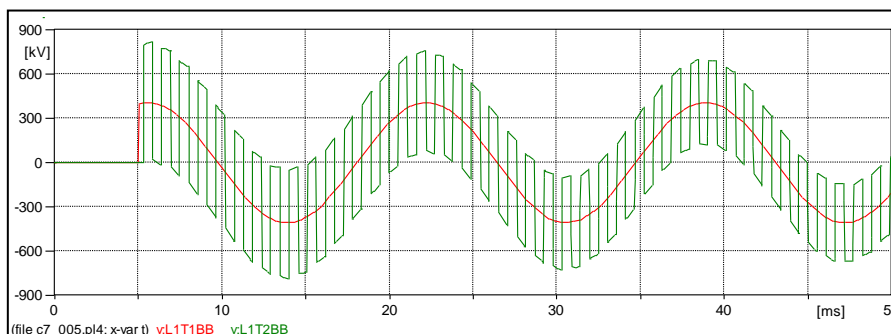


Figura 220 – Tensões na fase B de ambos os terminais (ATP).

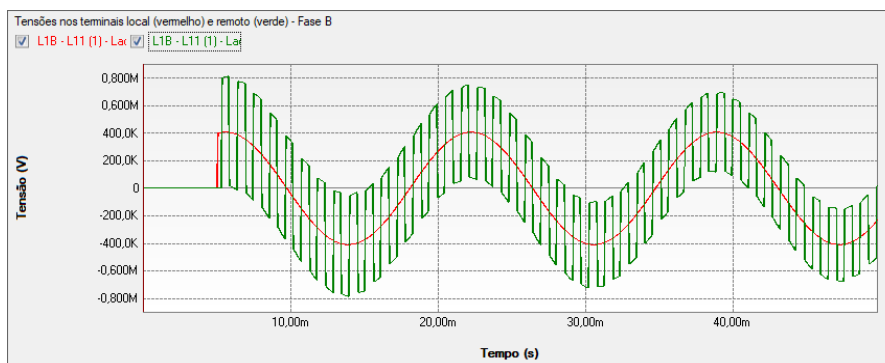


Figura 221 – Tensões na fase B de ambos os terminais (PS SIMUL).

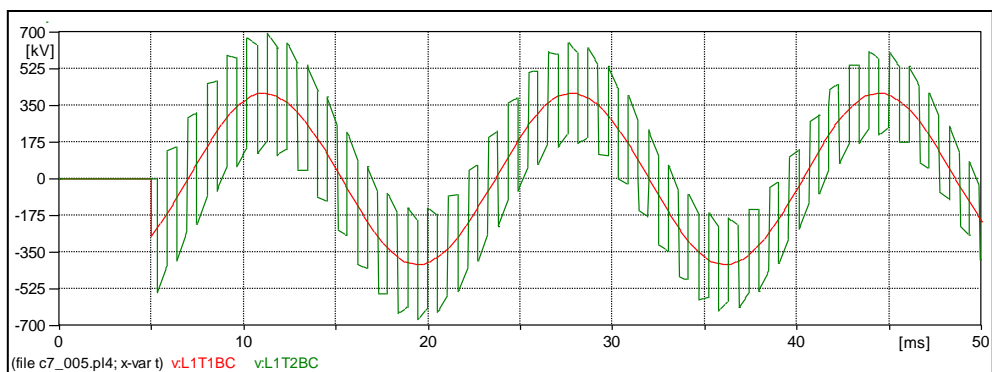


Figura 222 – Tensões na fase C de ambos os terminais (ATP).

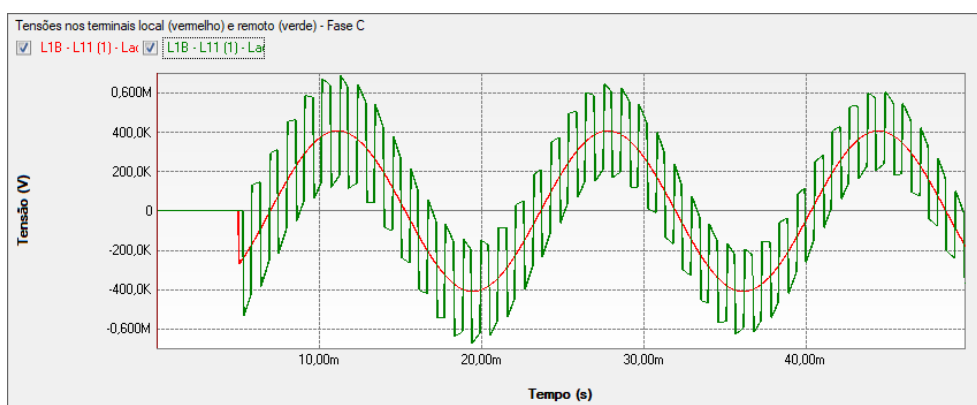


Figura 223 – Tensões na fase C de ambos os terminais (PS SIMUL).

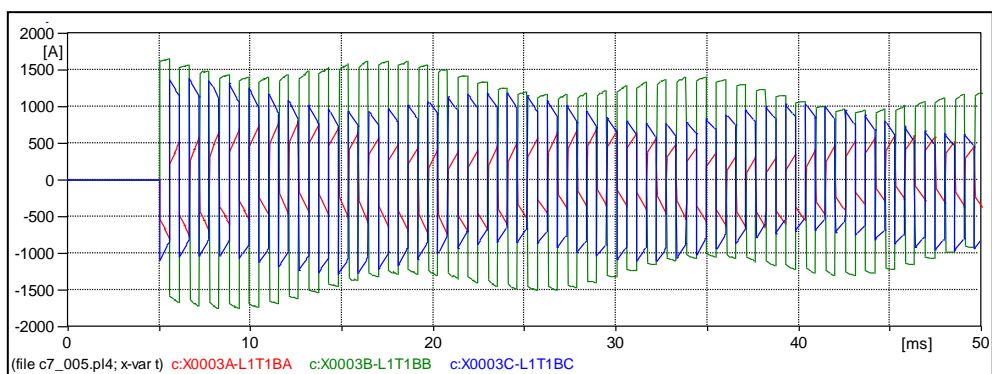


Figura 224 – Correntes que fluem pelas fases da linha (ATP).

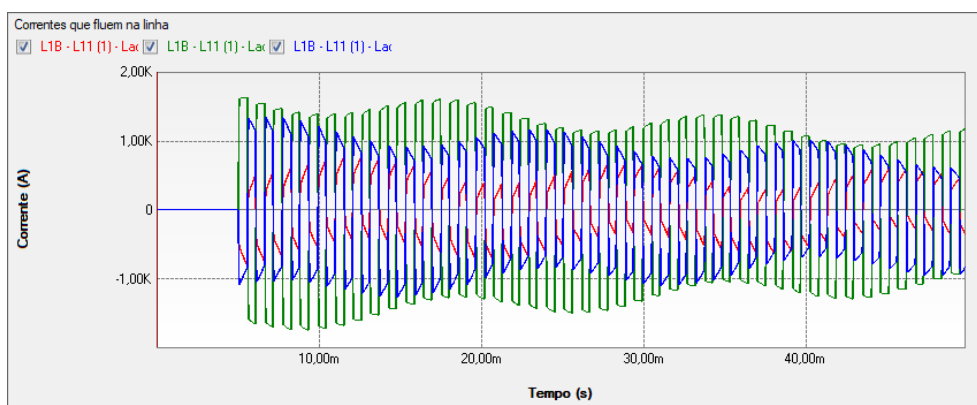


Figura 225 – Correntes que fluem pelas fases da linha (PS SIMUL).

7.6 Cenário 06 – Linha com Modelagem em Frequência trifásica (Cadastro por Geometria).

Tabela 66 - Parametrizações utilizadas no software ATP.

Cenário	ATP																																																																													
	Componente	Parametrização																																																																												
06	LCC (Dados Gerais) (Overhead Line)	<div><div><div>System type</div><div><div>Overhead Line</div><div>#Ph: 3</div></div><div><div><div><div><input checked="" type="checkbox"/> Transposed</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Auto bundling</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Skin effect</div><div><input type="checkbox"/> Segmented ground</div><div><input type="checkbox"/> Real transf. matrix</div></div><div><div>Units</div><div><div><input checked="" type="radio"/> Metric</div><div><input type="radio"/> English</div></div></div></div></div><div><div>Standard data</div><div><div>Rho [ohm*m] 1000</div><div>Freq. init [Hz] 60</div><div>Length [km] 80</div></div></div></div><div><div>Model</div><div><div>Type</div><div><div><input type="radio"/> Bergeron</div><div><input type="radio"/> PI</div><div><input checked="" type="radio"/> JMarti</div><div><input type="radio"/> Semlyen</div><div><input type="radio"/> Noda</div></div><div><div>Data</div><div><div>Decades 6</div><div>Points/Dec 30</div><div>Freq. matrix [Hz] 60</div><div>Freq. SS [Hz] 0</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Use default fitting</div></div></div></div></div></div>																																																																												
	LCC (Geometria) (Overhead Line)	<table><tr><th></th><th>Ph.no.</th><th>Rin</th><th>Rout</th><th>Resis</th><th>Horiz</th><th>Vtower</th><th>Vmid</th><th>Separ</th><th>Alpha</th><th>NB</th></tr><tr><th>#</th><th></th><th>[cm]</th><th>[cm]</th><th>[ohm/km DC]</th><th>[m]</th><th>[m]</th><th>[m]</th><th>[cm]</th><th>[deg]</th><th></th></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1.4795</td><td>0.06</td><td>-10</td><td>34.5</td><td>17.5</td><td>45.7</td><td>45</td><td>4</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>1.4795</td><td>0.06</td><td>0</td><td>39.4</td><td>22.4</td><td>45.7</td><td>45</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td><td>0</td><td>1.4795</td><td>0.06</td><td>10</td><td>34.5</td><td>17.5</td><td>45.7</td><td>45</td><td>4</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0.6945</td><td>0.64</td><td>8.65</td><td>44.4</td><td>27.4</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0.6945</td><td>0.64</td><td>-8.65</td><td>44.4</td><td>27.4</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>		Ph.no.	Rin	Rout	Resis	Horiz	Vtower	Vmid	Separ	Alpha	NB	#		[cm]	[cm]	[ohm/km DC]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[deg]		1	1	0	1.4795	0.06	-10	34.5	17.5	45.7	45	4	2	2	0	1.4795	0.06	0	39.4	22.4	45.7	45	4	3	3	0	1.4795	0.06	10	34.5	17.5	45.7	45	4	4	0	0	0.6945	0.64	8.65	44.4	27.4	0	0	1	5	0	0	0.6945	0.64	-8.65	44.4	27.4	0	0
	Ph.no.	Rin	Rout	Resis	Horiz	Vtower	Vmid	Separ	Alpha	NB																																																																				
#		[cm]	[cm]	[ohm/km DC]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[deg]																																																																					
1	1	0	1.4795	0.06	-10	34.5	17.5	45.7	45	4																																																																				
2	2	0	1.4795	0.06	0	39.4	22.4	45.7	45	4																																																																				
3	3	0	1.4795	0.06	10	34.5	17.5	45.7	45	4																																																																				
4	0	0	0.6945	0.64	8.65	44.4	27.4	0	0	1																																																																				
5	0	0	0.6945	0.64	-8.65	44.4	27.4	0	0	1																																																																				

Tabela 67 - Parametrizações utilizadas no software PS Simul.

Cenário	PS Simul											
	Componente	Parametrização										
06	Linha (Dados Gerais)	<div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div></div></div></div>										

Para tal validação foi realizada a energização da linha através de uma fonte AC cossenoidal com amplitude de 500 kV F-F RMS (60 Hz). O terminal remoto foi mantido aberto. A energização foi realizada no instante $t = 5$ ms. Foram realizadas as leituras das tensões em ambos os terminais da linha e das correntes que fluem pelas fases, a fim de verificar os transitórios de energização. O passo utilizado foi de 1 μ s. Os circuitos modelados estão disposto no tópico (7.8.6).

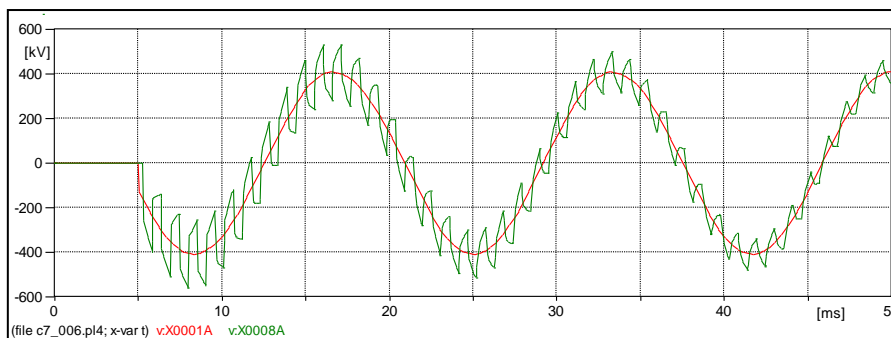


Figura 226 – Tensões na fase A de ambos os terminais (ATP).

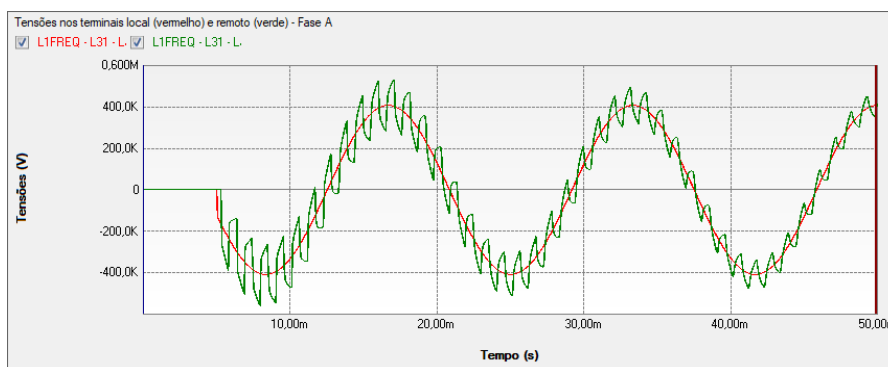


Figura 227 – Tensões na fase A de ambos os terminais (PS SIMUL).

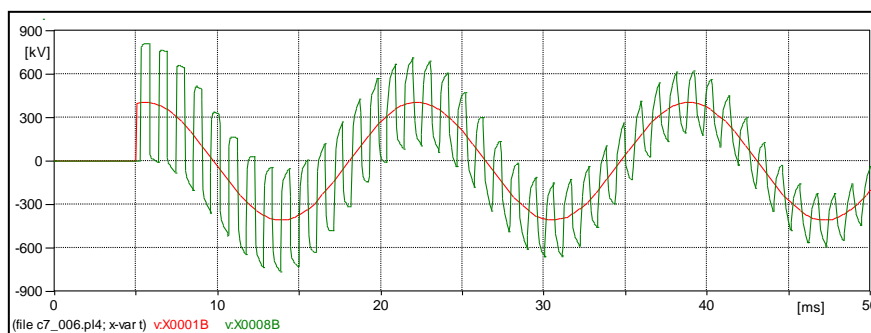


Figura 228 – Tensões na fase B de ambos os terminais (ATP).

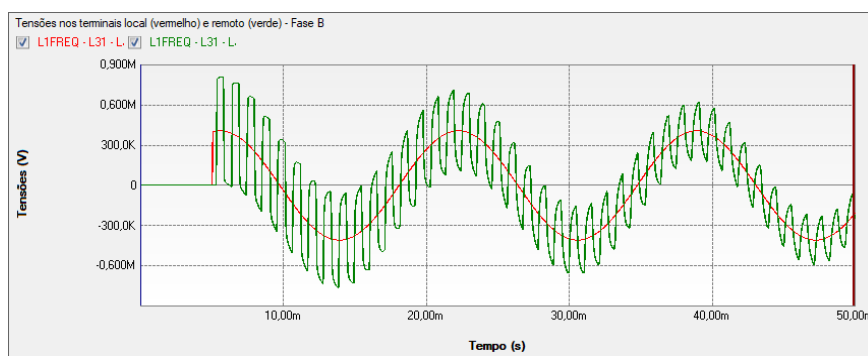


Figura 229 – Tensões na fase B de ambos os terminais (PS SIMUL).

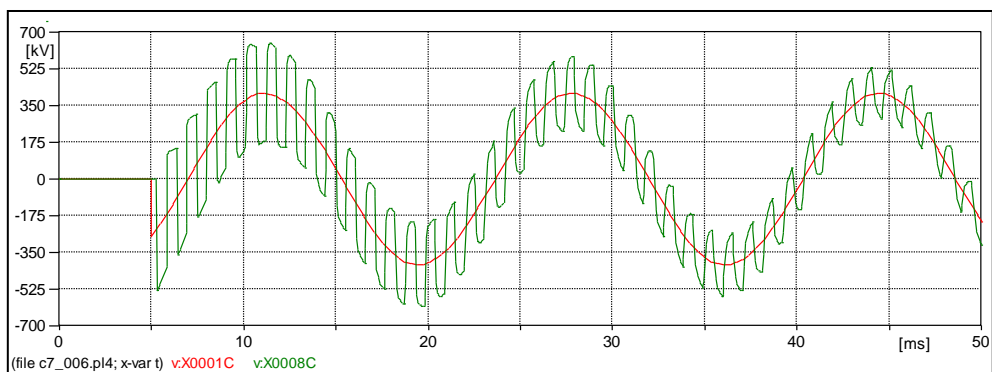


Figura 230 – Tensões na fase C de ambos os terminais (ATP).

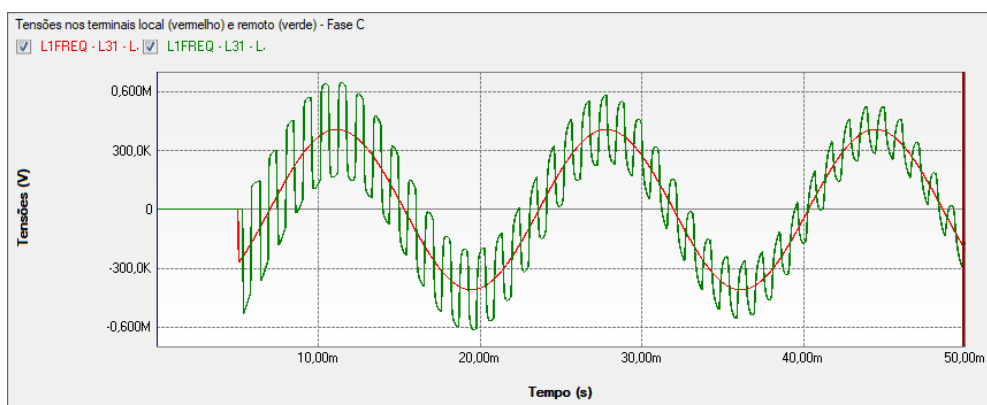


Figura 231 – Tensões na fase C de ambos os terminais (PS SIMUL).

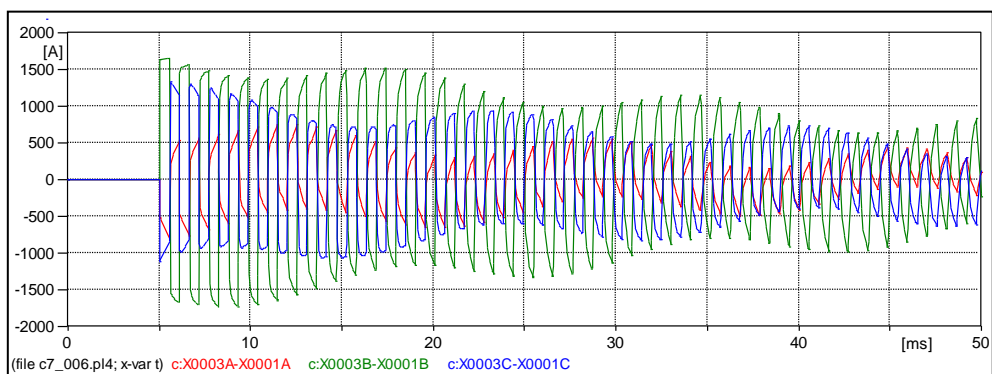


Figura 232 – Correntes que fluem pelas fases da linha (ATP).

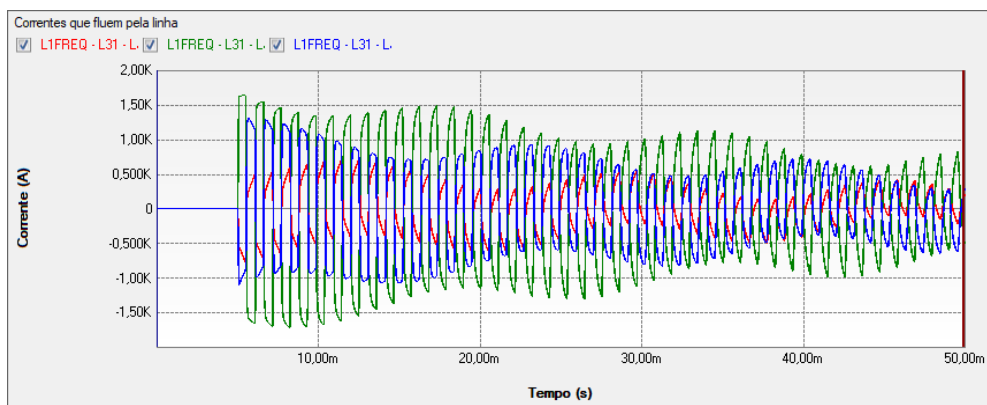


Figura 233 – Correntes que fluem pelas fases da linha (PS SIMUL).

7.7 Cenário 07 – Cabos Modelo Bergeron (Subterrâneo).

Tabela 68 - Parametrizações utilizadas no software ATP.

Cenário	ATP																					
	Componente	Parametrização																				
07	LCC (Dados Gerais) (Single Core Cable)	<div> <div>Model Data</div> <div> <div>System type Single Core Cable</div> <div>#Ph: 3</div> <div>Standard data Rho [ohm*m] 100 Freq. init [Hz] 60 Length [m] 2000</div> <div>Model Type <input checked="" type="radio"/> Bergeron <input type="radio"/> PI <input type="radio"/> JMarti <input type="radio"/> Semlyen <input type="radio"/> Noda </div> </div> <div> <div>Number of cables: 3</div> <div> <div>Cables in <input type="radio"/> Air <input type="radio"/> Surface <input checked="" type="radio"/> Ground </div> <div> <input type="checkbox"/> Cable Constants <input type="checkbox"/> Matrix output <input type="checkbox"/> Spacing <input type="checkbox"/> Add G [S/m] <input type="checkbox"/> Add C [F/m] </div> </div> </div> </div>																				
	LCC (Single Core Cable)	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>CORE</th><th>SHEATH</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rin [m]</td><td>0</td><td>0.03775</td></tr> <tr> <td>Rout [m]</td><td>0.0195</td><td>0.03797</td></tr> <tr> <td>Rho [ohm*m]</td><td>3.365E-8</td><td>1.718E-8</td></tr> <tr> <td>mu</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr> <td>mu (ins)</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr> <td>eps (ins)</td><td>2.85</td><td>2.85</td></tr> </tbody> </table> <div> <div> Cabo 1 Position Vertical [m] <input type="text" value="1"/> Horizontal [m] <input type="text" value="0"/> </div> <div> Cabo 2 Position Vertical [m] <input type="text" value="1"/> Horizontal [m] <input type="text" value="0.3"/> </div> <div> Cabo 3 Position Vertical [m] <input type="text" value="1"/> Horizontal [m] <input type="text" value="0.6"/> </div> </div>		CORE	SHEATH	Rin [m]	0	0.03775	Rout [m]	0.0195	0.03797	Rho [ohm*m]	3.365E-8	1.718E-8	mu	1	1	mu (ins)	1	1	eps (ins)	2.85
	CORE	SHEATH																				
Rin [m]	0	0.03775																				
Rout [m]	0.0195	0.03797																				
Rho [ohm*m]	3.365E-8	1.718E-8																				
mu	1	1																				
mu (ins)	1	1																				
eps (ins)	2.85	2.85																				

Tabela 69 - Parametrizações utilizadas no software PS Simul.

Cenário	PS Simul																																																																																																																																																																																								
	Componente	Parametrização																																																																																																																																																																																							
07	Cabo (Dados Gerais)	<div> <div></div> Geral Lin/Cbo </div> <div> Entrada de DadosGeometria▼ Frequência60,00 Hz Comprimento2,00 km Efeito SkinNão▼ TranspostaNão▼ Tipo TransposiçãoTotal▼ Terra SegmentadoNão▼ Parâmetros DistribuídosSim▼ Modelo Calc ZAproximado (Wedepohl/Wilcox)▼ Fasor no LOGMod e Âng </div> <div> <div></div> Representação do Retorno pelo Solo </div> <div> Resistividade do Solo100,0 Ω.m μr1,00 Modelo p/ condutores aéreosAproximado (Deri-Semlyen)▼ Modelo p/ condutores subterrâneosAproximado (Saad)▼ Modelo entre aéreos e subterrâneosAproximado (Lucca)▼ </div> <div> <div></div> Modelo </div> <div> ModeloBergeron▼ InterpolerSim▼ Força Pi p/ Dt > TempoOndaNão▼ </div>																																																																																																																																																																																							
	Cabo (Geometria)	<div> Geometria e Arranjos </div> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Xcbo</th> <th>Ycbo</th> <th>Config Cabo</th> <th>Camada</th> <th>Descrição</th> <th>Raio Int</th> <th>Raio Ext</th> <th>p</th> <th>μr</th> <th>εr</th> <th>Gnd Del</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="11">- Cabo001</td> </tr> <tr> <td>0 m</td> <td>1,00 m</td> <td>2Cond e 2isol ▼</td> <td>1ª Condutor</td> <td>Condutor Interno</td> <td>0 m</td> <td>19,50 mm</td> <td>33,65 pΩ.Km</td> <td>1,00</td> <td>---</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Subterrâneo ▼</td> <td>1ª Isolante</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>37,75 mm</td> <td>---</td> <td>1,00</td> <td>2,85</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2ª Condutor</td> <td>Revestimento</td> <td>---</td> <td>37,97 mm</td> <td>17,18 pΩ.Km</td> <td>1,00</td> <td>---</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2ª Isolante</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>42,50 mm</td> <td>---</td> <td>1,00</td> <td>2,85</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="11">- Cabo002</td> </tr> <tr> <td>300,0 mm</td> <td>1,00 m</td> <td>2Cond e 2isol ▼</td> <td>1ª Condutor</td> <td>Condutor Interno</td> <td>0 m</td> <td>19,50 mm</td> <td>33,65 pΩ.Km</td> <td>1,00</td> <td>---</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Subterrâneo ▼</td> <td>1ª Isolante</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>37,75 mm</td> <td>---</td> <td>1,00</td> <td>2,85</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2ª Condutor</td> <td>Revestimento</td> <td>---</td> <td>37,97 mm</td> <td>17,18 pΩ.Km</td> <td>1,00</td> <td>---</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2ª Isolante</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>42,50 mm</td> <td>---</td> <td>1,00</td> <td>2,85</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="11">- Cabo003</td> </tr> <tr> <td>0,600 m</td> <td>1,00 m</td> <td>2Cond e 2isol ▼</td> <td>1ª Condutor</td> <td>Condutor Interno</td> <td>0 m</td> <td>19,50 mm</td> <td>33,65 pΩ.Km</td> <td>1,00</td> <td>---</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Subterrâneo ▼</td> <td>1ª Isolante</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>37,75 mm</td> <td>---</td> <td>1,00</td> <td>2,85</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2ª Condutor</td> <td>Revestimento</td> <td>---</td> <td>37,97 mm</td> <td>17,18 pΩ.Km</td> <td>1,00</td> <td>---</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2ª Isolante</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>42,50 mm</td> <td>---</td> <td>1,00</td> <td>2,85</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>									Xcbo	Ycbo	Config Cabo	Camada	Descrição	Raio Int	Raio Ext	p	μr	εr	Gnd Del	- Cabo001											0 m	1,00 m	2Cond e 2isol ▼	1ª Condutor	Condutor Interno	0 m	19,50 mm	33,65 pΩ.Km	1,00	---				Subterrâneo ▼	1ª Isolante	---	---	37,75 mm	---	1,00	2,85					2ª Condutor	Revestimento	---	37,97 mm	17,18 pΩ.Km	1,00	---					2ª Isolante	---	---	42,50 mm	---	1,00	2,85		- Cabo002											300,0 mm	1,00 m	2Cond e 2isol ▼	1ª Condutor	Condutor Interno	0 m	19,50 mm	33,65 pΩ.Km	1,00	---				Subterrâneo ▼	1ª Isolante	---	---	37,75 mm	---	1,00	2,85					2ª Condutor	Revestimento	---	37,97 mm	17,18 pΩ.Km	1,00	---					2ª Isolante	---	---	42,50 mm	---	1,00	2,85		- Cabo003											0,600 m	1,00 m	2Cond e 2isol ▼	1ª Condutor	Condutor Interno	0 m	19,50 mm	33,65 pΩ.Km	1,00	---				Subterrâneo ▼	1ª Isolante	---	---	37,75 mm	---	1,00	2,85					2ª Condutor	Revestimento	---	37,97 mm	17,18 pΩ.Km	1,00	---					2ª Isolante	---	---	42,50 mm	---	1,00	2,85
Xcbo	Ycbo	Config Cabo	Camada	Descrição	Raio Int	Raio Ext	p	μr	εr	Gnd Del																																																																																																																																																																															
- Cabo001																																																																																																																																																																																									
0 m	1,00 m	2Cond e 2isol ▼	1ª Condutor	Condutor Interno	0 m	19,50 mm	33,65 pΩ.Km	1,00	---																																																																																																																																																																																
		Subterrâneo ▼	1ª Isolante	---	---	37,75 mm	---	1,00	2,85																																																																																																																																																																																
			2ª Condutor	Revestimento	---	37,97 mm	17,18 pΩ.Km	1,00	---																																																																																																																																																																																
			2ª Isolante	---	---	42,50 mm	---	1,00	2,85																																																																																																																																																																																
- Cabo002																																																																																																																																																																																									
300,0 mm	1,00 m	2Cond e 2isol ▼	1ª Condutor	Condutor Interno	0 m	19,50 mm	33,65 pΩ.Km	1,00	---																																																																																																																																																																																
		Subterrâneo ▼	1ª Isolante	---	---	37,75 mm	---	1,00	2,85																																																																																																																																																																																
			2ª Condutor	Revestimento	---	37,97 mm	17,18 pΩ.Km	1,00	---																																																																																																																																																																																
			2ª Isolante	---	---	42,50 mm	---	1,00	2,85																																																																																																																																																																																
- Cabo003																																																																																																																																																																																									
0,600 m	1,00 m	2Cond e 2isol ▼	1ª Condutor	Condutor Interno	0 m	19,50 mm	33,65 pΩ.Km	1,00	---																																																																																																																																																																																
		Subterrâneo ▼	1ª Isolante	---	---	37,75 mm	---	1,00	2,85																																																																																																																																																																																
			2ª Condutor	Revestimento	---	37,97 mm	17,18 pΩ.Km	1,00	---																																																																																																																																																																																
			2ª Isolante	---	---	42,50 mm	---	1,00	2,85																																																																																																																																																																																

Para tal validação foi realizada a energização o cabo através de uma fonte AC cossenoidal com amplitude de 138 kV F-F RMS (60 Hz). O terminal remoto foi mantido aberto. A energização foi realizada no instante $t = 1$ ms. Foram realizadas as leituras das tensões em ambos os terminais do cabo visando verificar os transitórios de energização. O passo utilizado foi de 1 μ s. Os circuitos modelados estão disposto no tópico (7.8.7).

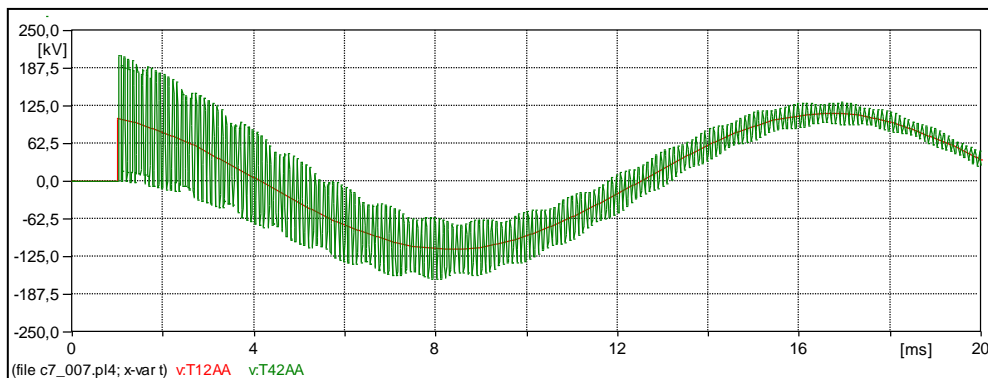


Figura 234 – Tensões na fase A de ambos os terminais dos cabos (ATP).

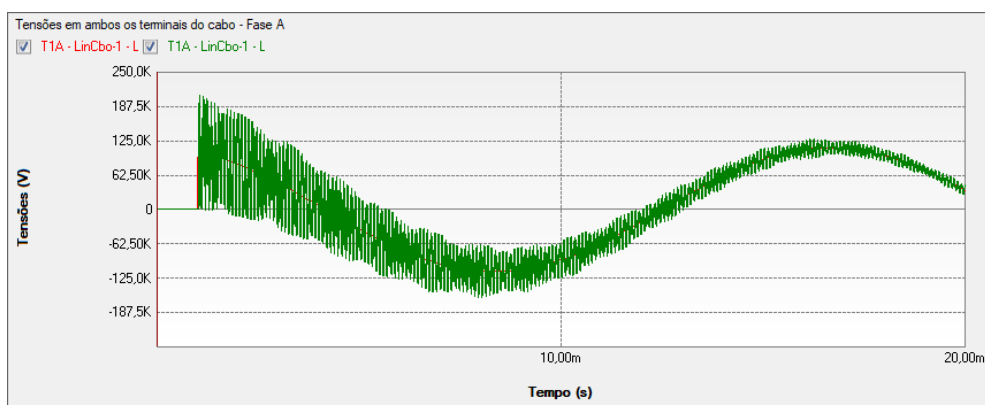


Figura 235 – Tensões na fase A de ambos os terminais dos cabos (PS SIMUL).

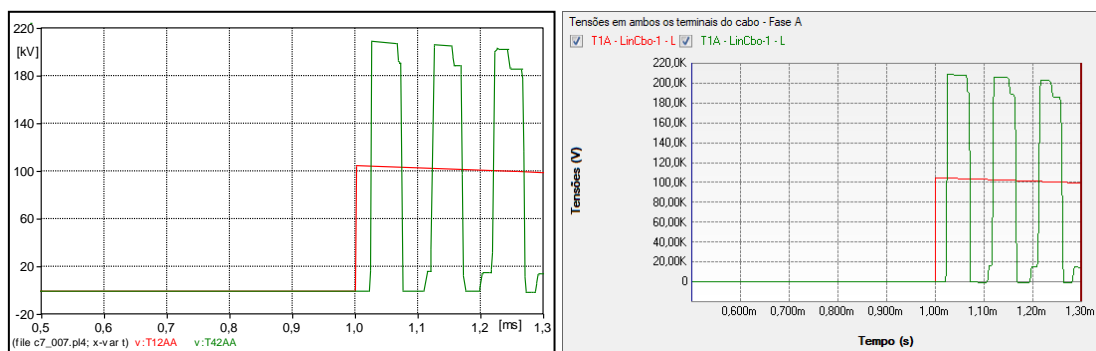


Figura 236 – Zoom Tensões na fase A de ambos os terminais dos cabos (ATP e PS SIMUL).

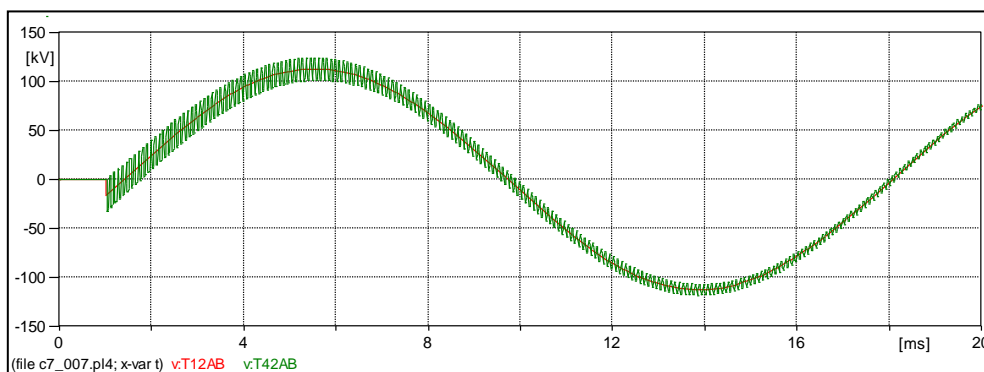


Figura 237 – Tensões na fase B de ambos os terminais dos cabos (ATP).

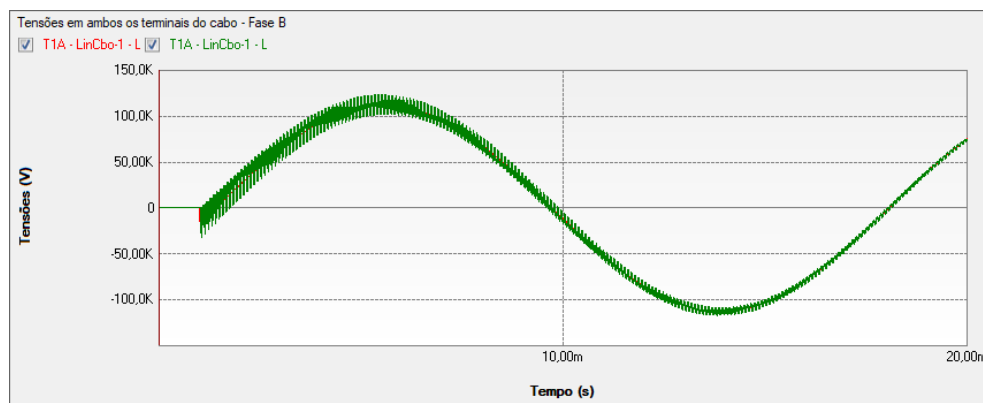


Figura 238 – Tensões na fase B de ambos os terminais dos cabos (PS SIMUL).

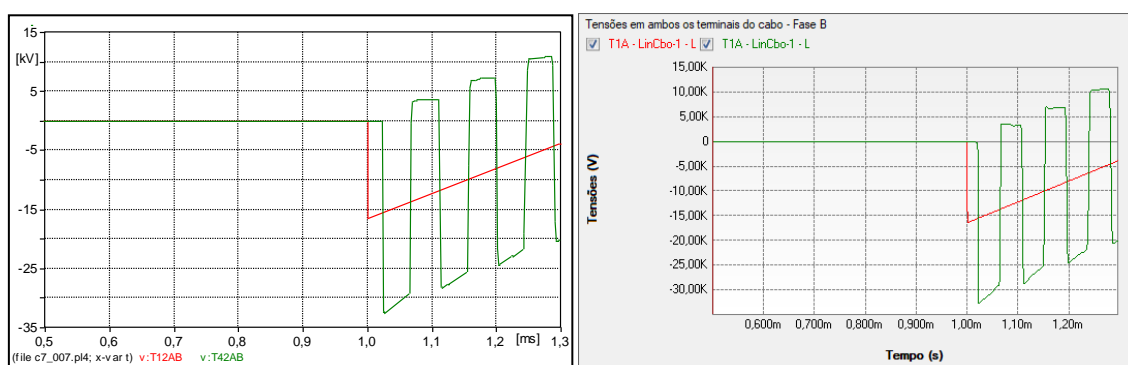


Figura 239 – Zoom Tensões na fase B de ambos os terminais dos cabos (ATP e PS SIMUL).

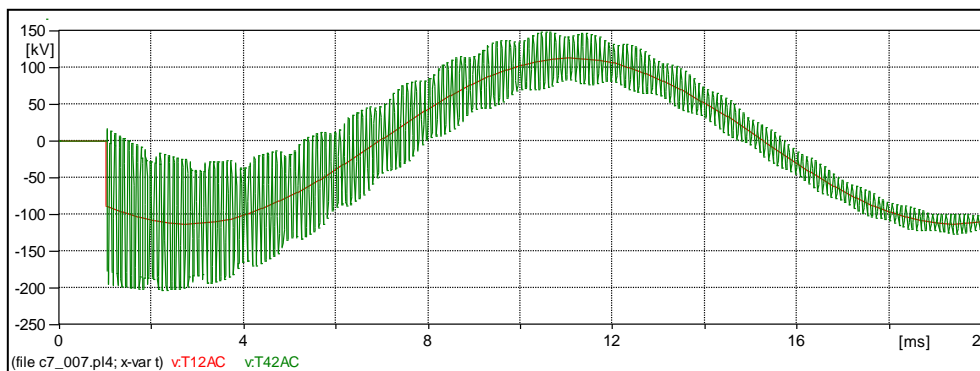


Figura 240 – Tensões na fase C de ambos os terminais dos cabos (ATP).

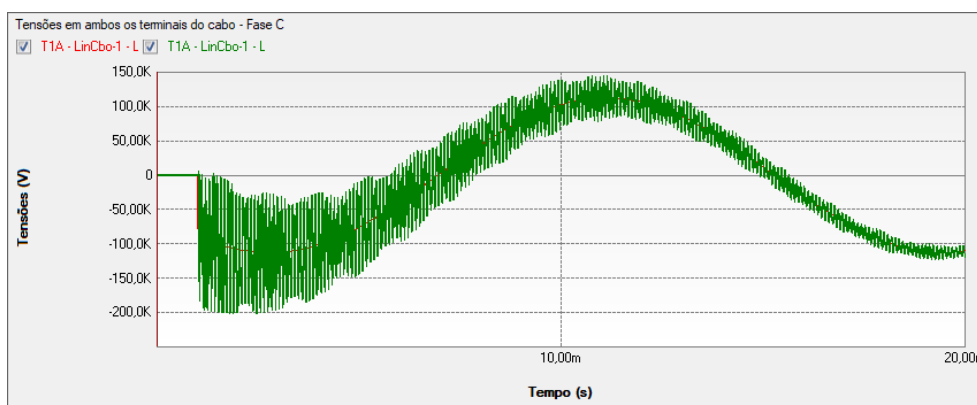


Figura 241 – Tensões na fase C de ambos os terminais dos cabos (PS SIMUL).

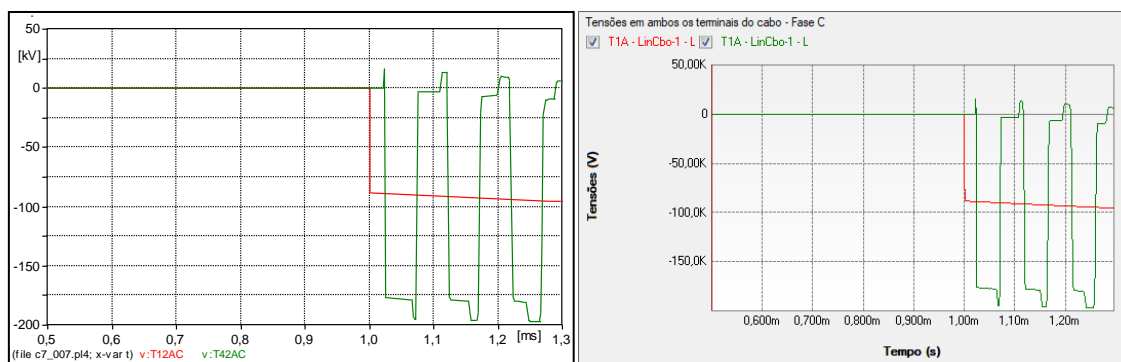


Figura 242 – Zoom Tensões na fase C de ambos os terminais dos cabos (ATP e PS SIMUL).

7.8 Circuitos modelados e curvas cadastradas para as validações realizadas

7.8.1 Cenário 01 – Linha PI monofásica (7.1).

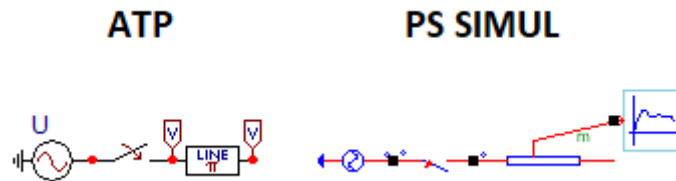


Figura 243 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

7.8.2 Cenário 02 – Linha PI trifásica (7.2).

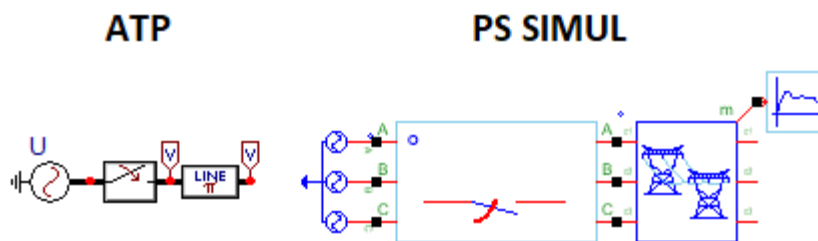


Figura 244 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

7.8.3 Cenário 03 – Linha Bergeron monofásica (7.3).

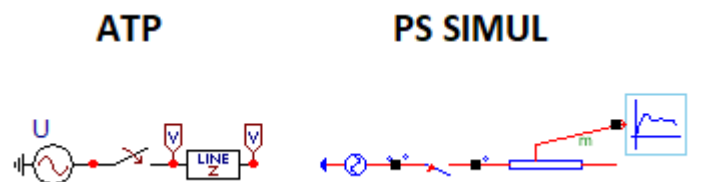


Figura 245 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

7.8.4 Cenário 04 – Linha Bergeron trifásica (Transposta) (7.4).

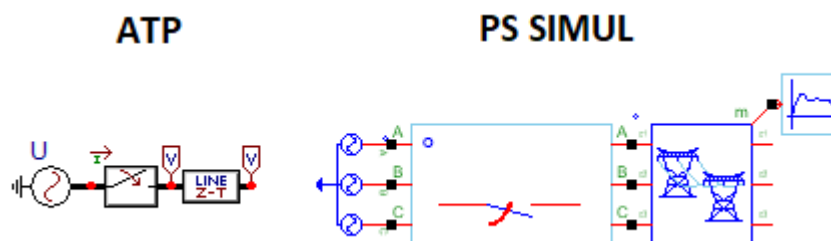


Figura 246 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

7.8.5 Cenário 05 – Linha Bergeron trifásica (Cadastro por Geometria) (7.5).

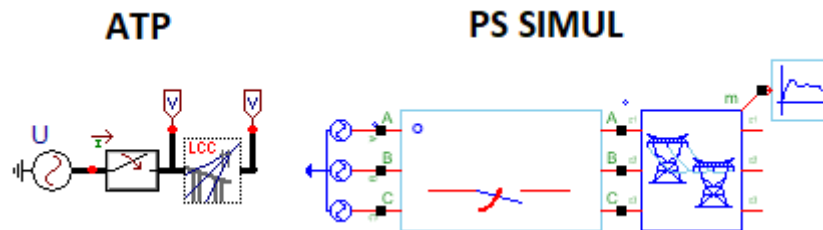


Figura 247 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

7.8.6 Cenário 06 – Linha com Modelagem em Frequência trifásica (Cadastro por Geometria) (7.6).

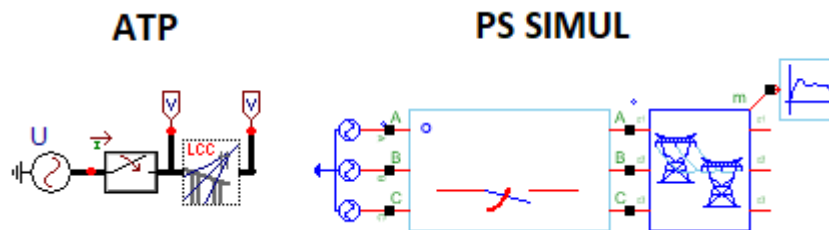


Figura 248 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

7.8.7 Cenário 07 – Cabos Modelo Bergeron (Subterrâneo) (7.7).

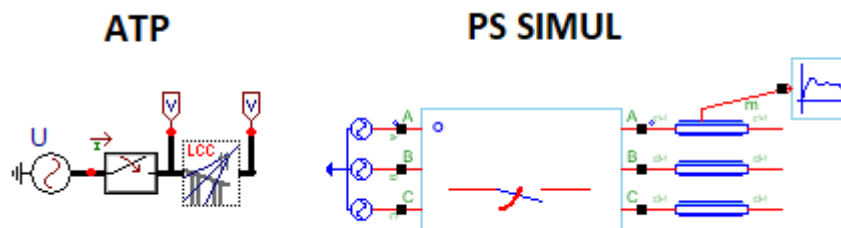



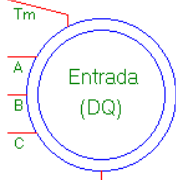
Figura 249 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

8 Capítulo 08 – Máquinas

Este capítulo abrange os principais modelos de máquinas disponibilizados pelo software ATP e seus equivalentes no software PS Simul. A fim de compará-los foram simulados diversos cenários em ambos os softwares.

8.1 Cenário 01 – Partida de um motor de indução - Rotor Gaiola.

Tabela 70 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
01	 UM3 Induction	-	 Máq. Assíncrona Gaiola de Esquilo	Tipo Rotor → (Gaiola)
		Stator Coupling → Y		Conexão → Y Aterr.
		Rotor coils → d=q=1		Nd=Nq = 1
		Pole Pairs → 2		Nº Polos → 4
		LMUD → 0,003268 H		Lmd → 0,003268 H
		LMUQ → 0,003268 H		Lmq → 0,003268 H
		Rd (Stator) → 0,025 Ω		Rsd → 0,025 Ω
		Ld(Stator)→0,000117 H		Llsd → 0,000117 H
		Rq (Stator)→0,025 Ω		Rsqu → 0,025 Ω
		Lq(Stator)→0,000117 H		Llsq → 0,000117 H
		R1 (Rotor)→0,02 Ω		Rrd 001 → 0,02 Ω
		L1(Rotor)→0,000117 H		Llrd 001 → 0,000117 H
		R2 (Rotor)→0,02 Ω		Rrq 001 → 0,02 Ω
		L2(Rotor)→0,000117 H		Llrq 001 → 0,000117 H
		-		Tipo Inic. → Automática
		SLIP → 100 %		Escorreg. Inicial → 1 pu
		-		Def. Inércia → J [Kg.m²]
		HICO → 5,5 Kg.m²		Mom. Inércia → 5,5 Kg.m²

Para tal validação foi realizada a partida de um motor de indução de aproximadamente 100 cv de potência e tensão nominal de 220 V-FF-RMS. Utilizou-se para a energização uma fonte trifásica de tensão com valor nominal do motor e uma constante que representa um conjugado de 301,2 N.m no eixo do motor durante toda a sua partida. Foram obtidas as formas de onda das correntes no estator e velocidade do motor. O passo de tempo utilizado foi de 100 us. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (8.8.1) e as formas de onda obtidas com a simulação nas páginas a seguir.

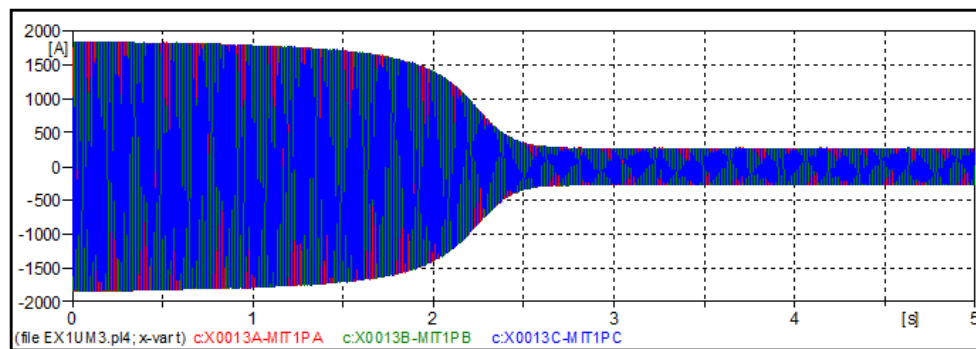


Figura 250 – Forma de onda das correntes que alimentam o motor no software ATP.

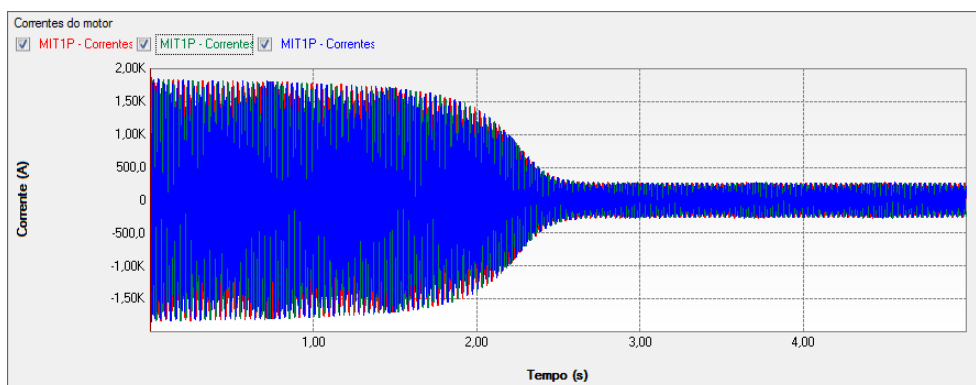


Figura 251 – Forma de onda das correntes que alimentam o motor no software PS Simul.

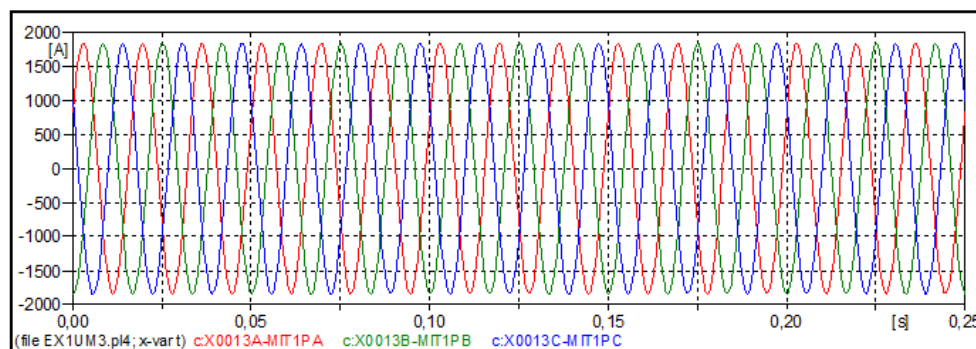


Figura 252 – Zoom da forma de onda das correntes que alimentam o motor no momento da partida no software ATP.

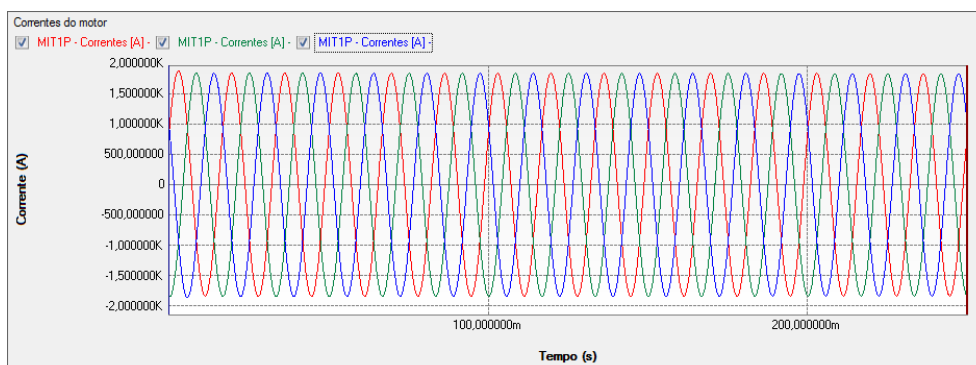


Figura 253 – Zoom da forma de onda das correntes que alimentam o motor no momento da partida no software PS Simul.

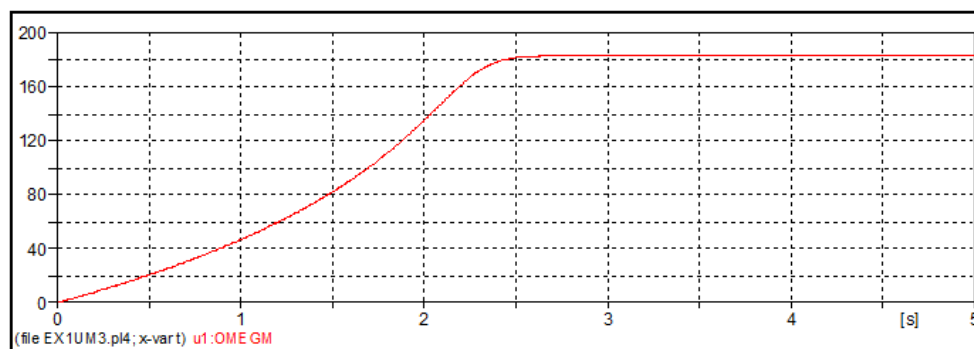


Figura 254 – Forma de onda da velocidade do motor no software ATP.

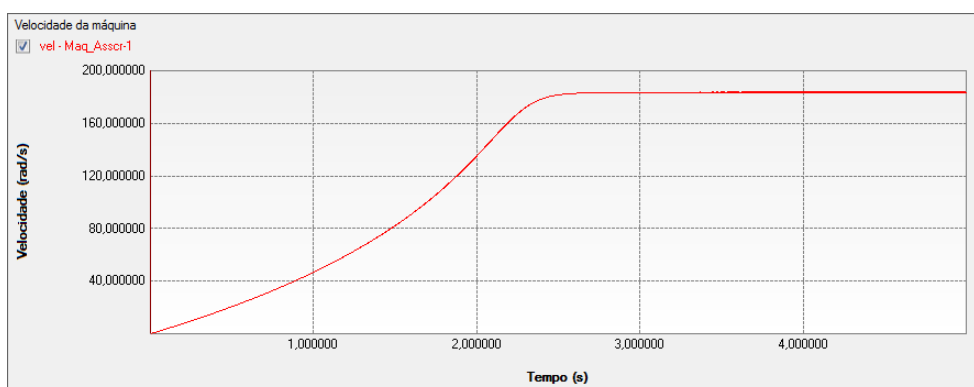

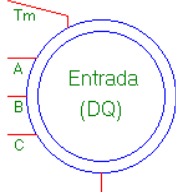


Figura 255 – Forma de onda da velocidade do motor no software PS Simul.

8.2 Cenário 02 – Religamentos e desligamentos de motores em um sistema industrial.

Tabela 71 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
02	 UM3 Induction	-	 Máq. Assíncrona Gaiola de Esquilo	Tipo Rotor → (Gaiola)
		Stator Coupling → Y		Conexão → Y Aterr.
		Rotor coils → d=q=1		Nd=Nq = 1
		Pole Pairs → 2		Nº Polos → 4
		LMUD → 0,003268 H		Lmd → 0,003268 H
		LMUQ → 0,003268 H		Lmq → 0,003268 H
		Rd (Stator) → 0,025 Ω		Rsd → 0,025 Ω
		Ld(Stator)→0,000117 H		Llsd → 0,000117 H
		Rq (Stator)→0,025 Ω		Rsqu → 0,025 Ω
		Lq(Stator)→0,000117 H		Llsq → 0,000117 H
		R1 (Rotor)→0,02 Ω		Rrd 001 → 0,02 Ω
		L1(Rotor)→0,000117 H		Llrd 001 → 0,000117 H
		R2 (Rotor)→0,02 Ω		Rrq 001 → 0,02 Ω
		L2(Rotor)→0,000117 H		Llrq 001 → 0,000117 H
		-		Tipo Inic. → Automática
		SLIP → 100 %		Escorreg. Inicial → 1 pu
		-		Def. Inércia → J [Kg.m²]
		HICO → 5,5 Kg.m²		Mom. Inércia → 5,5 Kg.m²

Para tal validação foi utilizada uma fonte de tensão de amplitude 220-FF-RMS representando uma barra infinita, onde são conectados 10 motores de aproximadamente 100 cv cada. Nove motores são representados por uma carga RL com potência total de 660 kVA e fator de potência 0,8 indutivo e o décimo motor é representado por uma máquina assíncrona com rotor em gaiola. Inicialmente admite-se que nove motores estão em operação (carga RL), sendo a partida do décimo motor dada no instante $t = 1$ s. Posteriormente o mesmo motor é desligado no instante $t = 5$ s. É aplicado à máquina assíncrona um conjugado no valor de 301,2 N.m. Foram obtidas as formas de onda das correntes que o sistema fornece à planta industrial. O passo de tempo utilizado foi de 100 us. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (8.8.2) e as formas de onda obtidas com a simulação nas páginas a seguir.

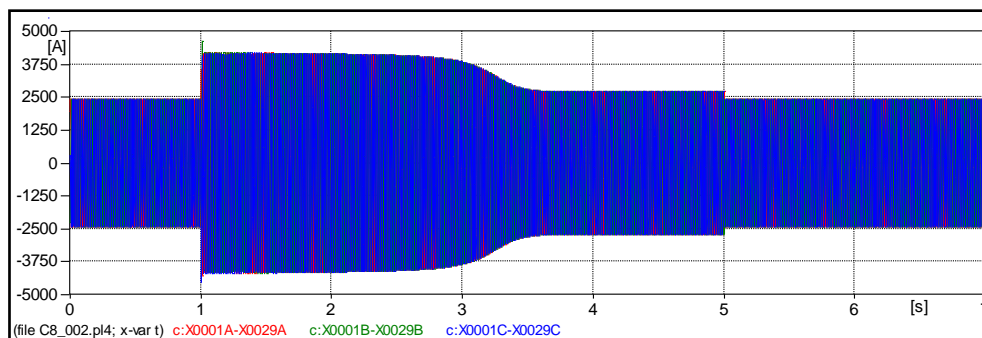


Figura 256 – Forma de onda das correntes fornecidas ao sistema no software ATP.

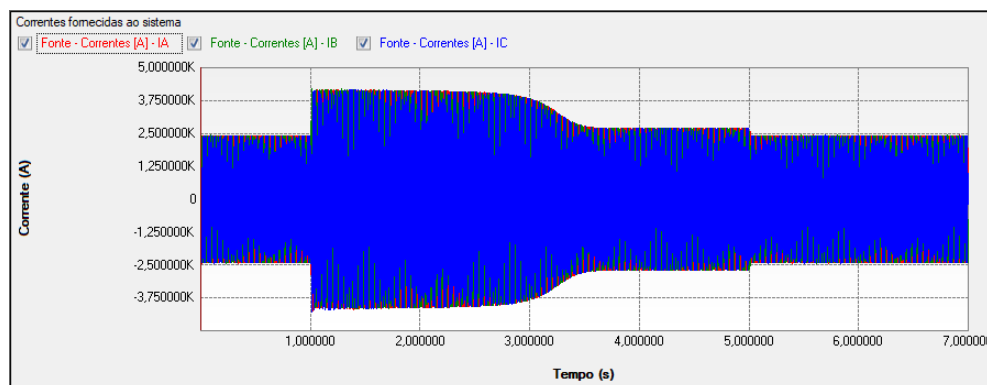


Figura 257 – Forma de onda das correntes fornecidas ao sistema no software PS Simul.

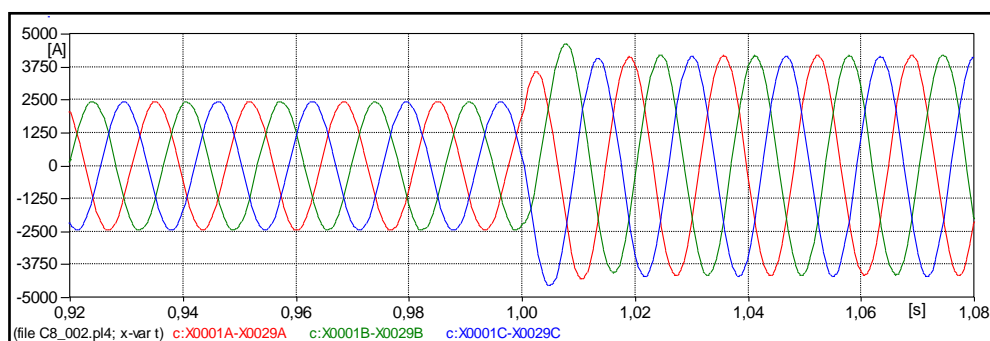


Figura 258 – Zoom da forma de onda das correntes fornecidas ao sistema no momento da partida do motor no software ATP.

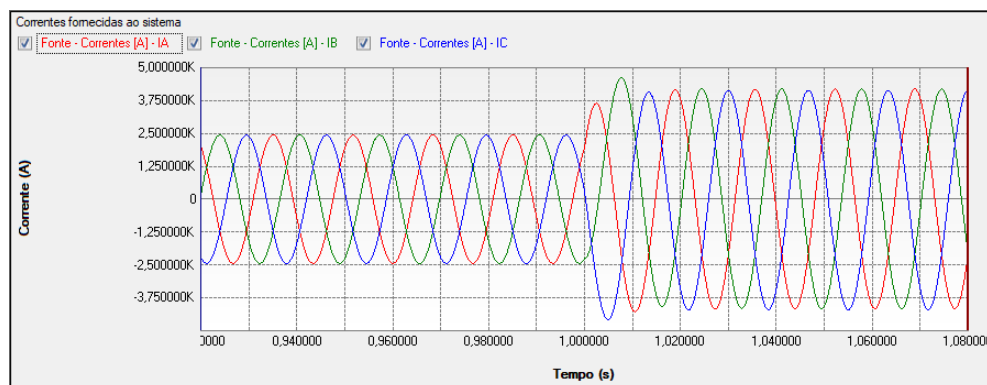

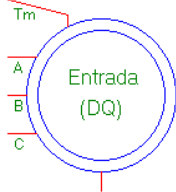


Figura 259 – Zoom da forma de onda das correntes fornecidas ao sistema no momento da partida do motor no software PS Simul.

8.3 Cenário 03 – Gerador de indução (Rotor Gaiola) alimentando cargas no sistema elétrico.

Tabela 72 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
03	 UM3 Induction	-	 Máq. Assíncrona Gaiola de Esquilo	Tipo Rotor → (Gaiola)
		Stator Coupling → Y		Conexão → Y Aterr.
		Rotor coils → d=q=1		Nd=Nq = 1
		Pole Pairs → 2		Nº Polos → 4
		LMUD → 0,000778 H		Lmd → 0,000778 H
		LMUQ → 0,000778 H		Lmq → 0,000778 H
		Rd (Stator) → 2,33E-3 Ω		Rsd → 2,33E-3 Ω
		Ld(Stator) → 26E-6 H		Llsd → 26E-6 H
		Rq (Stator) → 2,33E-3 Ω		Rsqu → 2,33E-3 Ω
		Lq(Stator) → 26E-6 H		Llsq → 26E-6 H
		R1 (Rotor) → 2,33E-3 Ω		Rrd 001 → 2,33E-3 Ω
		L1(Rotor) → 26E-6 H		Lld 001 → 26E-6 H
		R2 (Rotor) → 2,33E-3 Ω		Rrq 001 → 2,33E-3 Ω
		L2(Rotor) → 26E-6 H		Llrq 001 → 26E-6 H
		-		Tipo Inic. → Automática
		SLIP → -1.75 %		Escorr. Inic. → -0,0175 pu
		-		Def. Inércia → J [Kg.m²]
		HICO → 35 Kg.m²		Mom. Inércia → 35 Kg.m²

Para tal validação foi utilizada uma fonte de tensão de amplitude 480V-FF-RMS representando uma barra infinita, onde é conectada uma carga de 2 MVA e fator de potência de 0,8 indutivo e um gerador de indução de 2 MVA, cujo torque é de 8700 N.m. Foram obtidas as formas de onda das correntes que circulam no sistema. O passo de tempo utilizado foi de 100 us. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (8.8.3) e as formas de onda obtidas com a simulação nas páginas a seguir.

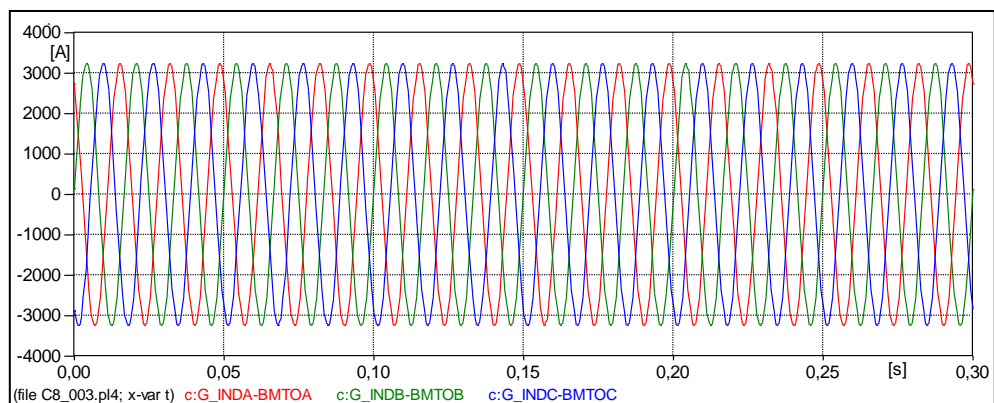


Figura 260 – Forma de onda das correntes que saem do gerador no software ATP.

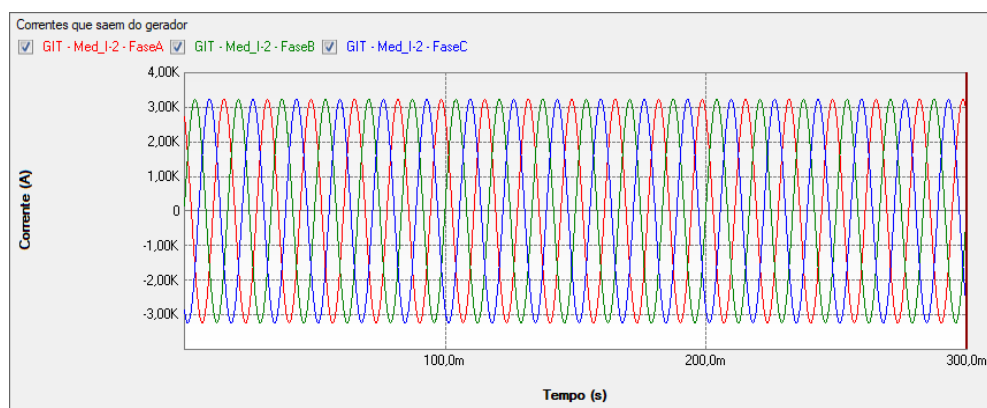


Figura 261 – Forma de onda das correntes que saem do gerador no software PS Simul.

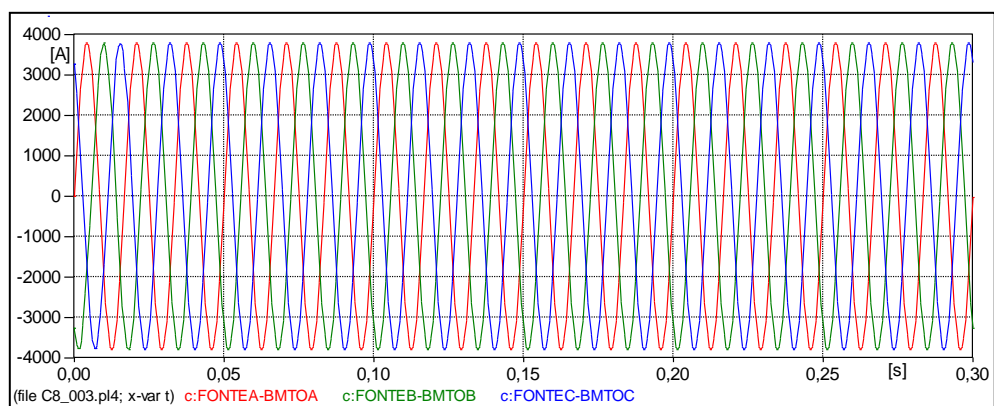


Figura 262 – Forma de onda das correntes que saem do barramento infinito no software ATP.

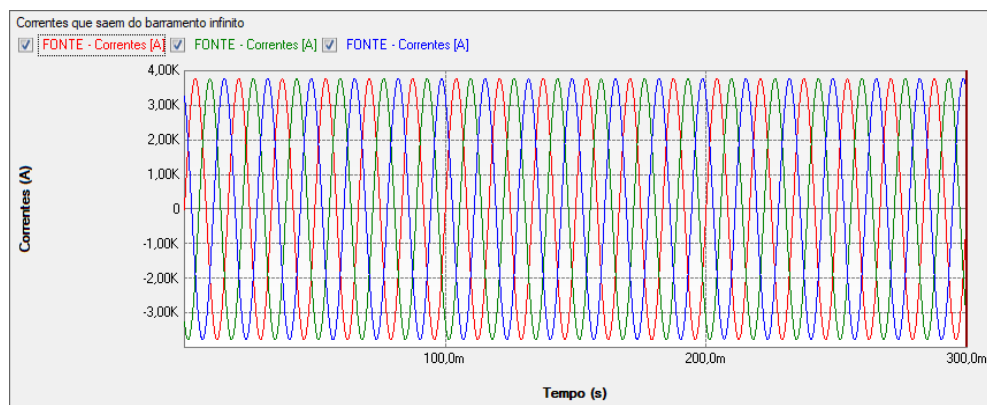


Figura 263 – Forma de onda das correntes que saem do barramento infinito no software PS Simul.

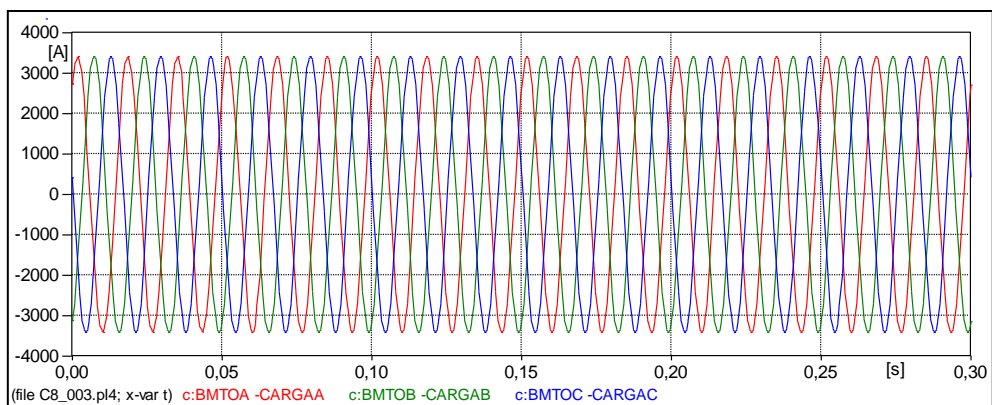


Figura 264 – Forma de onda das correntes que entram na carga no software ATP.

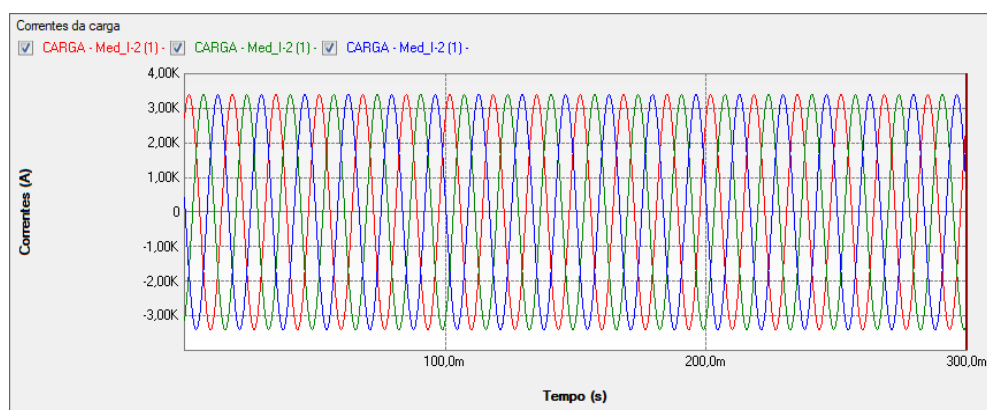

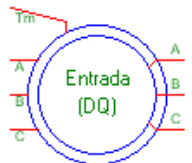


Figura 265 – Forma de onda das correntes que entram na carga no software PS Simul.

8.4 Cenário 04 – Partida de motor de indução – Rotor Bobinado.

Tabela 73 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
04	 UM3 Induction	-	 Máq. Assíncrona Gaiola de Esquilo	Tipo Rotor → (Gaiola)
		Stator Coupling → Y		Conexão → Y Aterr.
		Rotor coils → d=q=1		Nd=Nq = 1
		Pole Pairs → 2		Nº Polos → 4
		LMUD → 0,015556 H		Lmd → 0,015556 H
		LMUQ → 0,015556 H		Lmq → 0,015556 H
		Rd (Stator) → 0,04904 Ω		Rsd → 0,04904 Ω
		Ld(Stator) → 0,0004894 H		Llsd → 0,0004894 H
		Rq (Stator) → 0,04904 Ω		Rsq → 0,04904 Ω
		Lq(Stator) → 0,0004894 H		Llsq → 0,0004894 H
		R1 (Rotor) → 0,04904 Ω		Rrd 001 → 0,04904 Ω
		L1(Rotor) → 0,0004894 H		Llrq 001 → 0,0004894 H
		R2 (Rotor) → 0,04904 Ω		Rrq 001 → 0,04904 Ω
		L2(Rotor) → 0,0004894 H		Llrq 001 → 0,0004894 H
		-		Tipo Inic. → Automática
		SLIP → 100 %		Escorr. Inic. → 1 pu
		-		Def. Inércia → J [Kg.m²]
		HICO → 11 Kg.m²		Mom. Inércia → 11 Kg.m²

Para tal validação foi utilizada uma fonte de tensão de amplitude 440 V-FF-RMS representando uma barra infinita, onde é conectado um motor de indução (75 cv) com rotor bobinado. A ideia deste cenário é demonstrar o efeito da inserção de resistências rotóricas na partida da máquina assíncrona, com isso, serão realizadas duas simulações. Na primeira simulação o rotor da máquina está curto circuitado através de resistências muito pequenas (1 $\mu\Omega$). Na segunda simulação, a partida do motor é iniciada com resistências de valor 0,3232 Ω no rotor. No instante $t = 0,8$ s é retirada metade dessa resistência, restando apenas 0,1616 Ω em cada fase do rotor. Por fim, no instante $t = 1,9$ s todas as resistências do rotor são retiradas. Foram obtidas as formas de onda das correntes e velocidade do motor nas duas simulações e em ambos os softwares. O passo de tempo utilizado foi de 50 μ s. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (8.8.4) e as formas de onda obtidas com a simulação nas páginas a seguir.

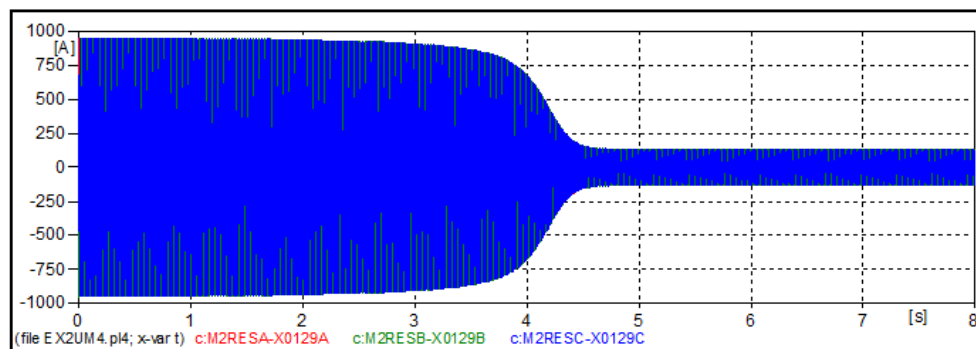


Figura 266 – Forma de onda das correntes do motor para a simulação 01 no software ATP.

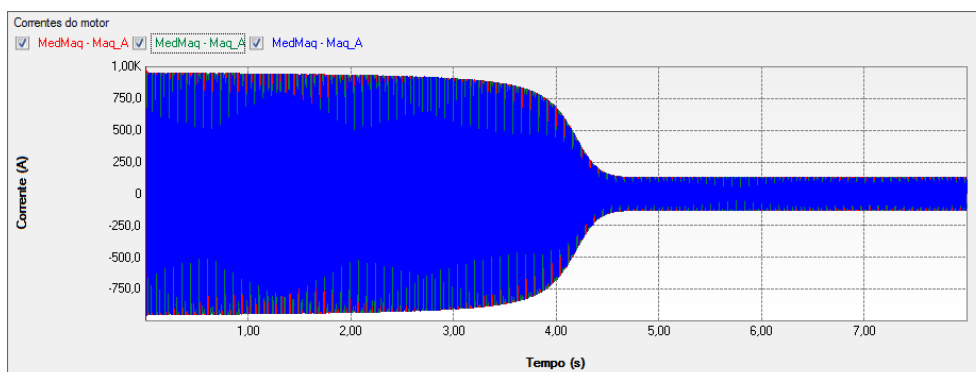


Figura 267 – Forma de onda das correntes do motor para a simulação 01 no software PS Simul.

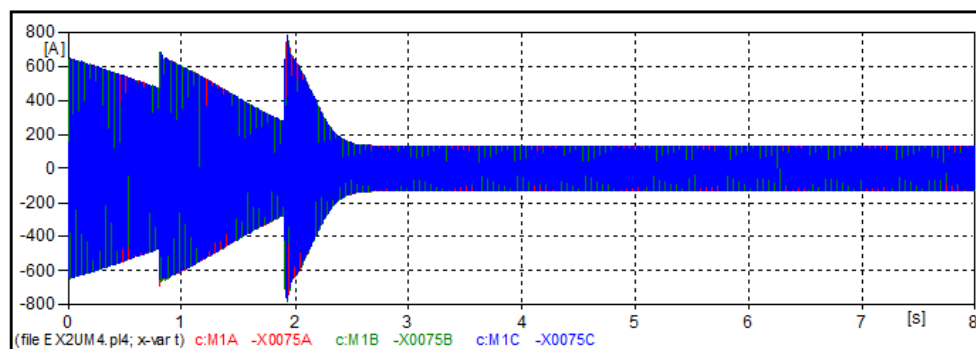


Figura 268 – Forma de onda das correntes do motor para a simulação 02 no software ATP.

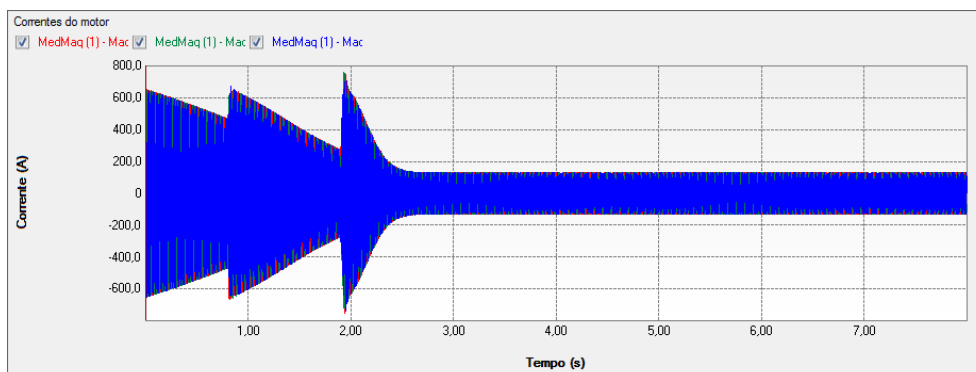


Figura 269 – Forma de onda das correntes do motor para a simulação 02 no software PS Simul.

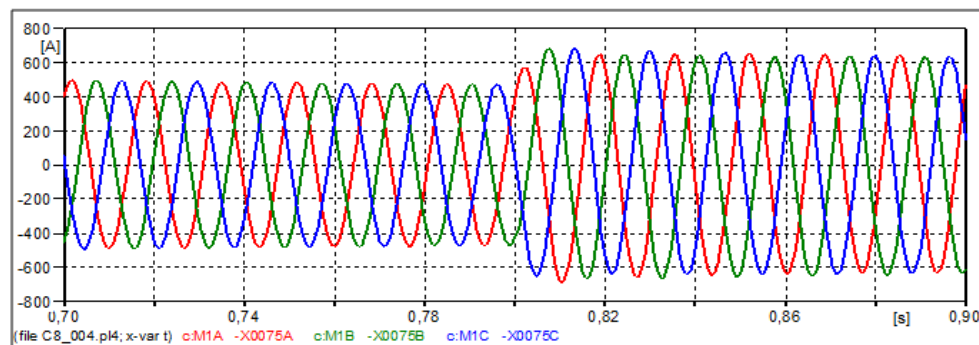


Figura 270 – Zoom da forma de onda das correntes do motor após retirada do primeiro estágio resistivo do rotor no software ATP.

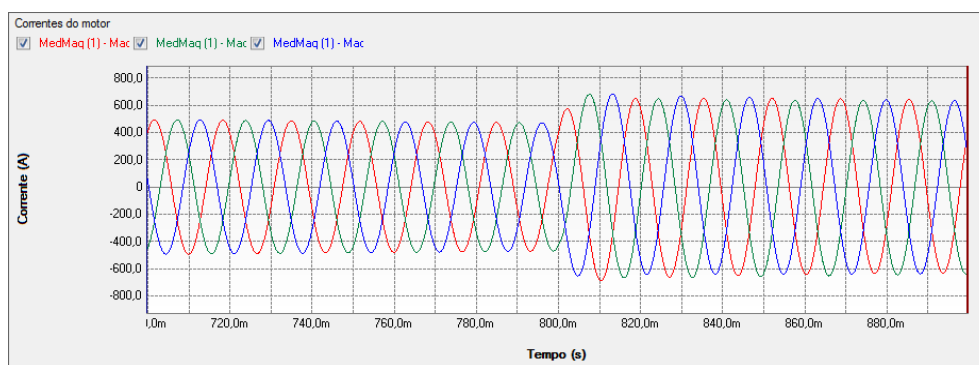


Figura 271 – Zoom da forma de onda das correntes do motor após retirada do primeiro estágio resistivo do rotor no software PS Simul.

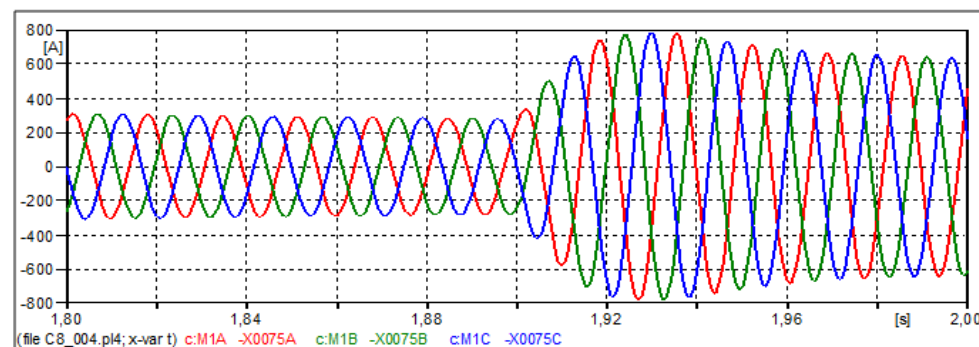


Figura 272 – Zoom da forma de onda das correntes do motor após retirada do segundo estágio resistivo do rotor no software ATP.

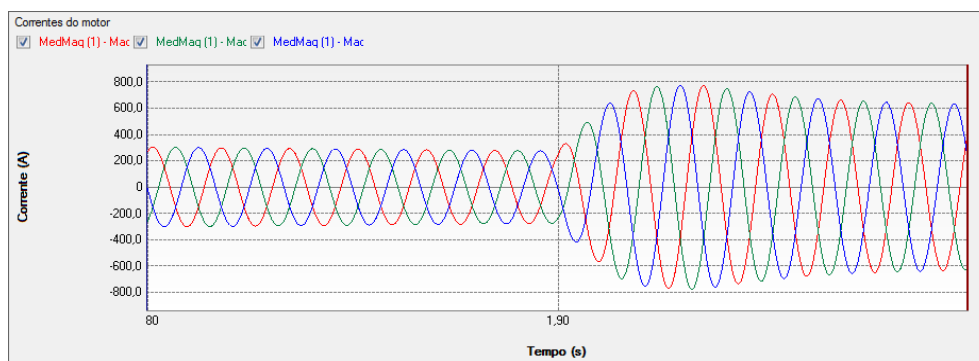


Figura 273 – Zoom da forma de onda das correntes do motor após retirada do segundo estágio resistivo do rotor no software PS Simul.

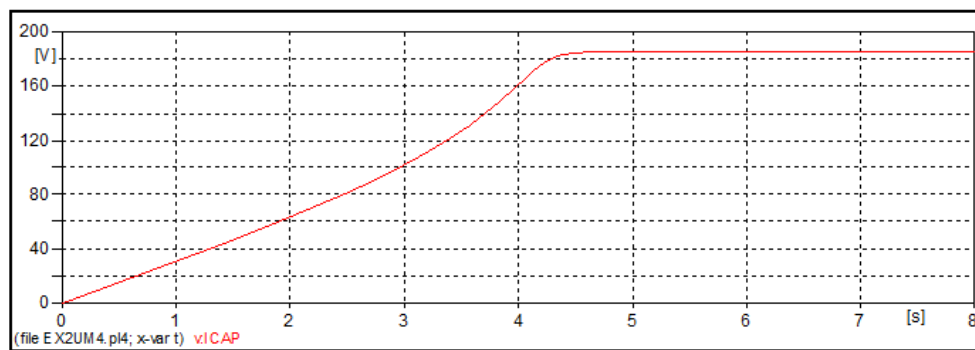


Figura 274 – Forma de onda da velocidade do motor para a simulação 01 no software ATP.

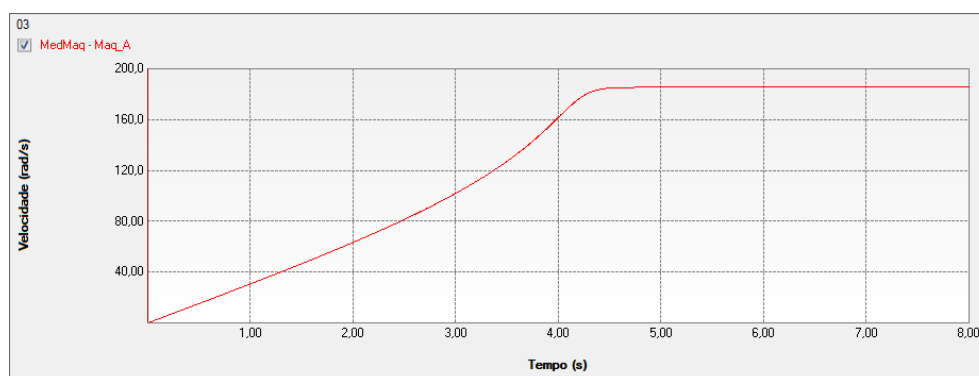


Figura 275 – Forma de onda da velocidade do motor para a simulação 01 no software PS Simul.

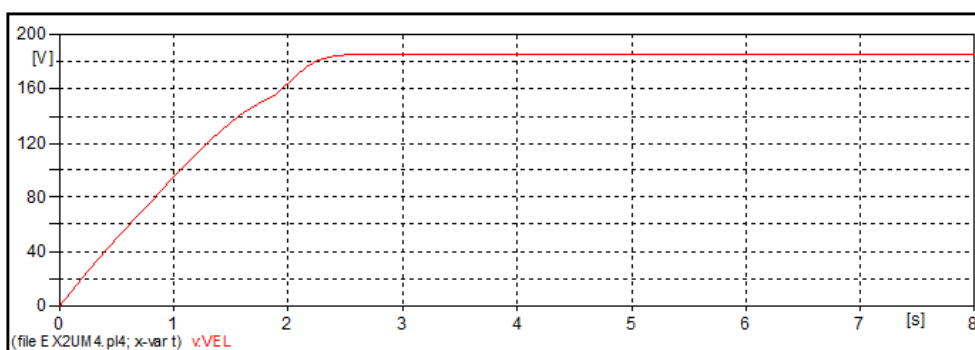


Figura 276 – Forma de onda da velocidade do motor para a simulação 02 no software ATP.

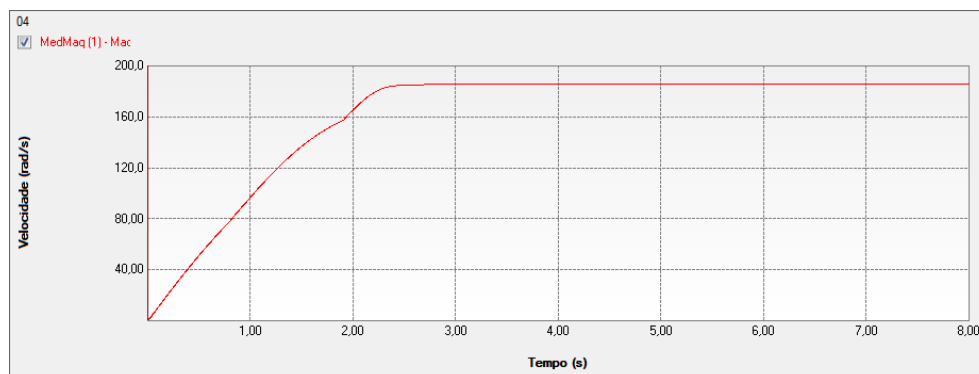
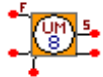



Figura 277 – Forma de onda da velocidade do motor para a simulação 02 no software PS Simul.

8.5 Cenário 05 – Partida de uma máquina DC com estágios resistivos.

Tabela 74 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
05	 UM8 DC	Rotor coils $\rightarrow d=1 \ q=1$	 Máq. DC	-
		Pole Pairs $\rightarrow 2$		Nº de Polos $\rightarrow 4$
		Rd (Stator) $\rightarrow 1,133 \ \Omega$		Ra $\rightarrow 1,133 \ \Omega$
		Rq (Stator) $\rightarrow 1,133 \ \Omega$		La $\rightarrow 0,00283 \ H$
		Ld (Stator) $\rightarrow 0,00283 \ H$		Rf $\rightarrow 1E-6 \ \Omega$
		Lq (Stator) $\rightarrow 0,00283 \ H$		Lf $\rightarrow 1E-6 \ H$
		R1 (Rotor) $\rightarrow 1E-6 \ \Omega$		Laf $\rightarrow 1,244 \ H$
		L1 (Rotor) $\rightarrow 1E-6 \ \Omega$		Mom. Inércia $\rightarrow 0,5 \ kg.m^2$
		R2 (Rotor) $\rightarrow 1E-6 \ H$		
		L2 (Rotor) $\rightarrow 1E-6 \ H$		
		LMUD $\rightarrow 1,244 \ H$		
		LMUQ $\rightarrow 1,244 \ H$		
		HICO $\rightarrow 0,5 \ kg.m^2$		

Para tal validação foi utilizada uma fonte de tensão DC de amplitude 250 V alimentando a armadura de uma máquina DC (3 kW – 250 V) através de uma resistência de 7,991 Ω no instante da partida. O campo da máquina DC é alimentado por uma fonte de tensão de 250 V em série com uma resistência de 492 Ω . O torque aplicado na máquina é diretamente proporcional à velocidade da máquina ($T = v / 14,79266$). A partida da máquina é dada no instante $t = 0$. No instante $t = 4,66 \ s$ é retirada uma parcela de 5,909 Ω da resistência em série com o circuito de armadura da máquina e no instante 7,9 s retira-se o restante desta resistência. Foram obtidas as formas de onda da corrente de partida e velocidade da máquina DC. O passo de tempo utilizado foi de 50 μs . Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (8.8.5) e as formas de onda obtidas com a simulação nas páginas a seguir.

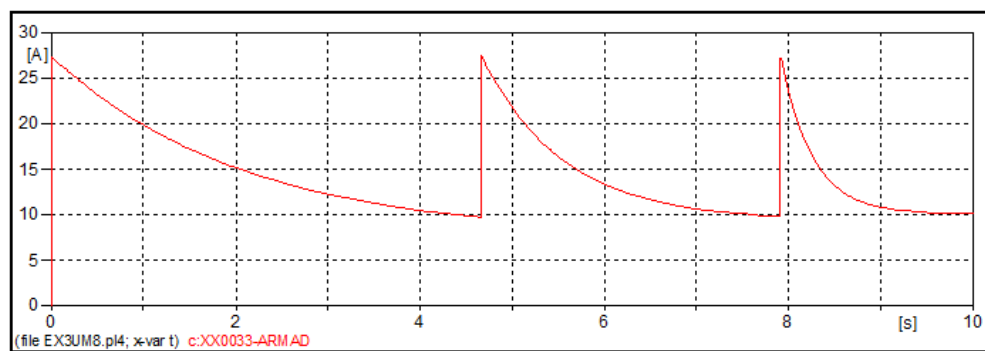


Figura 278 – Forma de onda da corrente de partida no software ATP.

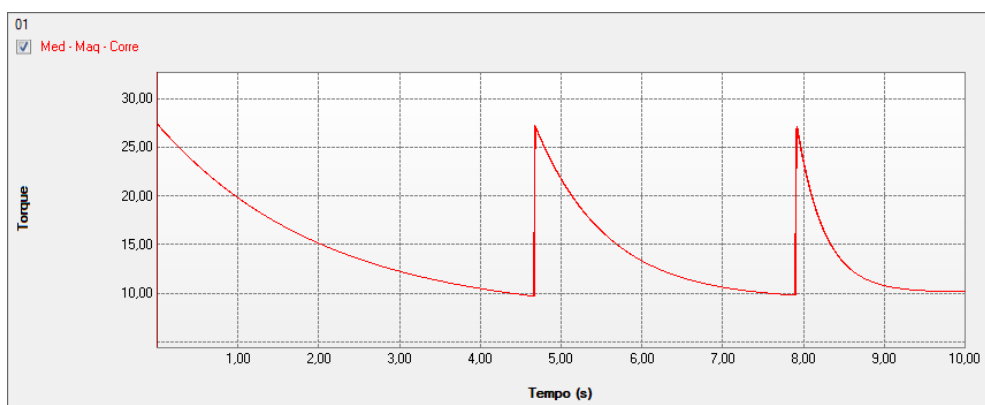


Figura 279 – Forma de onda da corrente de partida no software PS Simul.

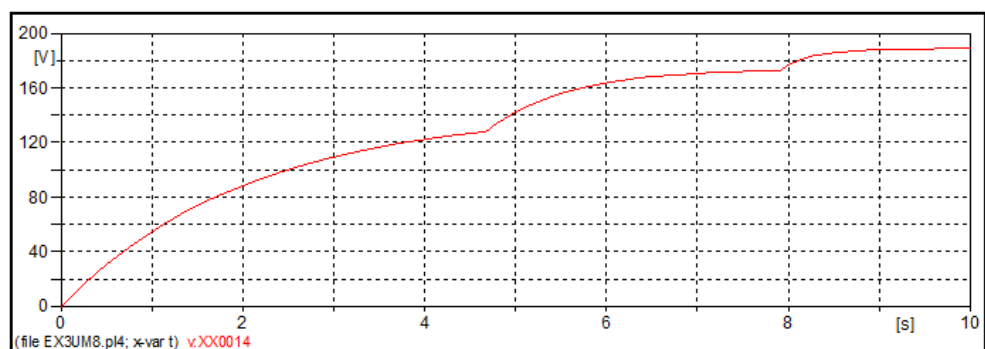


Figura 280 – Forma de onda da velocidade da máquina no software ATP.

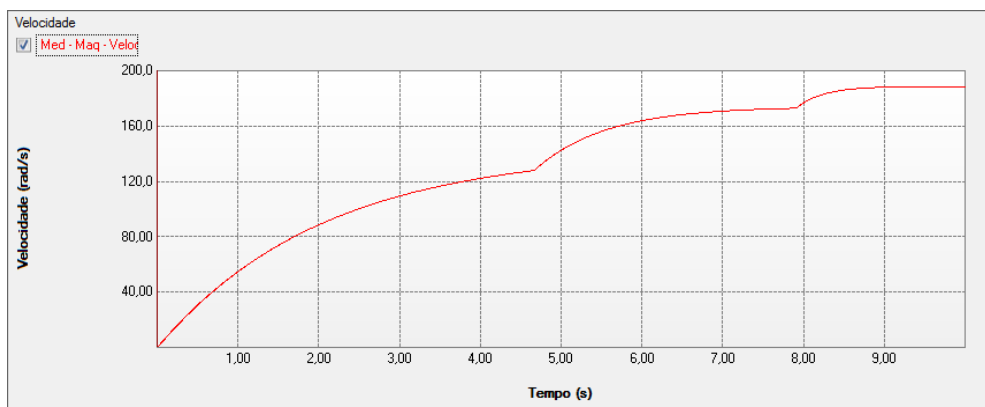

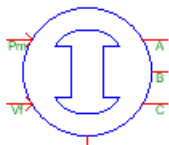


Figura 281 – Forma de onda da velocidade da máquina no software PS Simul.

8.6 Cenário 06 – Curto circuito em sistema isolado alimentado por gerador síncrono (sem controladores de tensão ou potência mecânica).

Tabela 75 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
06	 SM59 No Control	Volt \rightarrow 5388,77434 V	 Máq. Síncrona	VFF RMS (Reg.) \rightarrow 6,6 kV
		Angle \rightarrow 0		VFN Ang (Reg.) \rightarrow 90°
		Poles \rightarrow 4		N° Polos \rightarrow 4
		HICO \rightarrow 2 kg.m ²		Constante Inércia \rightarrow 2 kg.m ²
		Freq \rightarrow 60 Hz		Freq \rightarrow 60 Hz
		RMVA \rightarrow 5 MVA		Sn \rightarrow 5 MVA
		RkV \rightarrow 6,6 kV		VFF \rightarrow 6,6 kV
		Ra \rightarrow 0,004 pu		Ra \rightarrow 0,004 pu
		XL \rightarrow 0,1 pu		XL \rightarrow 0,1 pu
		Xd \rightarrow 1,8 pu		Xd \rightarrow 1,8 pu
		Xq \rightarrow 1,793 pu		Xq \rightarrow 1,793 pu
		Xd' \rightarrow 0,166 pu		Xd' \rightarrow 0,166 pu
		Xd'' \rightarrow 0,119 pu		Xd'' \rightarrow 0,119 pu
		Xq'' \rightarrow 0,17 pu		Xq'' \rightarrow 0,17 pu
		Tdo' \rightarrow 1.754 s		Tdo' \rightarrow 1.754 s
		Tdo'' \rightarrow 0,019 s		Tdo'' \rightarrow 0,019 s
		Tqo'' \rightarrow 0,164 s		Tqo'' \rightarrow 0,164 s
		X0 \rightarrow 0,046 pu		X0 \rightarrow 0,046 pu

Para tal validação foi simulado um gerador síncrono (5 MVA - 6,6 kV) alimentando uma carga de 4 MVA (FP = 0,8 indutivo). A máquina síncrona é iniciada em regime permanente com tensão nominal em seus terminais. Com isso, ocorre no instante $t = 0,1$ s uma falta trifásica nos terminais do gerador. Foram obtidas as formas de onda das correntes e tensões do sistema em ambos os softwares. O passo de tempo utilizado foi de 50 μ s. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (8.8.6) e as formas de onda obtidas com a simulação nas páginas a seguir.

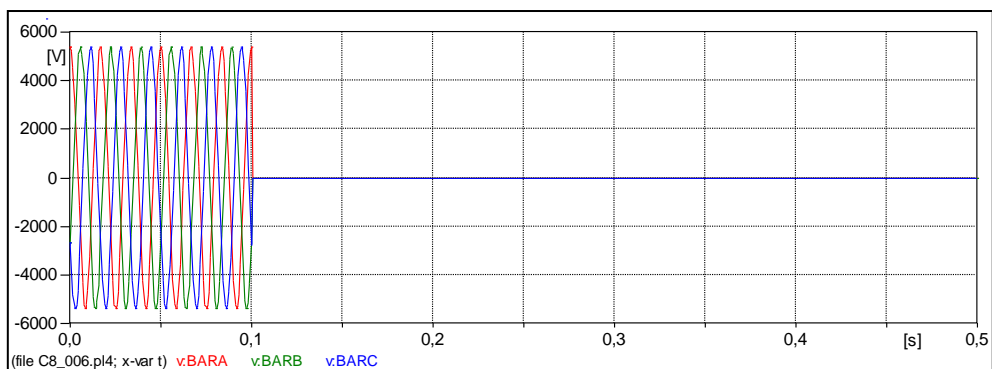


Figura 282 – Forma de onda das tensões nos terminais do gerador no software ATP.

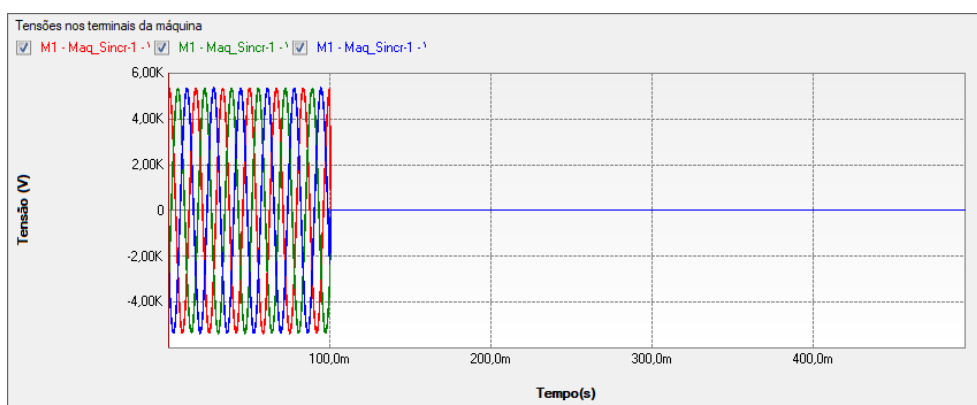


Figura 283 – Forma de onda das tensões nos terminais do gerador no software PS Simul.

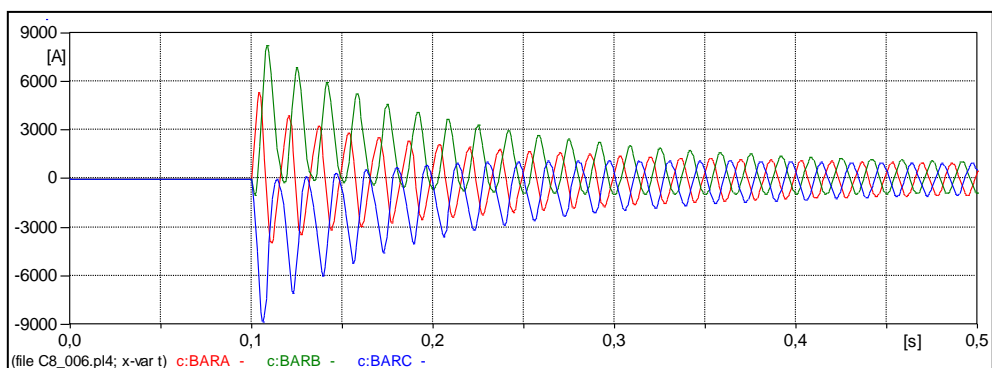


Figura 284 – Forma de onda das correntes de falta no software ATP.

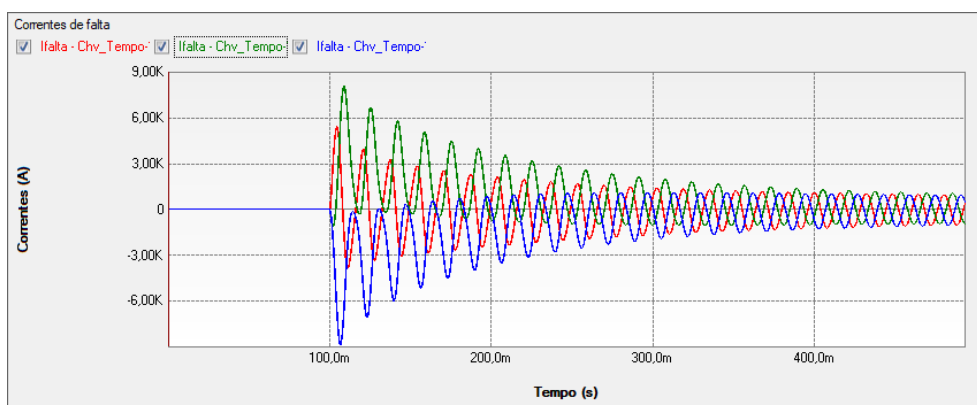


Figura 285 – Forma de onda das correntes de falta no software PS SIMUL

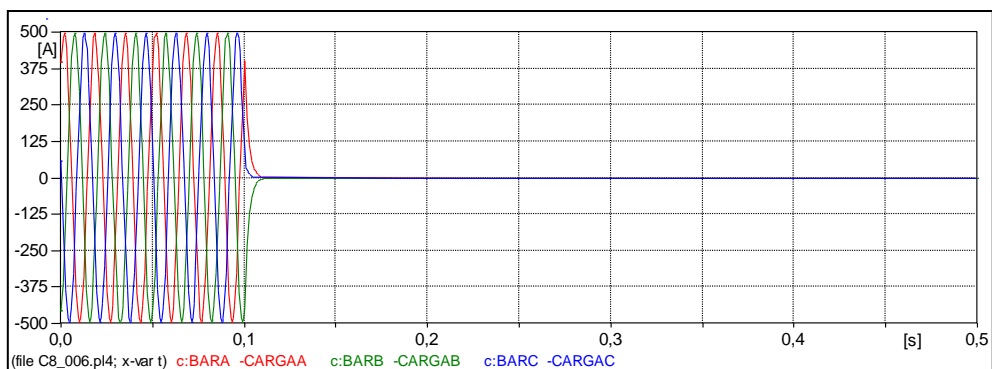


Figura 286 – Forma de onda das correntes de carga no software ATP.

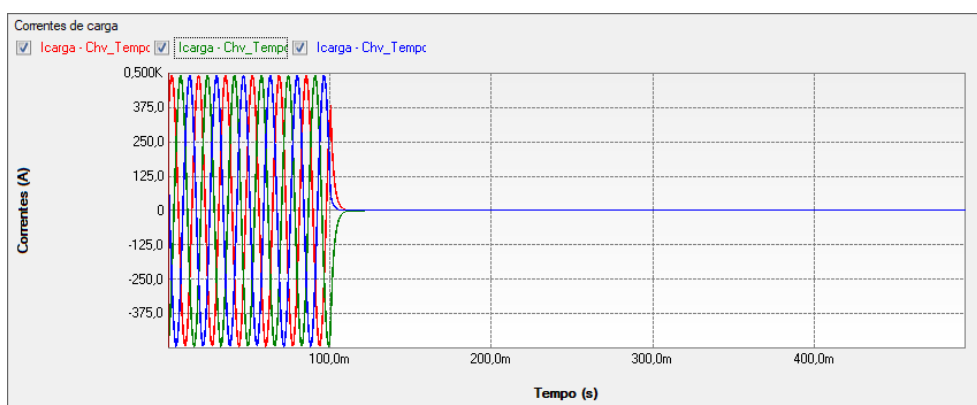


Figura 287 – Forma de onda das correntes de carga no software PS SIMUL.

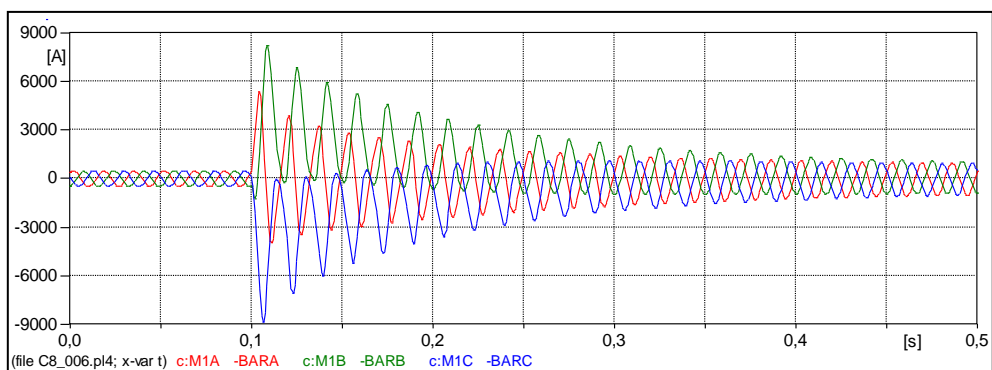


Figura 288 – Forma de onda das correntes de saída do gerador síncrono no software ATP.

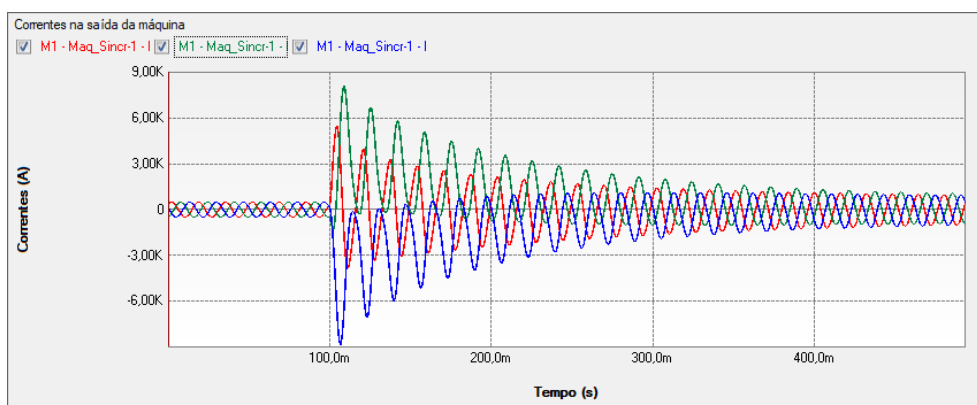

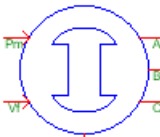


Figura 289 – Forma de onda das correntes de saída do gerador síncrono no software PS Simul.

8.7 Cenário 07 – Chaveamento de cargas em sistema isolado alimentado por gerador síncrono (com regulação de tensão).

Tabela 76 - Parametrizações utilizadas para as máquinas do ATP e PS Simul.

Cenário	ATP		PS Simul	
	Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
06	 SM59 8 Control	Volt \rightarrow 5388,77434 V	 Máq. Síncrona	VFF RMS (Reg.) \rightarrow 6,6 kV
		Angle \rightarrow 0		VFN Ang (Reg.) \rightarrow 90°
		Poles \rightarrow 4		N° Polos \rightarrow 4
		HICO \rightarrow 2 kg.m ²		Constante Inércia \rightarrow 2 kg.m ²
		Freq \rightarrow 60 Hz		Freq \rightarrow 60 Hz
		RMVA \rightarrow 5 MVA		Sn \rightarrow 5 MVA
		RkV \rightarrow 6,6 kV		VFF \rightarrow 6,6 kV
		Ra \rightarrow 0,004 pu		Ra \rightarrow 0,004 pu
		XL \rightarrow 0,1 pu		XL \rightarrow 0,1 pu
		Xd \rightarrow 1,8 pu		Xd \rightarrow 1,8 pu
		Xq \rightarrow 1,793 pu		Xq \rightarrow 1,793 pu
		Xd' \rightarrow 0,166 pu		Xd' \rightarrow 0,166 pu
		Xd'' \rightarrow 0,119 pu		Xd'' \rightarrow 0,119 pu
		Xq'' \rightarrow 0,17 pu		Xq'' \rightarrow 0,17 pu
		Tdo' \rightarrow 1.754 s		Tdo' \rightarrow 1.754 s
		Tdo'' \rightarrow 0,019 s		Tdo'' \rightarrow 0,019 s
		Tqo'' \rightarrow 0,164 s		Tqo'' \rightarrow 0,164 s
		X0 \rightarrow 0,046 pu		X0 \rightarrow 0,046 pu

Para tal validação foi simulado um gerador síncrono (5 MVA - 6,6 kV) alimentando inicialmente uma carga de 2,5 MVA (FP = 0,8 indutivo). No instante $t = 1$ s uma segunda carga de 2,5 MVA (FP = 0,8 indutivo) é inserida no sistema. Com isso, será observado o comportamento do regulador de tensão. A máquina síncrona é iniciada em regime permanente com tensão nominal em seus terminais. Foram obtidas as formas de onda das correntes e tensões do sistema em ambos os softwares. O passo de tempo utilizado foi de 100 μ s. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (8.8.7) e as formas de onda obtidas com a simulação nas páginas a seguir.

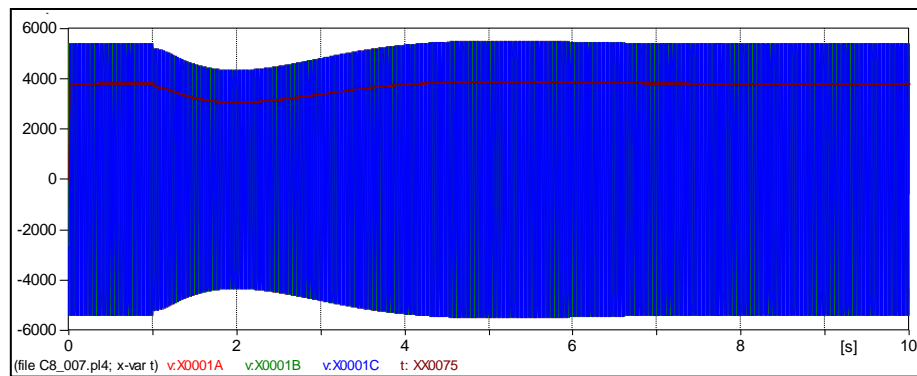


Figura 290 – Forma de onda das tensões nos terminais da máquina síncrona (valores instantâneos e RMS) no software ATP.

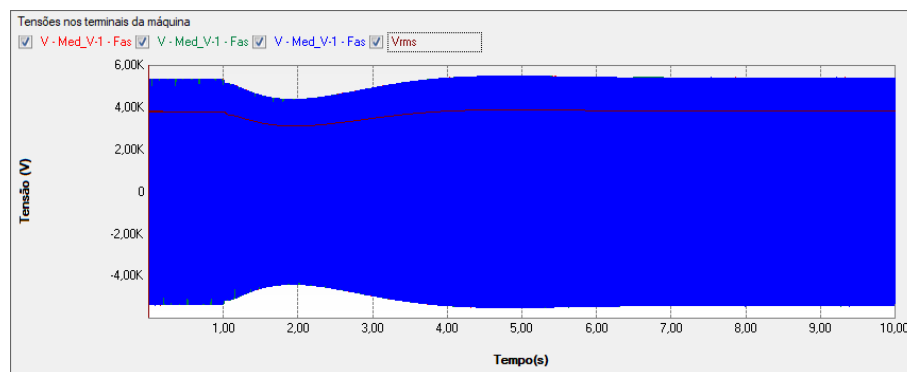


Figura 291 – Forma de onda das tensões nos terminais da máquina síncrona (valores instantâneos e RMS) no software PS Simul.

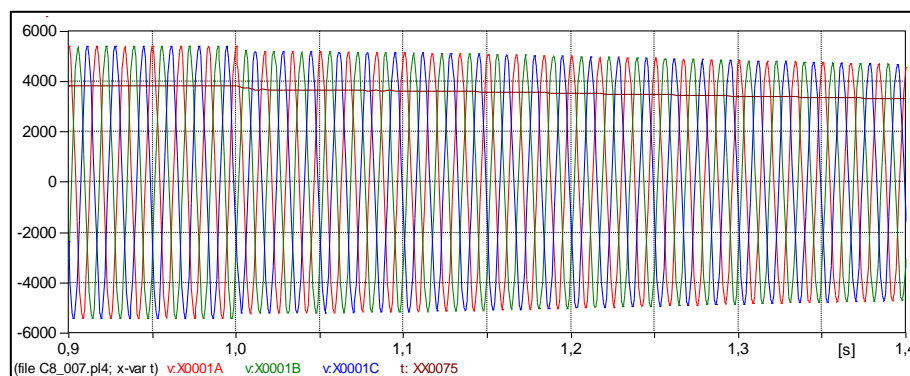


Figura 292 – Zoom da forma de onda das tensões nos terminais da máquina síncrona (valores instantâneos e RMS) no instante da inserção de carga, obtido no software ATP.

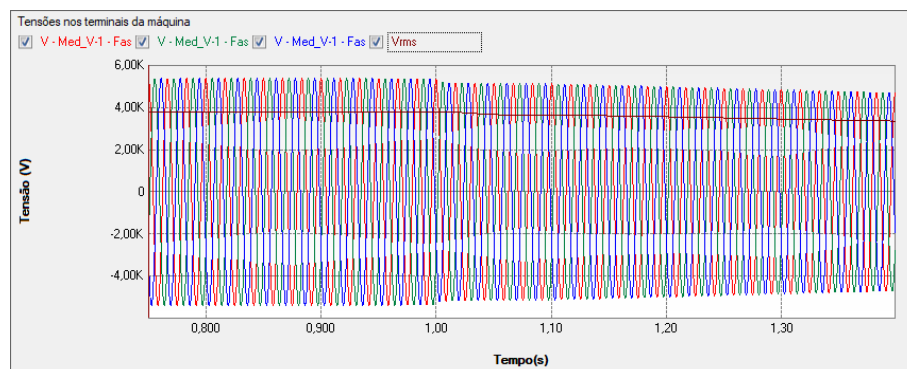


Figura 293 – Zoom da forma de onda das tensões nos terminais da máquina síncrona (valores instantâneos e RMS) no instante da inserção de carga, obtido no software PS Simul.

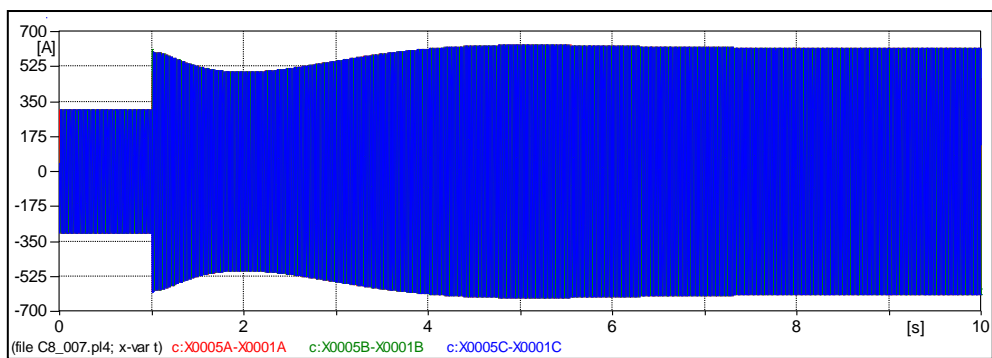


Figura 294 – Forma de onda das correntes de saída da máquina síncrona no software ATP.

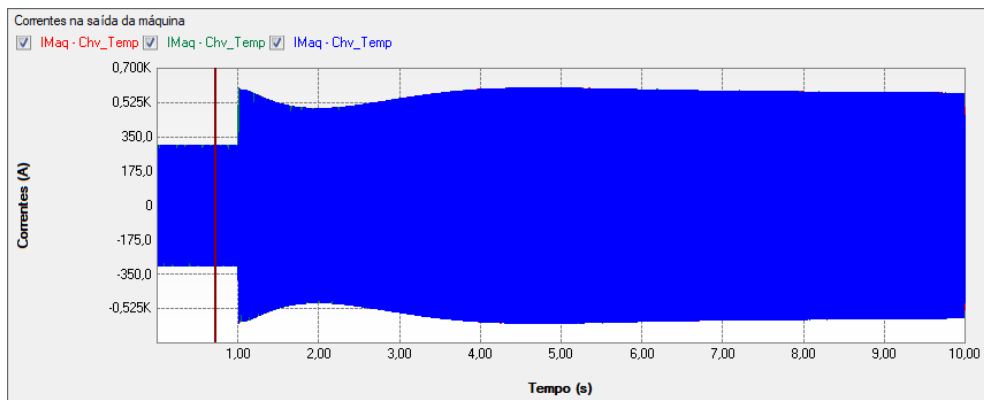


Figura 295 – Forma de onda das correntes de saída da máquina síncrona no software PS Simul.

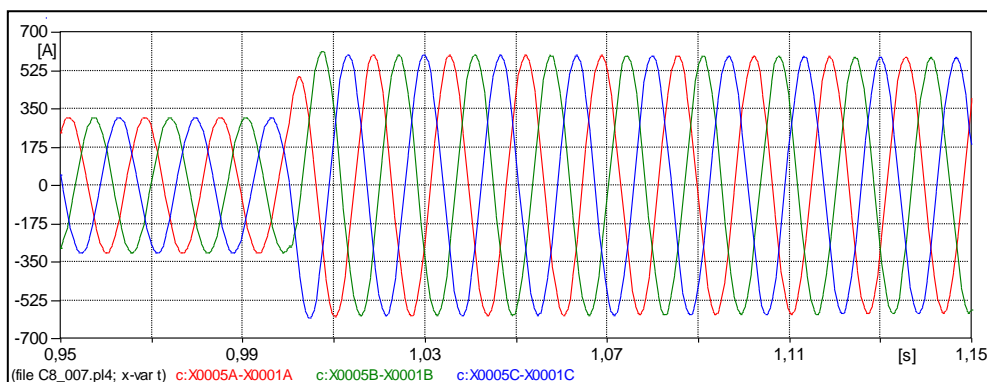


Figura 296 – Zoom da forma de onda das correntes de saída da máquina síncrona no instante da inserção de carga, obtido no software ATP.

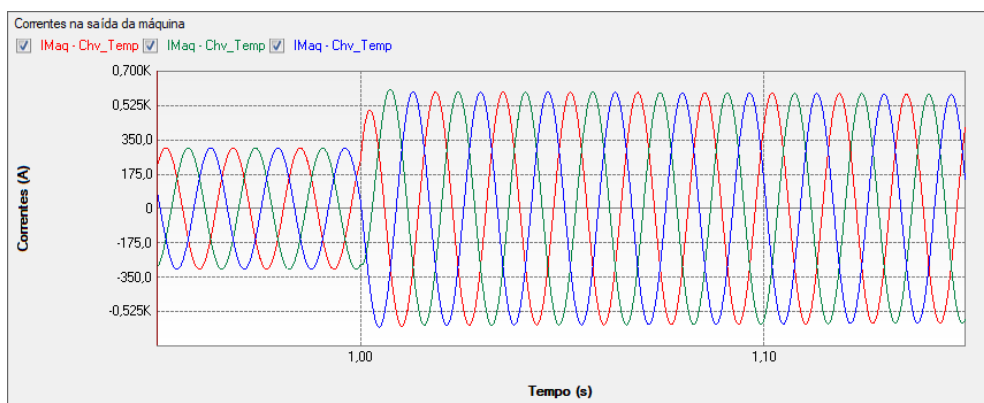


Figura 297 – Zoom da forma de onda das correntes de saída da máquina síncrona no instante da inserção de carga, obtido no software PS Simul.

8.8 Circuitos modelados para as validações realizadas

8.8.1 Cenário 01 – Partida de um motor de indução - Rotor Gaiola (8.1).

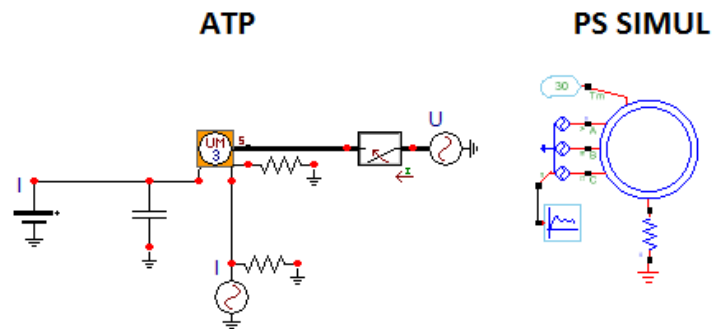


Figura 298 – Sistema modelado para o cenário 01 em ambos os softwares.

8.8.2 Cenário 02 – Religamentos e desligamentos de motores em um sistema industrial (8.2).

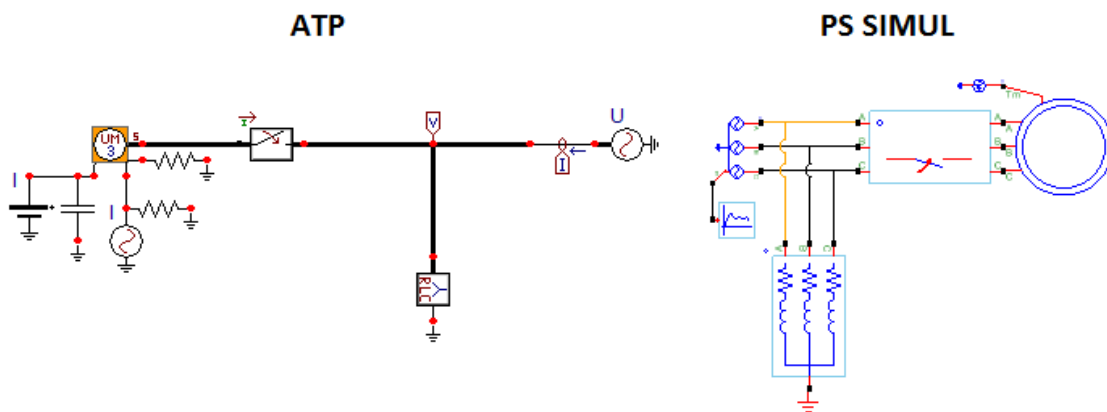


Figura 299 – Sistema modelado para o cenário 02 em ambos os softwares.

8.8.3 Cenário 03 – Gerador de indução (Rotor Gaiola) alimentando cargas no sistema elétrico (8.3).

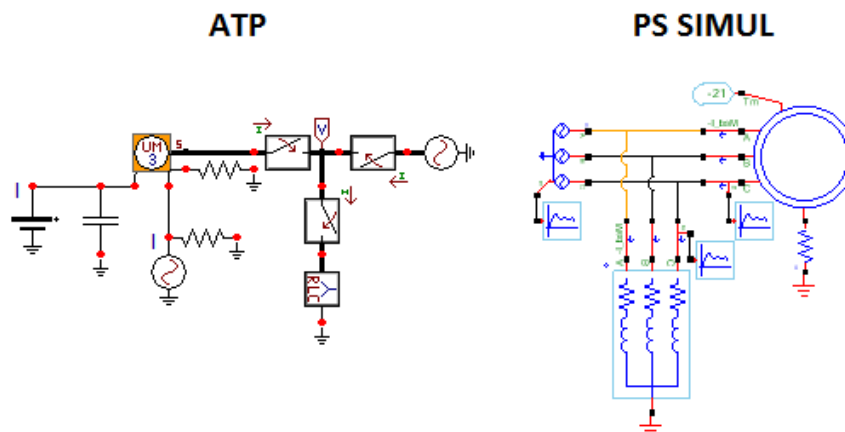


Figura 300 – Sistema modelado para o cenário 03 em ambos os softwares.

8.8.4 Cenário 04 – Partida de motor de indução – Rotor Bobinado (8.4).

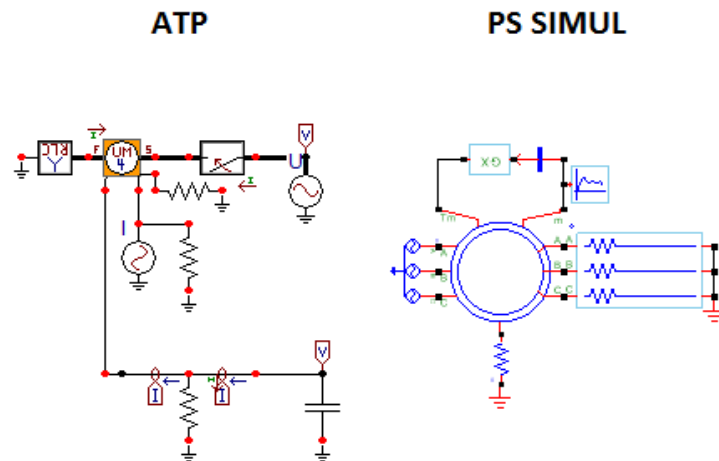


Figura 301 – Sistema modelado para a simulação 01 do cenário 04 em ambos os softwares.

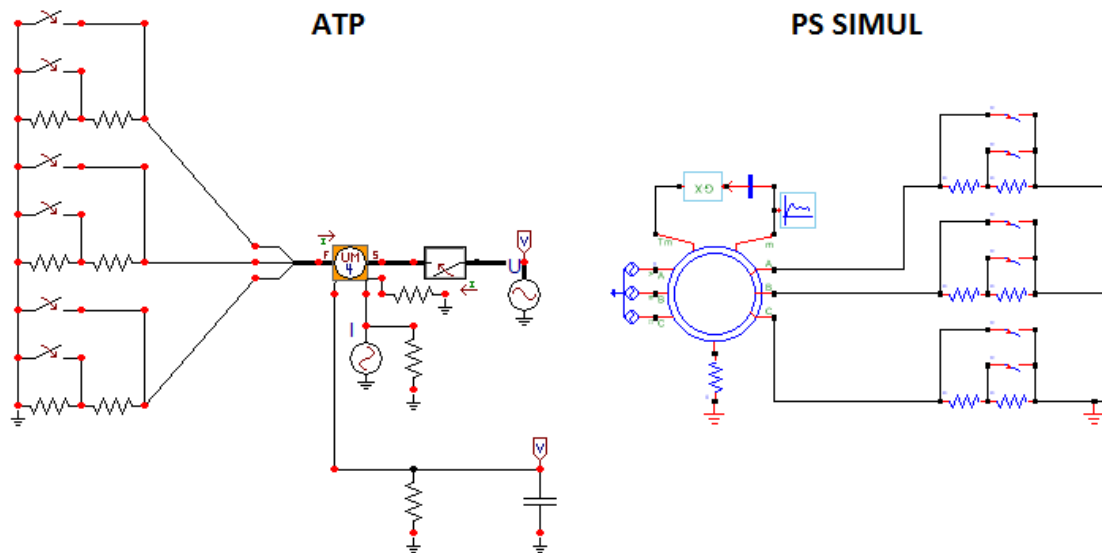


Figura 302 – Sistema modelado para a simulação 02 do cenário 04 em ambos os softwares.

8.8.5 Cenário 05 – Partida de uma máquina DC com estágios resistivos (8.5).

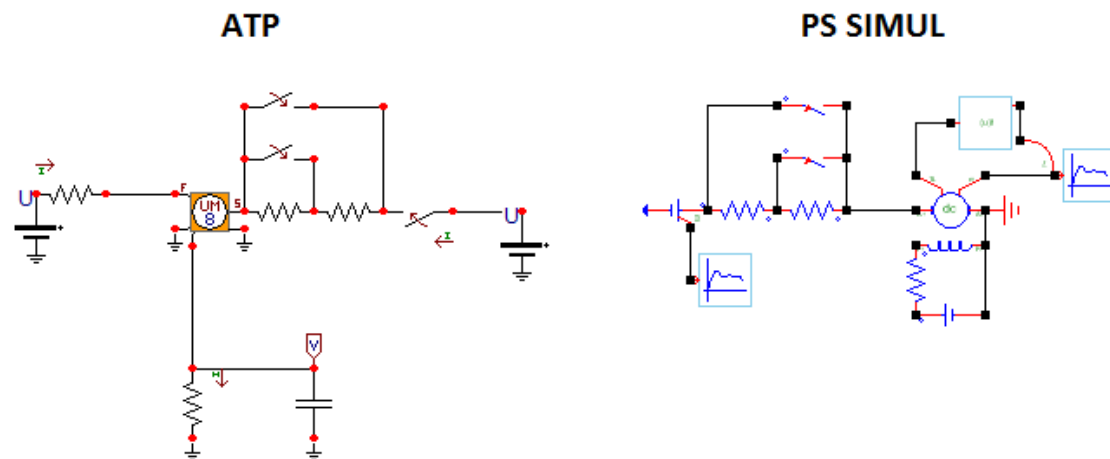


Figura 303 – Sistema modelado para o cenário 05 em ambos os softwares.

8.8.6 Cenário 06 – Curto circuito em sistema isolado alimentado por gerador síncrono (sem controladores de tensão ou potência mecânica) (8.6).

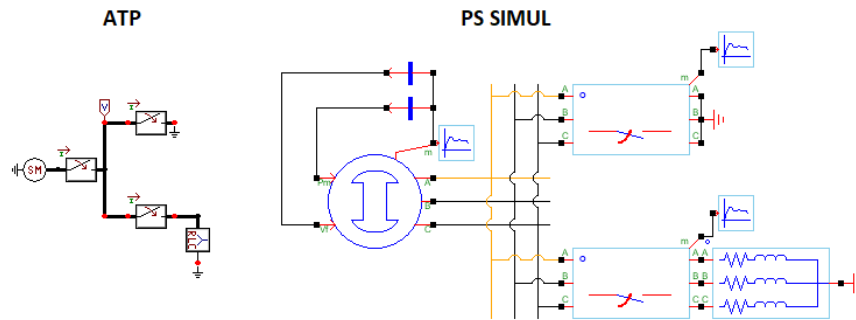


Figura 304 – Sistema modelado para a simulação do cenário 06 em ambos os softwares.

8.8.7 Cenário 07 – Chaveamento de cargas em sistema isolado alimentado por gerador síncrono (com regulação de tensão) (8.7).

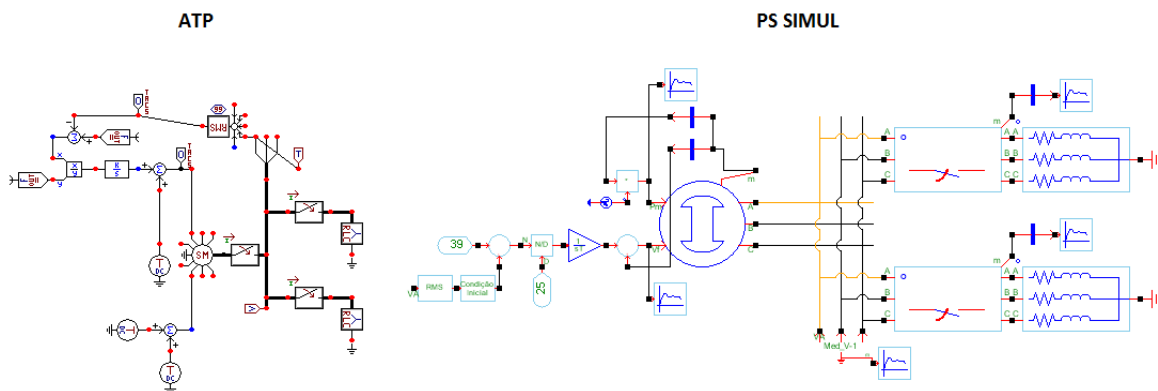


Figura 305 – Sistema modelado para a simulação do cenário 07 em ambos os softwares.



















9 Capítulo 09 - Controle (TACS e FORTRAN)

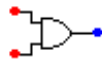

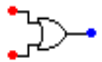

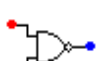



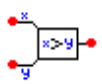

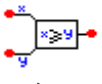

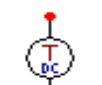

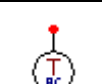

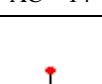

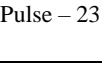

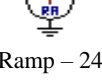

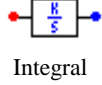

Este capítulo abrange os principais modelos de medição e controle disponibilizados pelo software ATP e seus equivalentes no software PS Simul. A fim de compará-los, a priori foi confeccionada uma tabela de equivalências onde constam os principais componentes de controle do ATP e seus respectivos no PS Simul incluindo a equivalência de parametrizações, quando aplicável. Por fim, foram simulados diversos cenários em ambos os softwares.























9.1 Tabela de equivalências entre os controles ATP e PS Simul





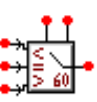
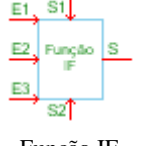
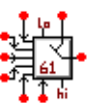
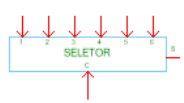
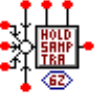


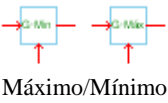


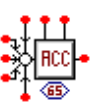

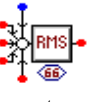

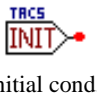



Inicialmente será apresentada uma tabela com diversas propostas de parametrização para cada componente de controle disponibilizado pelo ATP, assim como o componente e parametrização equivalentes no software PS Simul.

Tabela 77 – Equivalência dos blocos de controle da biblioteca do ATP Draw com os componentes do PS Simul.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 X - Y	---	 Subtração	---
 X / Y	---	 Divisão	---
 X + Y	---	 Soma	---
 SQRT(X)	---	 Raíz Quadrada	---
 X*K	K → 1 pu	 Ganho	Ganho → 1 pu
 X	---	 Módulo	---
 X*Y	---	 Multiplicador	---
 -X	---	 Ganho negativo	---
 NOT	---		---

		Porta inversora	
 AND	---	 Porta AND	---
 OR	---	 Porta OR	---
 NAND	---	 Porta NAND	---
 NOR	---	 Porta NOR	---
 >	---	 Comparador de Sinais	Tipo Comparação → Sinal A > Sinal B Nível 1 → 1 Nível 2 → 0
 >=	---	 Comparador de Sinais	Tipo Comparação → Sinal A >= Sinal B Nível 1 → 1 Nível 2 → 0
 DC – 11	Ampl. → 1 V	 Fonte DC	Módulo RMS → 1 V
	T_sta → 0 s		Tempo Inicial → 0 s
	T_sto → 1 s		Tempo Final → 1 s
 AC – 14	Ampl. → 1 V	 Fonte AC	Módulo RMS → 0,707 V
	Freq. → 50 Hz		Frequência → 50 Hz
	Fi → 0 °		Ângulo → 0 °
	T_sta → 0 s		Tempo Inicial → 0 s
	T_sto → 1 s		Tempo Final → 1 s
 Pulse – 23	Ampl. → 1 V	 Fonte quadrada	Valor Máximo → 1 V
	T → 0,001 s		Valor Mínimo → 0 V
	Width → 0,0001 s		Frequência → 1000 Hz
	T_sta → 0 s		Ciclo de trabalho → 10%
	T_sto → 1 s		Tempo Inicial → 0 s
			Tempo Final → 1 s
 Ramp – 24	Ampl. → 1 V	 Fonte triangular	Valor Máximo → 1 V
	T → 0,001 s		Valor Mínimo → 0 V
	T_sta → 0 s		Frequência → 1000 Hz
	T_sto → 1 s		Ciclo de trabalho → 100 %
 Integral	K → 2 pu	 Integrador	Constante de tempo → 1/2 s
 Derivative	K → 1 pu	 Derivador	Constante de tempo → 1 s















 Low pass	K → 1 pu	 Polo Real	Ganho → 1 pu
	Tau → 0,1 s		Constante de tempo → 0,1 s
 High pass	K → 1 pu	 Polo Diferencial	Ganho → 10 pu
	Tau → 0,1 s		Constante de tempo → 0,1 s
 Função Genérica	-	 Função Genérica	Lim. saída → Lim Interno
	Fix_Lo → 0		Limite mínimo → 0
	Fix_Hi → 10		Limite máximo → 10
	Ganho → 1 pu		Ganho → 1 pu
	N0 → 10		Cte Numerador → 10
	D0 → 1		Cte Denominador → 1
 Freq sensor – 50	Init_F → 60 Hz	 Medidor de Frequência	Frequência Ini → 60 Hz
 Relay switch – 51	-	 Chave Comando Externo	Comparação → CTRL
	Gain → 1 pu		Ganho → 1 pu
	T_hold → 0 s		S. Int → 0 s
	C 0/1 → 0		NA/NF → NA
 Level switch – 52	-	 Chave Comando Externo	Comparação → CTRL
	Gain → 1 pu		Ganho → 1 pu
	T_hold → 0 s		S. Int → 0 s
	C 0/1 → 0		NA/NF → NA
 Trans delay – 53	Delay → 0,1 s	 Delay	Delay → 0,1 s
	Max_T → 1 s		Delay Máx. → 1 s
 Pulse delay – 54	T_on → 0,1 s	 Delay Pulso	Ton → 0,1 s
	Delay → 0,2 s		Delay → 0,2 s
	T_off → 0,3s		Toff → 0,3 s
 Digitalizer – 55	Gain → 1 pu	 Digitalizador	Ganho → 1 pu
	N → 2		Níveis → 2
	Range → 1 pu		Máx. Valor → 1 pu
 User def nonlin – 56	Gain → 1 pu	 Característica Não Linear	Ganho → 1 pu
	CADASTRA TABELA CARACTERÍSTICA		CADASTRA TABELA CARACTERÍSTICA
 Multi switch – 57	-	 Chave	Estado Inicial → Aberta
	-		Nº de Abr/Fch → 36
	T_c1 → 0,1 s T_o1 → 0,2 s		Chv 001 → 0,1 s Chv 002 → 0,2 s
	T_c18 → 10 s T_o18 → 10,1 s		Chv 035 → 10 s Chv 036 → 10,1 s

 Cont integ – 58	-	 Função Genérica	Hab. Reset → Sim
	Gain → 1 pu		Ganho → 1 pu
	-		Valor Cte. Numerador → 1
	D0 → 2		Valor Cte. Denominador → 2
	D1 → 2,5		Fator 001 Denominador → 2,5
 Simple deriv – 59	Gain → 1 pu	 Derivador	Constante de tempo → 1 pu
 Input IF – 60	Const → 1 pu	 Função IF	Constante → 1 pu
 Signal select – 61	Lo → -1 pu	 Seletor de Sinais	Valor mínimo → -1 pu
	Hi → 1 pu		Valor máximo → 1 pu
 Sample track – 62	---	 Sample and Hold	---
 Inst min/Max – 63	B → -1 ou 1	 Máximo/Mínimo	Ganho → 1
 Min/Max track – 64	B → 1 ou -1	 Máx. Mín Globais	Cálculo do → Máximo ou Mínimo
	Reset → 0		Reset → 0
 Acc count – 65	Reset → 0	 Contador/ Acumulador	Reset → 0
 Rms meter – 66	Freq. → 60 Hz	 Medidor RMS	Frequência → 60 Hz
 Initial cond.	-	 Condição Inicial	Hab. Tempo → Não
	Init → 1 pu		Vinicial → 1 pu
 General FORTRAN	OUT → $(4^2) + (2/3)$	 Função Definida	Função → $(4^2) + (2/3)$

9.2 Cenário 01 – Análises de parâmetros do sistema elétrico.

Para tal validação foi realizada a modelagem de um sistema alimentado por uma barra infinita (220 V RMS), composto por uma carga indutiva (20 kVA – FP = 0,8) e um banco de capacitores (6 kVar). Com isso foram utilizados controles para realizar a medição de frequência e tensão no barramento do sistema, assim como a medição das potências que fluem: da fonte para todas as cargas, apenas na carga indutiva e apenas no banco de capacitores. Na tabela abaixo, constam os parâmetros considerados na simulação.

Tabela 78 – Dados do sistema confeccionado em ambos os softwares.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 X*Y	---	 Multiplicador	---
 Freq sensor – 50	Init_F → 60 Hz	 Medidor de Frequência	Frequência Ini → 60 Hz
 Rms meter – 66	Freq. → 60 Hz	 Medidor RMS	Frequência → 60 Hz
 Resistor	RES → 3,025 Ω	 R	Resistência → 3,025 Ω
 Inductor	L → 10.698 mH	 L	Indutância → 10.698e-3 H
	Kp → 0 pu		-
 Capacitor	C → 328,83 uF	 C	Capacitância → 328,83e-6 F
	Ks → 0 pu		-
 AC Type 14	-	 Fnt Sen/Cos 1Φ	Nº Fases → 1
	-		Tipo Geração → Cosseno
	Amp → 311,1269 V		Módulo RMS → 220 V
	f → 60 Hz		Frequência → 60 Hz
	Pha → 0 °		Ângulo → 0 °
	A1 → 0 V		Offset → 0 V

As formas de onda das medições obtidas da simulação seguem abaixo. O passo de tempo utilizado foi de 50 us. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (9.6.1).

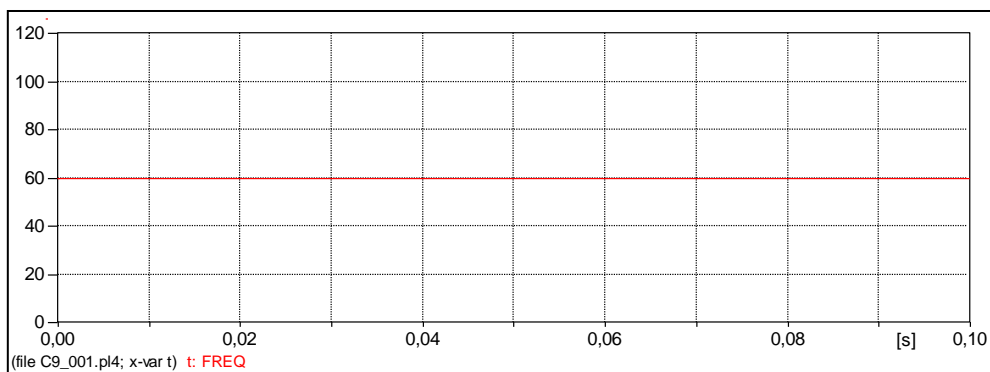


Figura 306 – Medição de frequência obtida no software ATP.

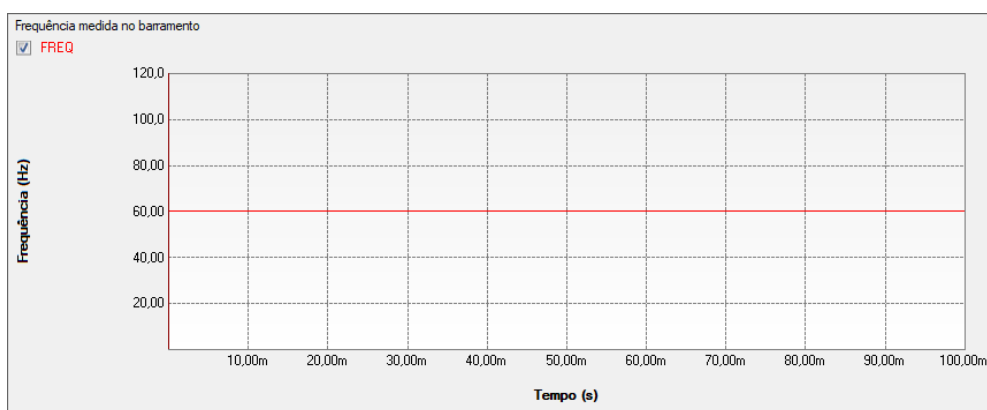


Figura 307 – Medição de frequência obtida no software PS SIMUL.

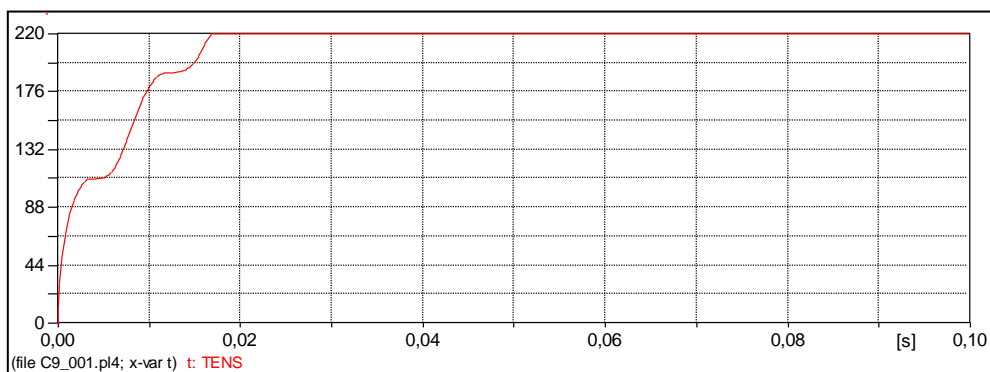


Figura 308 – Medição de tensão obtida no software ATP.

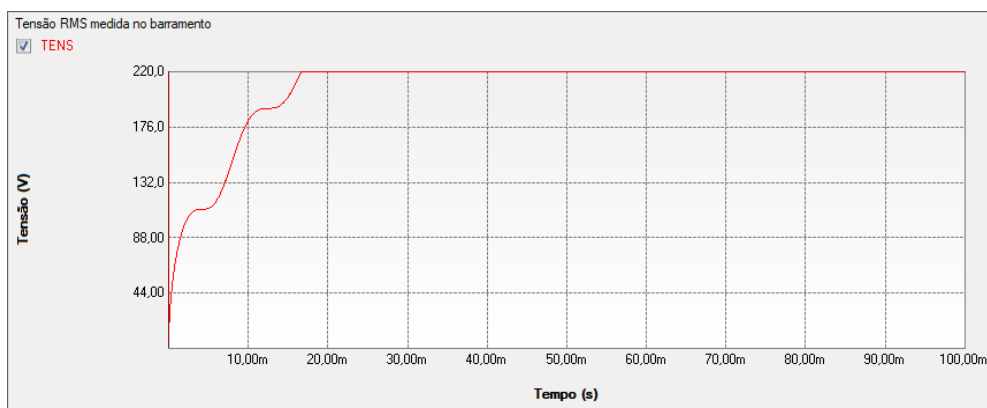


Figura 309 – Medição de tensão obtida no software PS SIMUL.

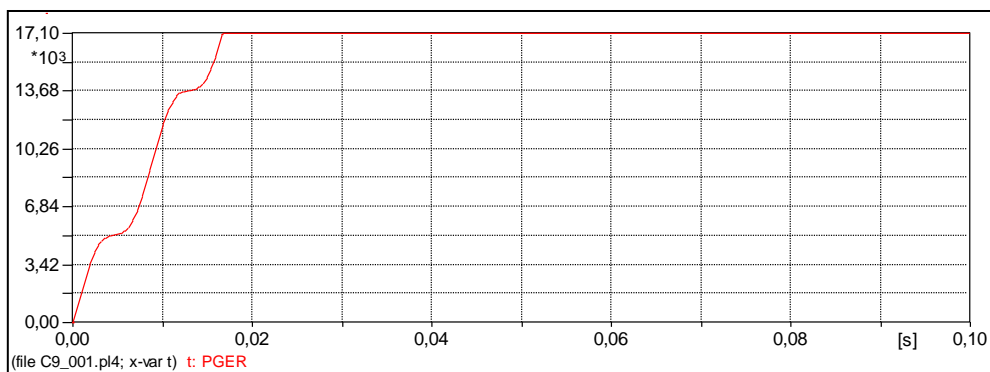


Figura 310 – Medição da potência que flui para todas as cargas, obtida no software ATP.

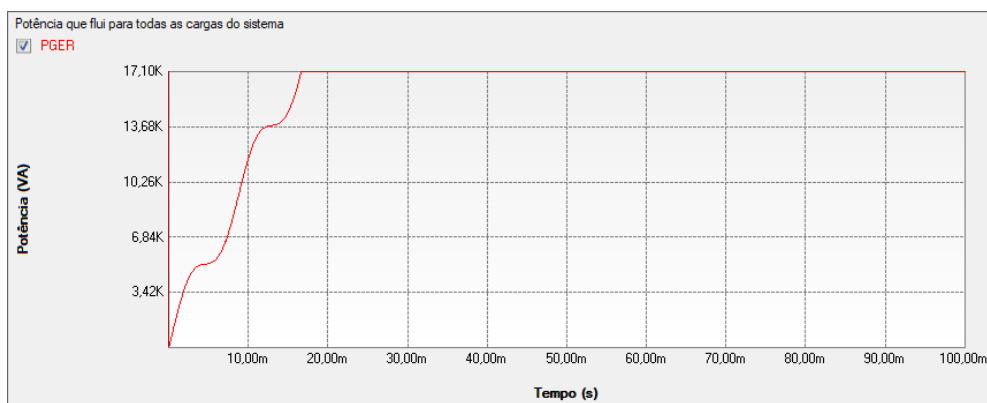


Figura 311 – Medição da potência que flui para todas as cargas, obtida no software PS SIMUL.

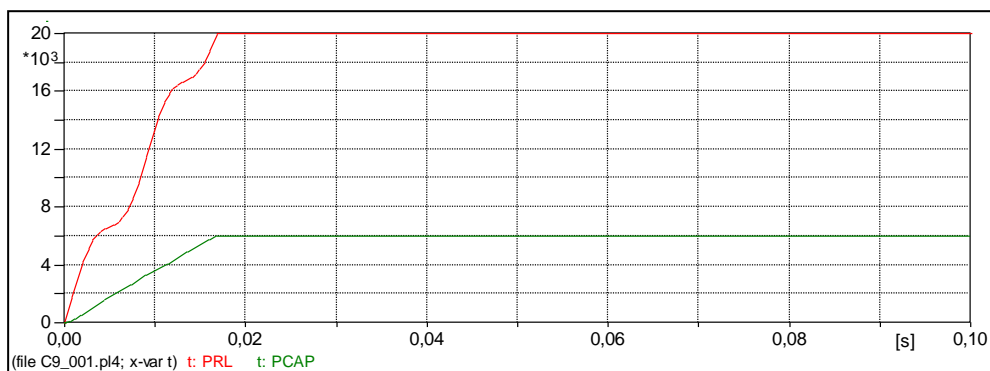


Figura 312 – Medições das potências da carga indutiva (vermelho) e capacitiva (verde) obtida no software ATP.

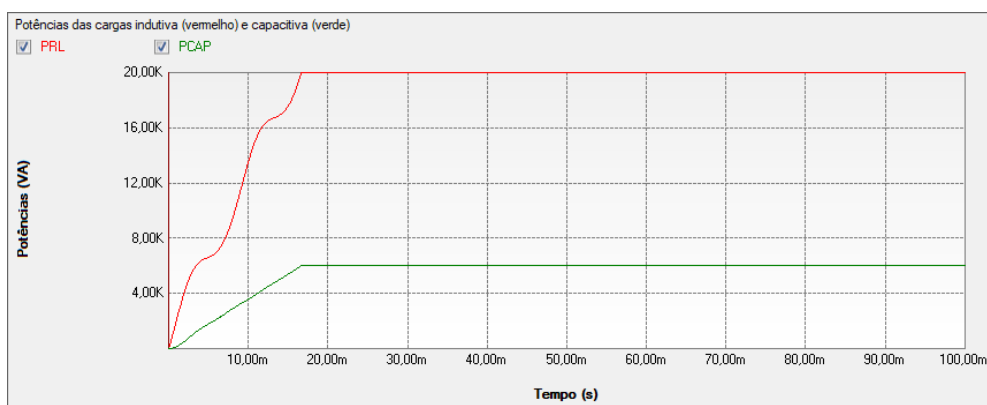


Figura 313 – Medições das potências da carga indutiva (vermelho) e capacitiva (verde) obtida no software PS SIMUL.

9.3 Cenário 02 – Modelagem de reguladores de tensão de máquinas.

Para tal validação foi realizada a modelagem de um regulador de tensão utilizado para manter as tensões terminais próximas a tensões de referências a partir da variação da tensão de campo das máquinas. A malha de controle confeccionada segue ilustrada na figura abaixo, juntamente com uma tabela onde constam os parâmetros considerados na simulação.

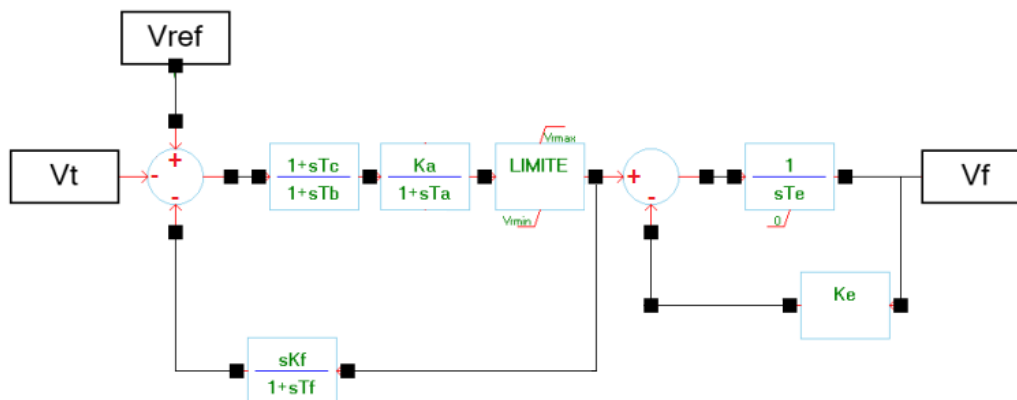


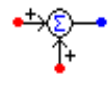

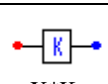
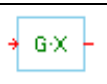
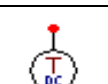
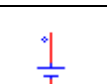
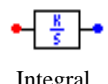
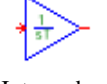
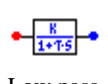

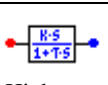
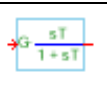






Figura 314 – Malha do sistema a ser modelado para o cenário 02 em ambos os softwares.

Tabela 79 – Dados do sistema confeccionado em ambos os softwares.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 X - Y	---	 Subtração	---
 X + Y	---	 Soma	---
 X*K	K → 1	 Ganho	Ganho → 1
 DC – 11	Ampl. → 1 V	 Fonte DC	Módulo RMS → 1 V
	T_sta → 1 s		Tempo Inicial → 1 s
	T_sto → 50 Hz		Tempo Final → 50 Hz
 Integral	K → 1,25 pu	 Integrador	Constante de tempo → 0,8 s
 Low pass	K → 20 pu	 Polo Real	Ganho → 20 pu
	Tau → 0,5 s		Constante de tempo → 0,5 s
 High pass	K → 0,01 pu	 Polo Diferencial	Ganho → 0,01 pu
	Tau → 1 s		Constante de tempo → 1 s

 Função Genérica	-	 Bloco Avanço e Atraso	Hab Reset → Não
	Ganho → 1		Ganho → 1
	N0 → 1		-
	N1 → 0,1 s		Cte Tempo - Avanço → 0,1 s
	D0 → 1		-
	D1 → 0,2 s		Cte Tempo – Atraso → 0,2 s
	Fix_Lo → -1000 Fix_Hi → 1000		Limite Apl. Saída → Nenhum
 Função Genérica	-	 Limitador	Controle Externo → Não
	Ganho → 1		-
	N0 → 1		-
	D0 → 1		-
	Fix_Lo → 0		Limite mínimo → 0
	Fix_Hi → 1		Limite máximo → 1

O controle foi submetido a um degrau unitário em sua entrada e foi observada a saída do controlador. O passo de tempo utilizado foi de 200 us. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (9.6.2) e as formas de onda obtidas com a simulação seguem abaixo.

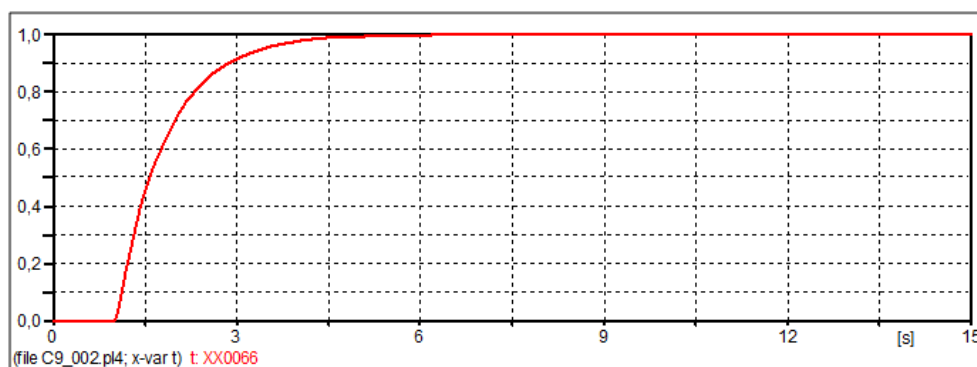


Figura 315 – Forma de onda obtida no software ATP.

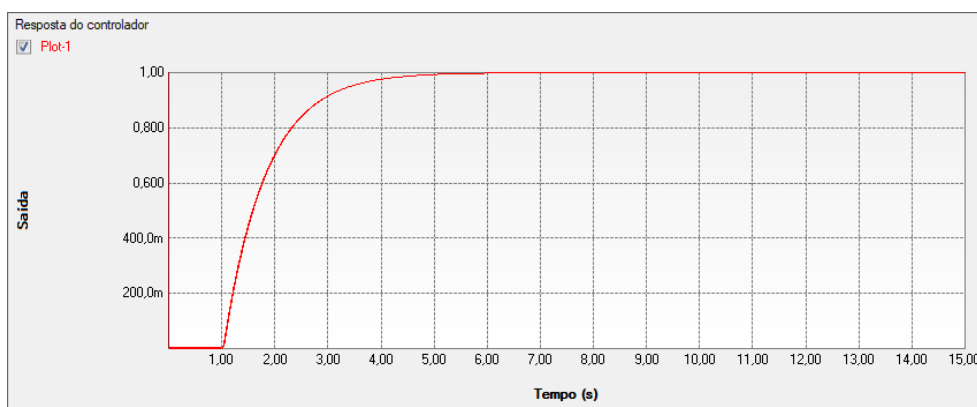




























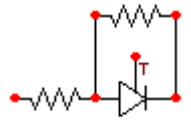

Figura 316 – Forma de onda obtida no software PS Simul.

9.4 Cenário 03 – Controle Chave AC – Eletrônica de Potência

Para tal validação foi realizada a modelagem de um controle para geração de pulsos a uma Chave AC que é um componente capaz de variar a impedância vista pela fonte através da variação do ângulo de disparo alpha dos tiristores. Neste cenário, a fonte AC tem magnitude de 240 V/60 Hz e a carga tem valores $R = 20 \, \Omega$ e $L = 0,07074 \, \text{H}$. A geração de pulsos é realizada através da comparação do ângulo Alpha que é provido por um controlador PI (proporcional integral) com o ângulo da tensão do sistema.

Tabela 80 – Dados do sistema de controle confeccionado em ambos os softwares.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 $X - Y / X + Y$	---	 Subtração/Subtração	---
 $X * K$	$K \rightarrow 20 \, \text{pu}$	 Ganho	Ganho $\rightarrow 20 \, \text{pu}$
 Ramp – 24	Ampl. $\rightarrow 360 \, \text{V}$	 Fonte triangular	Valor Máximo $\rightarrow 360 \, \text{V}$
	$T \rightarrow 0,01667 \, \text{s}$		Valor Mínimo $\rightarrow 0 \, \text{V}$
	$T_{\text{sta}} \rightarrow 0 \, \text{s}$		Frequência $\rightarrow 60 \, \text{Hz}$
	$T_{\text{sto}} \rightarrow 10 \, \text{s}$		Ciclo de trabalho $\rightarrow 100\%$
 Integral	$K \rightarrow 1000 \, \text{pu}$	 Integrador	Constante de tempo $\rightarrow 0.001 \, \text{s}$
 Low pass	$K \rightarrow 1 \, \text{pu}$	 Polo Real	Ganho $\rightarrow 1 \, \text{pu}$
	$\text{Tau} \rightarrow 0,1 \, \text{s}$		Constante de tempo $\rightarrow 0,1 \, \text{s}$
 Função Genérica	-	 Limitador	Controle Externo $\rightarrow \text{Não}$
	Ganho $\rightarrow 1 \, \text{pu}$		-
	$N0 \rightarrow 1$		-
	$D0 \rightarrow 1$		-
	$\text{Fix_Lo} \rightarrow 0$		Limite mínimo $\rightarrow 0$
	$\text{Fix_Hi} \rightarrow 360$		Limite máximo $\rightarrow 360$
 Trans delay – 53	Delay $\rightarrow 0,00833 \, \text{s}$	 Delay	Delay $\rightarrow 0,00833 \, \text{s}$
	$\text{Max_T} \rightarrow 0,00833 \, \text{s}$		Delay Máx. $\rightarrow 0,00833 \, \text{s}$
 Input IF – 60	$\text{Const} \rightarrow 0$	 Função IF	Constante $\rightarrow 0$

 Rms meter – 66	Freq. → 60 Hz	 Medidor RMS	Frequência → 60 Hz
 DC – 11	Ampl. → 6 V / 2 V / 0 V / 1 V	 Fonte DC	Módulo RMS → 6 V / 2 V / 0 V / 1 V
	T_sta → 0 s / 1,5 s		Tempo Inicial → 0 s / 1,5 s
	T_sto → 10 s		Tempo Final → 10 s
 Resistor	RES → 20 Ω	 R	Resistência → 20 Ω
 Inductor	L → 70.735 mH	 L	Indutância → 70.735e-3 H
	Kp → 0 pu		-
 AC Type 14	Amp → 339.411 V	 Fnt Sen/Cos 1 Φ	Tipo Geração → Seno
	f → 60 Hz		Módulo RMS → 240 V
	Pha → -90 °		Frequência → 60 Hz
			Ângulo → 0 °
 Valve	Ron = 10e-3 Ω	 Tiristor	Ron = 10e-3 Ω
	Roff = 10e3 Ω		Roff = 10e3 Ω
	Vig = 0 V		Tens. Mín. p. Fechar = 0 V
	Ihold = 0 A		Corr. Máx. p. Abrir = 0 A

O controle modelado visa controlar a corrente de carga em 6 A RMS inicialmente e no instante $t = 1,5$ seg. a corrente de referência do controle é alterada para 4 A RMS. O passo de tempo utilizado foi de 50 μ s. Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (9.6.3) e as formas de onda obtidas com a simulação seguem abaixo.

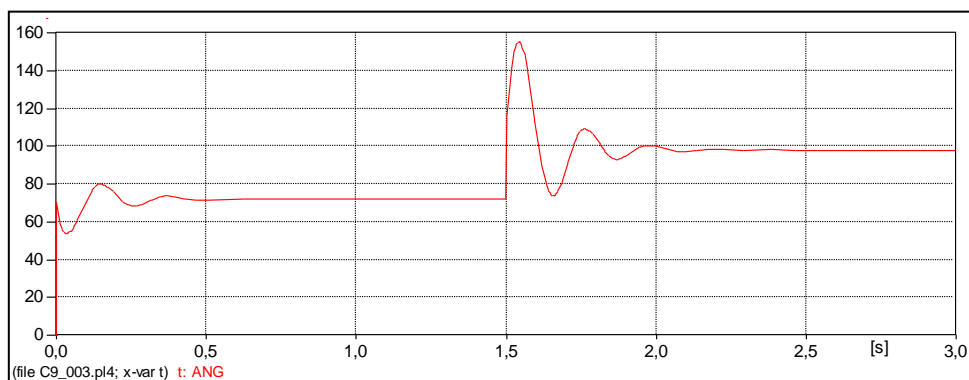


Figura 317 – Forma de onda do ângulo de saída do controlador obtida no ATP.

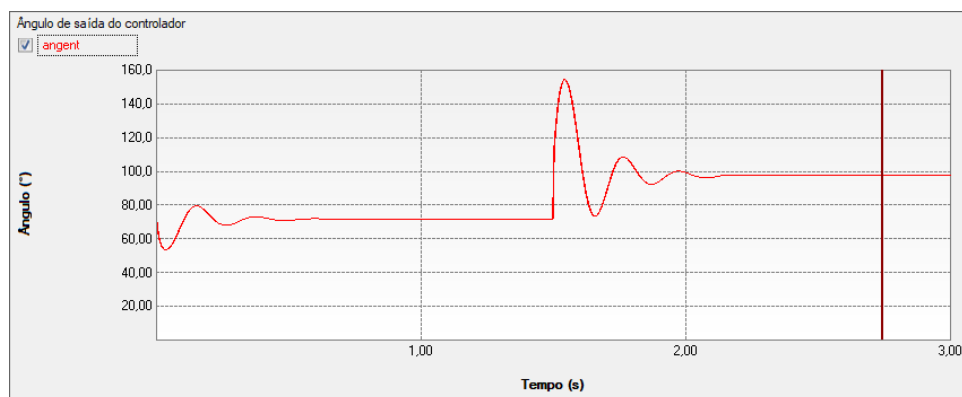


Figura 318 – Forma de onda do ângulo de saída do controlador obtida no PS SIMUL.

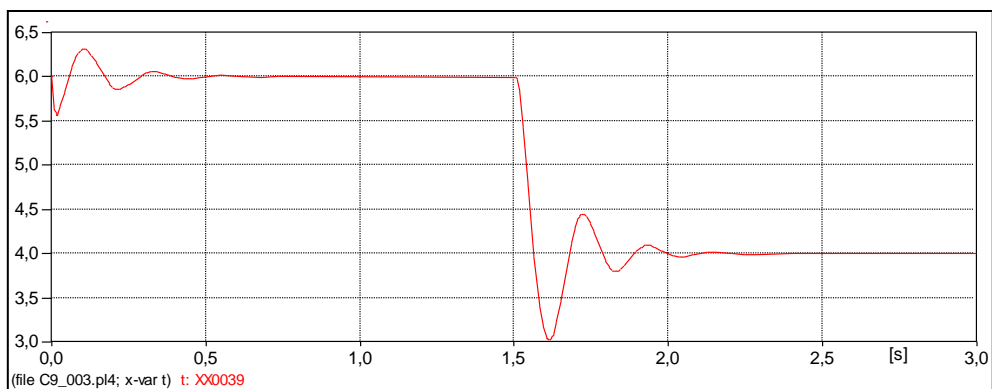


Figura 319 – Forma de onda da corrente RMS na carga obtida no ATP.

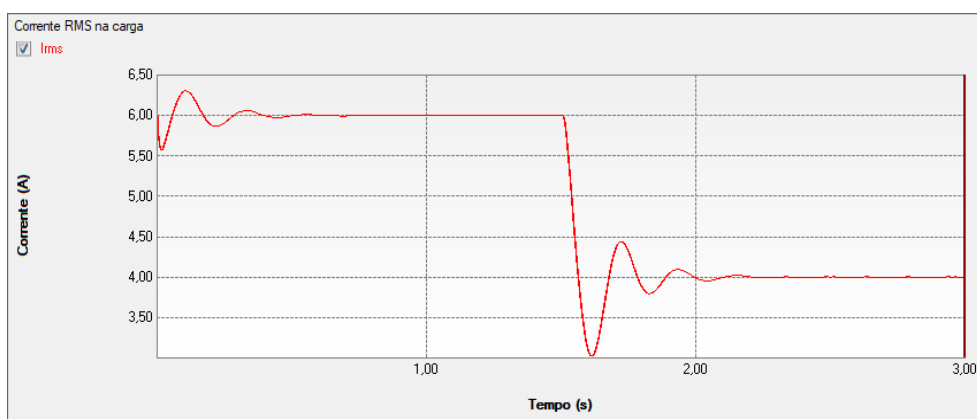


Figura 320 – Forma de onda da corrente RMS na carga obtida no PS SIMUL.

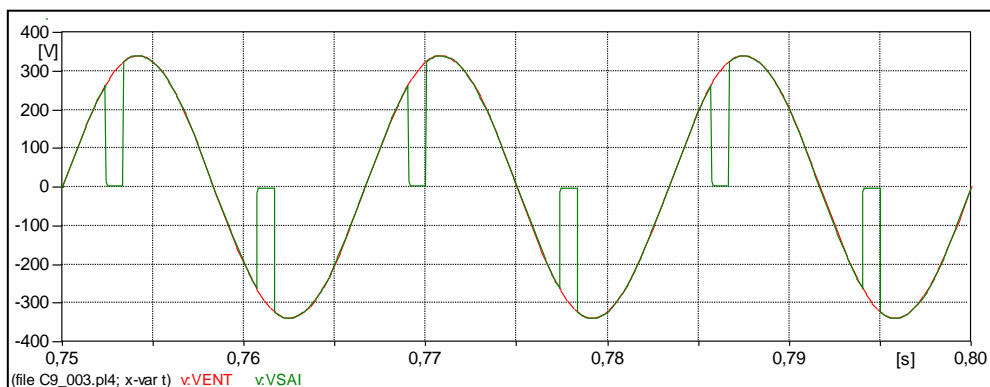


Figura 321 – Forma de onda das tensões de entrada e saída para $I_{ref} = 6$ A RMS, obtida no ATP.

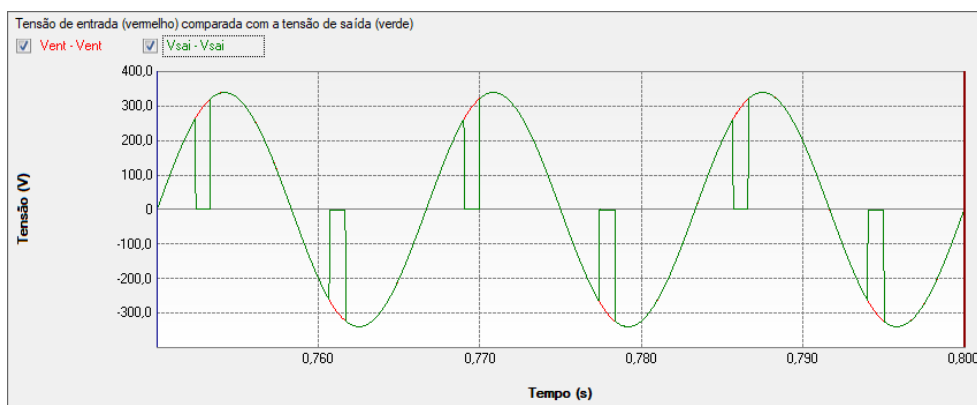


Figura 322 – Forma de onda das tensões de entrada e saída para $I_{ref} = 6$ A RMS, obtida no PS SIMUL.

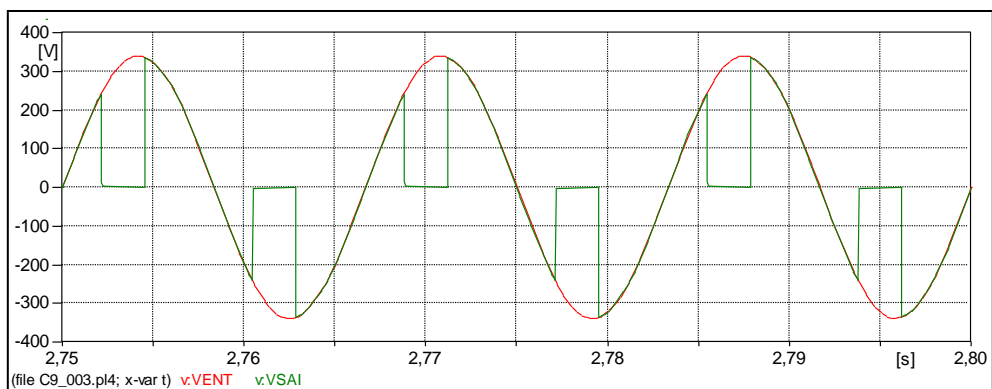


Figura 323 – Forma de onda das tensões de entrada e saída para $I_{ref} = 4$ A RMS, obtida no ATP.

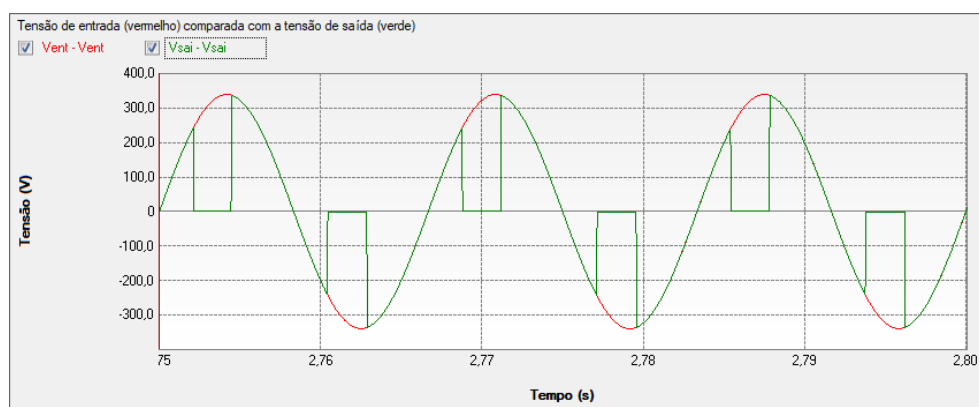






























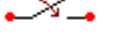

Figura 324 – Forma de onda das tensões de entrada e saída para $I_{ref} = 4$ A RMS, obtida no PS SIMUL.

9.5 Cenário 04 – Modelagem de funções de proteção.

Para tal validação foi realizada a modelagem da função de proteção 27 (subtensão), utilizando os componentes de controle de ambos os softwares.

Tabela 81 – Dados do sistema de controle confeccionado em ambos os softwares.

ATP		PS Simul	
Componente	Parametrização	Componente	Parametrização
 X*K	K → 0,0005 pu / 0,0087 pu	 Ganho	Ganho → 0,0005 pu / 0,0087 pu
 Rms meter – 66	Freq. → 60 Hz	 Medidor RMS	Frequência → 60 Hz
 X – Y	---	 Subtração	---
 DC – 11	Ampl. → 1 V / 0 V / 0,9 V / 0,5 V	 Fonte DC	Módulo RMS → 1 V / 0 V / 0,9 V / 0,5 V
	T_sta → 0 s		Tempo Inicial → 0 s
	T_sto → 10 s		Tempo Final → 10 s
 Ramp – 24	Ampl. → 10 V	 Fonte Tempo	-
	T → 10 s		-
	T_sta → 0 s		-
	T_sto → 10 s		-
 Input IF – 60	Const → 0	 Função IF	Constante → 0
 Sample track – 62	---	 Sample and Hold	Tipo Amostr. → Sample and Hold
 OR	---	 Porta OR	---
 NOT	---	 Porta inversora	---
 Resistor	RES → 264,5 Ω / 352.67 Ω	 R	Resistência → 264,5 Ω / 352.67 Ω
 Inductor	L → 2806,43 mH / 467,73 mH	 L	Indutância → 2806,43e-3 H / 467,73e-3 H
	Kp → 0		-
 AC Type 14	-	 Fnt Sen/Cos 1Φ	Nº Fases → 1
	-		Tipo Geração → Seno
	Amp → 325269.1193 V		Módulo RMS → 230000 V
	f → 60 Hz		Frequência → 60 Hz
	Pha → -90 °		Ângulo → 0 °
	A1 → 0 V		Offset → 0 V

 RLC Pi Equiv	-	 Linha	Entrada de Dados → Matriz RLC
	-		Transposta → Não
	-		Parâmetros Distribuídos → Não
	-		Modelo → RL
	-		Nº Fases → 1
	$R \rightarrow 1.06 \Omega$		$R \rightarrow 1,06 \Omega$
	$L \rightarrow 23.9 \text{ mH}$		$L \rightarrow 23,9\text{e-3 H}$
 TACS Switch	-	 Chave Ctrl Ext	-
	-		Nº Fases → 1
	-		Controle Fechamento → Sinal Externo
	CLOSED → 1		Corrente Máxima p/ Abrir → 0 A
 Switch Time Ctrl	-	 Chave Ctrl Ext	Estado inicial → Fechada
	-		Nº Fases → 1
	$I_{mar} \rightarrow 0 \text{ A}$		Controle Fechamento → Tempo Interno
	-		Corrente Máxima p/ Abrir → 0 A
	$T_{cl} \rightarrow 0,1 \text{ s}$		Estado inicial → Aberta
	$Top \rightarrow 10 \text{ s}$		Tempo Chv 001 → 0,1 s
			-

O sistema de potência deste cenário é composto por um circuito equivalente (230 kV – 6000 MVA) que alimenta continuamente uma carga indutiva (200 MW e 50 MVar). No instante $t = 0,1$ seg. foi simulada a inserção de uma nova carga no sistema (150 MW e 300 MVar) através de um alimentador ($R = 1,06 \Omega$ e $L = 23,9 \text{ mH}$), visando provocar uma subtensão no barramento principal. Foi parametrizado apenas um elemento na função 27, com pickup igual a 0,9 pu e temporização de 0,5 segundos para atuação. O passo de tempo utilizado foi de 50 μs . Os circuitos modelados estão dispostos no tópico (9.6.4) e as formas de onda obtidas com a simulação seguem abaixo.

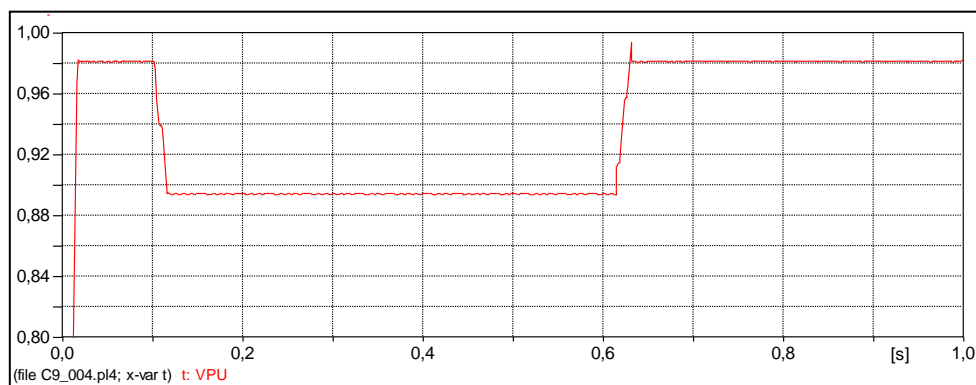


Figura 325 – Forma de onda da tensão em pu no barramento principal, obtida no ATP.

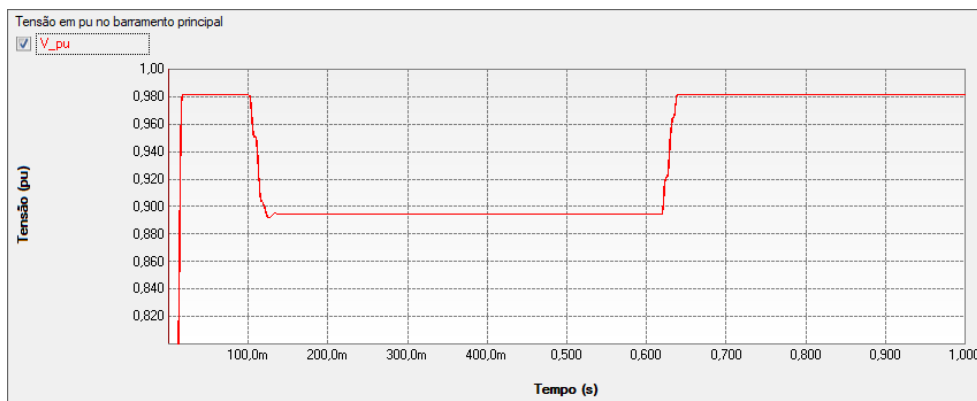


Figura 326 – Forma de onda da tensão em pu no barramento principal, obtida no PS SIMUL.

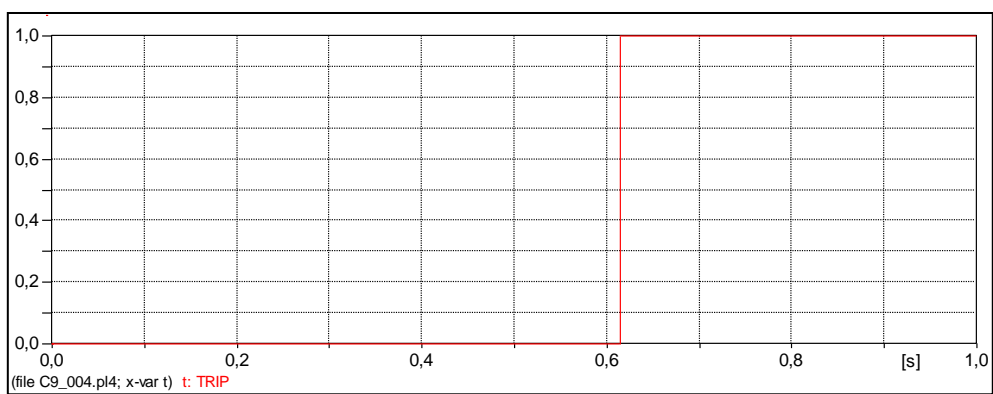


Figura 327 – TRIP da função 27, obtido no ATP.

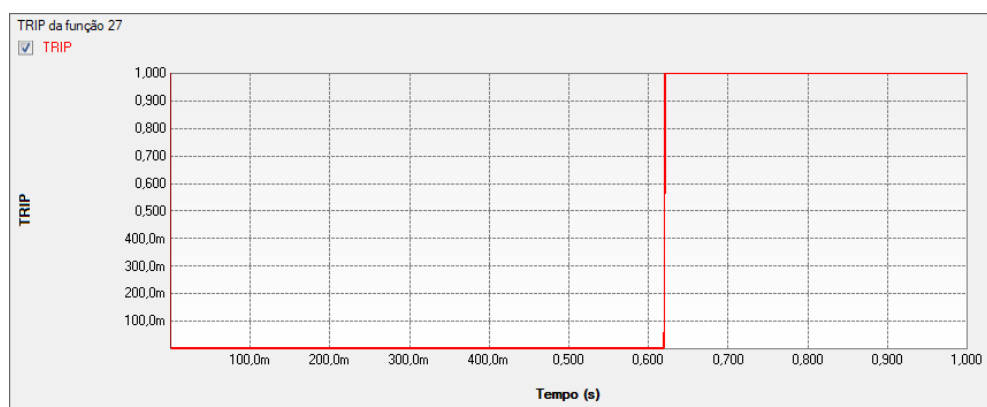


Figura 328 – TRIP da função 27, obtido no PS SIMUL.

9.6 Circuitos modelados para as validações realizadas

9.6.1 Cenário 01 – Análises de parâmetros do sistema elétrico (9.2).

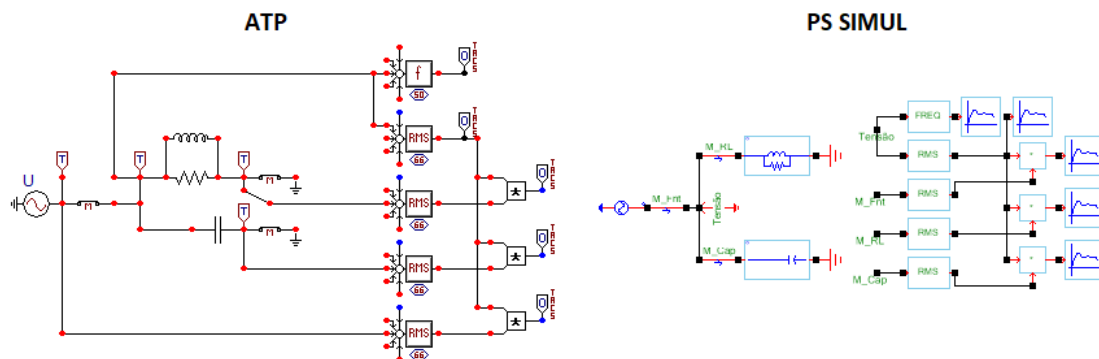


Figura 329 – Sistema modelado para o cenário 01 em ambos os softwares.

9.6.2 Cenário 02 – Modelagem de controladores de excitação de máquinas (9.3).

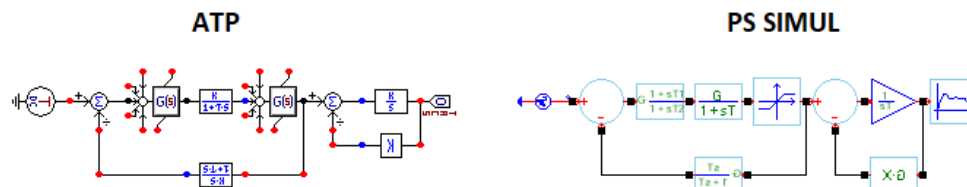


Figura 330 – Sistema modelado para o cenário 02 em ambos os softwares.

9.6.3 Cenário 03 – Controle Chave AC – Eletrônica de Potência (9.4).

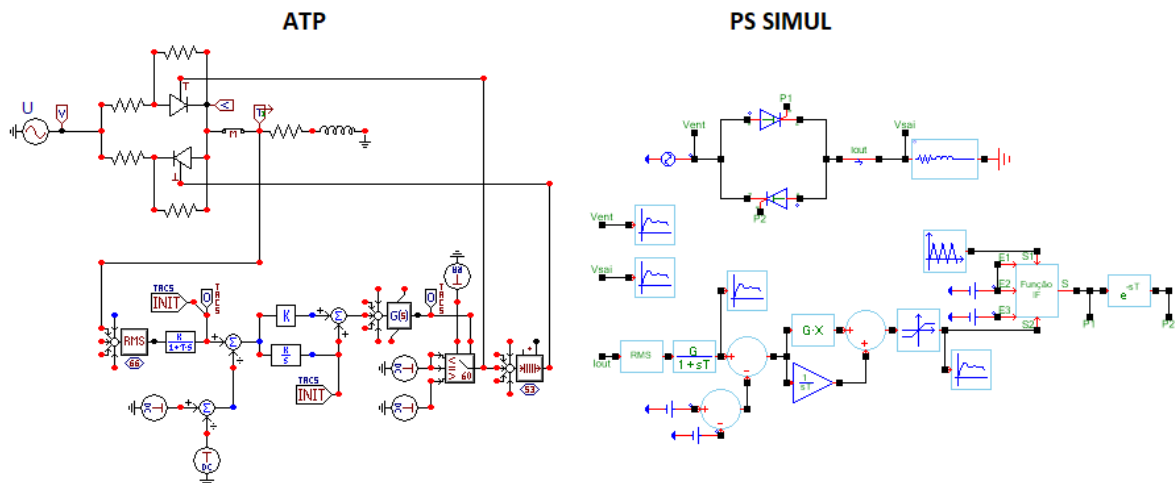


Figura 331 – Sistema modelado para o cenário 03 em ambos os softwares.

9.6.4 Cenário 04 – Modelagem de funções de proteção (9.5).

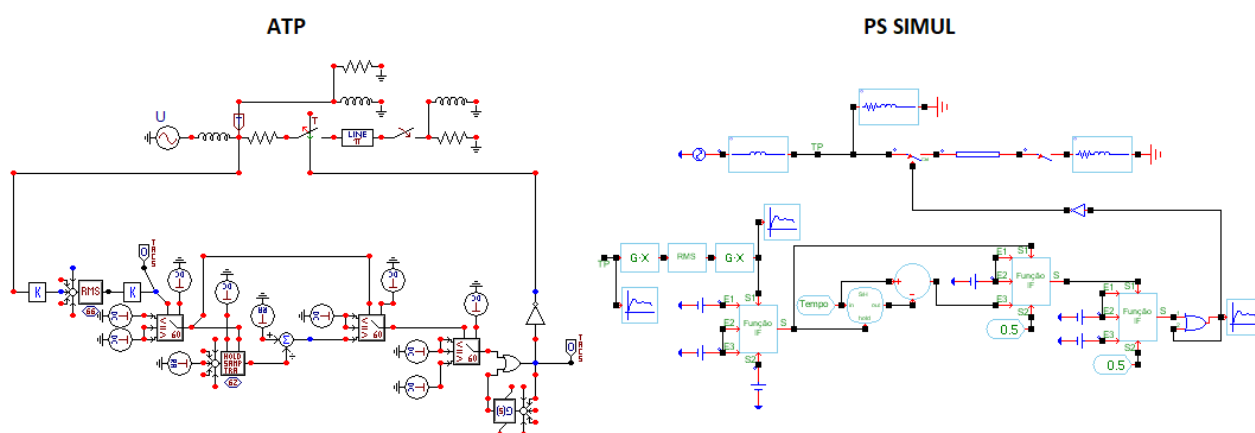


Figura 332 – Sistema modelado para o cenário 04 em ambos os softwares.

10 Capítulo 10 - Análise de sistemas mais completos com ambos os softwares

Finalizando a comparação entre os modelos oferecidos por ambos os softwares, serão confeccionados alguns exemplos mais complexos, com blocos de diferentes grupos em um só sistema de potência/controle. Tal análise visa confrontar os resultados diante de sistemas genéricos que interligam diversas modalidades de componentes.

10.1 Análise de Tensões de Restabelecimento Transitórias (TRT) em sistemas.

Neste cenário, foi simulado parte de um sistema elétrico com nível de tensão de 69 kV, onde representam-se duas linhas de transmissão paralelas por sua geometria, uma linha PI através de circuitos RLC, um transformador real de 69 kV / 13,8 kV e disjuntores do sistema com a representação de suas capacitâncias de fuga. Com isso, simulou-se a retirada de uma falta do sistema elétrico no instante $t = 0$ s e foram observadas as correntes nas chaves CH1 e CH2, as tensões do primário (F-F) e secundário (F-N) do transformador e a tensão no ponto de retirada da falta. No ponto de retirada a falta, foi analisado se a envoltória permitida para a TRT foi respeitada. Neste caso a envoltória tem os seguintes parâmetros: kV Crista \rightarrow 13,5 kV // TCTR \rightarrow 0,38 kV/us // T retardo \rightarrow 10 us // kV retardo \rightarrow 3,44 kV. Abaixo seguem os circuitos modelados, as geometrias parametrizadas nas linhas e as formas de onda das tensões e correntes medidas em ambos os softwares. O passo de tempo adotado na simulação foi de 0,1 us.

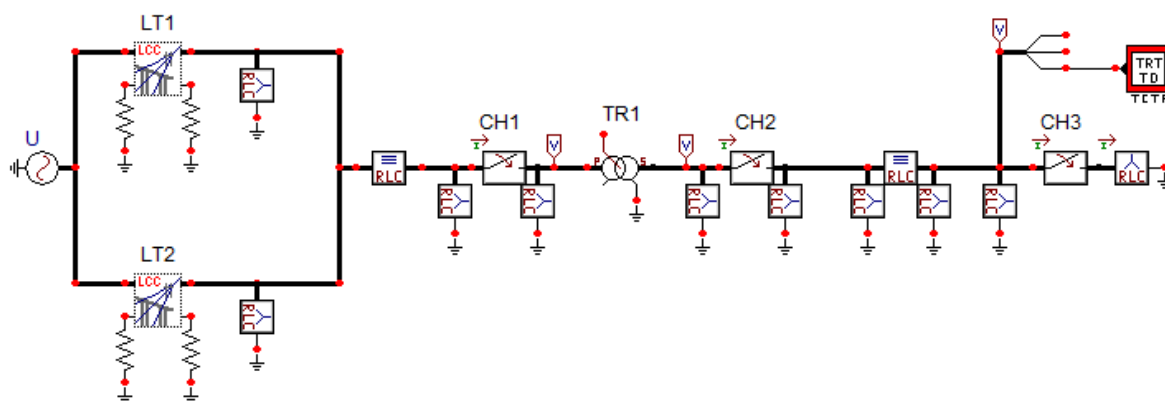


Figura 333 – Circuito modelado no software ATP.

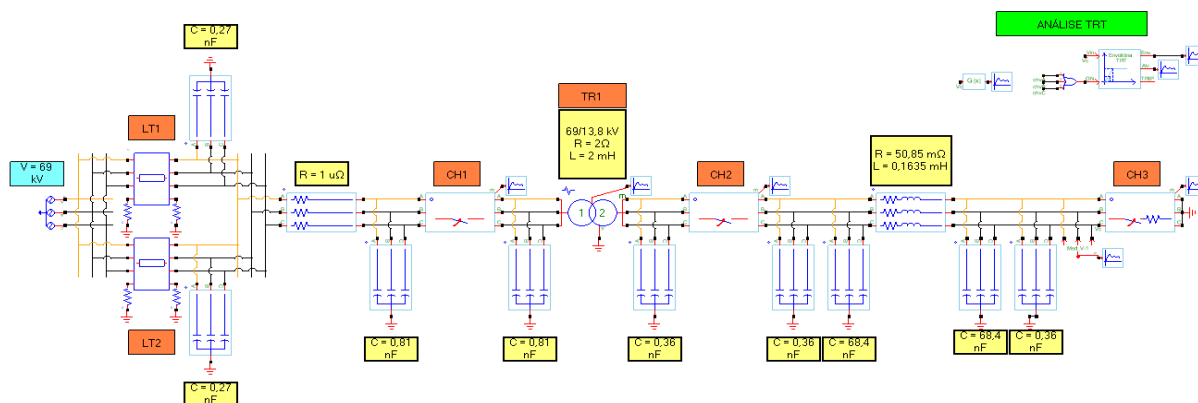


Figura 334 – Circuito modelado no software PS Simul.

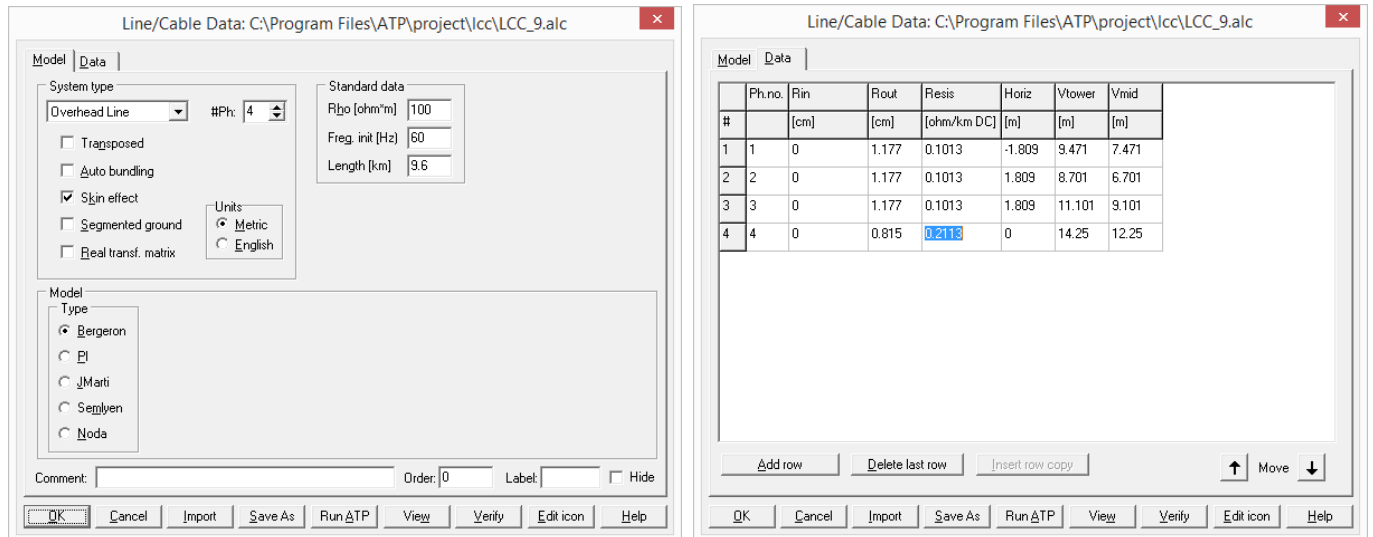


Figura 335 – Geometria da linha parametrizada no software ATP.

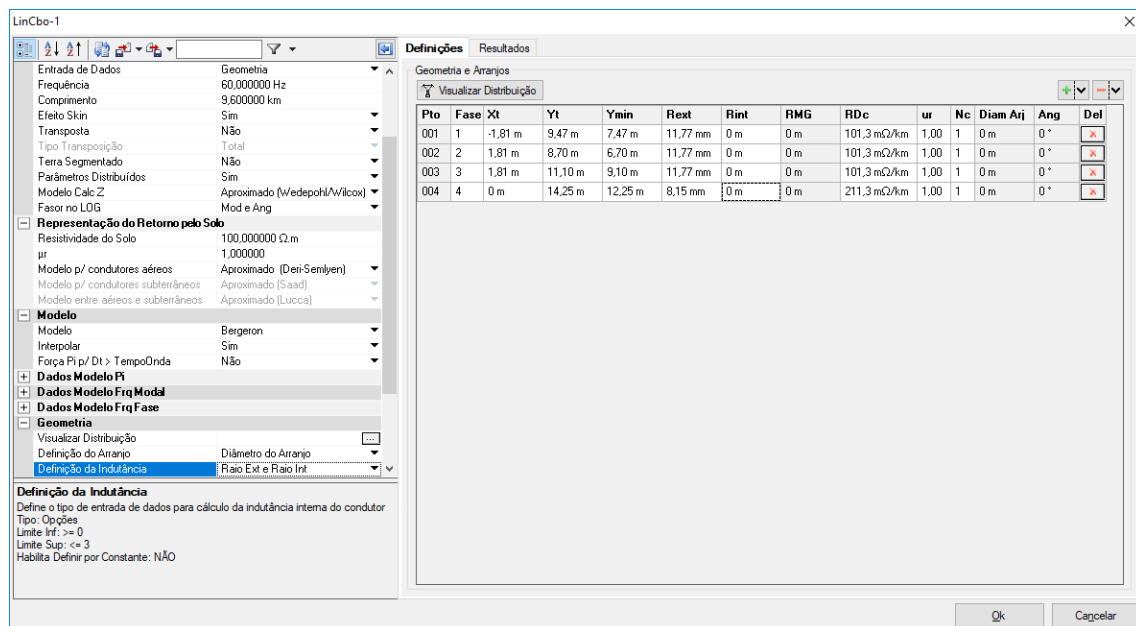


Figura 336 – Geometria da linha parametrizada no software PS Simul.

10.1.1 Formas de onda das correntes na chave CH1.

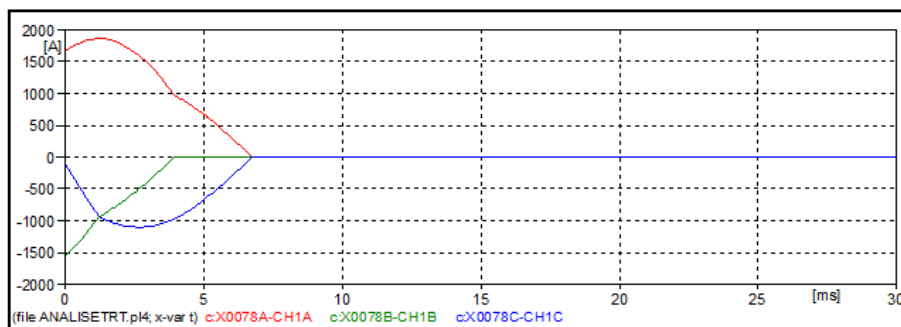


Figura 337 – Forma de onda das correntes na chave CH1 obtidas no ATP.

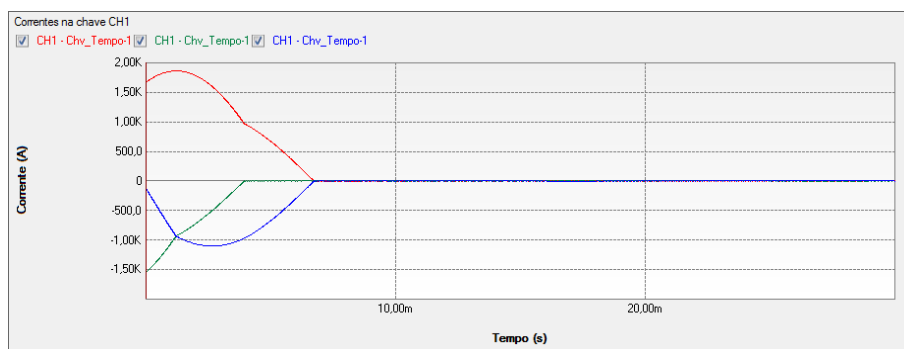


Figura 338 – Forma de onda das correntes na chave CH1 obtidas no PS Simul.

10.1.2 Formas de onda das correntes na chave CH2.

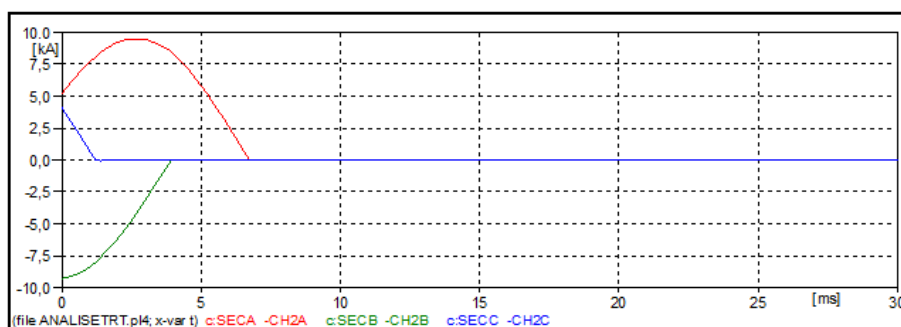


Figura 339 – Forma de onda das correntes na chave CH2 obtidas no ATP.

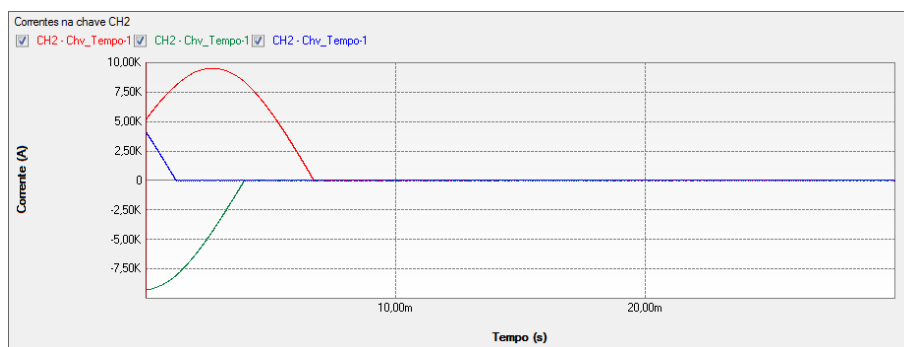


Figura 340 – Forma de onda das correntes na chave CH2 obtidas no PS Simul.

10.1.3 Formas de onda das tensões F-F no primário do transformador TR1.

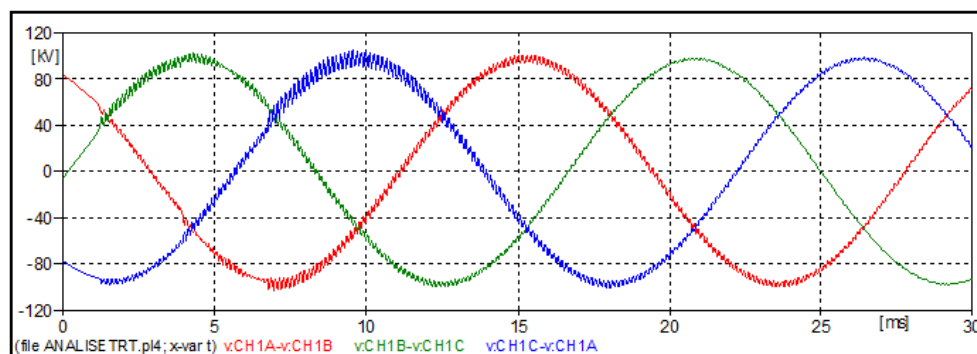


Figura 341 – Forma de onda das tensões no primário do transformador obtidas no ATP.

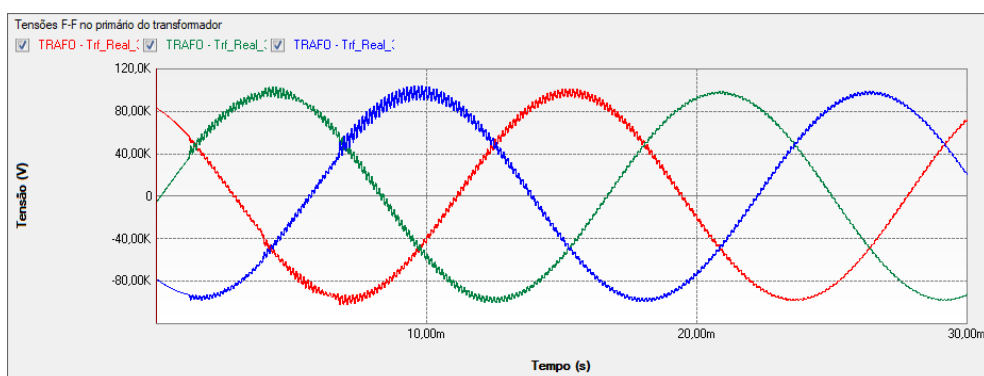


Figura 342 – Forma de onda das tensões no primário do transformador obtidas no PS Simul.

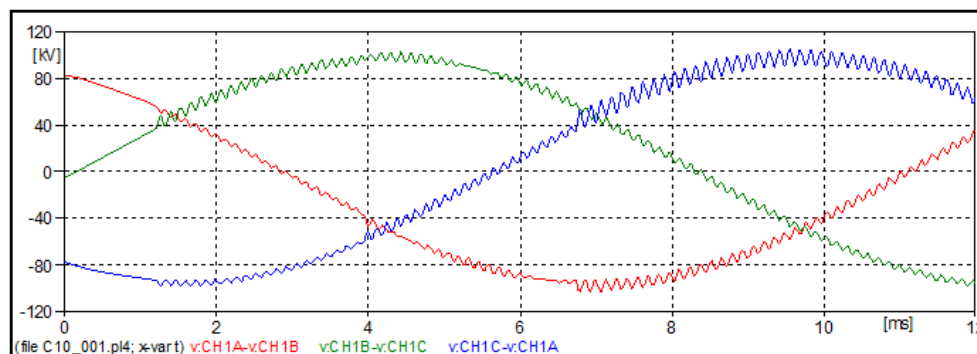


Figura 343 – Zoom da forma de onda das tensões no primário do transformador no ATP.

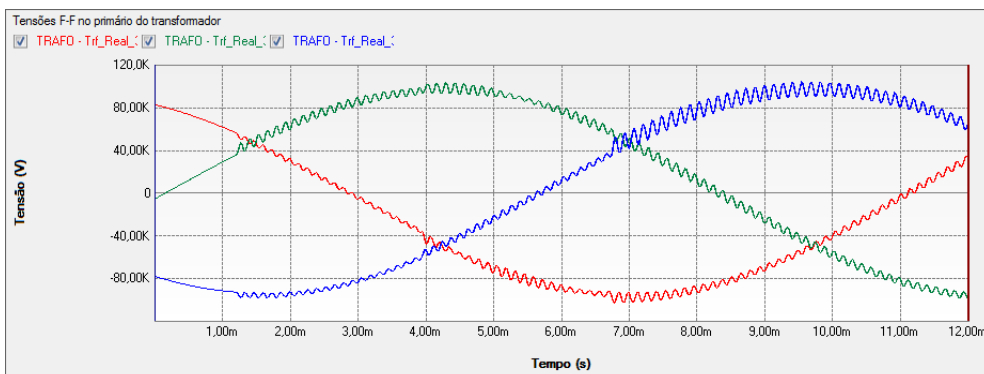


Figura 344 – Zoom da forma de onda das tensões no primário do transformador no PS Simul.

10.1.4 Formas de onda das tensões F-N no secundário do transformador TR1.

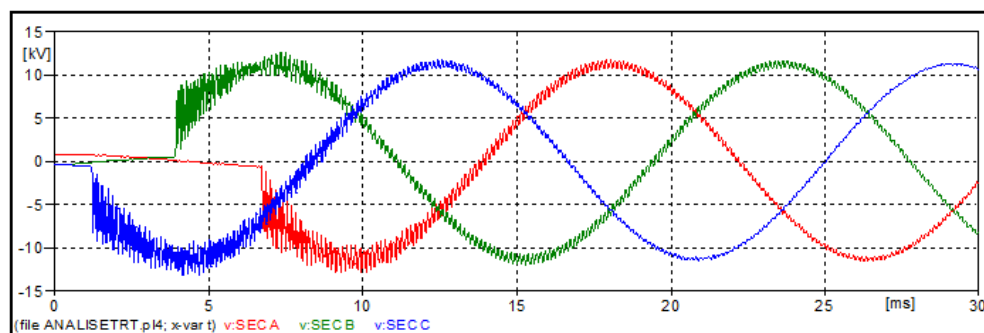


Figura 345 – Forma de onda das tensões no secundário do transformador obtidas no ATP.

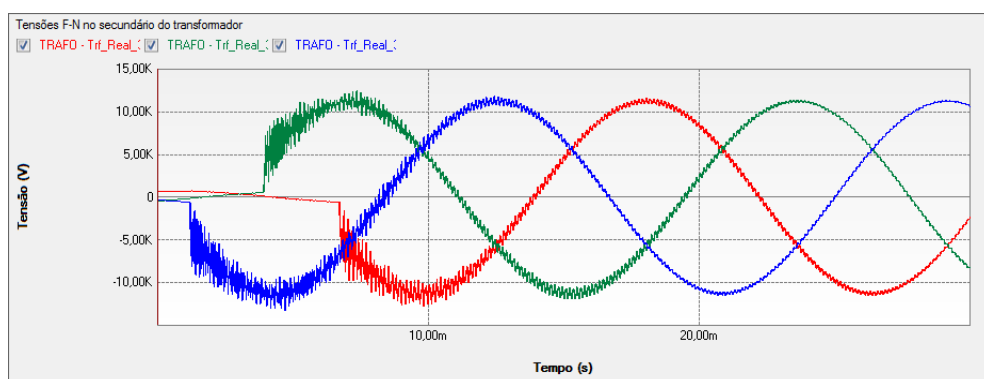


Figura 346 – Forma de onda das tensões no secundário do transformador obtidas no PS Simul.

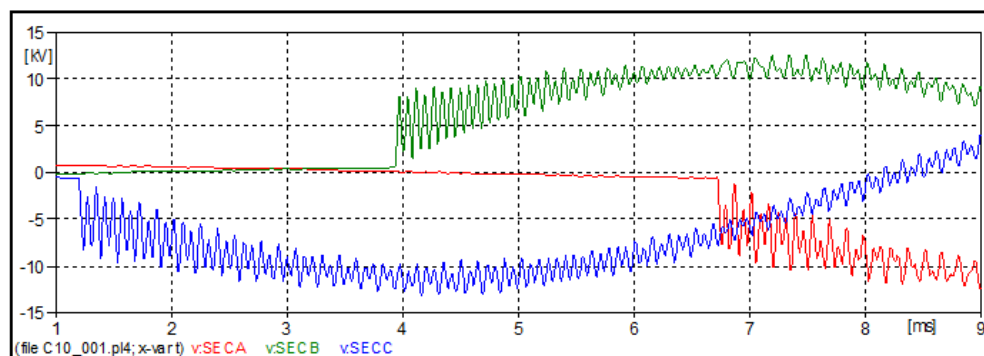


Figura 347 – Zoom da forma de onda das tensões no secundário do transformador no ATP.

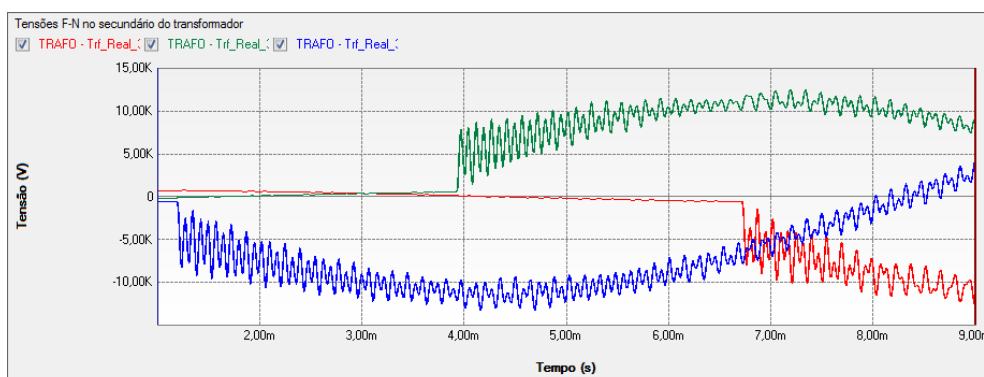


Figura 348 – Zoom da forma de onda das tensões no secundário do transformador no PS Simul.

10.1.5 Análise da envoltória da TRT.

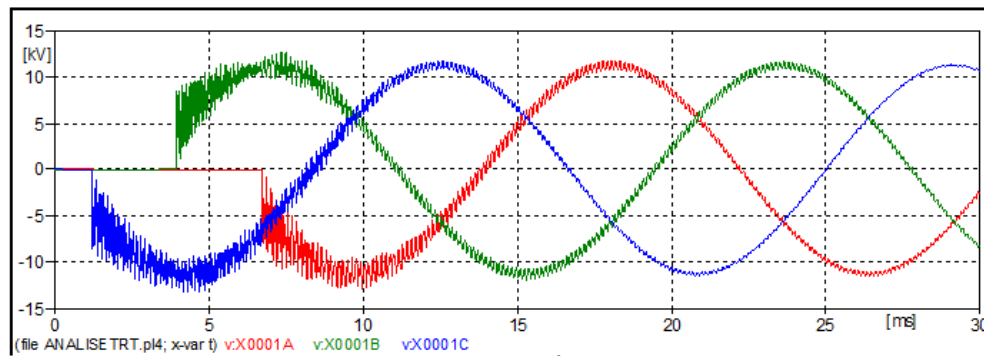


Figura 349 – Forma de onda das tensões no ponto da retirada da falta obtidas no ATP.

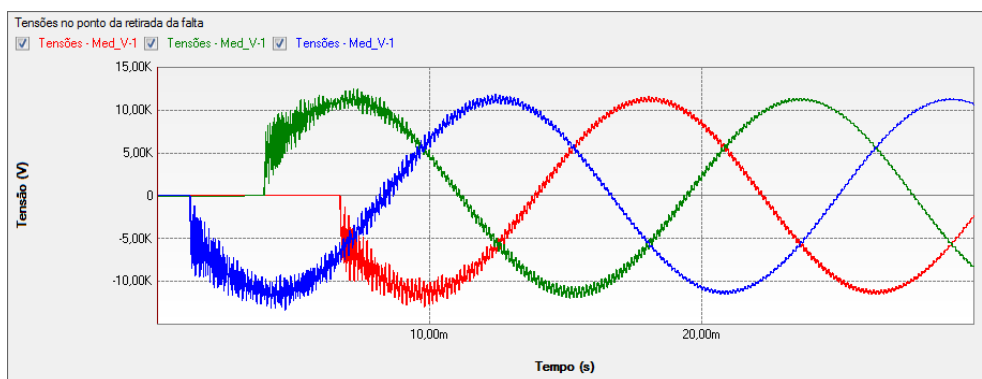


Figura 350 – Forma de onda das tensões no ponto da retirada da falta obtidas no PS Simul.

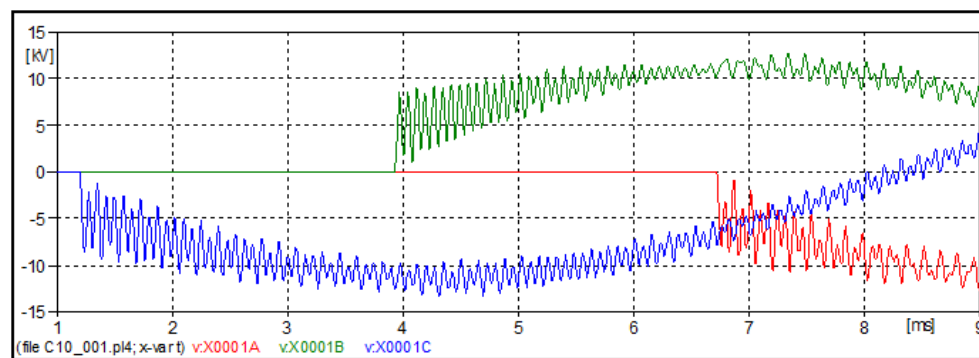


Figura 351 – Zoom da forma de onda das tensões no ponto da retirada da falta no ATP.

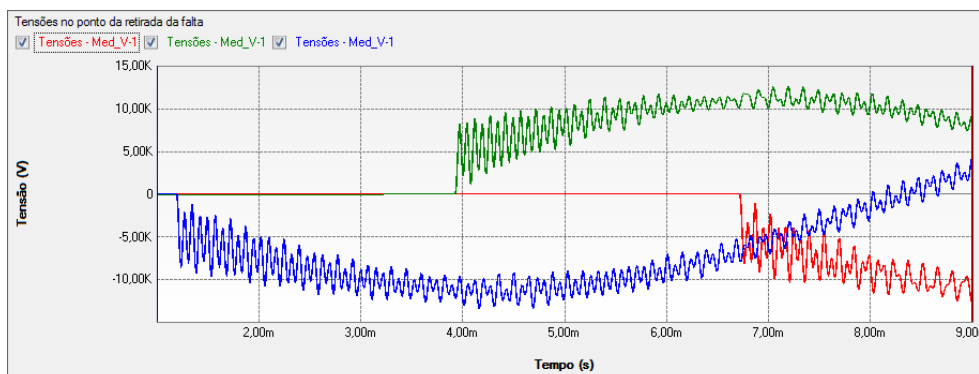


Figura 352 – Zoom da forma de onda das tensões no ponto da retirada da falta no PS Simul.

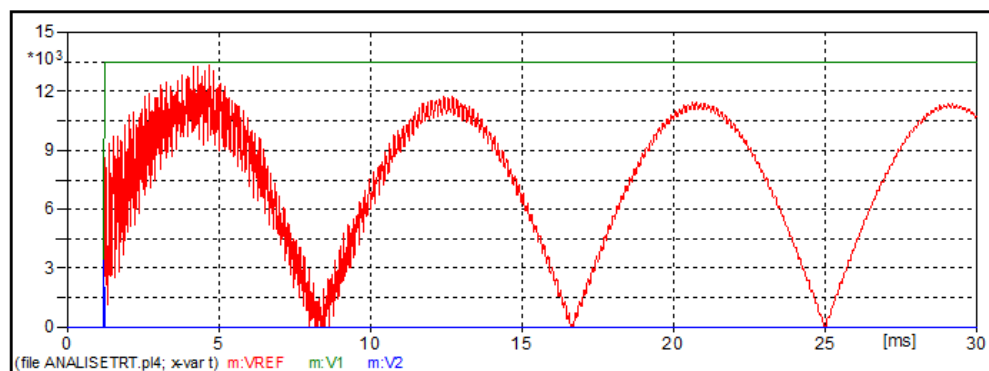


Figura 353 – Análise da envoltória TRT no ATP.

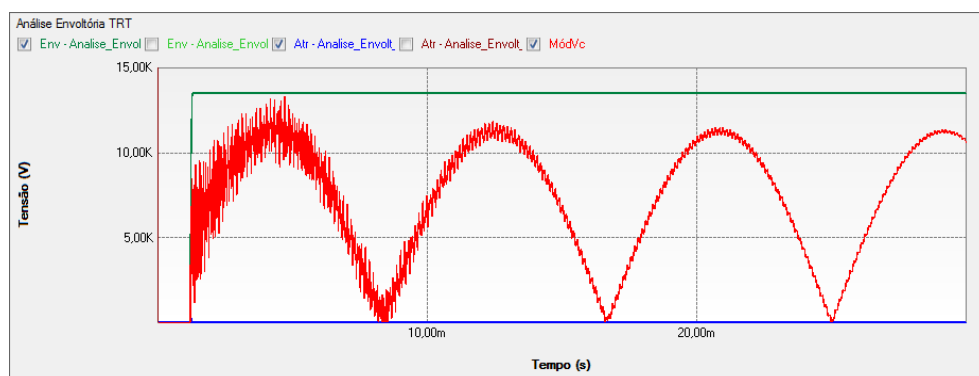


Figura 354 – Análise da envoltória TRT no PS Simul.

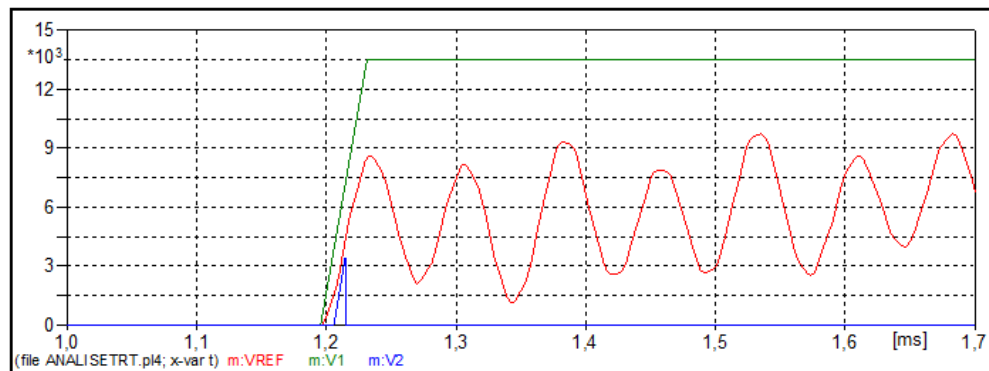


Figura 355 – Zoom da Análise da envoltória TRT no ATP.

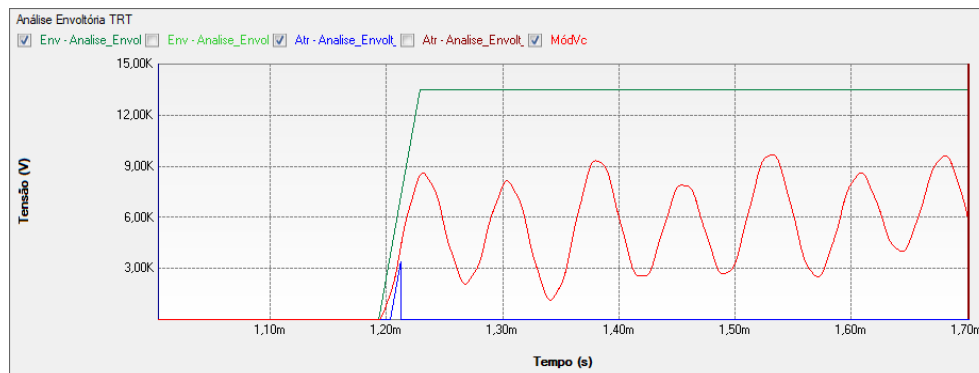


Figura 356 – Zoom da Análise da envoltória TRT no PS Simul.

10.2 Chaveamento de bancos capacitivos.

Neste exemplo, foi simulado um sistema elétrico composto por um arranjo equivalente (69 kV – 1000 MVA) que é interligado a um banco capacitivo de 6 MVar através de um transformador de 69 kV/13,8 kV (SUBESTAÇÃO), conectado, por sua vez, a um sistema representativo de um consumidor composto por um transformador 13,8 kV/ 465 V e um banco capacitivo de 0,06 MVar. Foi considerado para as simulações um transformador com núcleo ideal. Com isso foram simulados dois diferentes cenários de chaveamentos dos bancos capacitivos a fim de estudar a influência dos mesmos no sistema elétrico modelado. As tensões nos terminais dos bancos da subestação e do consumidor serão monitoradas. O passo de tempo adotado nas simulações foi de 10 us. Seguem abaixo os circuitos modelados em ambos os softwares.

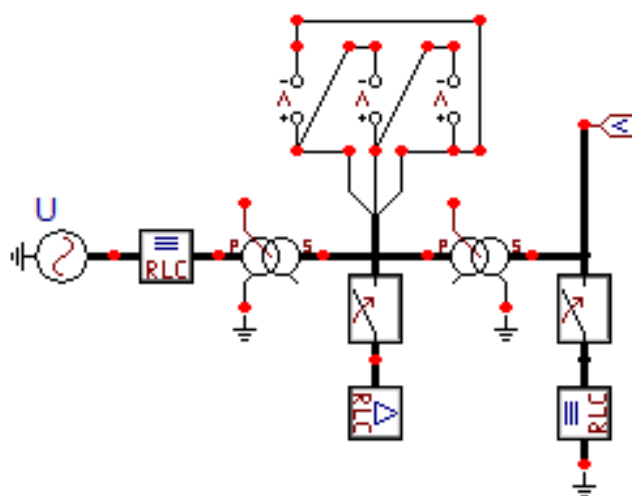


Figura 357 – Circuito modelado no software ATP.

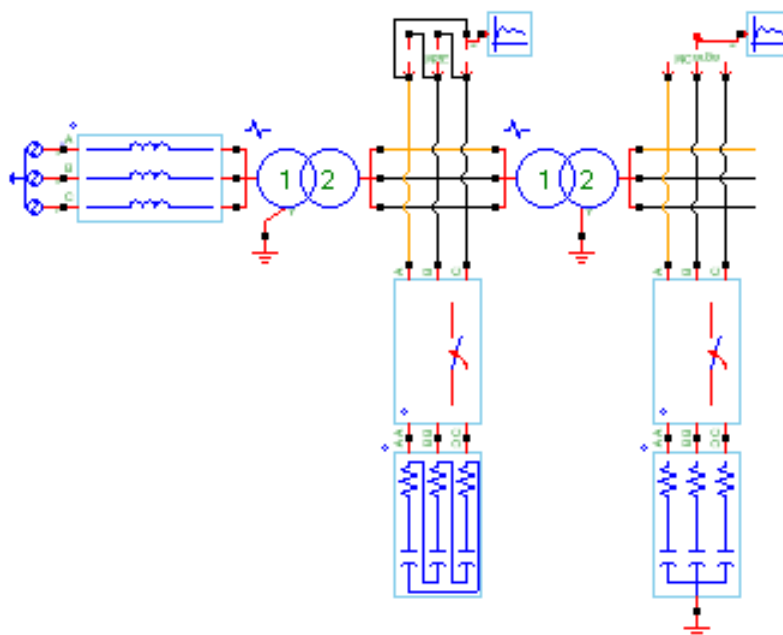


Figura 358 – Circuito modelado no software PS Simul.

10.2.1 Cenário 01 – Banco de capacitores do consumidor é chaveado

Neste cenário foi simulado o chaveamento do banco de capacitores do consumidor no instante 0,01 s, estando já conectado ao sistema o banco da subestação.

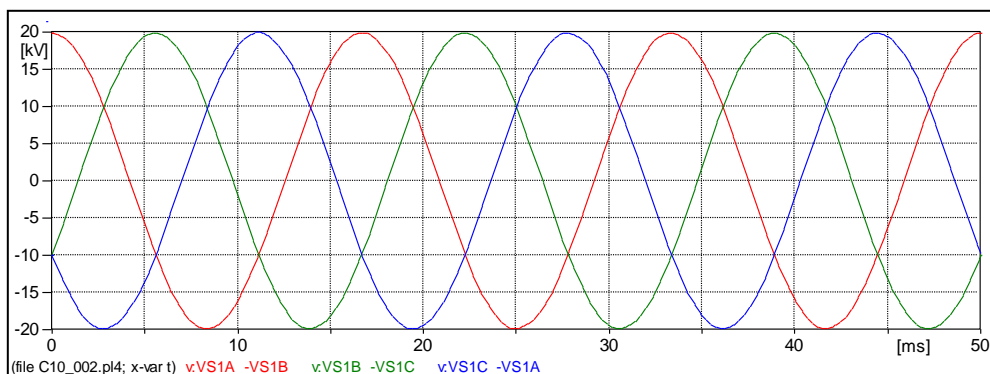


Figura 359 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco da subestação no ATP.

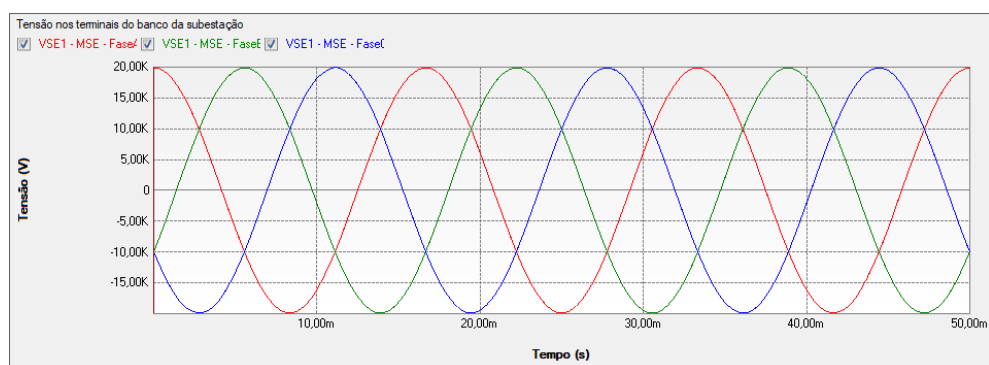


Figura 360 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco da subestação no PS Simul.

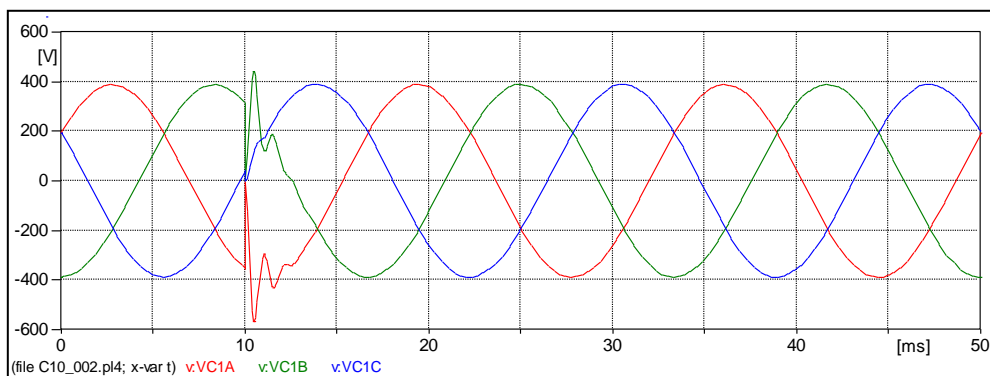


Figura 361 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco do consumidor no ATP.

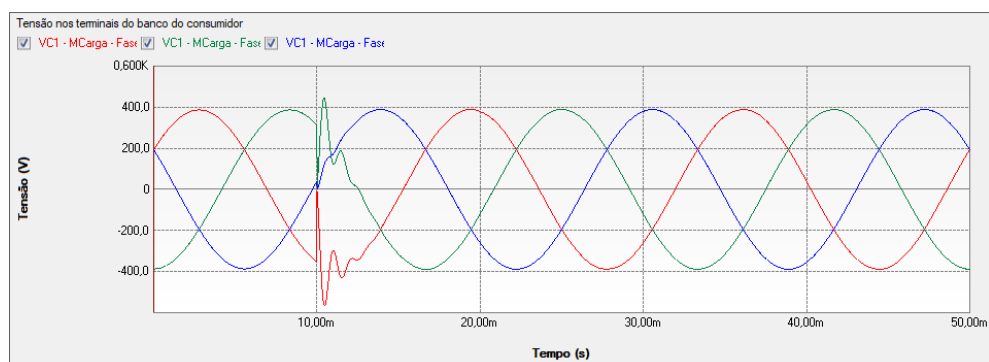


Figura 362 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco do consumidor no PS Simul.

10.2.2 Cenário 02 – Banco de capacitores da subestação é chaveado

Neste cenário foi simulado o chaveamento do banco de capacitores da subestação no instante 0,01 s, já estando conectado o banco do consumidor.

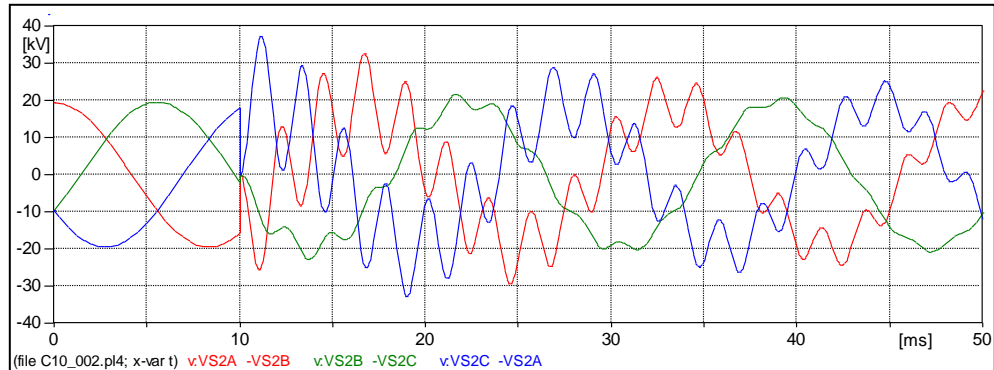


Figura 363 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco da subestação no ATP.

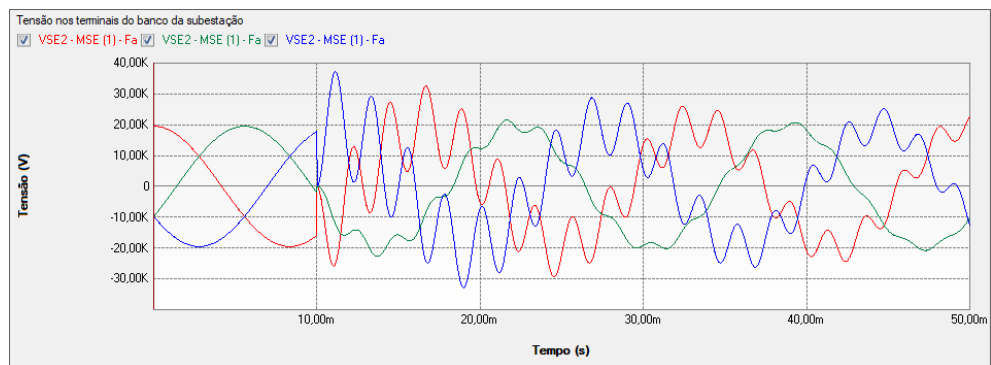


Figura 364 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco da subestação no PS Simul.

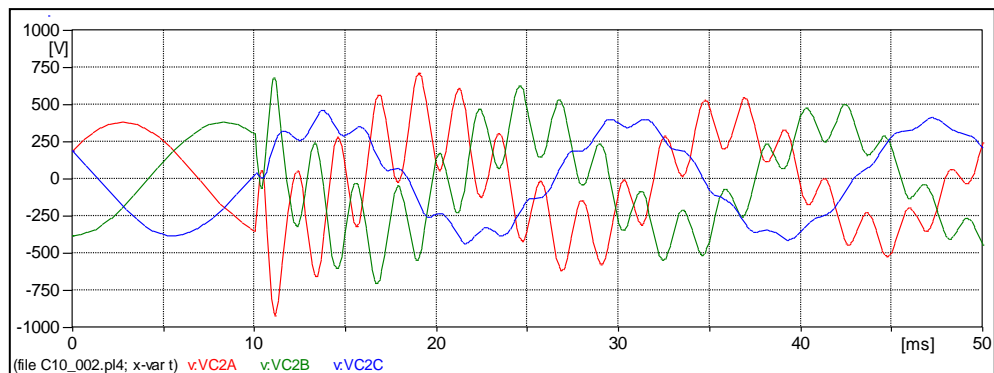


Figura 365 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco do consumidor no ATP.

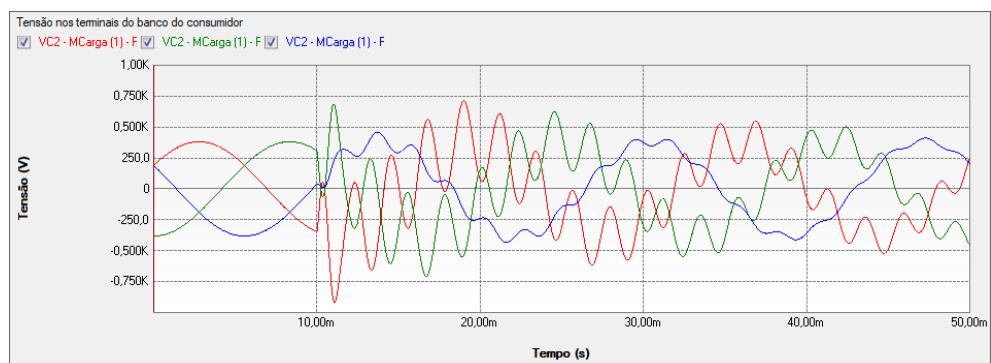


Figura 366 – Forma de onda das tensões nos terminais do banco do consumidor no PS Simul.

10.3 Simulação de descarga atmosférica em uma linha de transmissão.

Neste exemplo, foi simulado um sistema elétrico composto por cinco trechos idênticos de linhas de 1 km de comprimento, estando um dos trechos finais conectado a uma carga resistiva trifásica de 400 ohms e o outro sendo mantido aberto. Diante disso, foi aplicada uma descarga atmosférica na fase A entre o trecho 01 e 02, tal descarga sendo representada pela fonte Dupla exponencial (Surge type 15) com os parâmetros: Amp \rightarrow 20334 // A \rightarrow -14203,84 // B \rightarrow -4883365.54. Após tal aplicação foram mensuradas as tensões na fase A em todos os trechos, assim como as correntes que percorrem a carga resistiva de 400 ohms. O passo de tempo adotado nas simulações foi de 0,1 μ s. Todos os trechos foram representados pelo modelo de Bergeron e a geometria cadastrada em cada um deles segue nas tabelas abaixo, assim como os sistemas modelados em ambos os softwares.

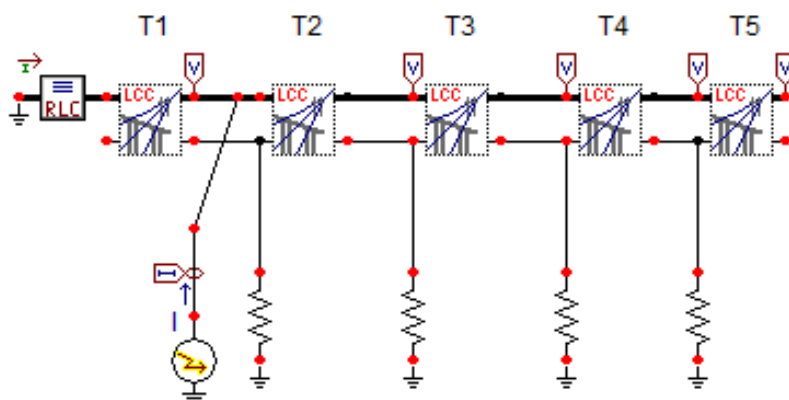


Figura 367 – Circuito modelado no software ATP.

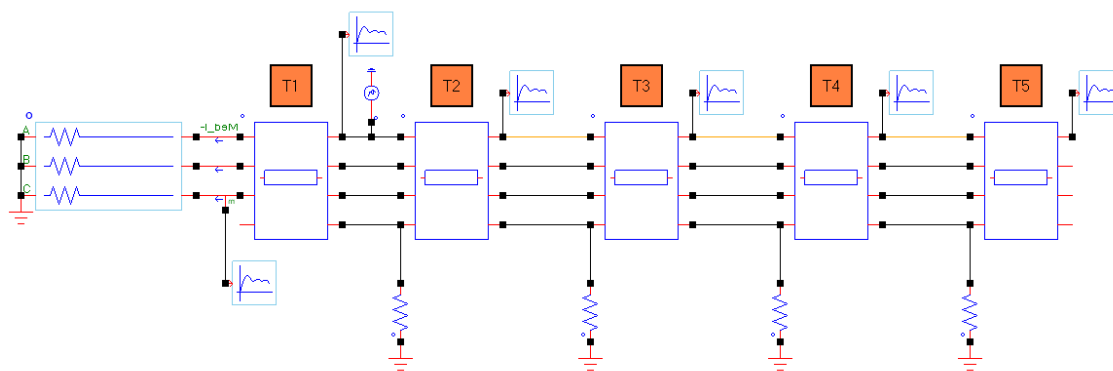


Figura 368 – Circuito modelado no software PS Simul.

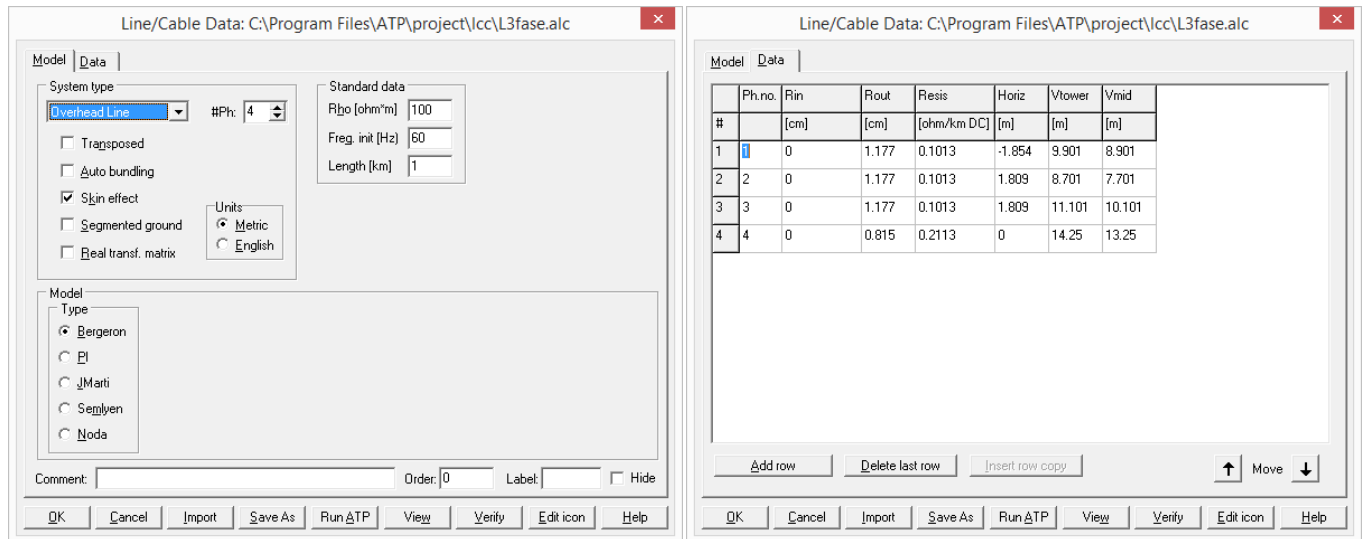


Figura 369 – Geometria parametrizada em cada um dos trechos no software ATP.

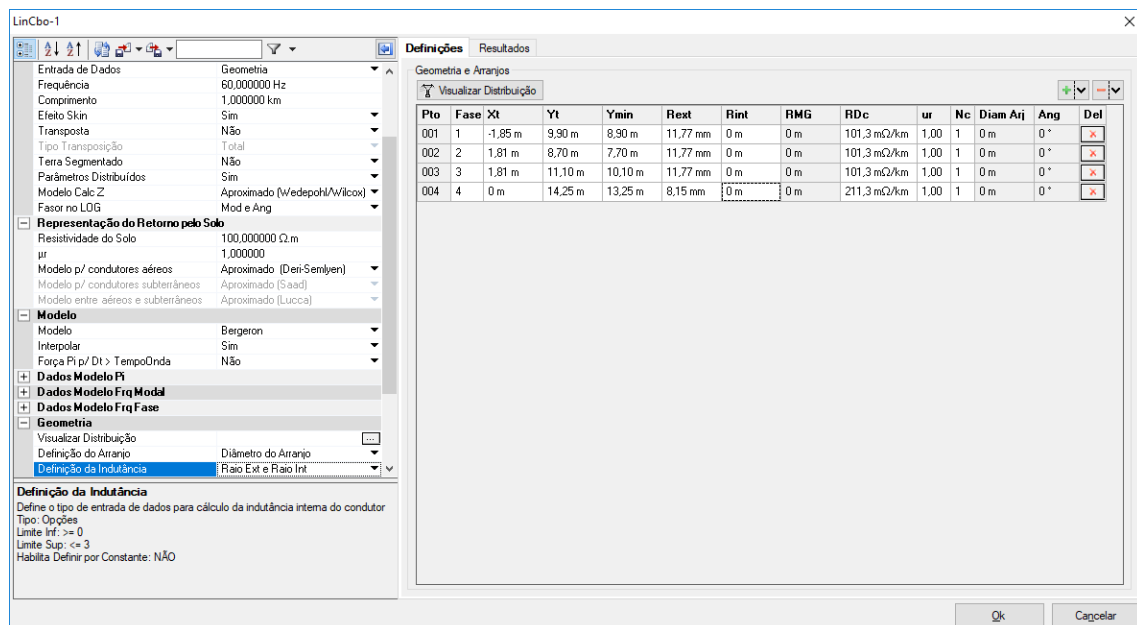


Figura 370 – Geometria parametrizada em cada um dos trechos no software PS Simul.

10.3.1 Formas de onda das tensões na fase A em todos os trechos.

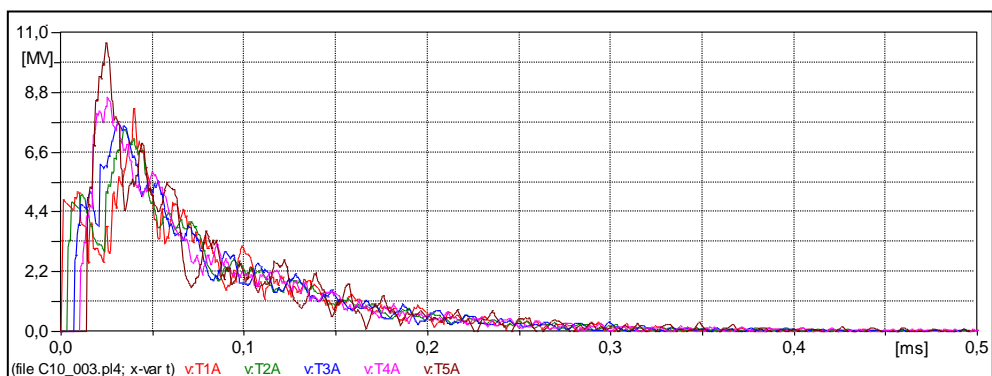


Figura 371 – Forma de onda das tensões na fase A de todos os trechos no ATP.

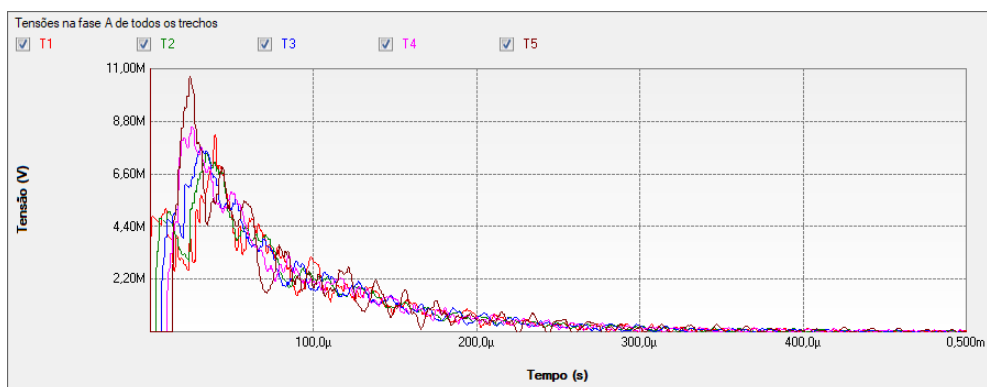


Figura 372 – Forma de onda das tensões na fase A de todos os trechos no PS Simul.

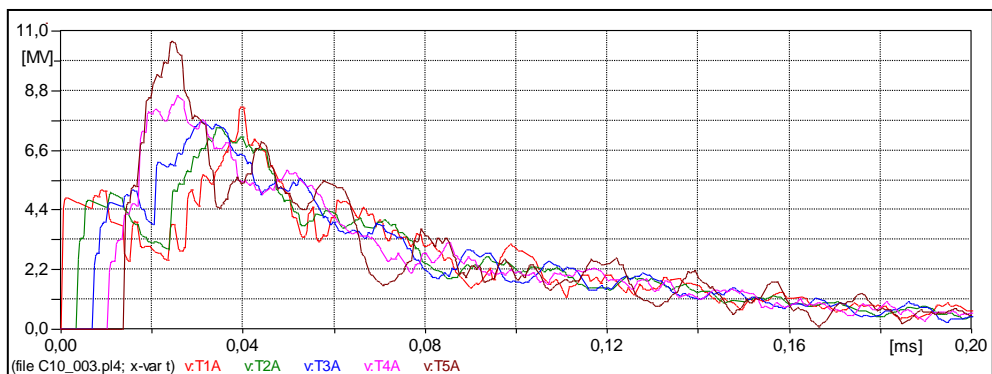


Figura 373 – Zoom da forma de onda das tensões na fase A de todos os trechos no ATP.



Figura 374 – Zoom da forma de onda das tensões na fase A de todos os trechos no PS Simul.

10.3.2 Formas de onda das correntes na carga resistiva.

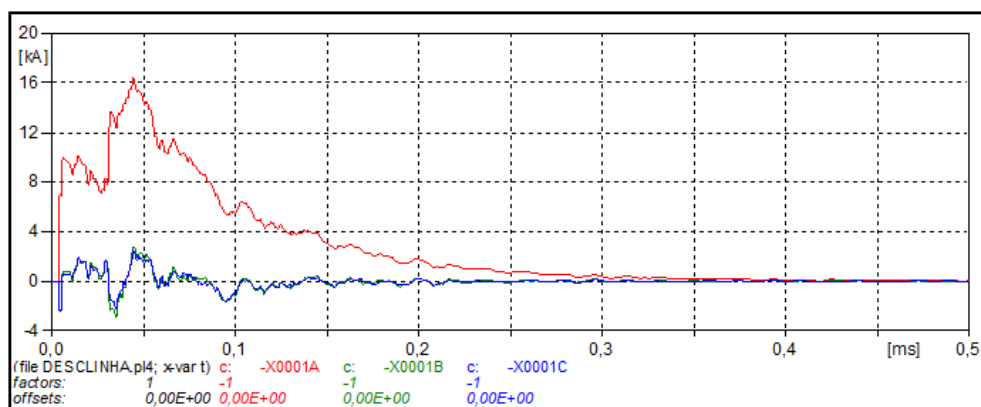


Figura 375 – Forma de onda das correntes na carga resistiva no ATP.

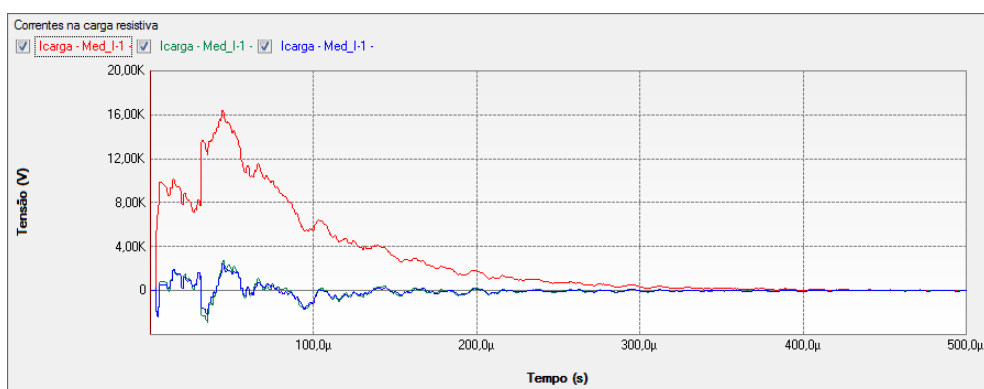


Figura 376 – Forma de onda das correntes na carga resistiva no PS Simul.

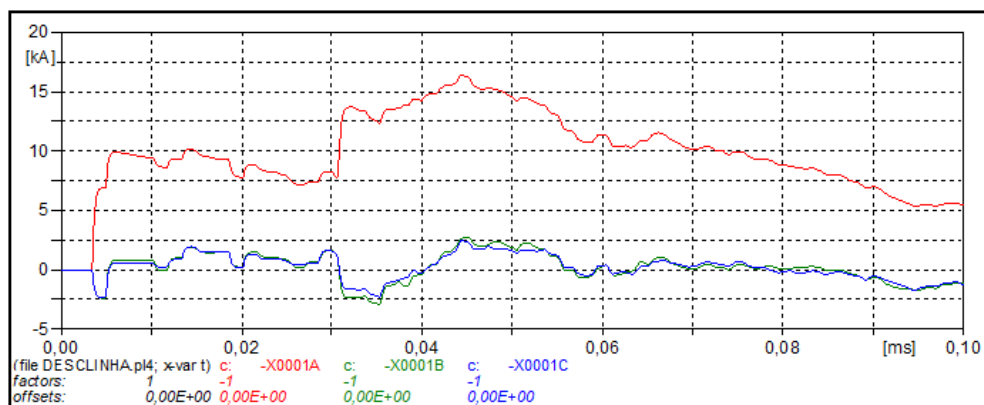


Figura 377 – Zoom da forma de onda das correntes na carga resistiva no ATP.

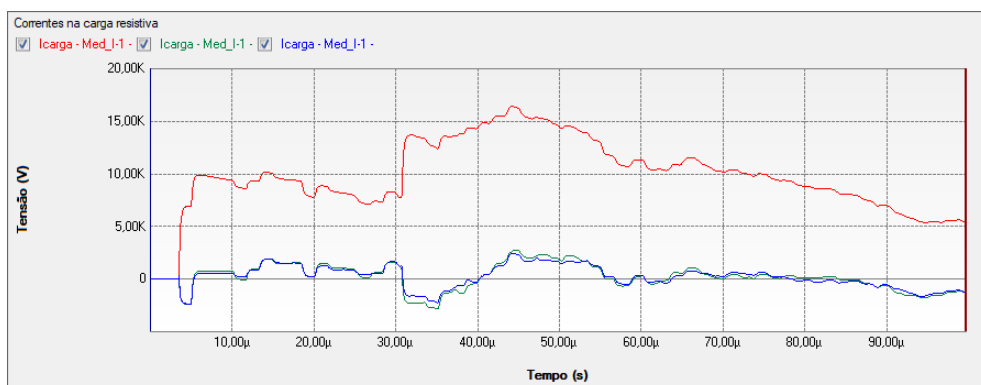


Figura 378 – Zoom da forma de onda das correntes na carga resistiva no PS Simul.

10.4 Energização de transformadores trifásicos.

Neste exemplo, foi simulada a energização de um transformador trifásico 13,8 kV / 380 V em dois diferentes cenários. No primeiro deles o transformador é energizado no instante $t = 0,1$ s sem qualquer tipo de controle no fechamento das chaves, com isso, podem-se constatar altos valores de corrente de energização. No segundo cenário foi feita a energização controlada do transformador, de forma a eliminar a corrente de inrush. Para isso, as fases A e B foram energizadas quando a tensão V_{ab} passava por valor de pico e a fase C energizada posteriormente quando a tensão V_{ab} passava por valor nulo. Em ambos os cenários foram mensuradas as correntes de primário do transformador. O passo de tempo adotado nas simulações foi de 5 μ s. Os dados utilizados na parametrização do transformador foram os seguintes:

Tensão nominal enrolamento primário \rightarrow 13,8 kV
Tensão nominal enrolamento secundário \rightarrow 380 V
Conexão primário \rightarrow Delta
Conexão secundário \rightarrow Estrela (1)
Resistência enrolamento 1 \rightarrow 10,665 Ω
Resistência enrolamento 2 \rightarrow 2,71 m Ω
Indutância enrolamento 1 \rightarrow 110,08 mH
Indutância enrolamento 2 \rightarrow 27,98 μ H
Resistência ramo magnetização \rightarrow 10 M Ω

Curva de saturação:

I (A)	Φ(Wb)
229,2e-3	51,80
447,6e-3	55,04
1,72	58,28
4,3	60,22
23,88	64,10
47,76	65,66
119,4	67,89
238,8	69,38

10.4.1 Cenário 01 – Energização não controlada.

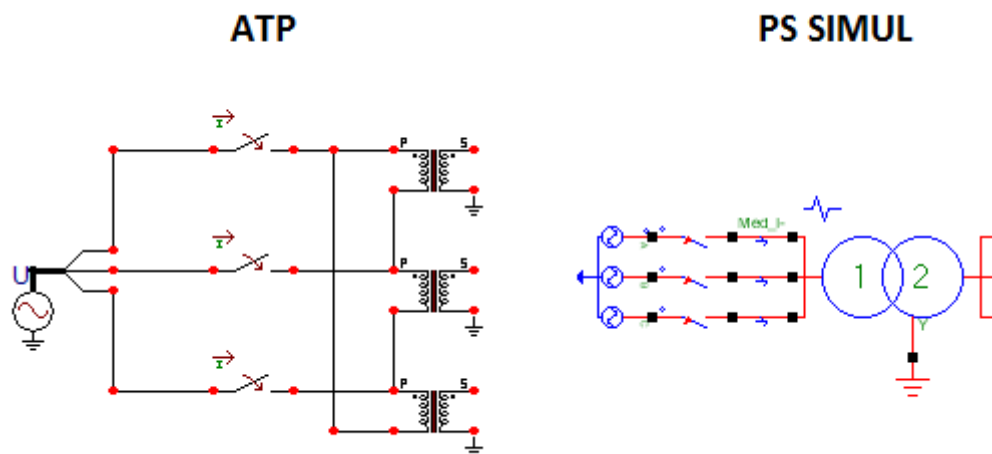


Figura 379 – Circuito modelado em ambos os softwares.

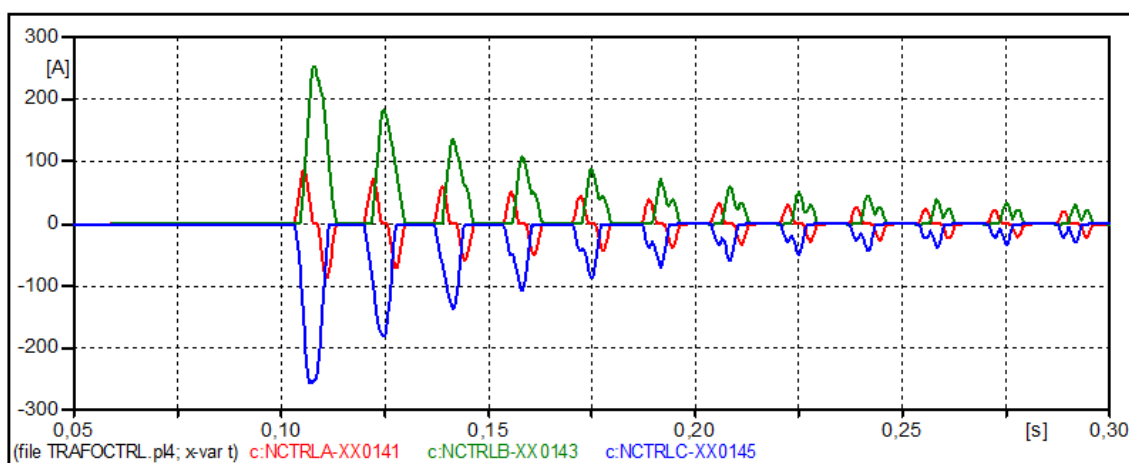


Figura 380 – Forma de onda das correntes no primário do transformador no software ATP.

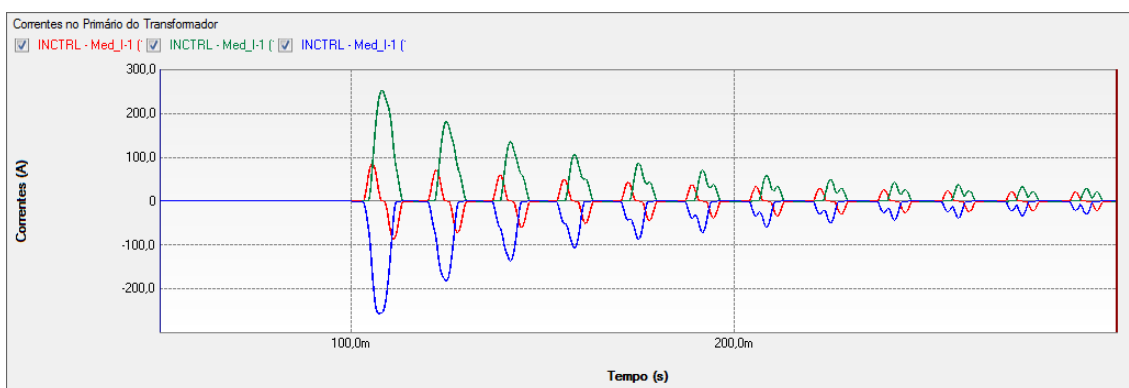


Figura 381 – Forma de onda das correntes no primário do transformador no software PS Simul.

10.4.2 Cenário 02 – Energização controlada.

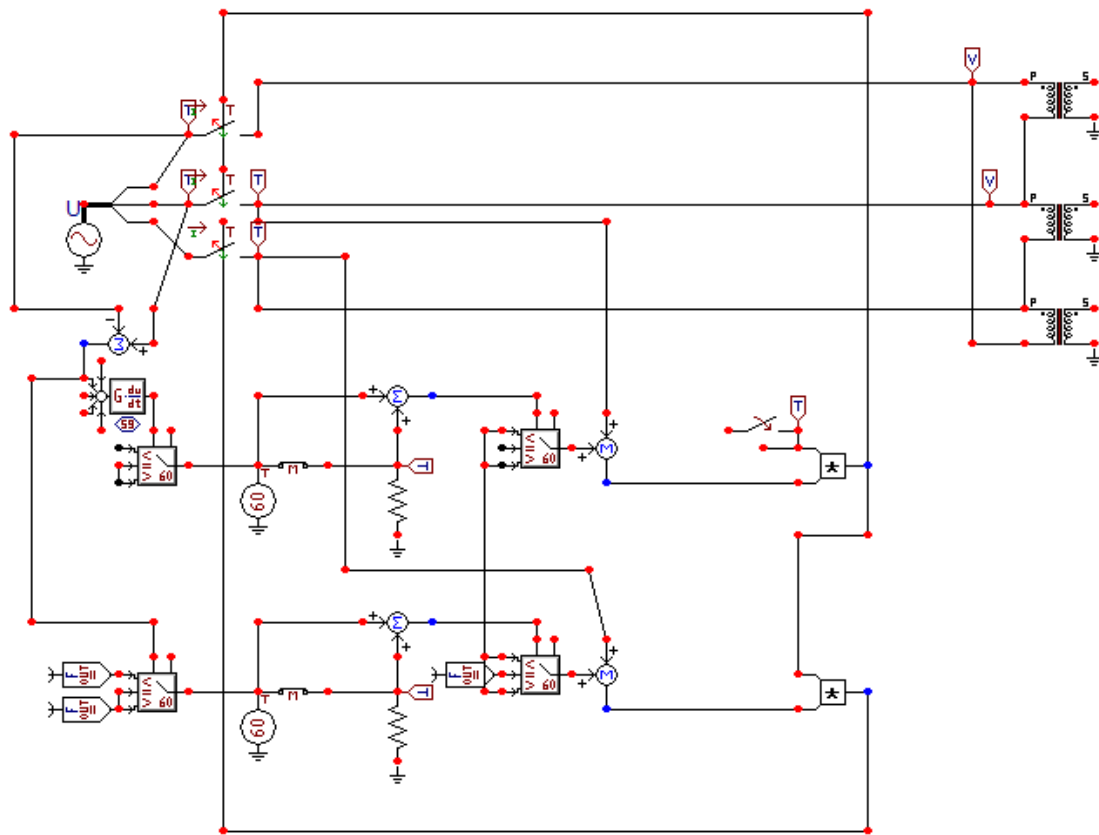


Figura 382 – Circuito modelado no software ATP.

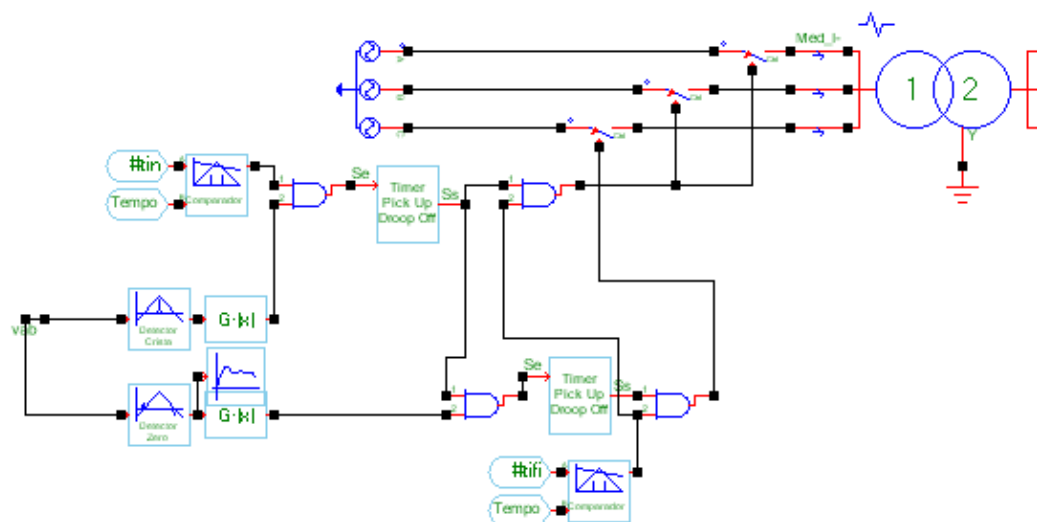


Figura 383 – Circuito modelado no software PS Simul.

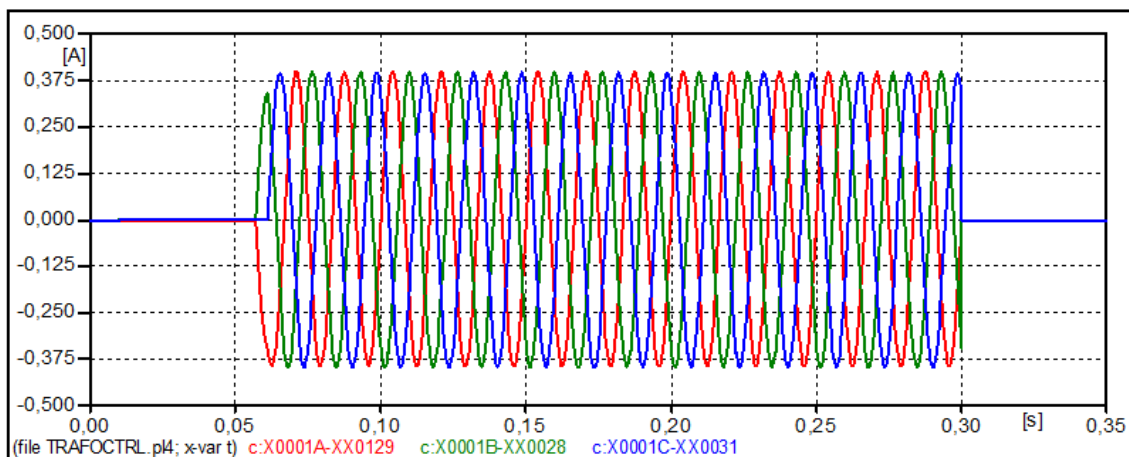


Figura 384 – Forma de onda das correntes no primário do transformador no software ATP.

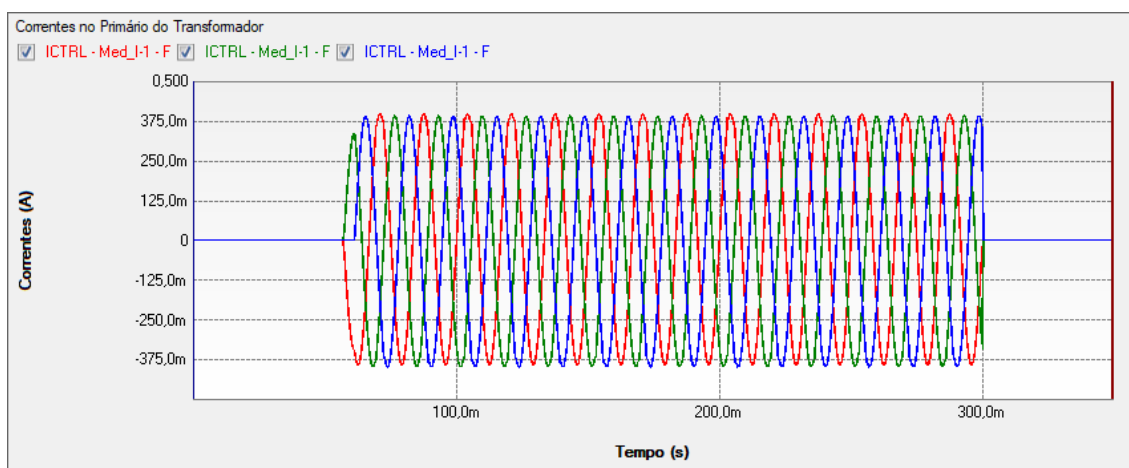


Figura 385 – Forma de onda das correntes no primário do transformador no software PS Simul.

10.5 Fenômeno de ferorrressonância em transformadores trifásicos.

Neste exemplo, um transformador alimentado na tensão de 13,8 kV através de um cabo subterrâneo (representado por circuito PI $\rightarrow R = 67,26 \text{ m}\Omega$; $L = 47,6 \text{ uH}$; $C = 22,4 \text{ nF}$) foi submetido a um curto circuito fase-fase, no lado da baixa tensão. O disjuntor do barramento de baixa atua isolando o curto circuito. A proteção de fusíveis do ramal de alimentação do transformador atua também e queima dois fusíveis relativos às fases em curto circuito. Dessa forma podemos visualizar o fenômeno da ferorrressonância pelas formas de onda de tensões do transformador. O passo de tempo adotado nas simulações foi de 50 us. Os dados utilizados na parametrização do transformador foram os seguintes:

Tensão nominal enrolamento primário $\rightarrow 13,8 \text{ kV}$
Tensão nominal enrolamento secundário $\rightarrow 380 \text{ V}$
Conexão primário \rightarrow Delta
Conexão secundário \rightarrow Estrela (1)
Resistência enrolamento 1 $\rightarrow 2,03 \text{ }\Omega$
Resistência enrolamento 2 $\rightarrow 515 \text{ u}\Omega$
Indutância enrolamento 1 $\rightarrow 353,6 \text{ mH}$
Indutância enrolamento 2 $\rightarrow 89,90 \text{ uH}$
Resistência ramo magnetização $\rightarrow 2 \text{ M}\Omega$

Curva de saturação:

I (A)	$\Phi(\text{Wb})$
0,041	51,81
0,41	58,41
4,1	63,28
41	65,53

10.5.1 Forma de onda das tensões no primário do transformador..

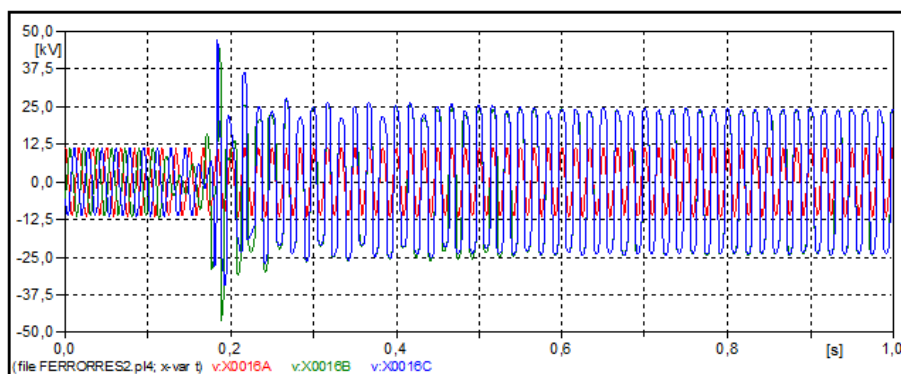


Figura 386 – Forma de onda das tensões no primário do transformador no software ATP.

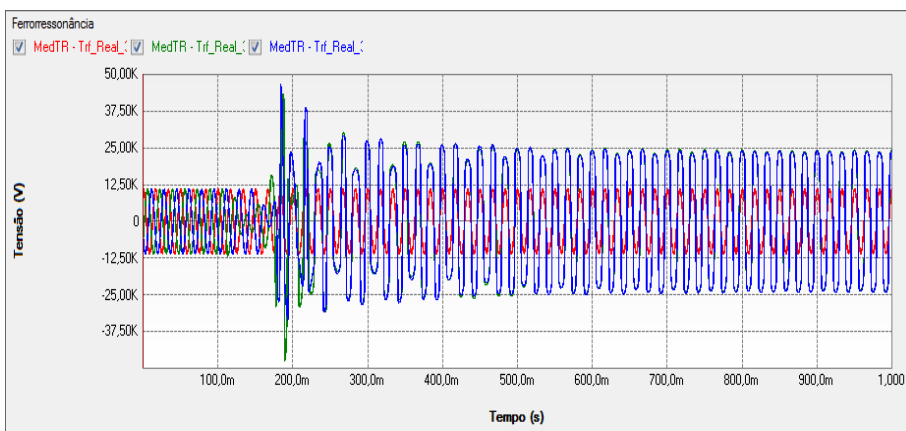


Figura 387 – Forma de onda das tensões no primário do transformador no software PS Simul.

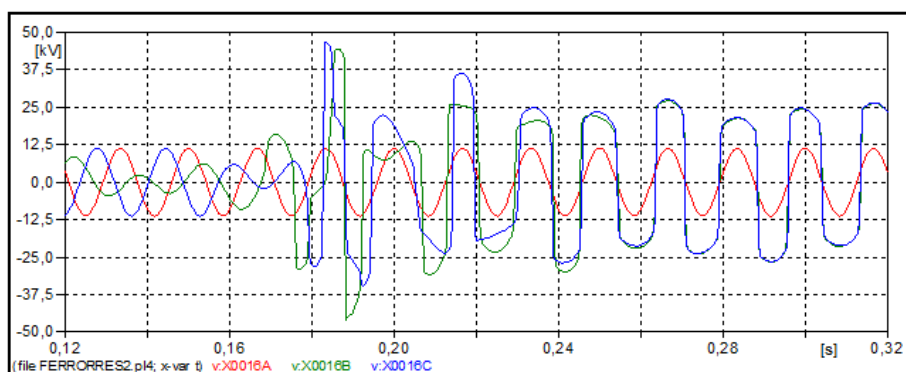


Figura 388 – Zoom da forma de onda das tensões no primário do transformador no software ATP.

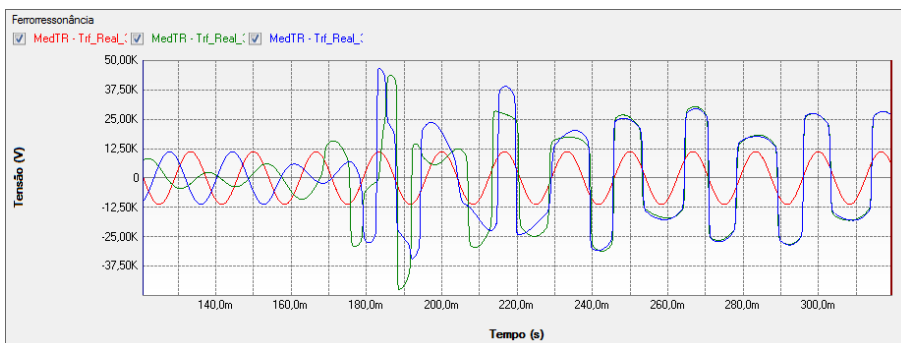


Figura 389 – Zoom da forma de onda das tensões no primário do transformador no software PS Simul.

10.6 Religamento de linhas de transmissão.

Neste exemplo, uma linha de transmissão de modelo Bergeron é dividida em dois trechos de 80 km e alimentada por uma tensão de 138 kV. Com isso, foram simulados dois diferentes cenários de religamento para a linha, o primeiro fazendo o desligamento e religamento da linha com chaves ideais e o segundo utilizando também uma resistência de pré-inserção, a fim de verificar as influências desta nas formas de onda de tensão do sistema. Em ambos os cenários, foram verificadas as tensões no terminal do trecho 02 que está aberto. O passo de tempo adotado nas simulações foi de 1 us. Abaixo seguem as informações da geometria e demais informações utilizadas na parametrização de cada um dos trechos da linha.

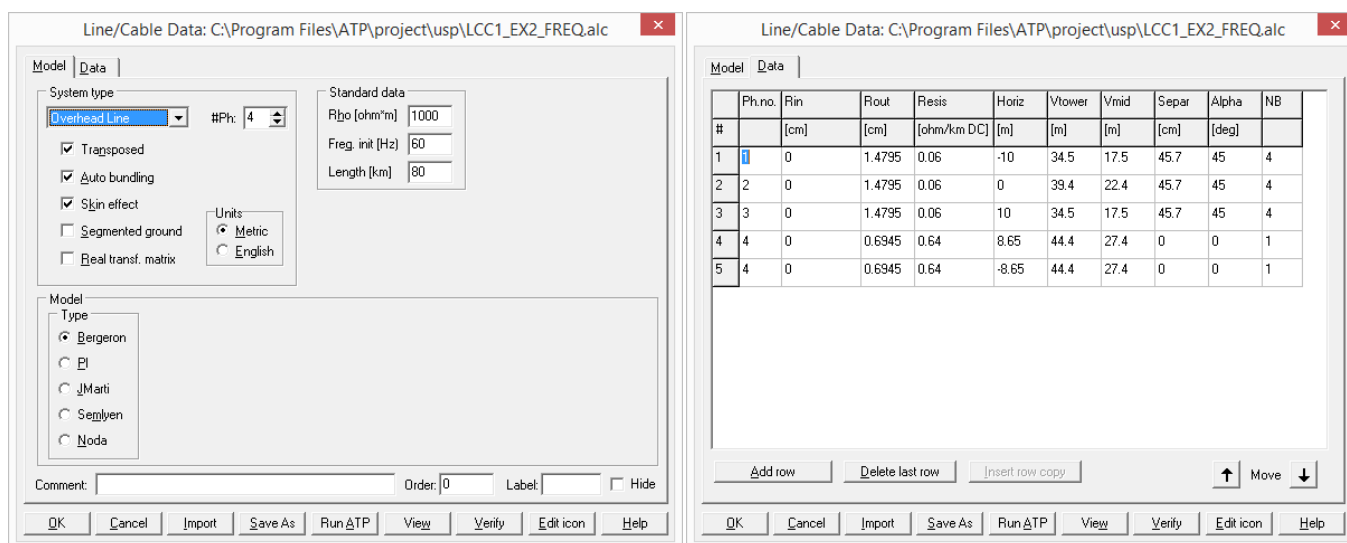


Figura 390 – Informações parametrizadas em cada um dos trechos no software ATP.

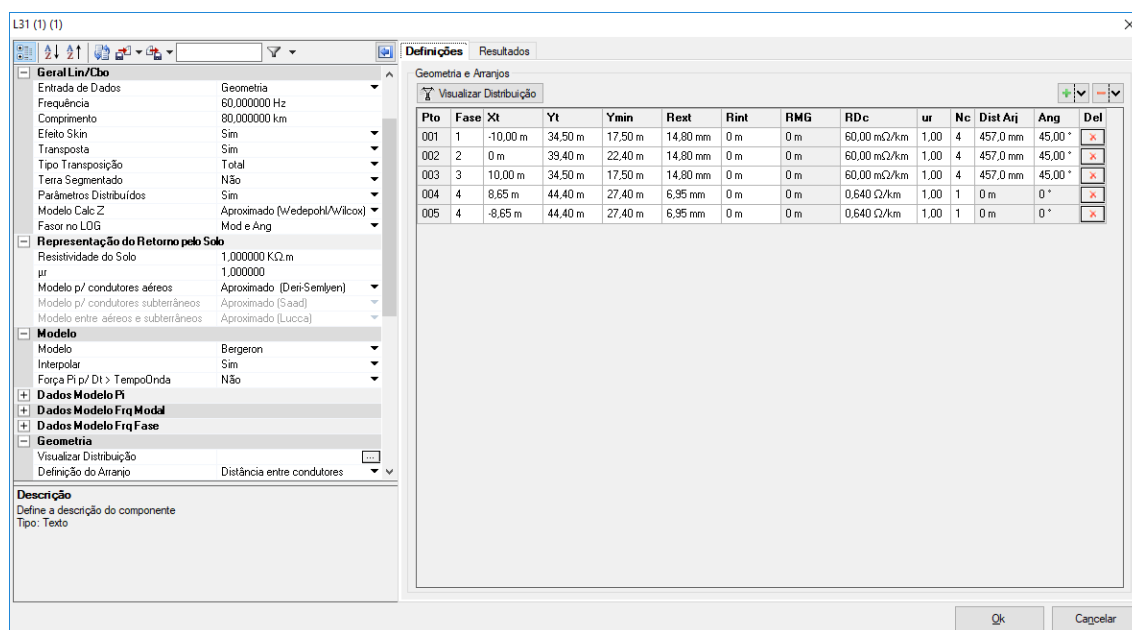


Figura 391 – Informações parametrizadas em cada um dos trechos no software PS Simul.

10.6.1 Cenário 01 – Desligamento e religamento com chaves ideais.

Neste cenário a linha, que já estava inicialmente energizada, é desligada no instante 0,02 s e religada novamente no instante de 0,05 s. Os circuitos modelados em ambos os softwares seguem abaixo.

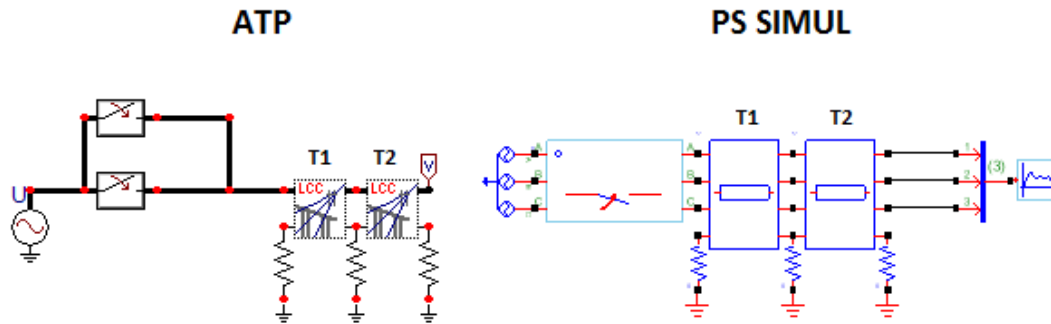


Figura 392 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

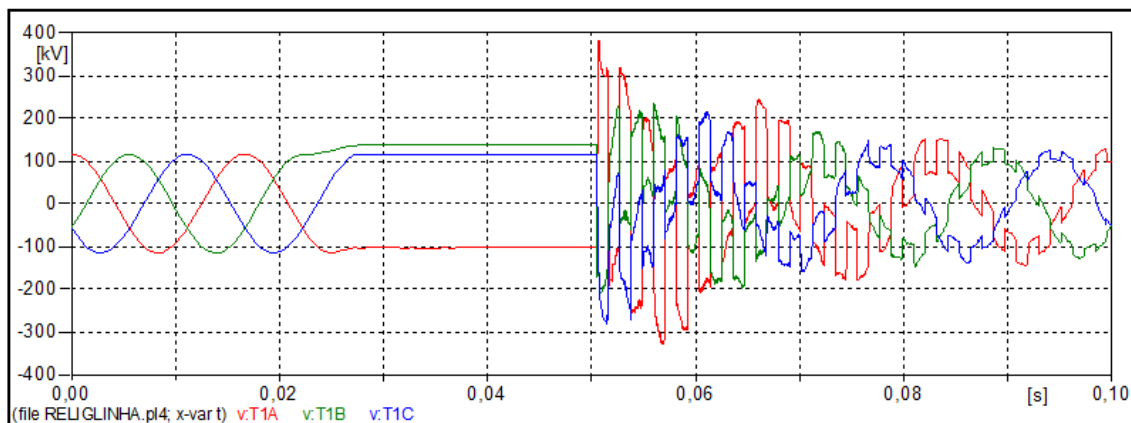


Figura 393 – Formas de onda das tensões do terminal aberto no software ATP.

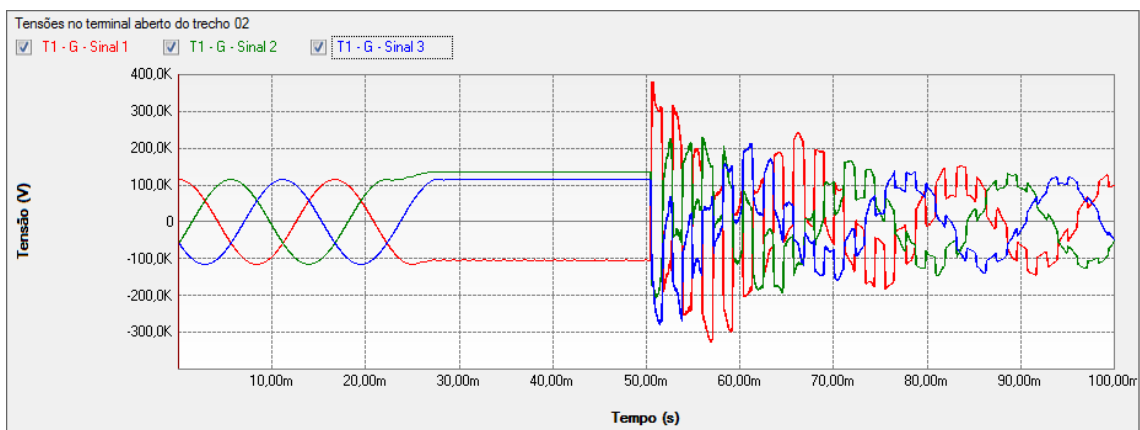


Figura 394 – Formas de onda das tensões do terminal aberto no software PS Simul.

10.6.2 Cenário 02 – Desligamento e religamento com resistência de pré-inserção.

Neste cenário a linha, que já estava inicialmente energizada, é desligada no instante 0,02 s e religada novamente com uma resistência de 300 ohms em série no instante 0,05 s. Por fim, a resistência é retirada do sistema pelo fechamento de uma chave ideal no instante 0,06 s. Os circuitos modelados em ambos os softwares seguem abaixo.

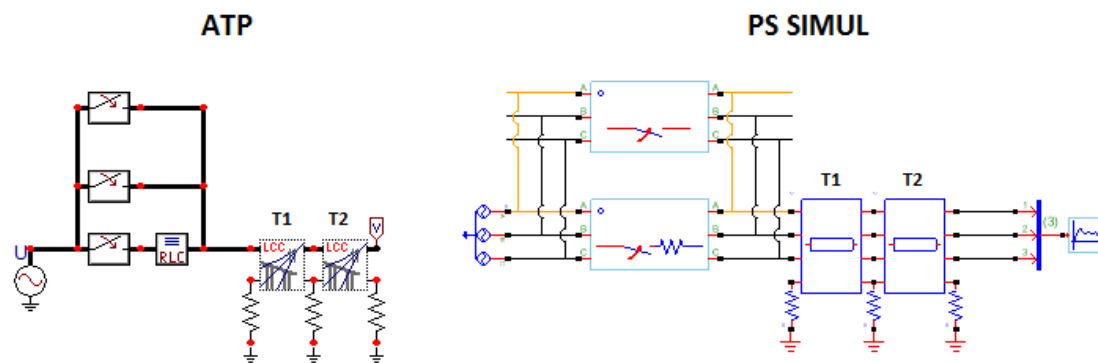


Figura 395 – Circuitos modelados em ambos os softwares.

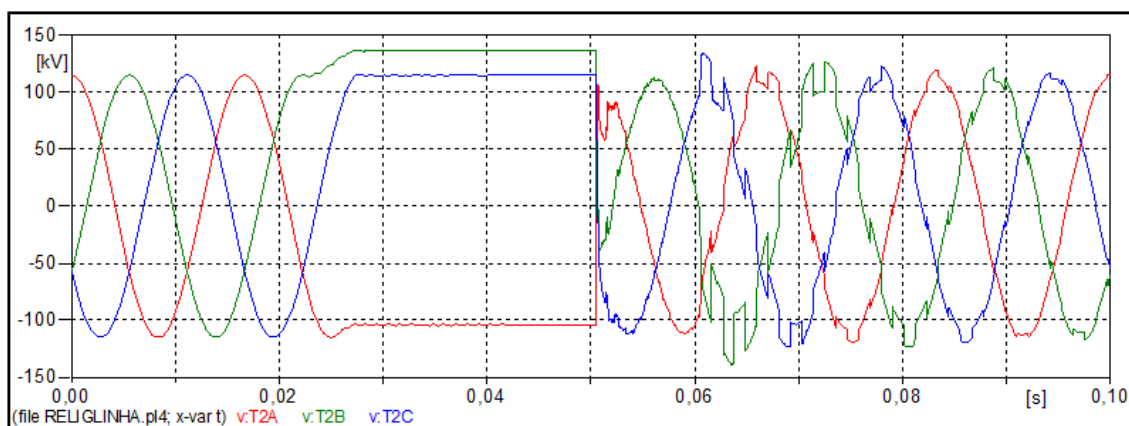


Figura 396 – Formas de onda das tensões do terminal aberto no software ATP.

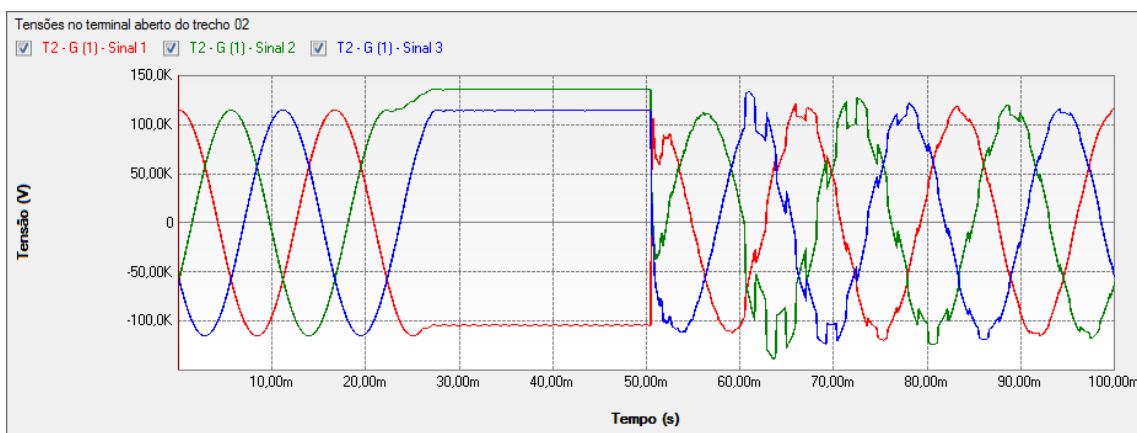


Figura 397 – Formas de onda das tensões do terminal aberto no software PS Simul.

10.7 Ensaios de contingências em sistemas elétricos de transmissão.

Neste exemplo, foi modelado um sistema de transmissão com nove barramentos em ambos os softwares. Com isso, foram simulados diferentes cenários de contingências em diversas barras do sistema elétrico de transmissão, a fim de comparar respostas de tensões e correntes. Em todas as simulações foi adotado um passo de tempo de 100 us. Abaixo segue a modelagem do sistema em ambos os softwares com informações de parametrizações utilizadas nas cargas, transformadores e sistemas alimentadores. São mostradas também, em uma tabela, as parametrizações de todas as linhas de transmissão utilizadas.

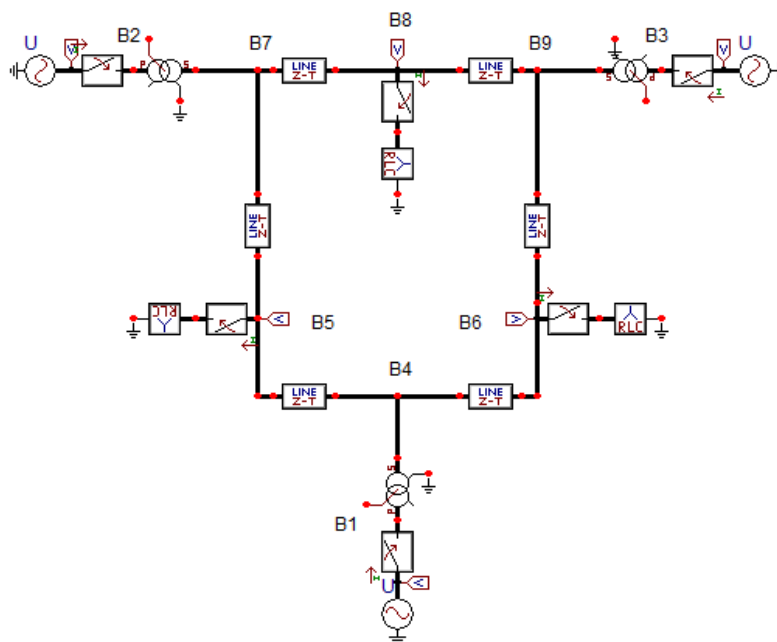


Figura 398 – Circuito modelado no software ATP.

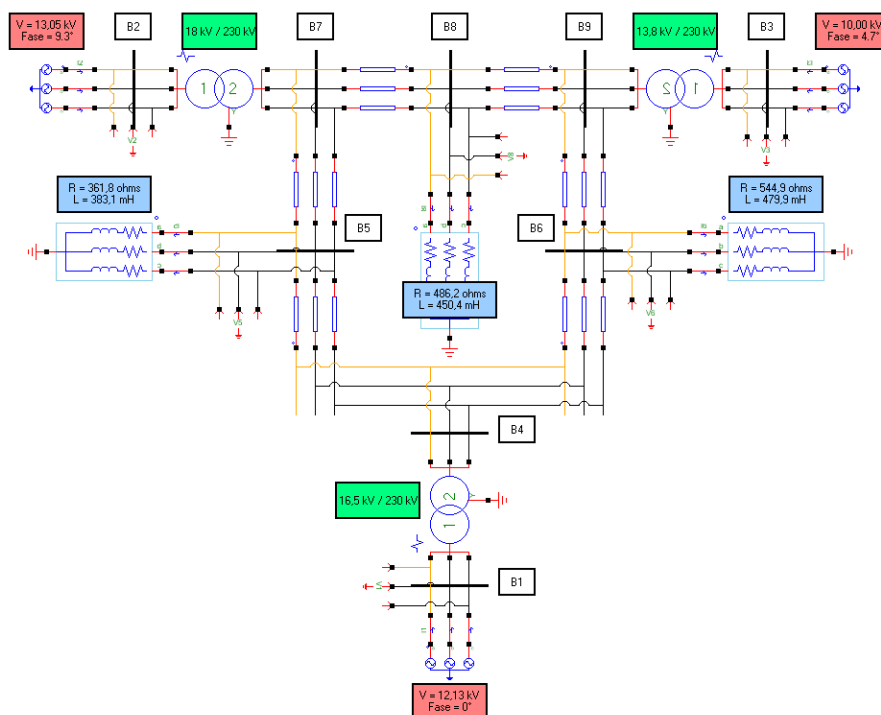


Figura 399 – Circuito modelado no software PS Simul.

Tabela 82 – Dados utilizados na parametrização das linhas do sistema de transmissão.

LINHA	PARAMETRIZAÇÃO
B4-B5	$R+ \rightarrow 52,9 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $R0 \rightarrow 158,7 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $L+ \rightarrow 1,19 \text{ mH/km}$ $L0 \rightarrow 3,58 \text{ mH/km}$ $C+ \rightarrow 8,83 \text{ nF/km}$ $C0 \rightarrow 26,48 \text{ nF/km}$
B4-B6	$R+ \rightarrow 89,93 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $R0 \rightarrow 269,8 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $L+ \rightarrow 1,29 \text{ mH/km}$ $L0 \rightarrow 3,87 \text{ mH/km}$ $C+ \rightarrow 7,92 \text{ nF/km}$ $C0 \rightarrow 23,77 \text{ nF/km}$
B5-B7	$R+ \rightarrow 170,0 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $R0 \rightarrow 510,0 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $L+ \rightarrow 2,26 \text{ mH/km}$ $L0 \rightarrow 6,78 \text{ mH/km}$ $C+ \rightarrow 15,34 \text{ nF/km}$ $C0 \rightarrow 46,02 \text{ nF/km}$
B6-B9	$R+ \rightarrow 206,3 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $R0 \rightarrow 618,9 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $L+ \rightarrow 2,39 \text{ mH/km}$ $L0 \rightarrow 7,16 \text{ mH/km}$ $C+ \rightarrow 17,95 \text{ nF/km}$ $C0 \rightarrow 53,85 \text{ nF/km}$
B7-B8	$R+ \rightarrow 56,2 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $R0 \rightarrow 168,6 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $L+ \rightarrow 1,26 \text{ mH/km}$ $L0 \rightarrow 3,78 \text{ mH/km}$ $C+ \rightarrow 9,34 \text{ nF/km}$ $C0 \rightarrow 28,01 \text{ nF/km}$
B8-B9	$R+ \rightarrow 62,95 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $R0 \rightarrow 188,9 \text{ m}\Omega/\text{km}$ $L+ \rightarrow 1,41 \text{ mH/km}$ $L0 \rightarrow 4,24 \text{ mH/km}$ $C+ \rightarrow 10,48 \text{ nF/km}$ $C0 \rightarrow 31,44 \text{ nF/km}$

10.7.1 Cenário 01 – Falta monofásica na barra B8.

Neste cenário, aplicou-se no sistema uma falta A-T no barramento B8 no instante $t = 0,05$ s. A contingência foi eliminada no sistema no instante $t = 0,1$ s. Com isso foram realizadas as medições de tensão nos barramentos B4, B5, B6 e B8, além da corrente de falta na fase A. A figura abaixo ilustra o local da falta.

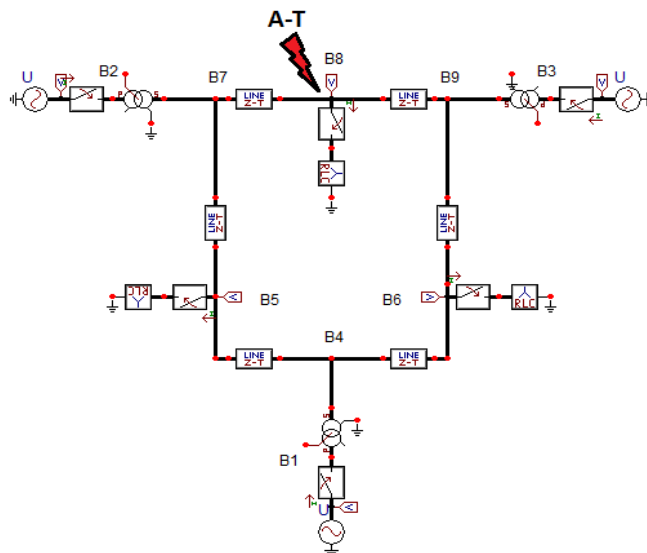


Figura 400 – Figura que ilustra o local de aplicação da contingência no cenário atual.

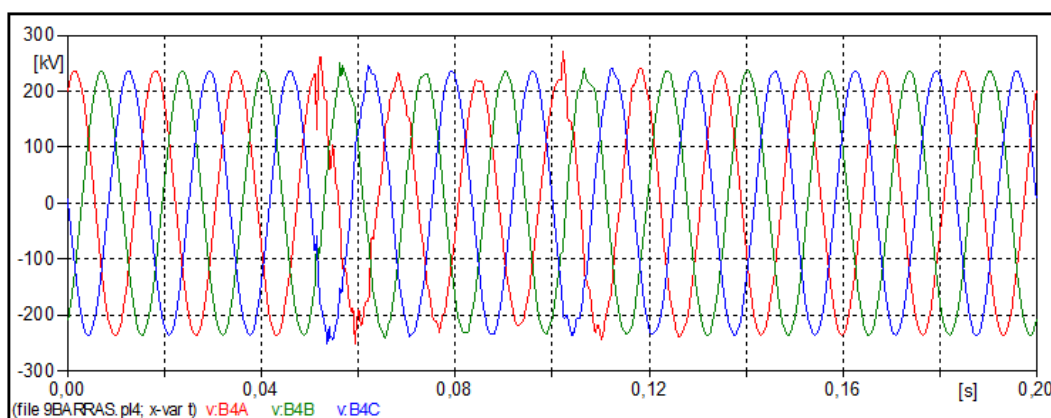


Figura 401 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.

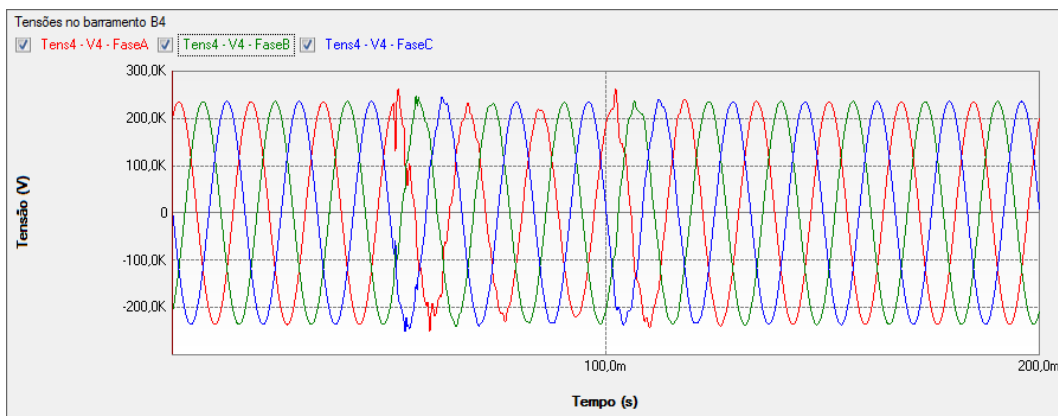


Figura 402 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.

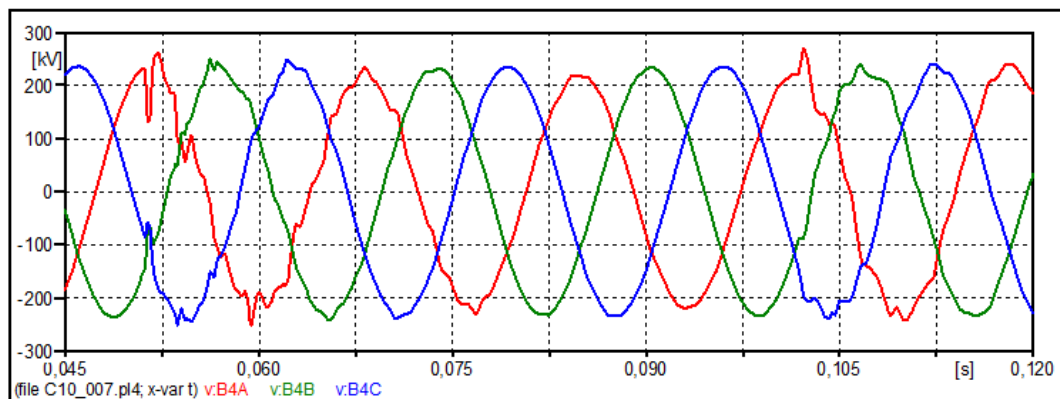


Figura 403 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.

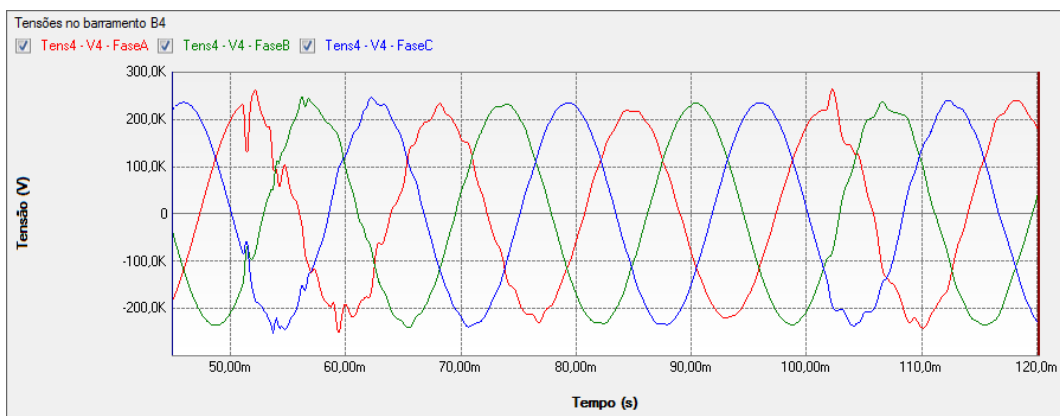


Figura 404 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.

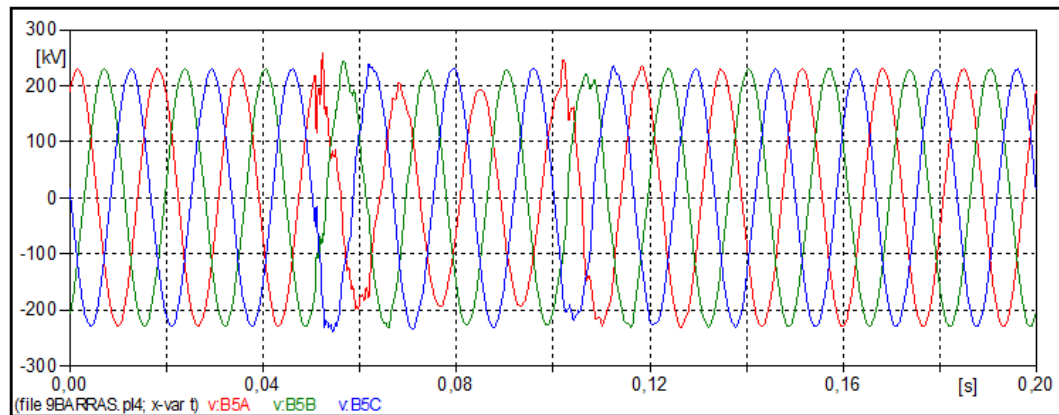


Figura 405 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.

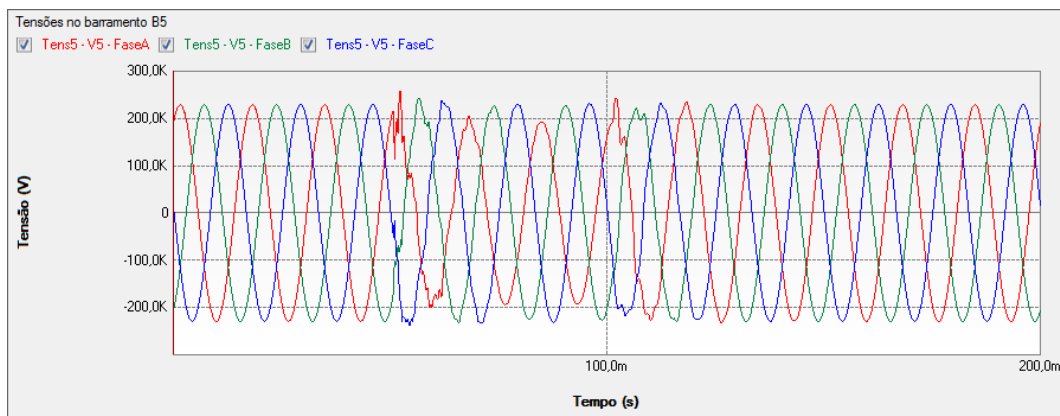


Figura 406 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.

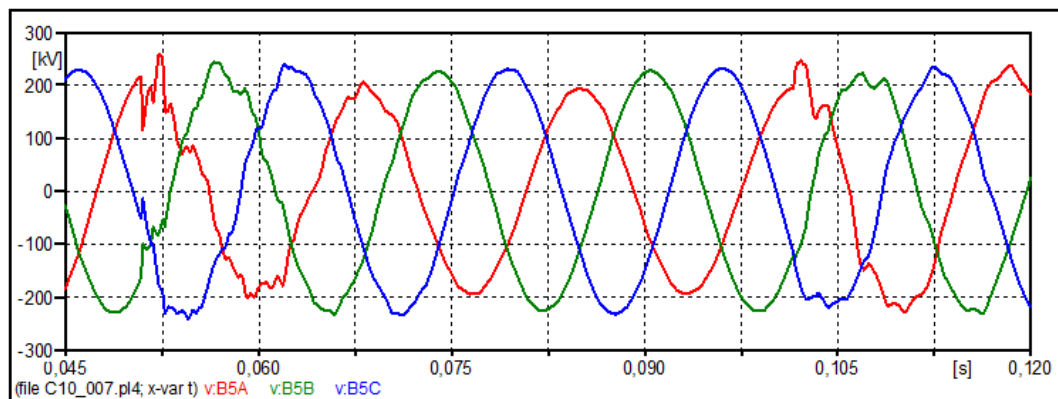


Figura 407 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.

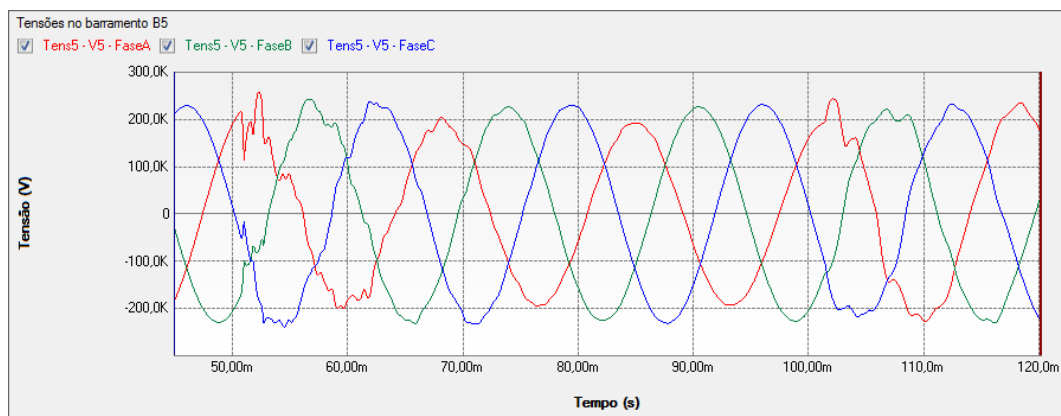


Figura 408 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.

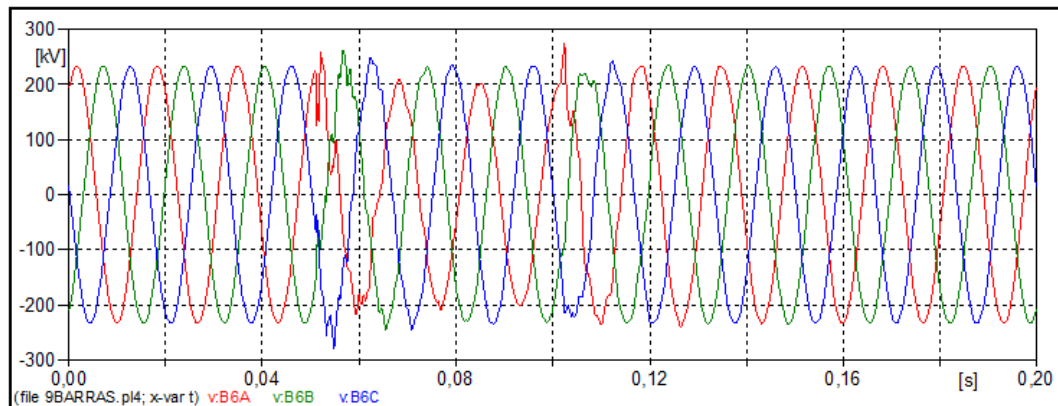


Figura 409 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.

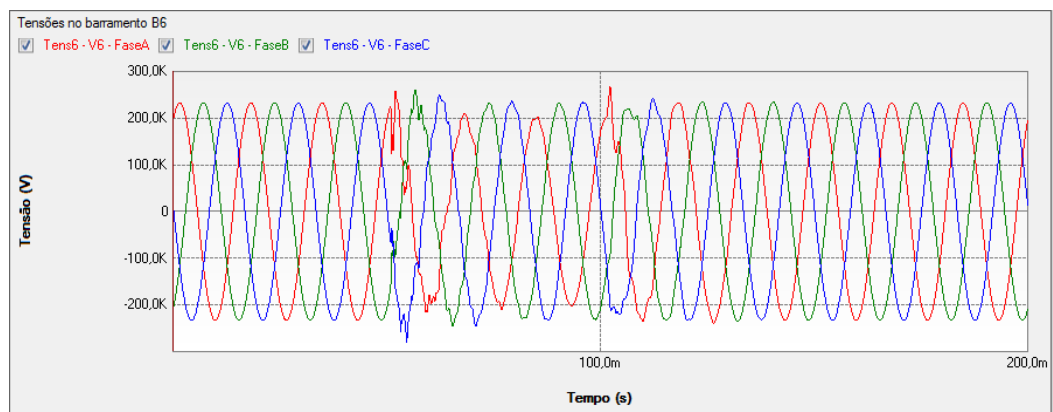


Figura 410 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.

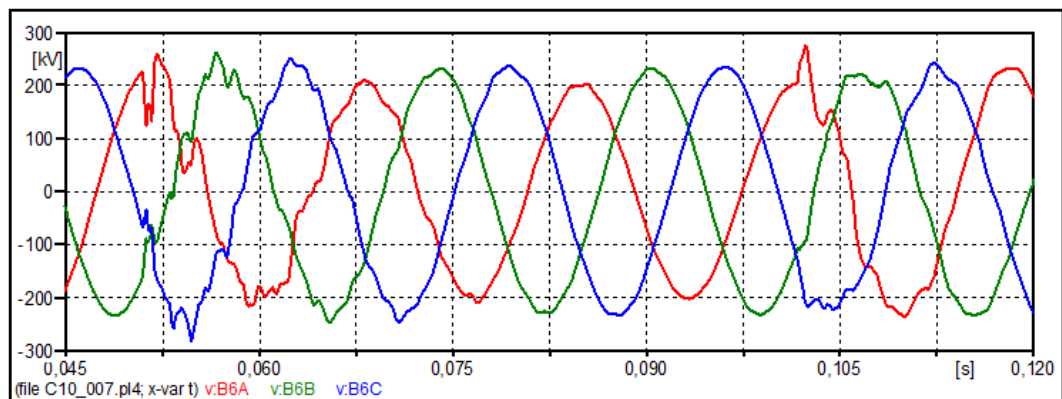


Figura 411 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.

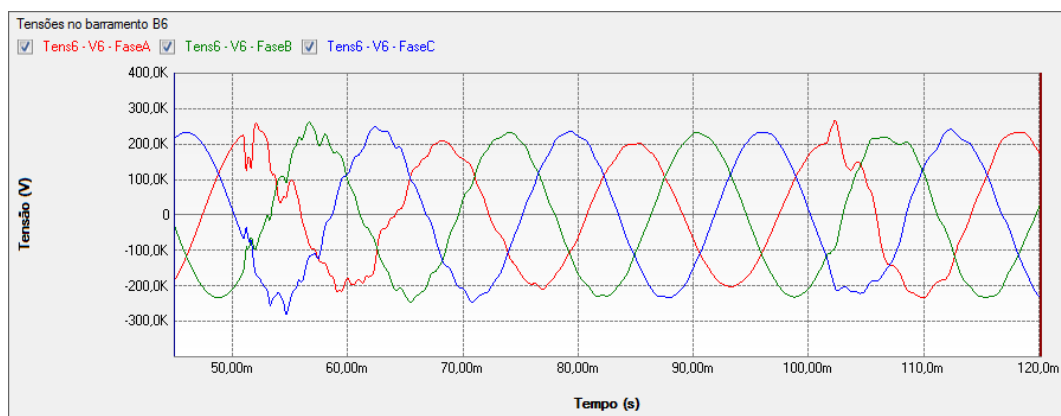


Figura 412 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.

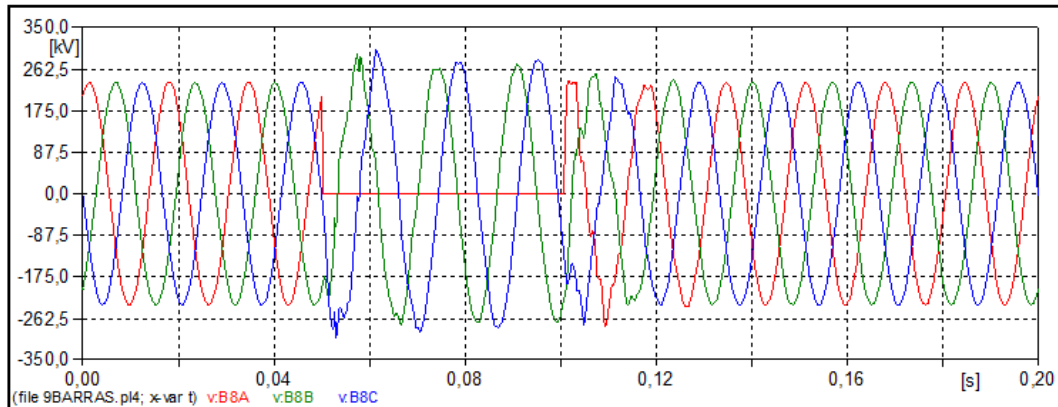


Figura 413 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.

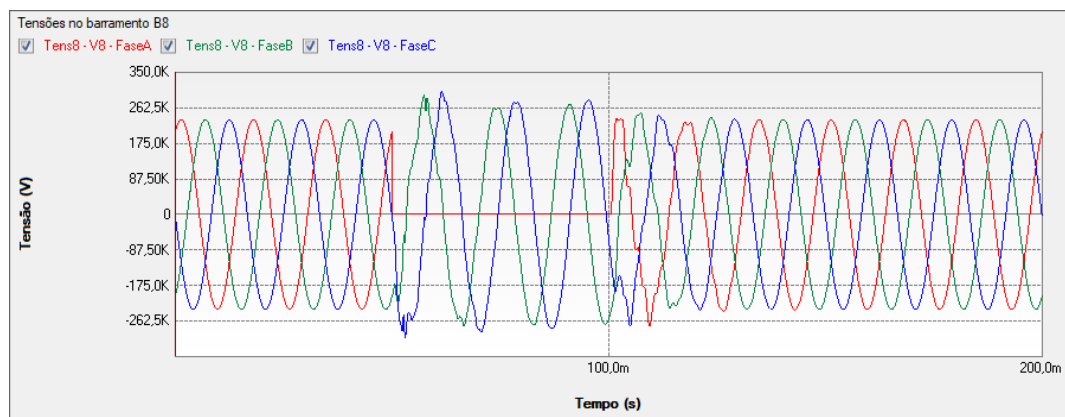


Figura 414 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.

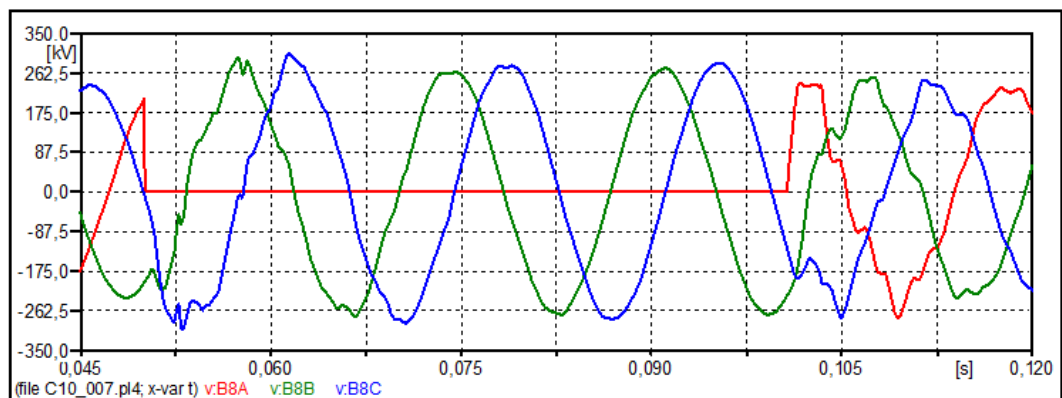


Figura 415 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.

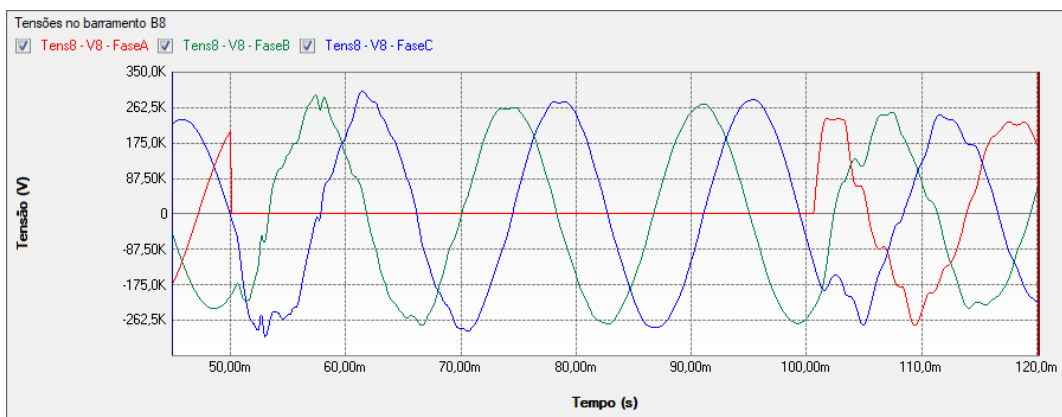


Figura 416 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.

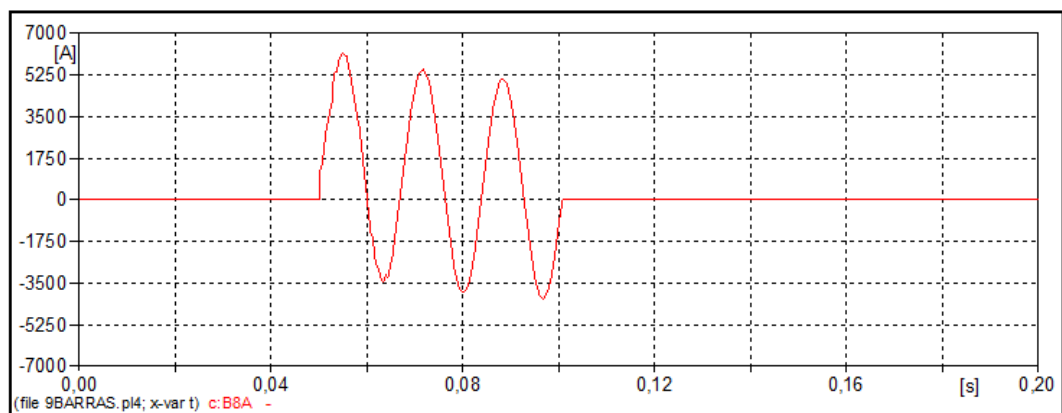


Figura 417 – Forma de onda da corrente de falta na fase A no software ATP.

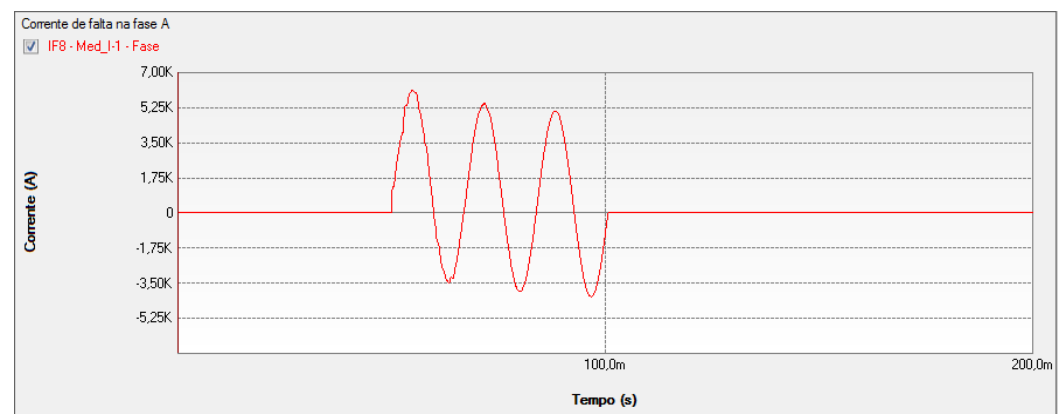


Figura 418 – Forma de onda da corrente de falta na fase A no software PS Simul.

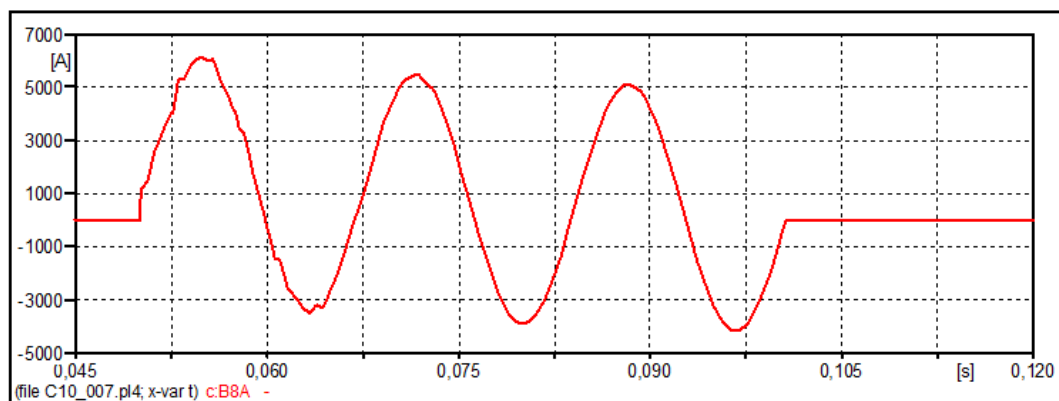


Figura 419 – Zoom da forma de onda da corrente de falta na fase A no software ATP.

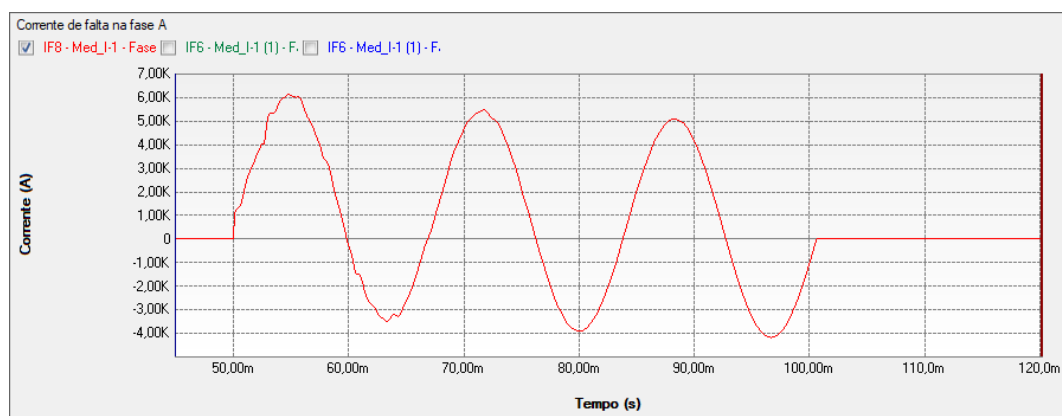


Figura 420 – Zoom da forma de onda da corrente de falta na fase A no software PS Simul.

10.7.2 Cenário 02 – Falta bifásica na barra B5.

Neste cenário, aplicou-se no sistema uma falta A-B no barramento B5 no instante $t = 0,05$ s. A contingência foi eliminada no sistema no instante $t = 0,1$ s. Com isso foram realizadas as medições de tensão nos barramentos B4, B5, B6 e B8.

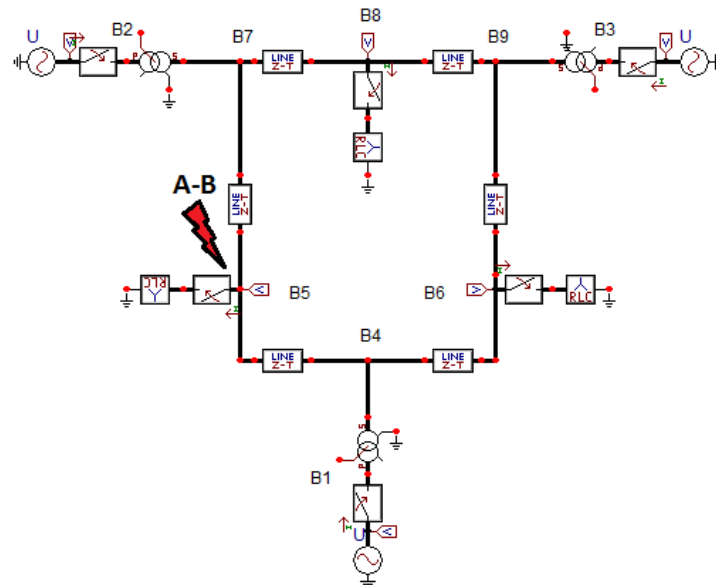


Figura 421 – Figura que ilustra o local de aplicação da contingência no cenário atual.

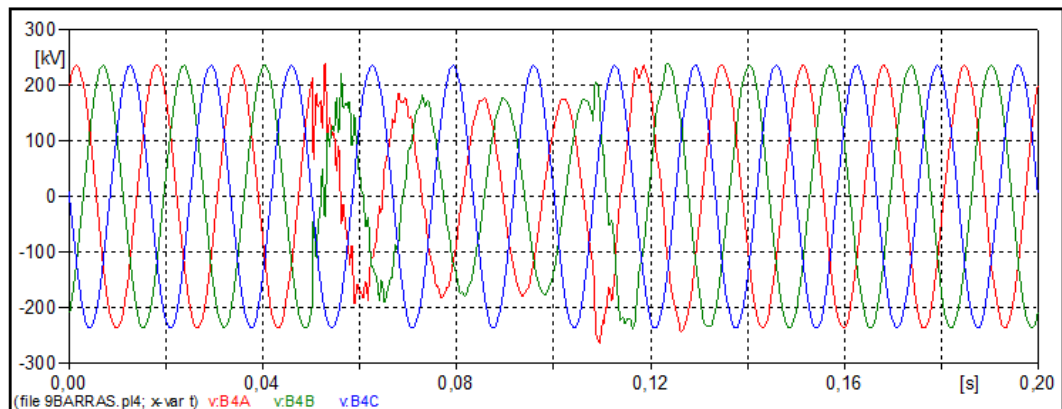


Figura 422 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.

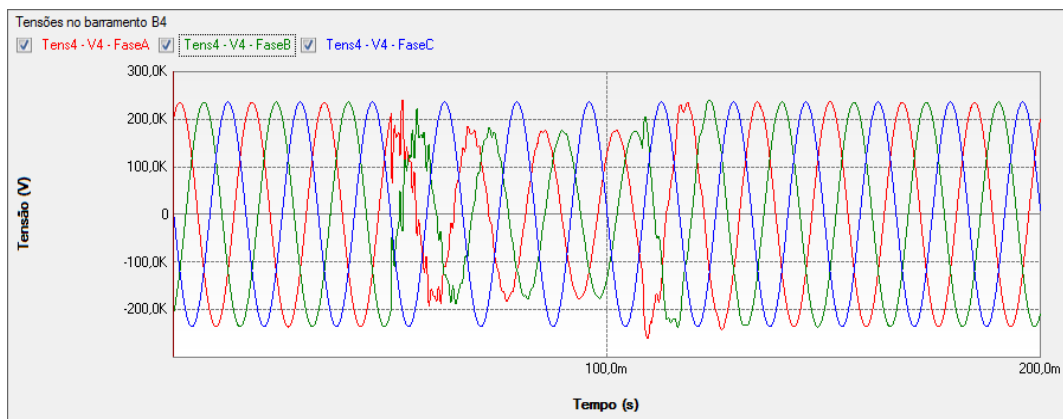


Figura 423 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.

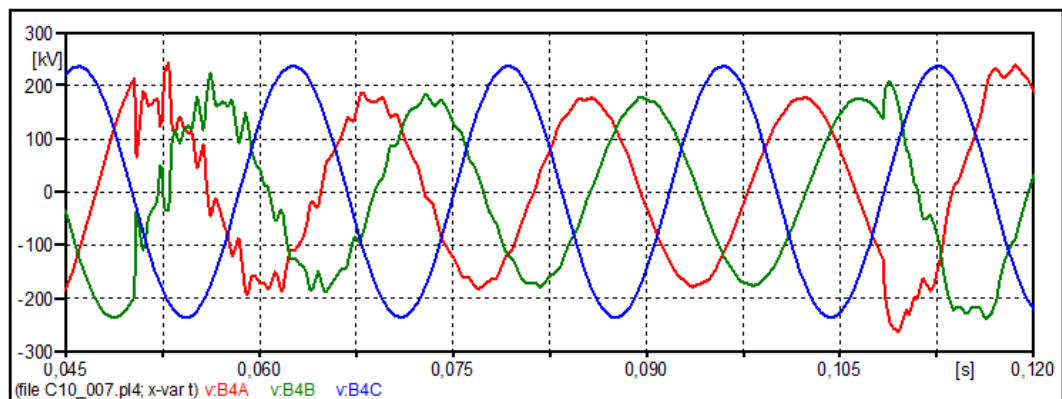


Figura 424 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.

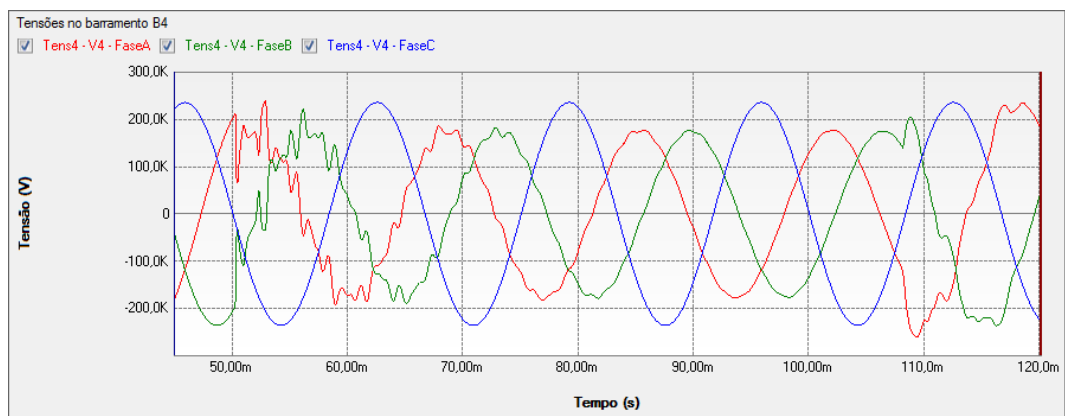


Figura 425 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.

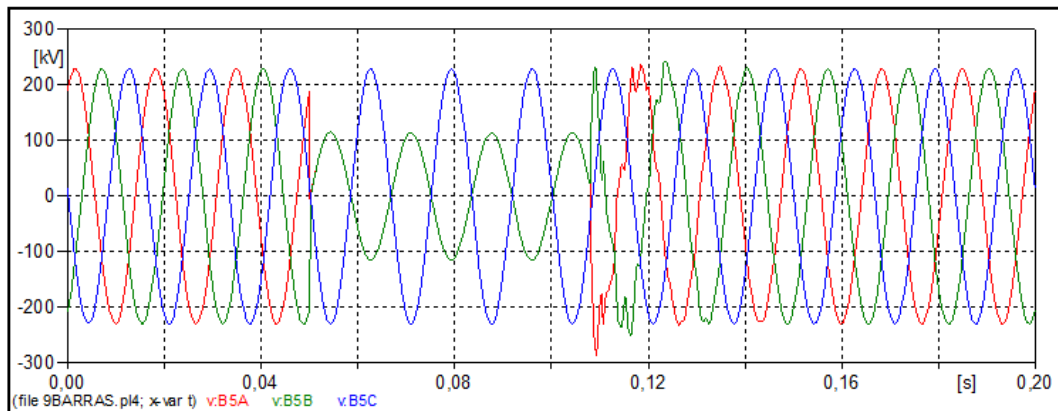


Figura 426 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.

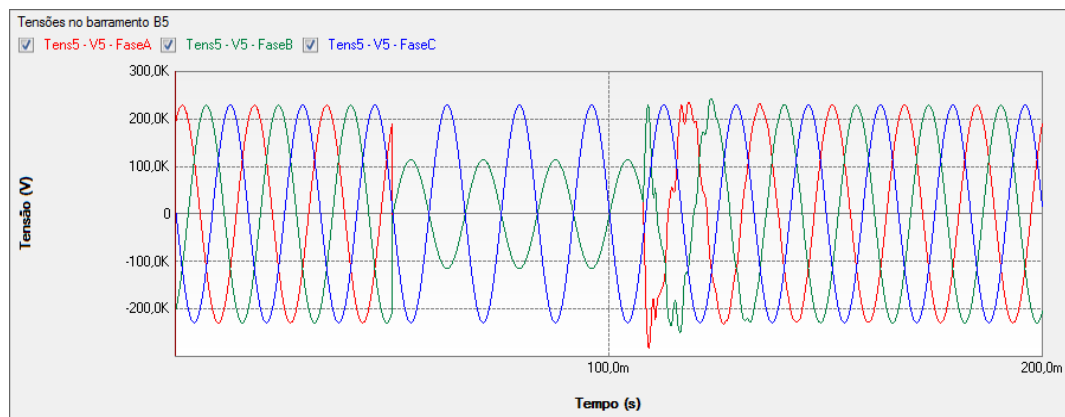


Figura 427 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.

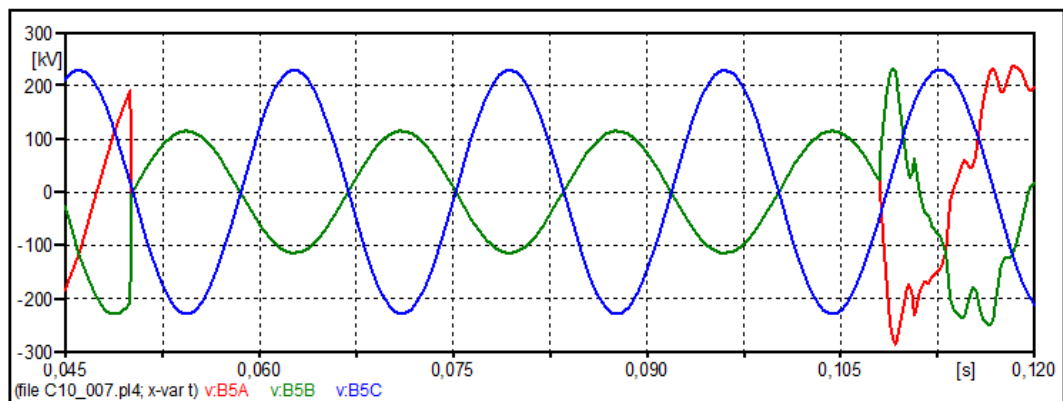


Figura 428 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.

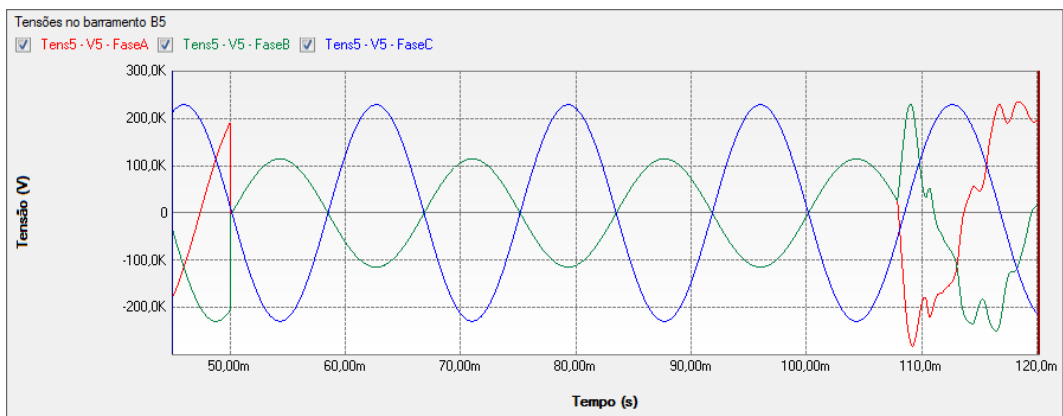


Figura 429 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.

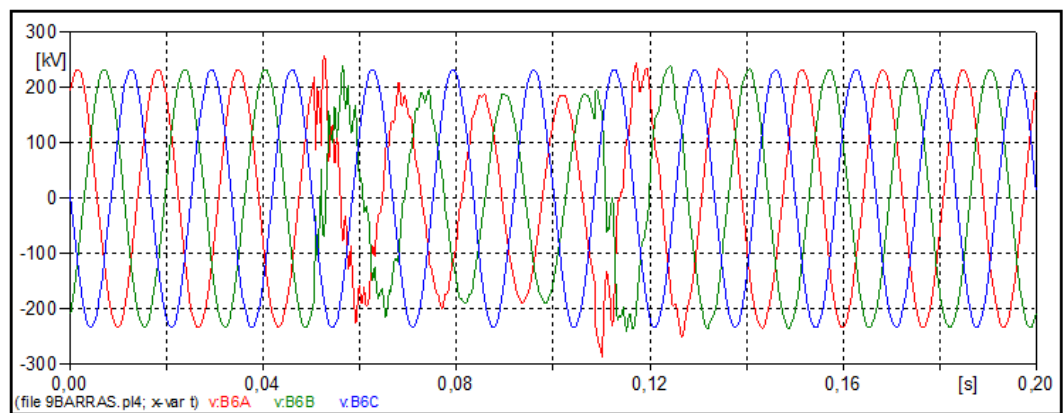


Figura 430 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.

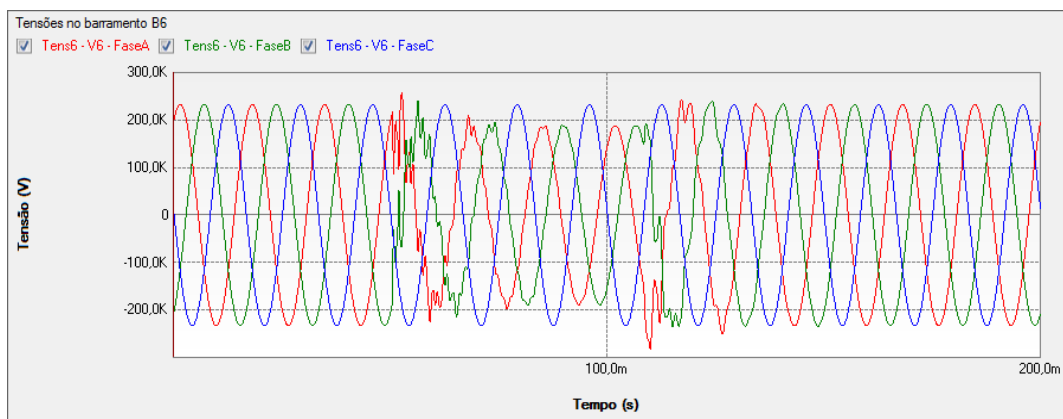


Figura 431 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.

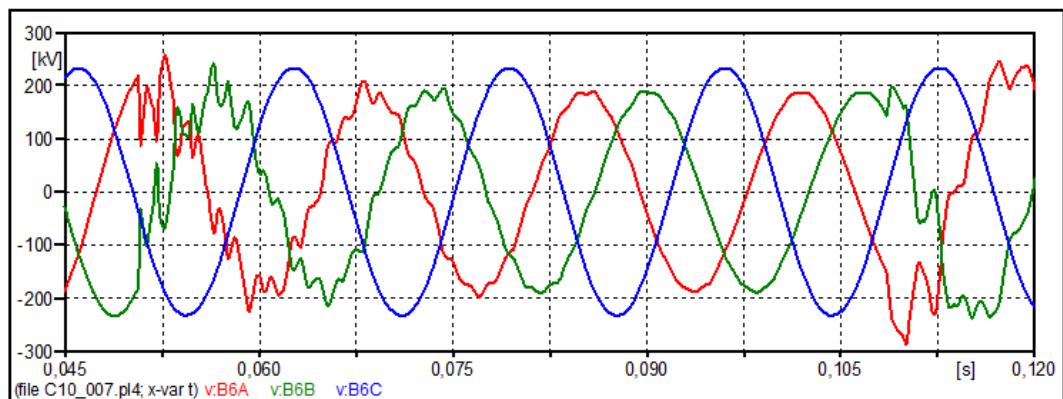


Figura 432 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.

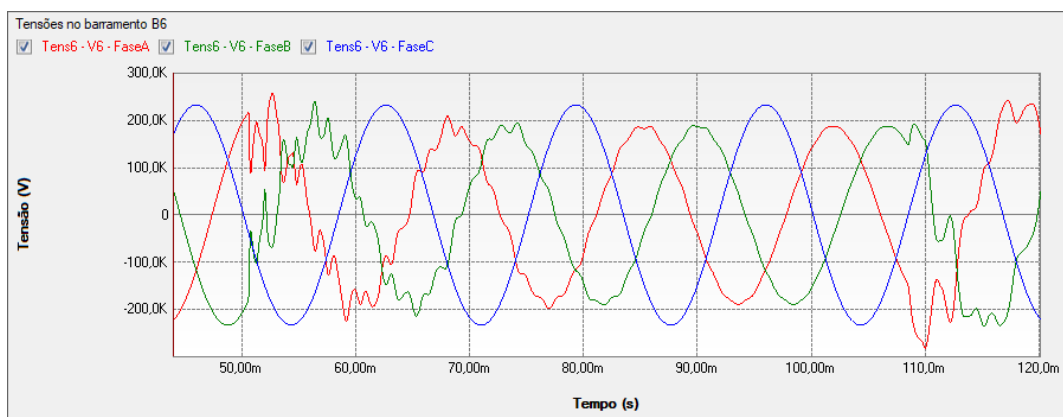


Figura 433 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.

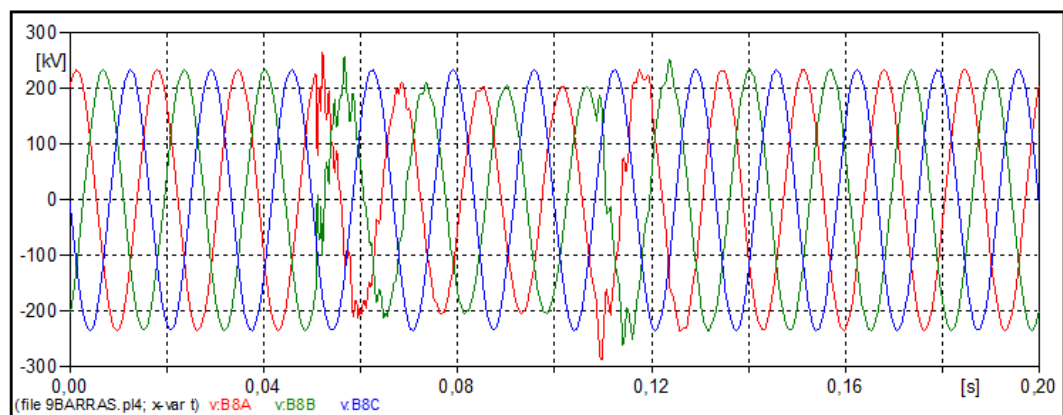


Figura 434 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.

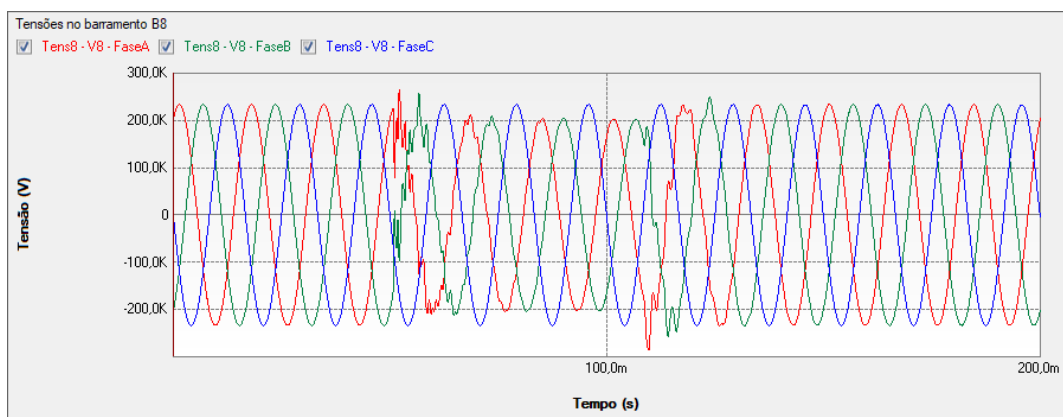


Figura 435 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.

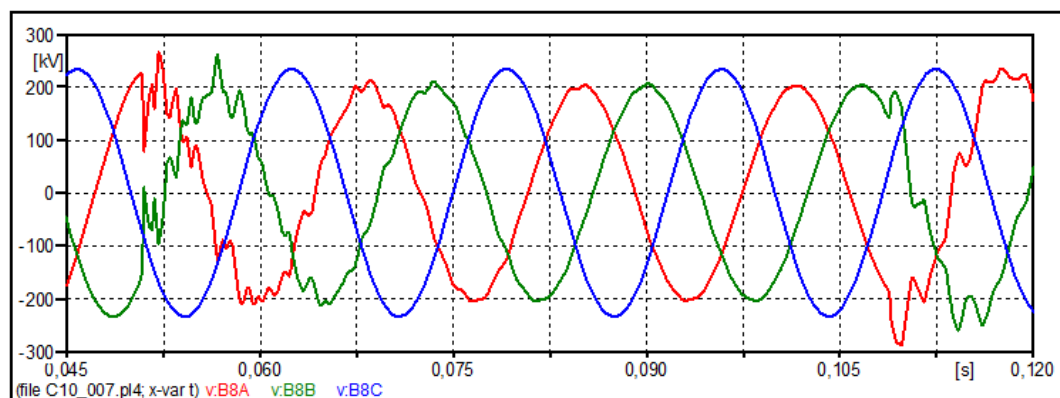


Figura 436 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.

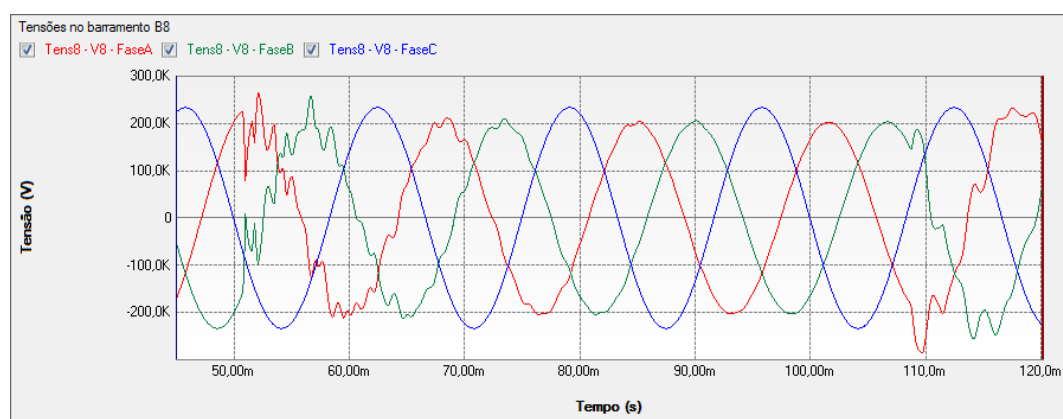


Figura 437 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.

10.7.3 Cenário 03 – Falta trifásica na barra B4.

Neste cenário, aplicou-se no sistema uma falta A-B-C no barramento B4 no instante $t = 0,05$ s. A contingência foi eliminada no sistema no instante $t = 0,1$ s. Com isso foram realizadas as medições de tensão nos barramentos B4, B5, B6 e B8.

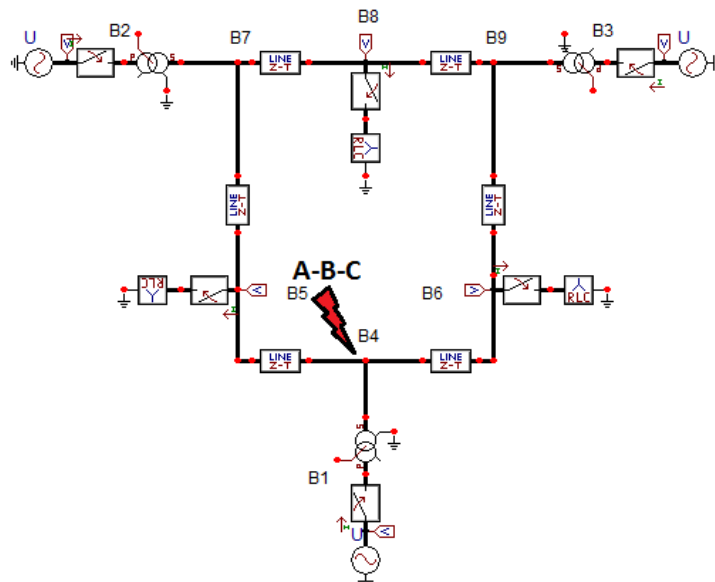


Figura 438 – Figura que ilustra o local de aplicação da contingência no cenário atual.

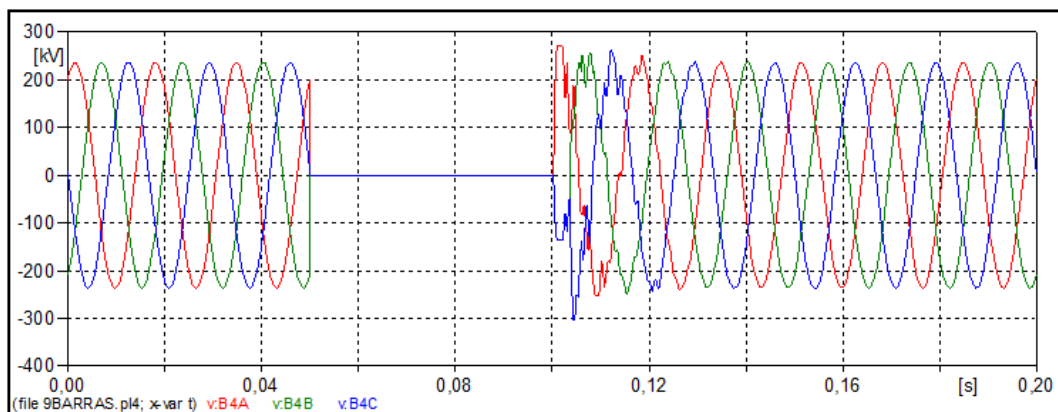


Figura 439 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.

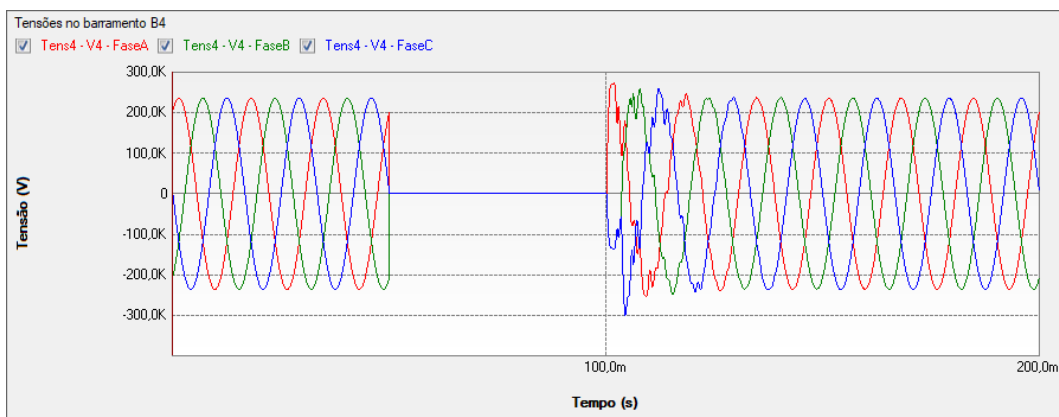


Figura 440 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.

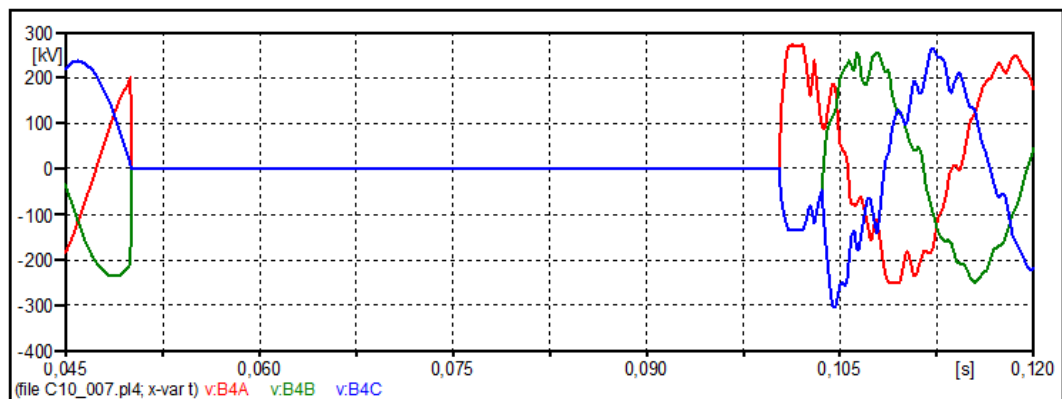


Figura 441 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.

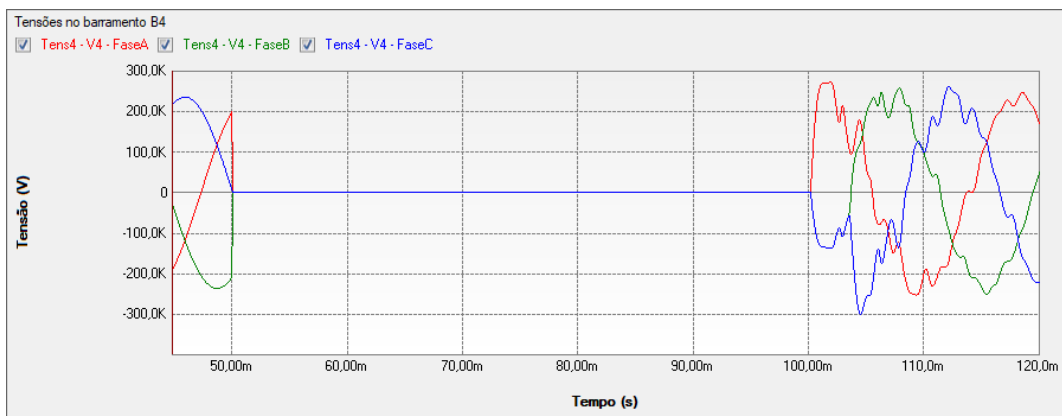


Figura 442 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.

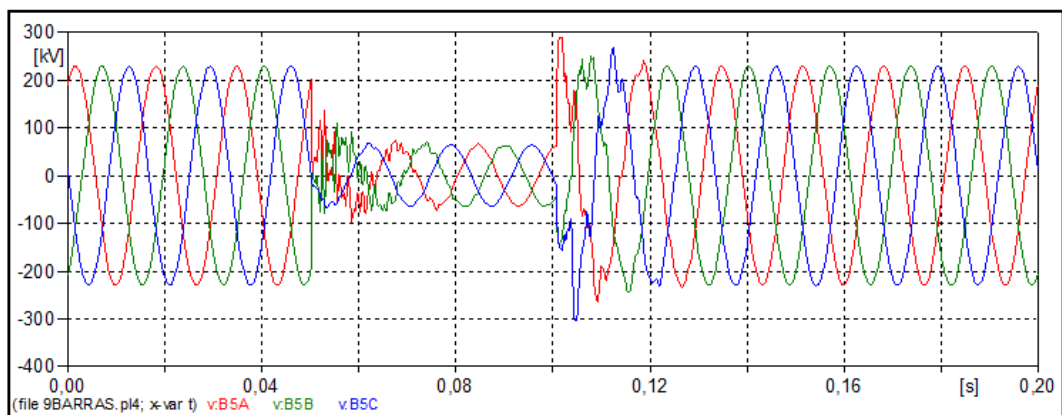


Figura 443 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.

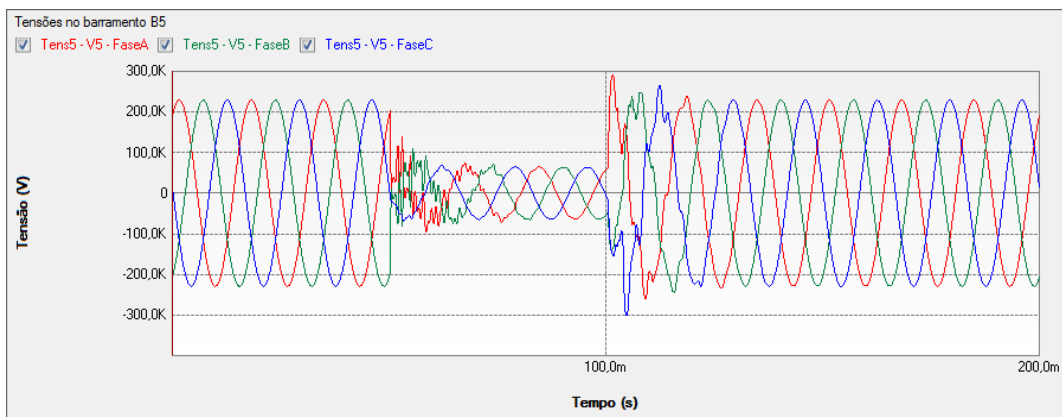


Figura 444 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.

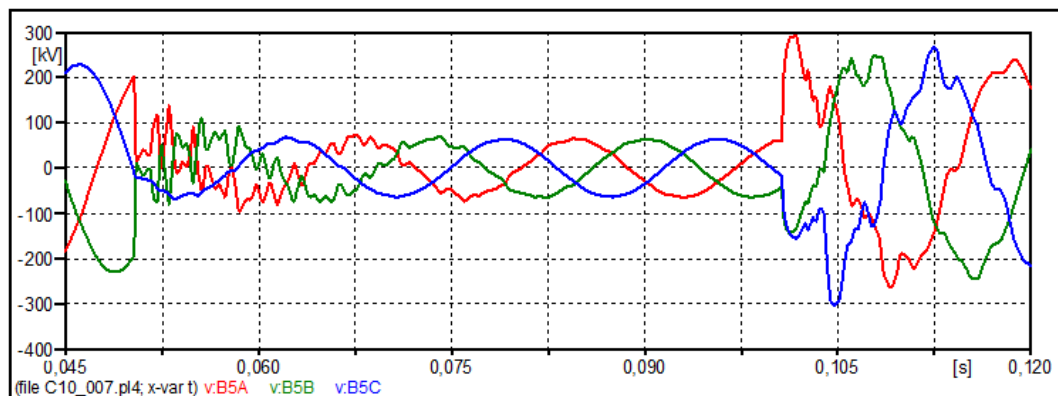


Figura 445 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.

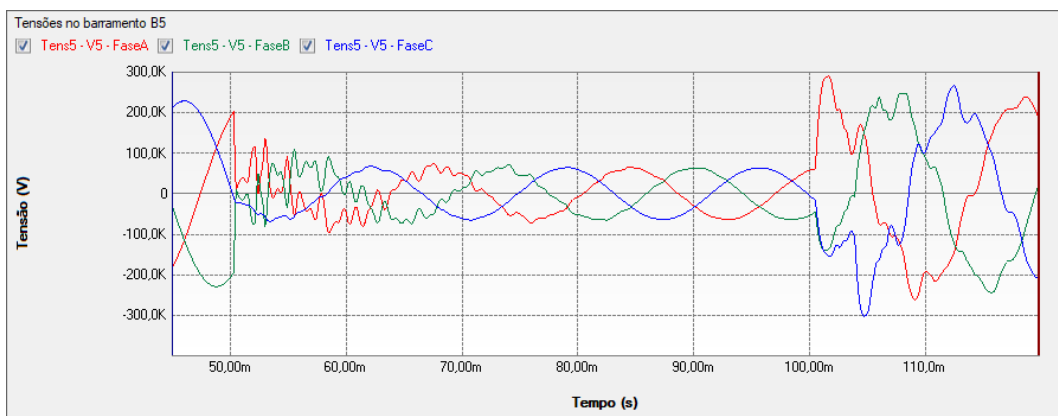


Figura 446 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.

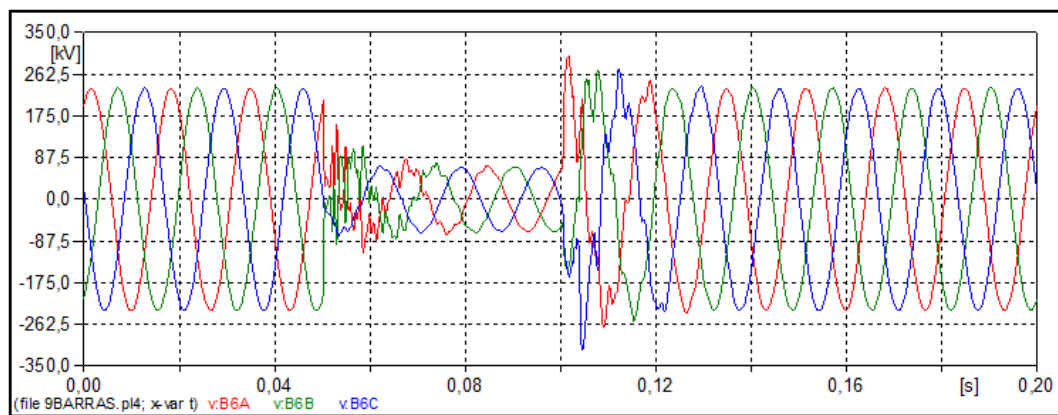


Figura 447 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.

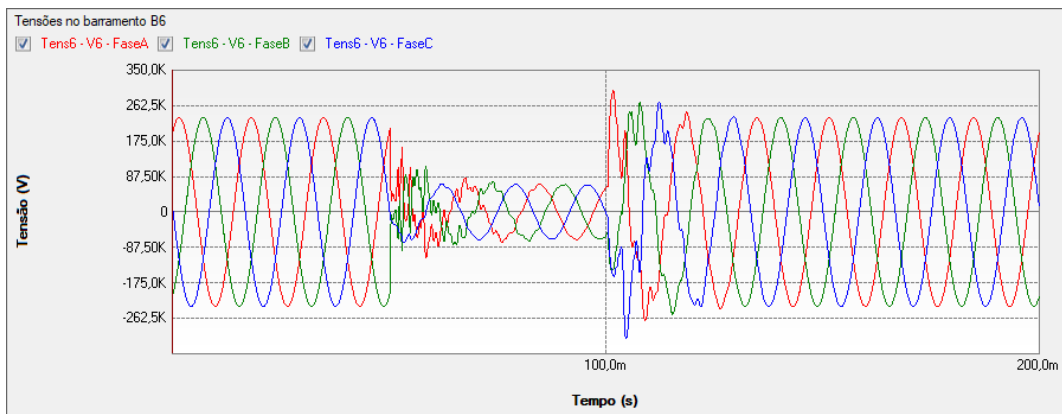


Figura 448 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.

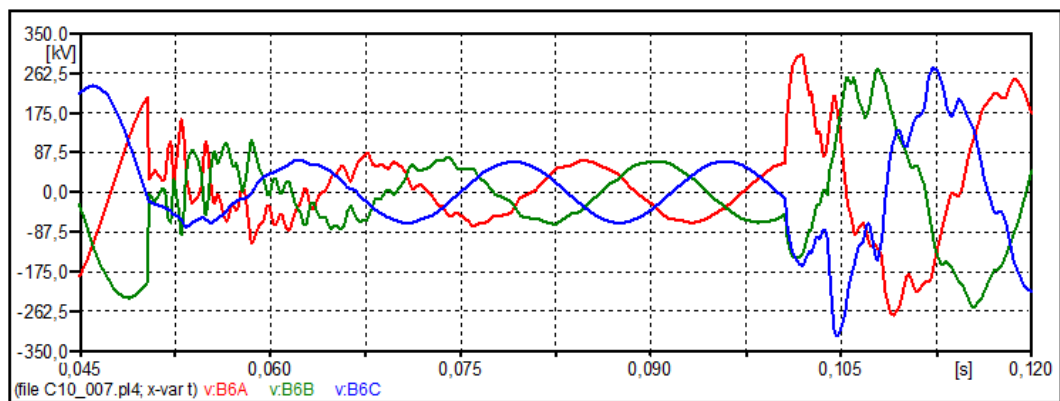


Figura 449 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.

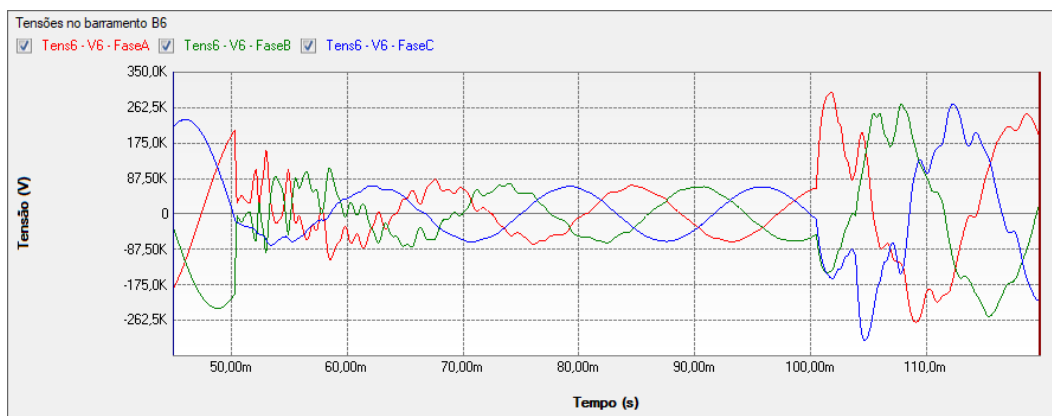


Figura 450 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.

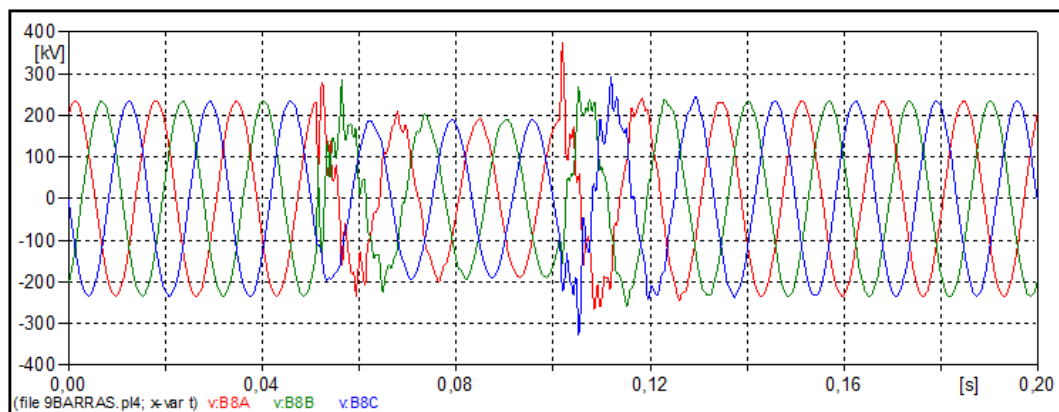


Figura 451 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.

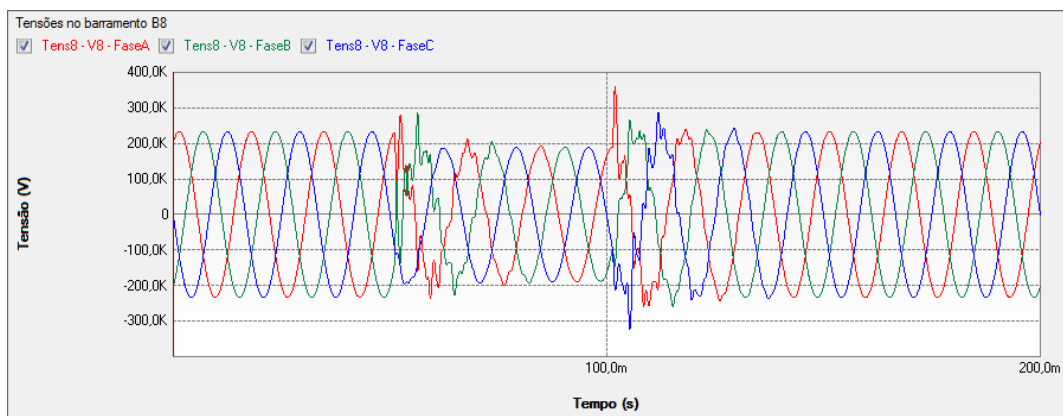


Figura 452 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.

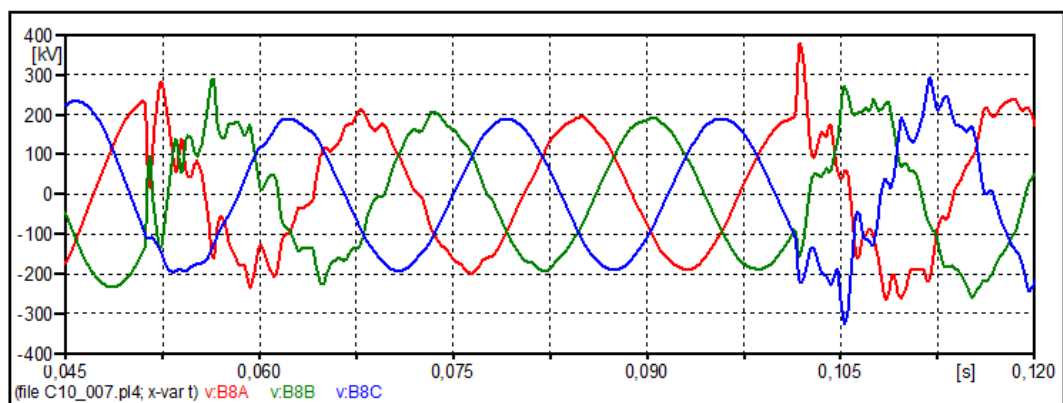


Figura 453 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.

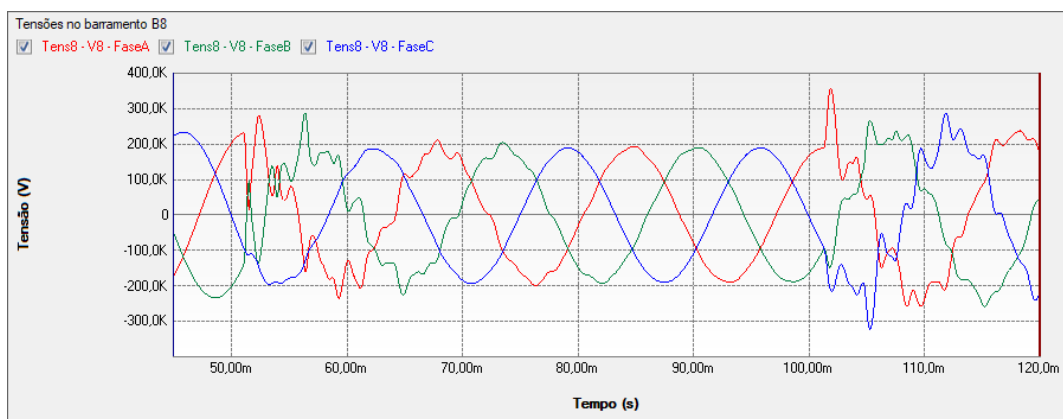


Figura 454 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.

10.7.4 Cenário 04 – Falta trifásica terra na barra B6.

Neste cenário, aplicou-se no sistema uma falta A-B-C-T no barramento B6 no instante $t = 0,05$ s. A contingência foi eliminada no sistema no instante $t = 0,1$ s. Com isso foram realizadas as medições de tensão nos barramentos B4, B5, B6 e B8, além das correntes de falta nas fases.

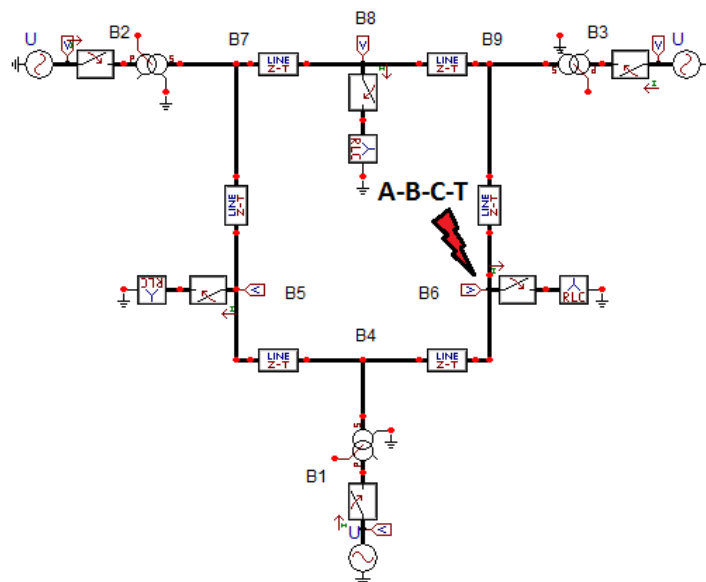


Figura 455 – Figura que ilustra o local de aplicação da contingência no cenário atual.

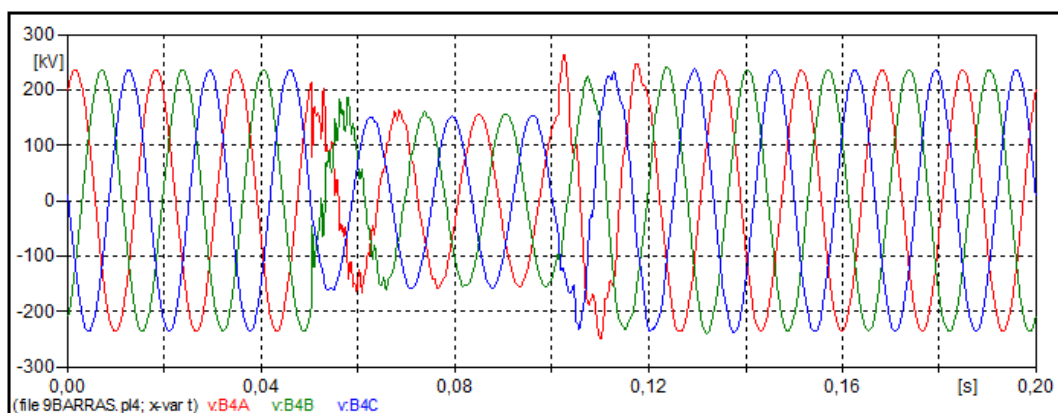


Figura 456 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.

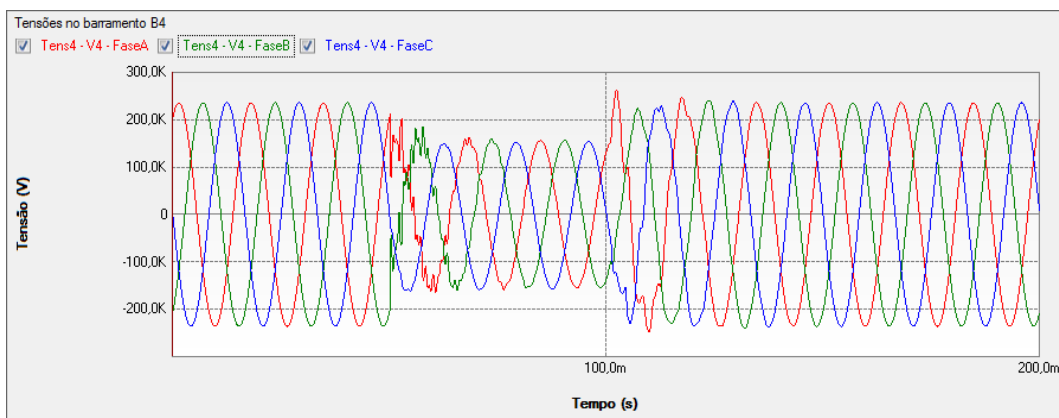


Figura 457 – Formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.

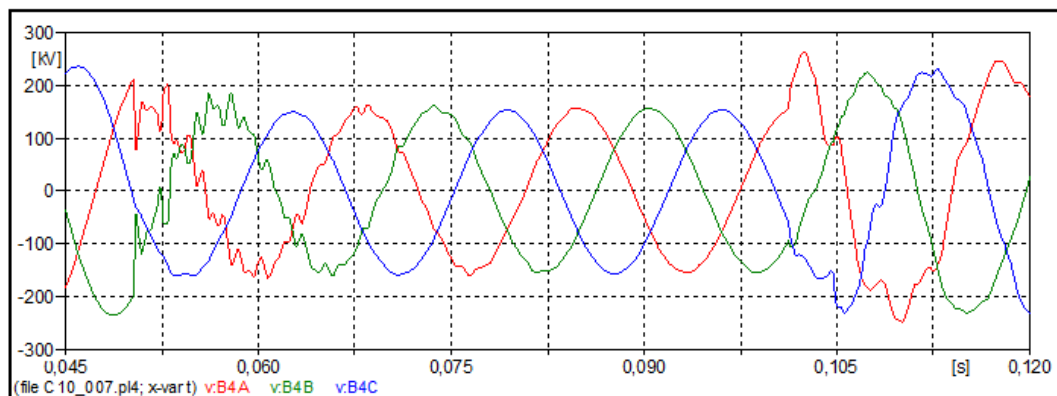


Figura 458 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software ATP.

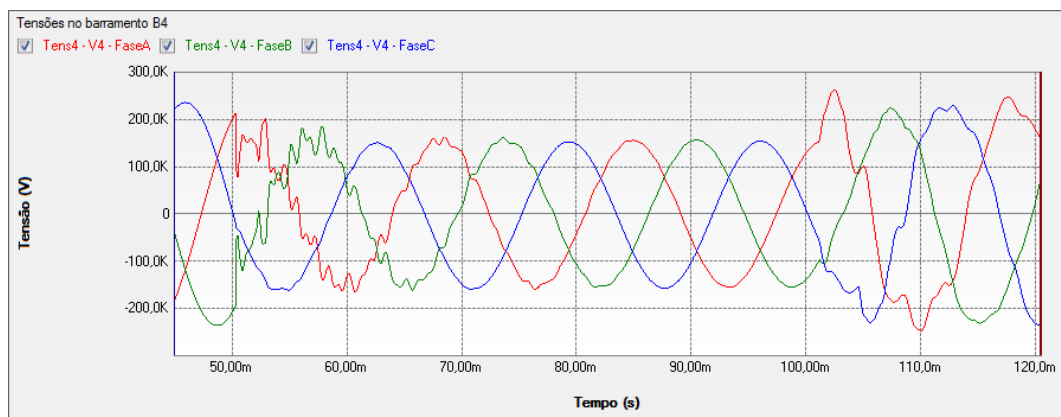


Figura 459 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B4 no software PS Simul.

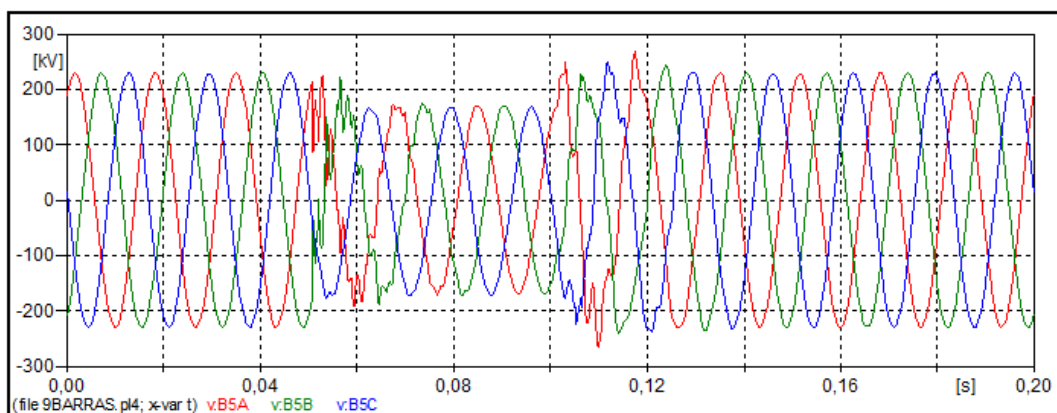


Figura 460 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.

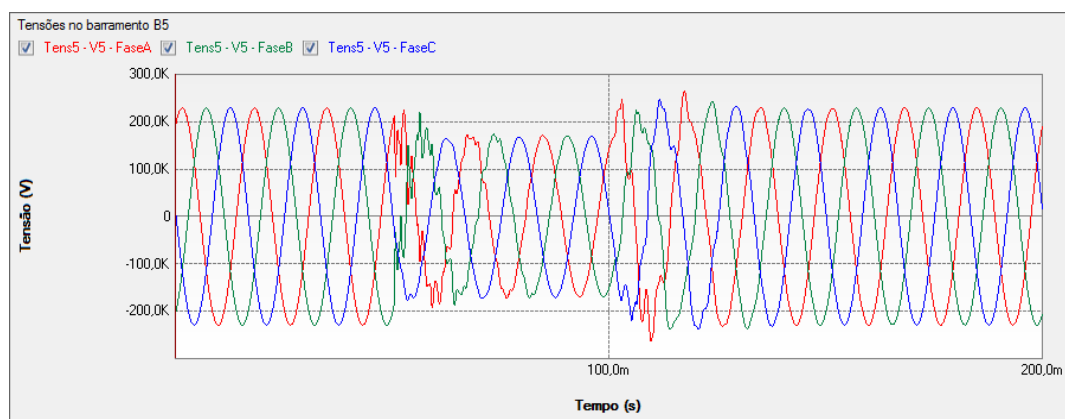


Figura 461 – Formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.

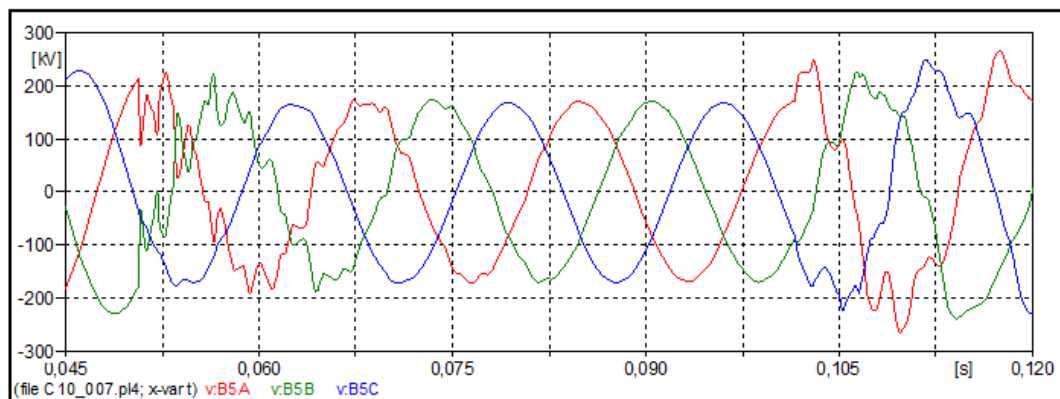


Figura 462 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software ATP.

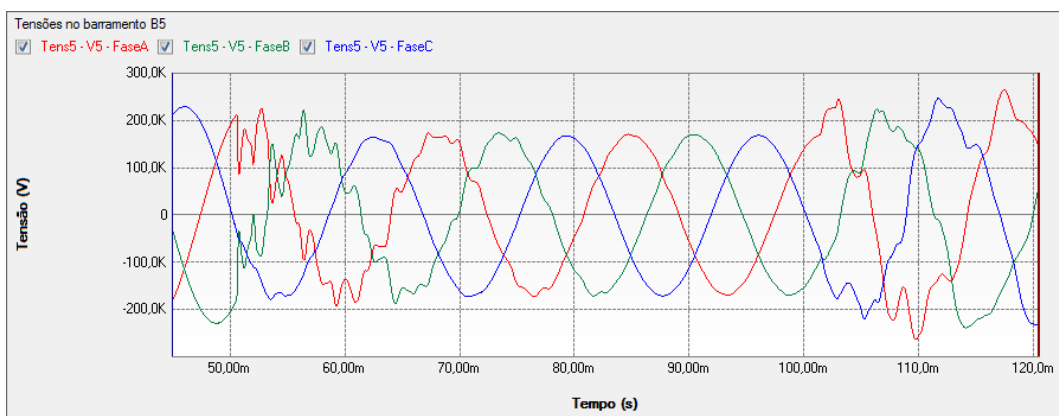


Figura 463 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B5 no software PS Simul.

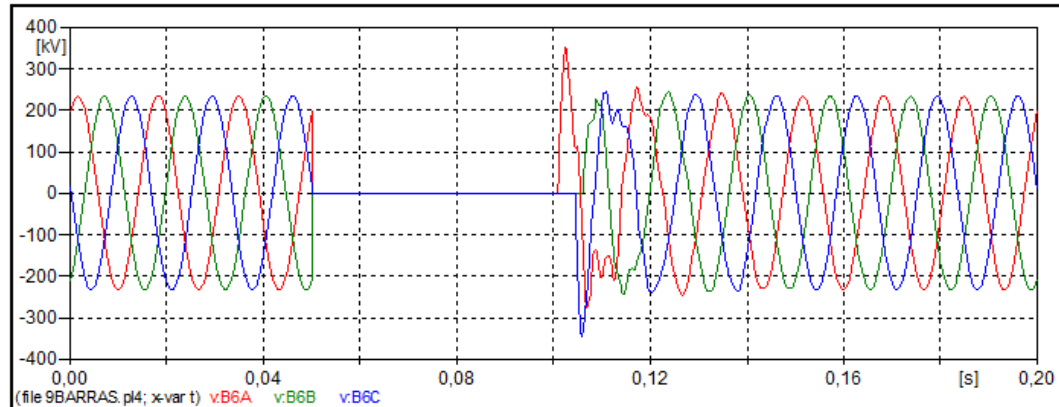


Figura 464 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.

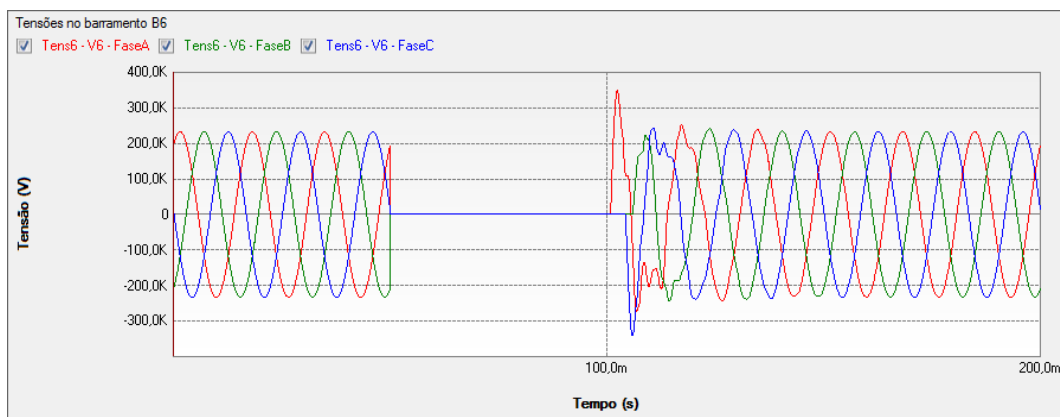


Figura 465 – Formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.

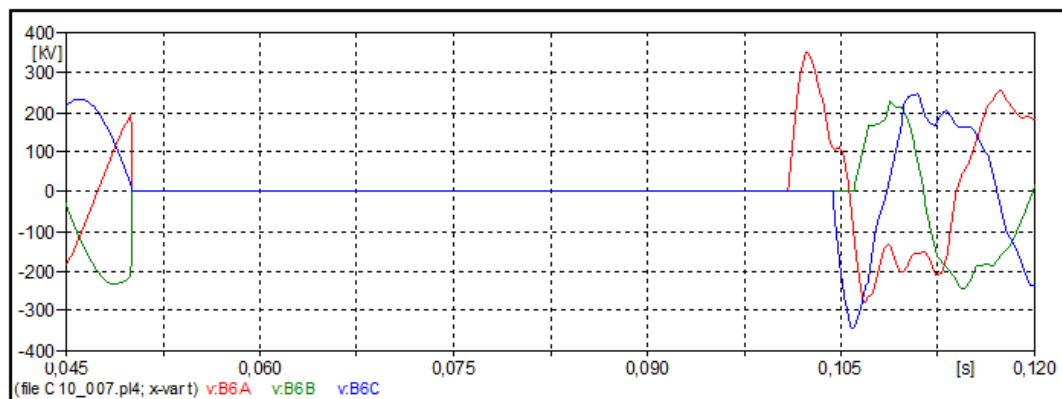


Figura 466 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software ATP.

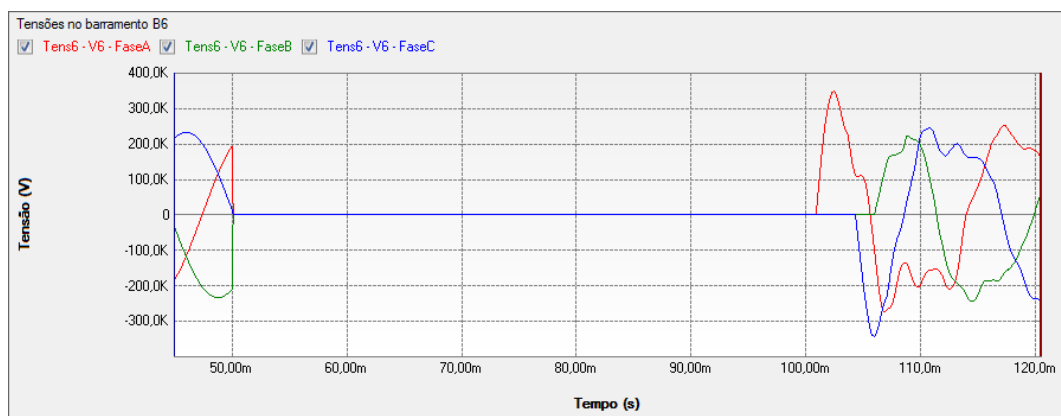


Figura 467 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B6 no software PS Simul.

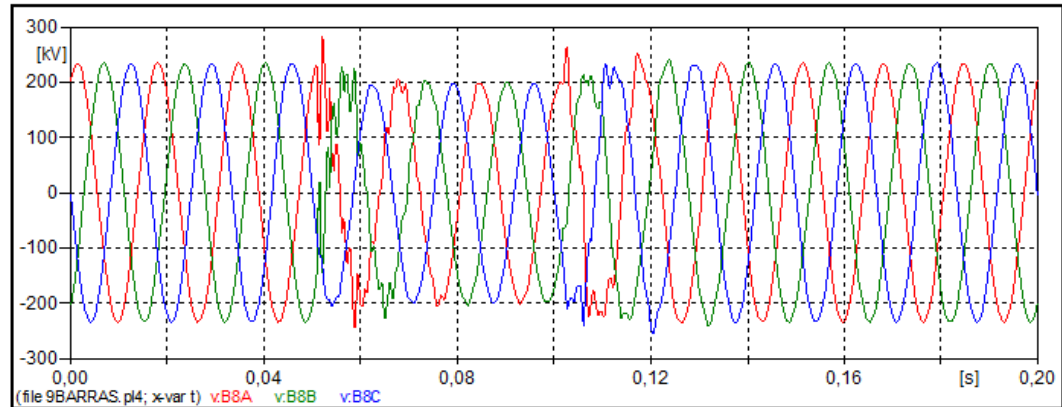


Figura 468 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.

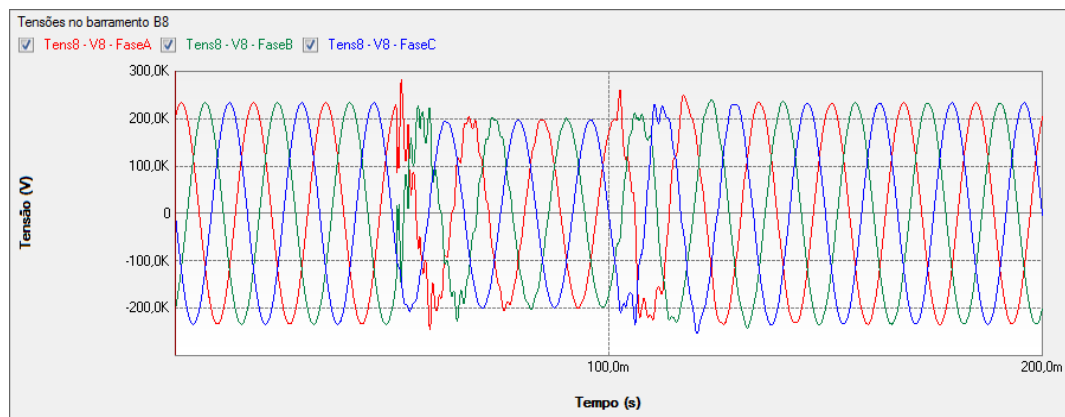


Figura 469 – Formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.

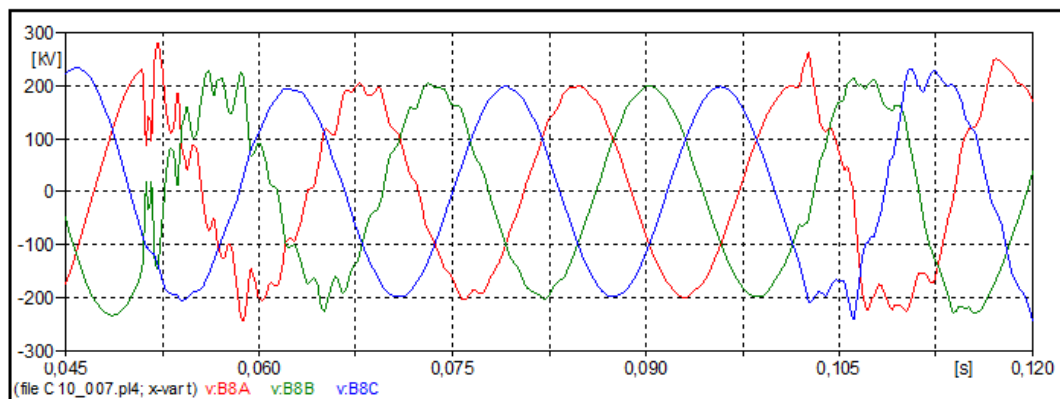


Figura 470 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software ATP.

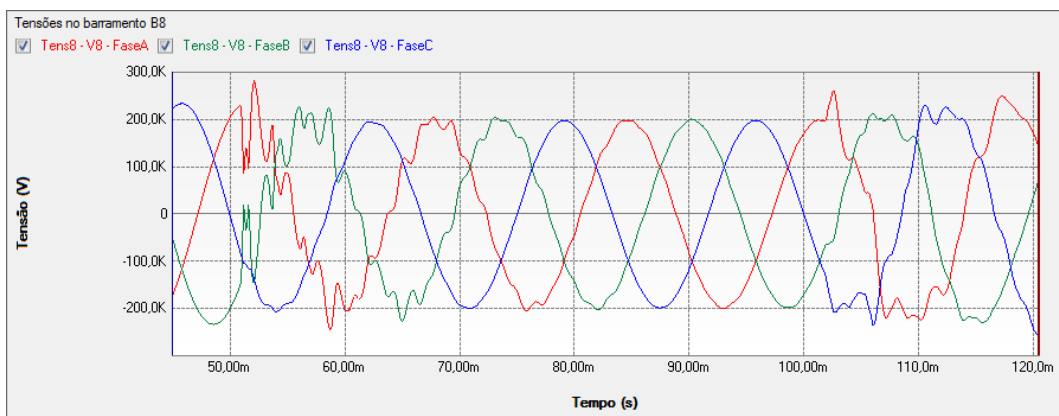


Figura 471 – Zoom das formas de onda das tensões do barramento B8 no software PS Simul.

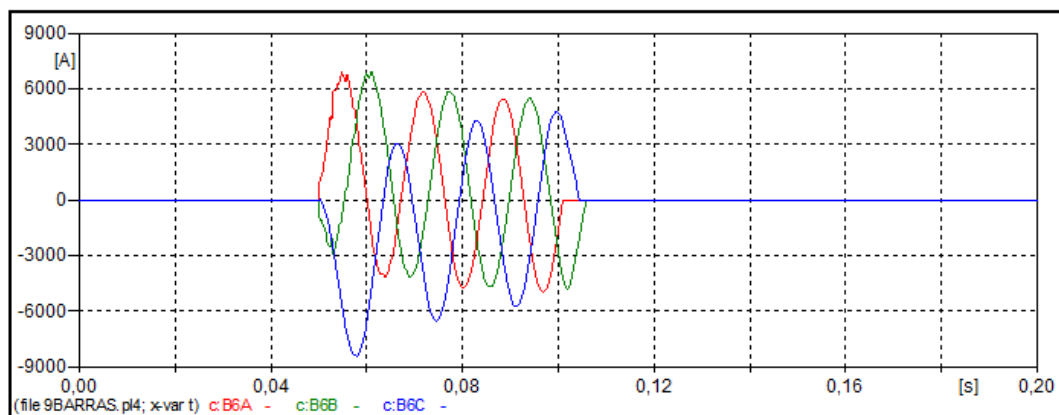


Figura 472 – Formas de onda das correntes de falta no software ATP.

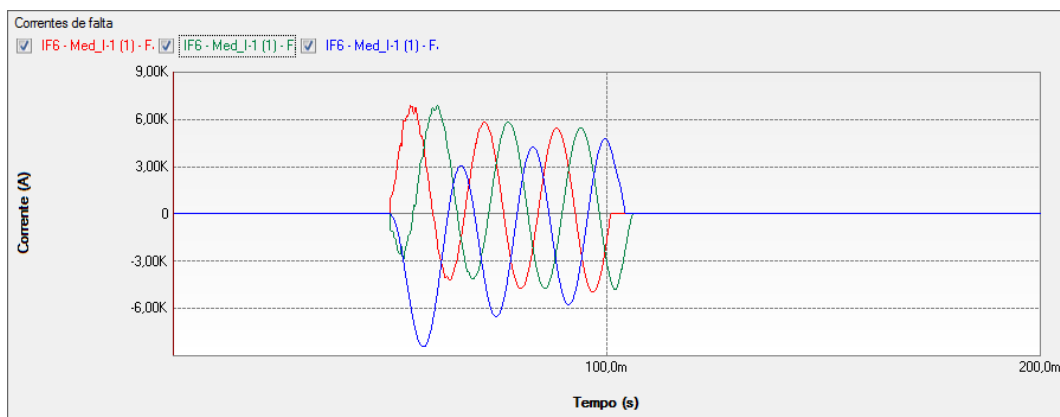


Figura 473 – Formas de onda das correntes de falta no software PS Simul.

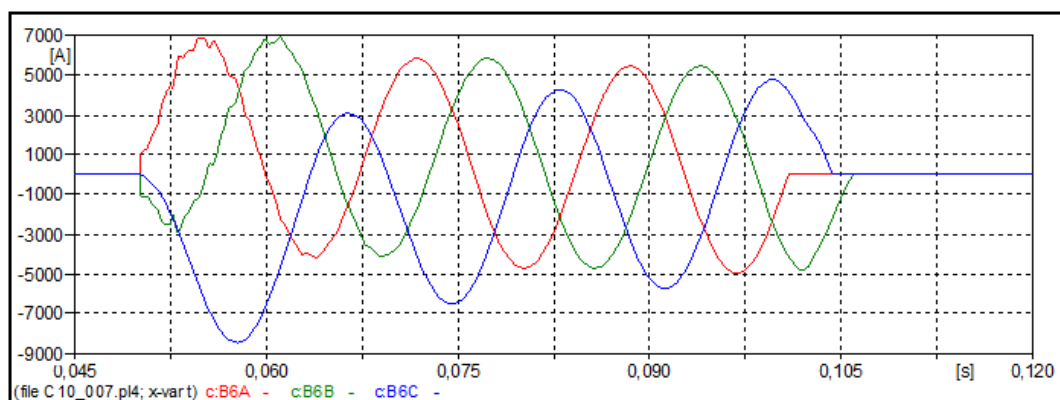


Figura 474 – Zoom das formas de onda das correntes de falta no software ATP.

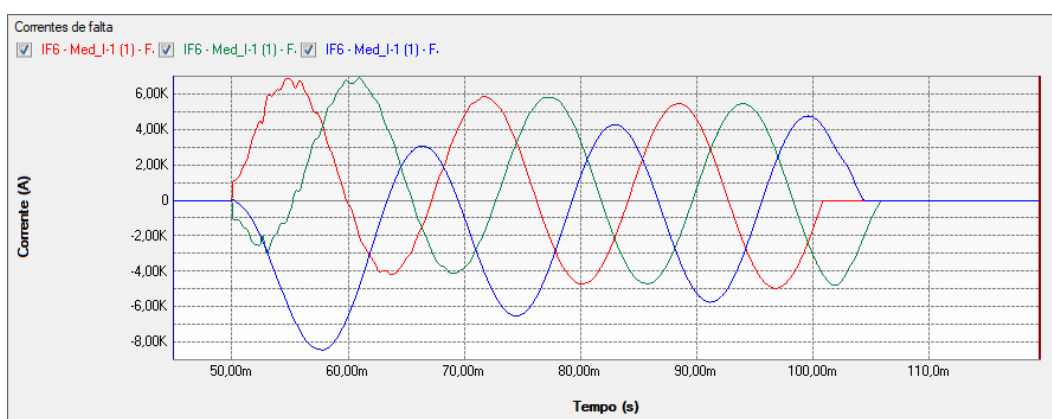


Figura 475 – Zoom das formas de onda das correntes de falta no software PS Simul.

11 Capítulo 11 – Conclusões

Neste documento, foram realizadas modelagens e simulações de mais de 80 cenários diferentes envolvendo todos os principais componentes disponibilizados pelo ATP e seus equivalentes no software PS Simul, sendo abrangidos modelos de:

- Fontes;
- Chaves;
- Elementos Passivos;
- Elementos Não Lineares;
- Transformadores;
- Linhas;
- Cabos;
- Máquinas;
- Sistemas de Controle;
- Entre outros.

Além disso, o documento englobou a modelagem e simulação de sistemas completos com o intuito de reproduzir estudos de transitórios tipicamente realizados.

É válido enaltecer que, durante o processo de confecção deste documento, foi realizada uma criteriosa comparação entre todas as formas de onda obtidas de cada cenário nos softwares ATP e PS Simul, sobrepondo-as e verificando a igualdade de picos e variações de cada um dos sinais resultantes das simulações. Em todas as comparações feitas observou-se a equivalência entre as formas de onda resultantes de ambos os softwares.

Dessa forma, foi proporcionada ao leitor uma experiência de análise de equivalência entre os softwares ATP (*Alternative Transients Program*) e PS Simul (*Power System Simulator*), onde ficou comprovado que a solução empregada por cada um dos programas abordados e os resultados obtidos por estes são, de fato, equivalentes e confiáveis.

12 Capítulo 12 – Referências

[1] Conprove Engenharia, Indústria e Comércio, PS SIMUL: Software para Modelagem do Sistema de Potência e Simulação de Transitórios Eletromagnéticos. Acesso em 08 de março de 2019, em: http://www.conprove.com.br/pub/i_ps_simul.html