

**TUTORIAL PARA SIMULAÇÃO DA
C. F. MELO NOS PROGRAMAS
ANAREDE E ANATEM UTILIZANDO O
NOVO MODELO - VERSÃO: MAIO/2018**

© 2018/ONS
Todos os direitos reservados.
Qualquer alteração é proibida sem autorização.

ONS DPL 0078/2018

**TUTORIAL PARA SIMULAÇÃO DA
C. F. MELO NOS PROGRAMAS
ANAREDE E ANATEM UTILIZANDO O
NOVO MODELO - VERSÃO: MAIO/2018**

2ª Interligação internacional Brasil – Uruguai

Revisões do relatório

Rev. 0 - emissão inicial - Maio de 2018

Seção	páginas	descrição

Sumário

Tabelas	5
Figuras	6
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO	7
2 DADOS E PROGRAMAS UTILIZADOS	8
3 PRINCIPAIS ALTERAÇÕES INCORPORADAS AO NOVO MODELO	9
4 REPRESENTAÇÃO NO PROGRAMA DE FLUXO DE POTÊNCIA	10
4.1 Parâmetros de linhas, transformadores e compensação shunt	10
4.1.1 Deck Anarede para inserção do sistema associado	11
4.2 Parâmetros da C. F. Melo	12
4.2.1 Deck para o Anarede	13
4.3 Características operacionais da C. F. Melo	15
4.3.1 Modos de Operação	15
4.3.2 Controle básico e Característica Estática	16
4.3.3 Controle de potência reativa e tensão CC – RPC	17
5 REPRESENTAÇÃO NO PROGRAMA DE ESTABILIDADE TRANSITÓRIA	22
5.1 Estrutura do Controle	22
5.2 Modelagem para os estudos dinâmicos (NOVO MODELO)	24
5.2.1 Controles Principais	25
5.2.2 Controles Auxiliares	28
5.3 Controladores Definidos pelo Usuário – CDU	42
5.3.1 Modelagem completa	42
5.3.1.1 Deck para o Anatem	44
5.3.1.2 Inicialização dos Modelos	46
6 RECOMENDAÇÕES	59
7 REFERÊNCIAS	60
8 CRÉDITOS	61

Tabelas

Tabela 1 – Dados dos equipamentos do lado de 60 Hz para uso no programa de fluxo de potência	10
Tabela 2 – Dados dos equipamentos do lado de 50 Hz para uso no programa de fluxo de potência	11
Tabela 3 – Principais características da Conversora de Frequência de Melo	12
Tabela 4 – Níveis de potência definidos para conexão e desconexão dos filtros	17
Tabela 5 – Seleção dos modos de controle no modelo anatem – CDU	31
Tabela 6 – RPC Power Limits	41
Tabela 7 – Controles Principais – CDU	42
Tabela 8 – Controles Auxiliares – CDU	42
Tabela 9 – Arquivos Auxiliares	43
Tabela 10 – Tabela para inicialização do VVW em p.u – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL	47
Tabela 11 – Tabela para inicialização do VVW em p.u – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI	48
Tabela 12 – Tabela para inicialização do Qexchange em Mvar – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL	50
Tabela 13 – Tabela para inicialização do Qexchange em Mvar – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI	51
Tabela 14 – Tabela para inicialização da Vdc do retificador em kV – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL	53
Tabela 15 – Tabela para inicialização da Vdc do retificador em kV – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI	54
Tabela 16 – Tabela para inicialização dos ângulos de disparo e extinção (graus) – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI	56
Tabela 17 – Tabela para inicialização dos ângulos de disparo e extinção (graus) – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL	57

Figuras

Figura 1 – Sistema de transmissão associado a C. F. Melo	10
Figura 2 – Diagrama unifilar simplificado da Conversora de Frequência de Melo – 2ª Interligação Brasil – Uruguai	13
Figura 3 – Característica Estática	16
Figura 4 – Visão geral do sistema de controle e dos sinais adicionais do HVDC GE/Alstom	22
Figura 5 – Diagrama funcional simplificado dos controles da C. F. Melo	24
Figura 6 – Diagrama de Blocos simplificado do Pole Power Control	25
Figura 7 – Diagrama de Blocos simplificado do Voltage Stability Control (VSC)	29
Figura 8 – Diagrama de Blocos simplificado do RPEM	33
Figura 9 – Diagrama de Blocos simplificado do ACVCM	35
Figura 10 – Diagrama funcional do módulo Priority e Integrator e tabela com a lógica de priorização dos erros	37
Figura 11 – Níveis de sobretensão x tempo de atuação ajustados no TOV Control (segmentos)	39
Figura 12 – Diagrama de Blocos simplificado do TOV Control	40
Figura 13 – Gráfico para inicialização do VWV – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL	49
Figura 14 – Gráfico para inicialização do VWV – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI	49
Figura 15 – Gráfico para inicialização do Qexchange – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL	52
Figura 16 – Gráfico para inicialização do Qexchange – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI	52
Figura 17 – Gráfico para inicialização da Vdc do retificador – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL	55
Figura 18 – Gráfico para inicialização da Vdc do retificador – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI	55
Figura 19 – Gráfico para inicialização dos ângulos de disparo e extinção – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI	58
Figura 20 – Gráfico para inicialização dos ângulos de disparo e extinção – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL	58

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A Conversora de Frequência de Melo é um HVDC back-to-back convencional, de fabricação GE/Alstom, com capacidade de cerca de 500 MW que está fisicamente instalada na SE 525-500/150 kV Melo, no território uruguaio. É conectada ao SIN na subestação 525/230 kV Candiota (Eletrobras Eletrosul), localizada na região Sul do estado do Rio Grande do Sul, através de uma linha de transmissão de 525 kV, com cerca de 125 km, sendo cerca de 60 km em território brasileiro e 65 km em território uruguaio.

Após ter sido integrada ao SIN em julho de 2016, em meados de 2017, devido à indisponibilidade de todas as unidades geradoras no Complexo Termelétrico P. Médici + Candiota III, com ênfase para a UTE Candiota III, a transferência de energia através da Conversora de Frequência de Melo foi impedida. Tal impedimento se deveu as seguintes razões:

- Nível de curto circuito no lado brasileiro abaixo do valor mínimo exigido para a obtenção de adequado desempenho da Conversora de Melo que, segundo o fabricante GE/Alstom, é de 1400 MVA.
- Falta de suporte de Mvar à transmissão (lado brasileiro), levando a violação de limites operativos em operação normal e problemas de estabilidade de tensão em contingências.

Em vista disso, e com o objetivo de manter a viabilidade da transferência de energia entre o Brasil e o Uruguai mesmo nessa situação, dada sua relevância sob a ótica energética, buscou-se alternativas de solução para suplantear tais restrições, as quais são descritas a seguir:

1. A GE/Alstom permitiu, em caráter excepcional e temporário, a operação da C. F. Melo com nível de curto circuito mínimo 1200 MVA, até que seja implantada uma solução estrutural.
2. Proposição, pelo ONS, de operação da malha de controle de potência reativa da Conversora (RPC) no modo ACVCM (Controle da tensão CA) no lado brasileiro, a qual não era permitida.

Nesse sentido, como as soluções estruturais associadas à expansão do sistema na região Sul do RS são cronologicamente mais distantes, está sendo avaliada pela Eletrobras/UTE a instalação de compensação síncrona no lado de 60 Hz da C. F. Melo.

Já para permitir a avaliação da adequacidade da operação no modo ACVCM no lado brasileiro como solução, mesmo que parcial para esse caso, foi necessária a **complementação** do atual modelo Anatem disponível para a C. F. Melo, o qual foi desenvolvido por Consultoria contratada pela Eletrobras/UTE (Jordão Engenharia), de acordo com as especificações definidas pelo ONS.

O objetivo deste trabalho é fornecer ao usuário as orientações básicas para permitir a simulação desta Conversora de Frequência nos programas de Análise de fluxo de potência em regime permanente e de Análise de transitórios eletromecânicos em uso pelo ONS, utilizando o novo modelo, conforme Módulo 18 dos procedimentos de rede.

2 DADOS E PROGRAMAS UTILIZADOS

A Conversora de Frequência de Melo foi representada com o novo modelo nos programas Anarede e Anatem.

As versões dos programas utilizados foram as seguintes:

- Anarede – versão 10.2.3 – Set/17 – Eletrobras CEPEL
- Anatem – versão 11.04.00 – Abr/18 – Eletrobras CEPEL

3 PRINCIPAIS ALTERAÇÕES INCORPORADAS AO NOVO MODELO

Em relação ao modelo CDU existente, foram implantadas as seguintes principais alterações:

- Inclusão do modo ACVCM (ação de controle da tensão CC dependente da tensão AC) na malha de Controle de Potência Reativa (RPC) e definição pelo usuário, no módulo de controle de potência reativa do CDU (RPC), do modo de controle a ser utilizado para cada lado da Conversora (OLRPC ou RPEM ou ACVCM), sendo incorporados ao modelo as respectivas interações em termos de erro de controle, a partir da seleção e lógica de priorização dos erros;
- Inclusão do chaveamento automático dos filtros, via CDU
 - pelo OLRPC – Dependente da POrder;
 - pelo TOV – Conforme níveis de sobretensão x tempo (inclui o reator no lado de 50 Hz);
 - pelo RFR (Rapid Filter Removal) após bloqueio do BtB.
- Unificação dos CDUs do “Phase Control” do retificador e inversor e utilização de Topologia Definida pelo Usuário (DTDU e ACDU), de forma a se manter um conjunto único de CDUs, independente do sentido de transmissão de potência;
- Incorporação das funções VSC (“Voltage Stability Control”) e Runback no CDU do “Power Control” (CDU 9335). Com isso, os CDUs 9398 e 9399 podem ser eliminados;
- Implementação dos limites de potência em função da disponibilidade de filtros de harmônico (RPC Power Limits).
- Correções na Vord no chaveamento de filtros, durante o processo de tomada de carga.

Tais implementações levaram à modificação da estrutura do modelo, alterando o número e a estrutura dos CDUs (ver item 5.3 a seguir).

Também foram retirados os CDU relativos à representação simplificada, antes existente na Base de dados, a qual visava evitar a necessidade de ajuste do ponto de operação da C. F. Melo (para inicialização de seus controles no Anatem) em análises nas quais sua consideração era irrelevante.

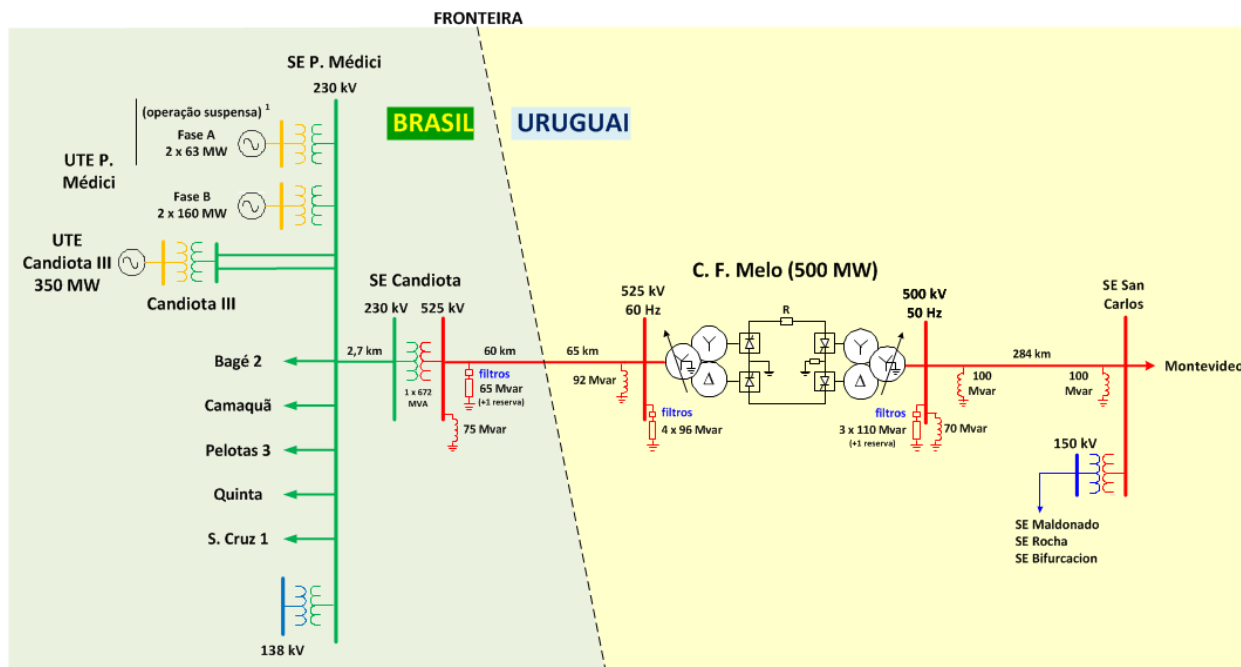
Nesse sentido, foi incorporado a este relatório procedimento simplificado para o ajuste dos casos de fluxo de potência, utilizando as tabelas e gráficos contidos no item 5.3.1.2.

Adicionalmente, será incorporada à base de dados, Planilha Excel (elaborada pela EGS) que fornece *automaticamente* o ajuste do Fluxo de potência para a inicialização dos modelos Anatem, para cada ponto de operação simulado.

4 REPRESENTAÇÃO NO PROGRAMA DE FLUXO DE POTÊNCIA

Na figura a seguir está incluído o diagrama simplificado das conexões da C. F. Melo aos sistemas do Brasil e do Uruguai.

Figura 1 – Sistema de transmissão associado a C. F. Melo



4.1 Parâmetros de linhas, transformadores e compensação shunt

Nas tabelas a seguir estão incluídos os parâmetros de sequência positiva dos equipamentos de conexão da C. F. Melo aos sistemas brasileiro e uruguaio para representação nos estudos de fluxo de potência.

Tabela 1 – Dados dos equipamentos do lado de 60 Hz para uso no programa de fluxo de potência

- Linhas

Linha	R %	X %	B (Mvar)	Limites (MVA)	
				Normal	Emergência longa duração
LT 525 kV Candiota – C. F. Melo	0,1296	1,5243	170,36	1455	1891
LT 230 kV Candiota – P. Médici	0,02852	0,19917	0,74133	540	680

- Transformadores

Transformador	R %	X %	LTC (p.u) Lado n.º posições	C.A.V (p.u) / lado	Limites (MVA)	
					Normal	Emergência
ATR 525/230/13,8 kV Candiota – TF1	0,042	1,161	(0,900 - 1,100) 230 kV 19 posições	1,000 p.u 525 kV	672	672

Tabela 2 – Dados dos equipamentos do lado de 50 Hz para uso no programa de fluxo de potência

• Linhas

Linha		R %	X %	B (Mvar)	Limites (MVA)	
					Normal	Emergência longa duração
LT 525 kV San Carlos – C. F. Melo		0,2973	3,2442	283,35	1385	2251 ⁽¹⁾
Equivalente em San Carlos ²	NCC máx.	0,2505	2,5759	-	-	-
	NCC mín.	0,3684	3,3674	-	-	-

Notas: 1. Sbase = 100 MVA / Vbase = 500 kV.
2. Equivalente Thevenin.

4.1.1 Deck Anarede para inserção do sistema associado

A seguir, deck Anarede para inserção do sistema de transmissão associado à C. F. Melo, considerando conectados todos os filtros e desconectados os reatores manobráveis.

```

DBAR
(Num)OETGb( nome )Gl( V)( A)( Pg)( Qg)( Qn)( Qm)(Bc )( Pl)( Ql)( Sh)Are(Vf)M(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10
9785AL0 FCandiotota-230 51000 201000
9786AL0 BCandiotota-525 21000 201000
9787AL0 BMelo-60--525 21000 201000
(
90018AL0 MELO---50HZ 1000 1501000
90019AL0 SCARLOS-50HZ 1000 1501000
99019AL2 UY EQ---5GR 1000 -999999999 1501000
(
99999
(
DLIN
(De )d O d(Pa )NcEP ( R% )( X% )(Mvar)(Tap)(Tmn)(Tmx)(Phs)(Bc )(Cn)(Ce)Ns(Cq)(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10
1239 A 9785 1 .02852.19917.74133 540.680. 680.
9785 A 9786 1 .0420 1.161 1.0000.9001.100 672.672. 672.
9786 A 9787 1 .1296 1.5243170.36 14552066 2066
(
90018 A 90019 1 .2973 3.2442283.35 14552066 2066
90019 A 99019 1 .2505 2.5759 1.0 14551455 1455
99999
(
DBSH
(NFr) O (NTo) Nc C (Vmn (Vmx Bctrl (Qini) T A (Extr
9786 A F 0950 1048 9786 -75. C
(G O E (U) UOp (Sht )
10 A 1 0 -75.
FBAN
(NFr) O (NTo) Nc C (Vmn (Vmx Bctrl (Qini) T A (Extr
9786 A 9787 1 D 0950 1048 9786 65. C 9786
(G O E (U) UOp (Sht )
90 A 1 1 65.
FBAN
(NFr) O (NTo) Nc C (Vmn (Vmx Bctrl (Qini) T A (Extr
9787 A F 0950 1050 9787 288. C
(G O E (U) UOp (Sht )
90 A 3 3 96.
FBAN
(NFr) O (NTo) Nc C (Vmn (Vmx Bctrl (Qini) T A (Extr
90018 A 330.
(G O E (U) UOp (Sht )
10 A L 1 0 -70.
90 A L 3 3 110.
FBAN
99999
(
DSHL
(De ) O (Pa )Nc (Shde) (Shpa) ED EP
9786 A 9787 1 -92. L L
90018 A 90019 1 -100. -100. L L
99999

```

Nota: O LTC do transformador 525/230 kV de Candiotota opera com o LTC em modo manual.

4.2 Parâmetros da C. F. Melo

A Conversora de Frequência de Melo é um HVDC back-to-back convencional com capacidade nominal de 500 MW (CA), cuja configuração é um monopolo aterrado (no lado de 50 Hz) no ponto central das 2 pontes conversoras de 6 pulsos em série. Suas características elétricas principais estão incluídas na tabela a seguir.

Tabela 3 – Principais características da Conversora de Frequência de Melo

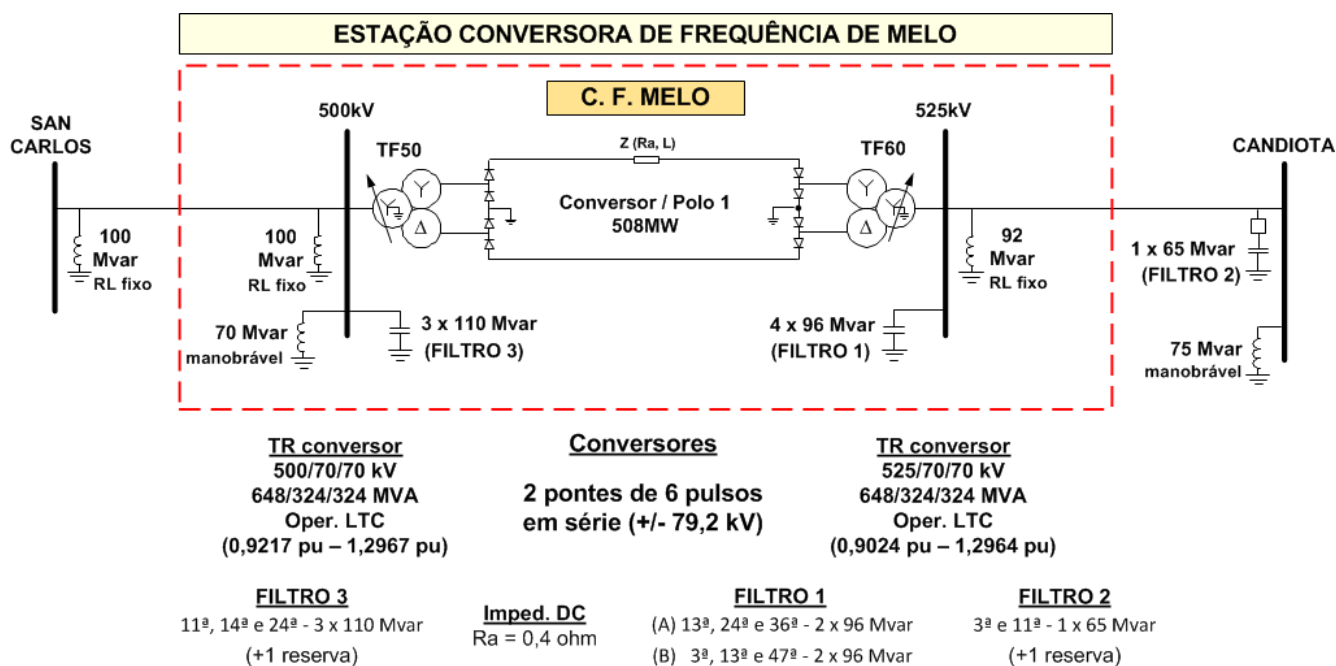
HVDC MELO	BRASIL		URUGUAI
FREQUÊNCIA (Regime contínuo)	60 Hz \pm 0,2%		50 Hz \pm 0,2%
TENSÃO AC	525 kV \pm 5% (Normal) 525 kV \pm 7% (Emergência)		500 kV \pm 5% (Normal) 500 kV \pm 7% (Emerg.)
<u>CONVERSORES</u>	2 pontes conversoras de 6 pulsos em série c/ ponto médio aterrado 158,4 kV (\pm 79,2 kV) 3206 A 508 MW (temperatura ambiente máxima de 45°C) 559 MW (10% à temperatura ambiente máxima de 20°C) 50 MW 200 MW/min		
Ângulo de disparo mín. / máx. do terminal Retificador	5° / 73°		
Ângulo de extinção mín. / máx. do terminal Inversor	17° / 73°		
Nível CC 3 ϕ mínimo para operação	1.400 MVA		1.250 MVA
<u>TRANSFORMADOR CONVERSOR</u>	Lado 60 Hz		Lado 50 Hz
Enrolamento Primário	525 kV (¥) – 648 MVA		500 kV (¥) – 648 MVA
Enrolamento Secundário 1	70 kV (Y) – 324 MVA		70 kV (Y) – 324 MVA
Enrolamento Secundário 2	70 kV (Δ) – 324 MVA		70 kV (Δ) – 324 MVA
Comutador sob carga (LTC)	Lado de 525 kV		Lado de 500 kV
n.º posições	33		30
Posição máxima	1,2964 p.u (680,61 kV)		1,2967 p.u (648,30 kV)
Posição mínima	0,9024 p.u (473,77 kV)		0,9217 p.u (460,85 kV)
Step	1,25%		1,30%
Tempo mínimo por step	5 s		5 s
Reatância do TR Conversor (RTrc)	0,218 p.u		0,18 p.u
Reatância de Comutação (Xc) ²	0,218 p.u		0,18 p.u
<u>FILTROS DE HARMÔNICOS</u>	96 Mvar (2A e 2B) (A) 13 ^a , 24 ^a e 36 ^a (B) 3 ^a , 13 ^a e 47 ^a	65 Mvar (1+1 res) ¹ 3 ^a e 11 ^a	110 Mvar (3+1 res) 11 ^a , 14 ^a e 24 ^a
Impedância da conexão CC	Ra = 0,4 ohm		

Notas: 1. Localizado no terminal de Candiota da LT 525 kV Candiota – C. F. Melo.

2. Xc = Impedância do Trafo conversor + Impedância efetiva da válvula (dependente da corrente CC) \cong RTrc.

Na figura a seguir está apresentado o diagrama unifilar simplificado da C. F. Melo.

Figura 2 – Diagrama unifilar simplificado da Conversora de Frequência de Melo – 2ª Interligação Brasil – Uruguai



Nota: 1. Não possui reator de alisamento (L = 0 ohm).

4.2.1 Deck para o Anarede

A seguir, decks Anarede para inserção/simulação da C. F. Melo, considerando uma potência transferida de 500 MW.

BRASIL ⇌ URUGUAI

```
DELO
(No) O ( V ) ( P ) ( Identificacao ) M E
4001 A 158.4 508. BtB MELO-----1 N L
99999
DCBA
(No) O TP( Nome ) Gl( Vd) ( Rs) (Elo
4101 A 1+MELO-BRA 157.5 4001
4102 A +MELO-URU 156.2 4001
4103 A 0MELO-NEU-BR 0. 4001
4104 A 0MELO-NEU-UR 0. 4001
99999
DCLI
(De) O (Pa)Nc P ( R ) ( L ) (Cn)
4101 A 4102 1 F .4
99999
DCNV
(No) O (CA ) (CC) (EL) T p (Ino) (Xc ) (Vfs) (Snt) (Rra) (Lra) (CCC) Fr
4201 A 9787 4101 4103 R 2 3206. 21.8 70. 324. 0.
4202 A 90018 4102 4104 I 2 3206. 18. 70. 324. 0.
99999
DCCV
(No) O FMC (Vsp) (Marg) (IMax) (Dsp) (Dtn) (Dtm) (Tmn) (Tmx) (S (Vmn) (Tmh) (Ttr)
4201 A P 500. 0. 19.2 5. 69. .9024 1.296 1.296 1.
4202 A F P 500. 10. 10. 25. 17. 69. .9217 1.297 1.297 1.
99999
```

URUGUAI ⇌ BRASIL

DELO

(No) O (V) (P) (Identificacao) M E
4001 A 158.4 508. BtB MELO-----1 N L

99999

DCBA

(No) O TP(Nome) Gl(Vd) (Rs) (Elo
4101 A +MELO-BRA 156.2 4001
4102 A 1+MELO-URU 157.5 4001
4103 A 0MELO-NEU-BR 0. 4001
4104 A 0MELO-NEU-UR 0. 4001

99999

DCLI

(De) O (Pa)Nc P (R) (L) (Cn)
4101 A 4102 1 F .4

99999

DCNV

(No) O (CA) (CC) (EL) T p (Ino) (Xc) (Vfs) (Snt) (Rra) (Lra) (CCC) Fr
4201 A 9787 4101 4103 I 2 3206. 21.8 70. 324. 0.
4202 A 90018 4102 4104 R 2 3206. 18. 70. 324. 0.

99999

DCCV

(No) O FMC (Vsp) (Marg) (IMax) (Dsp) (Dtn) (Dtm) (Tmn) (Tmx) (S) (Vmn) (Tmh) (Ttr)
4201 A F P 500. 10. 10. 22.96 17. 69. .9024 1.296 1.296 1.
4202 A P 500. 0. 22.03 5. 69. .9217 1.297 1.297 1.

99999

IMPORTANTE

Cabe destacar que, a partir de agora, devido a alteração ocorrida no modelo Anatem pelo uso da topologia compartilhada (DTDU e ACDU) no módulo de controle de fase, as barras CC serão fixas, não se alterando conforme o sentido de transferência (B⇒U ou U⇒B).

ORIENTAÇÕES ADICIONAIS:

- Se o caso de referência a ser utilizado já contiver alguns dos equipamentos aqui relacionados, deverá ser trocada a operação de “A” (adição) para “M” (modificação) nos respectivos equipamentos.
- O deck do sistema contempla todos os filtros conectados e todos os reatores manobráveis desconectados, sendo compatível para um caso de transferência entre Brasil e Uruguai de cerca de 500 MW, em ambos os sentidos.
- Para permitir/facilitar a convergência inicial no caso de inserção da Conversora, recomenda-se incluir (lado brasileiro) ângulos de partida próximos aqueles observados na primeira barra a qual será conectado este sistema.
- Para permitir/facilitar a convergência, sugere-se que seja incluída uma barra tipo 1 no 230 kV ou 525 kV de Candiota ou no 525 kV de Melo, devendo ser posteriormente retirada.
- Os valores de tensão CC e ângulo de disparo (retificador) e do ângulo de extinção (inversor) contidos nos decks acima são valores iniciais, devendo ser ajustados para cada ponto de operação e, adicionalmente, permitir a inicialização adequada dos modelos para os estudos de estabilidade (ver item 5.3.1.2 a seguir). **Lembra-se, contudo, que a inicialização pode ser obtida através dos gráficos (Anexos) ou pelo uso da Planilha fornecida junto ao modelo na Base de Dados de Estabilidade.**

4.3 Características operacionais da C. F. Melo

4.3.1 Modos de Operação

São, principalmente, dois os modos de operação da Conversora de Frequência de Melo, o Station Control Mode (SCM) e o Independent Control Mode (ICM), selecionados pelo operador local ou remotamente. O Master Control (MC) é aqui chamado Station Control (SC).

Quando em operação em SCM, utilizado p/ operação normal, os requisitos funcionais são:

- O Conversor, o LTC e os demais equipamentos de controle estarão sob comando do SC que controlará a Conversora de forma automática, de acordo com os limites selecionados, visando manter a potência definida pelo operador.
- O SC monitorará as malhas de controle de tensão CA (ACVCM) e de potência reativa em malha fechada (RPEM) e em malha aberta (OLRPC) e configurará os parâmetros de controle, conforme o modo selecionado.

Nota: O ACVCM somente pode ser utilizado em um dos lados, permanecendo o outro em OLRPC ou RPEM.

- Os comandos manuais, locais ou remotos, para o LTC e demais equipamentos estarão desabilitados.
- A Proteção se mantém operacional e os intertravamentos e a monitoração (medidas CC e alarmes) da planta permanecem ativos.

Quando em operação em ICM, **utilizada para realização de testes e para manutenção**, os requisitos funcionais são:

- Desabilita o comando do SC para os Conversores, o LTC e demais equipamentos.
- Para finalidade de comissionamento, será fixada a potência para o Polo.
- Para finalidade de manutenção, o LTC e demais e equipamentos de controle, ficam, normalmente, em controle automático, mas podem ser chaveados para controle manual, local ou remotamente.
- Para outras finalidades, tais como: Teste em circuito aberto do conversor, somente poderão ser realizadas através de interface da Engenharia de manutenção.
- A Proteção se mantém operacional e os intertravamentos e a monitoração (medidas CC e alarmes) da planta permanecem ativos.

A operação neste modo pode controlar os polos de forma individual, caso exista mais de um polo no futuro.

4.3.2 Controle básico e Característica Estática

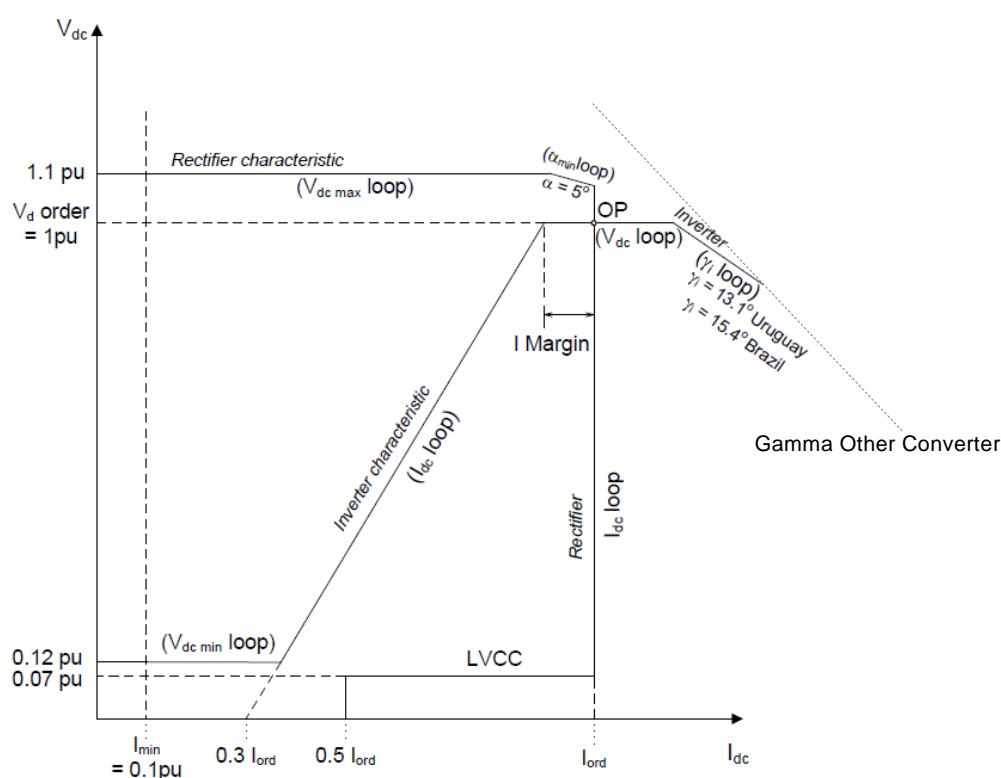
Retificador

- a) Ordem de corrente controlada pelo ângulo de disparo (α).
- b) LTC do transformador conversor mantém a tensão V_{wV} (lado das válvulas) dentro da faixa definida.

Inversor

- a) Tensão CC controlada pelo ângulo de extinção (γ).
- b) LTC do transformador conversor mantém a tensão V_{wV} (lado das válvulas) dentro da faixa definida.

Figura 3 – Característica Estática



Cada segmento da característica estática está implementado por uma malha de controle rápida (loops) no sistema de controle do Conversor. Em caso de ocorrência de reduções significativas na tensão AC do sistema (lado do retificador), sem obtenção do controle da corrente CC mesmo após o ângulo de disparo ter atingido seu valor mínimo, e até que ocorra a recuperação da tensão ou atuação do LTC ou o LTC tenha atingido seu limite, o terminal inversor passa a controlar a ordem de corrente CC pela variação do ângulo de extinção até seu valor mínimo. A partir daí, após ser esgotada a margem de corrente previamente definida (I margin) ocorrerá uma redução na potência CC transferida abaixo de um valor máximo possível de ser transferido pelo HVDC nesta condição, visando manter a operação do HVDC.

4.3.3 Controle de potência reativa e tensão CC – RPC

- **Chaveamento dos filtros e reator**

Os degraus de tensão impostos pelo sistema CA são limitados pelos controles do conversor e o chaveamento dos filtros é **permanentemente** comandados pela malha de controle de potência reativa em malha aberta (OLRPC). Pares de elementos de compensação shunt reativa são normalmente chaveados juntos, em ambos os lados, com a mesma ordem de potência transferida, visando minimizar os impactos nos sistemas CA.

Os filtros são chaveados da seguinte forma:

Tabela 4 – Níveis de potência definidos para conexão e desconexão dos filtros

Filtro	Conexão (%Pdc / MW)	Desconexão (% Pdc / MW)
1 ¹	<i>Desbloqueio do HVDC</i>	<i>Bloqueio do HVDC</i>
2	23,6 / 119	17,7 / 89,9
3	47,2 / 239,8	41,3 / 209,8

Nota: 1. Inclui o chaveamento, no 60 Hz, do filtro de 65 Mvar em Candiota (LT 525 kV Candiota – C.F. Melo).

As ações a seguir serão tomadas antes e depois da conexão dos filtros:

- O conversor é operado de tal forma que, para a potência reativa transferida, a tensão CC é ajustada para o valor máximo permitido.
- O LTC é desabilitado antes da conexão do filtro.

CONEXÃO DE FILTRO CA

- A Tensão CC é ajustada para o valor mínimo.
- Se a potência reativa transferida estiver fora dos limites, a tensão CC será ajustada dentro da faixa para trazer o Mvar para o valor limite.
- O LTC é habilitado.
- Se o Mvar transferido permanecer fora dos limites, o LTC opera para trazê-la de volta.

As ações a seguir serão tomadas antes e depois da desconexão dos filtros:

- O conversor é operado de tal forma que, para a potência reativa transferida, a tensão CC é ajustada para o valor mínimo permitido.
- O LTC é desabilitado antes da desconexão do filtro.

DESCONEXÃO DE FILTRO CA

- A Tensão CC é ajustada para o valor máximo.
- Se a potência reativa transferida estiver fora dos limites, a tensão CC será ajustada dentro da faixa para trazer o Mvar para o valor limite.
- O LTC é habilitado.
- Se a Mvar transferido permanecer fora dos limites, o LTC opera para trazê-la de volta.

Contudo, existem três malhas de controle OLRPC (Controle de potência reativa em malha aberta), ACVCM (Controle da tensão CA em um dos lados) e RPEM (Controle de Potência reativa transferida em malha fechada), que serão detalhadas a seguir. Conforme incluído acima três filtros são chaveados em diferentes níveis de potência transferida na Conversora para atendimento aos requisitos de potência reativa e de harmônicos. O modo ACVCM somente pode ser usado para um dos lados do Conversor e ainda, em situações nas quais exista um sistema robusto para suportar tal ação.

Um quarto filtro existe para prover redundância e os quatro são utilizados ciclicamente para equalizar seus requisitos de chaveamento. No lado brasileiro o quarto filtro somente pode ser chaveado através de controle manual. Um alarme avisando que seu chaveamento está permitido para ser realizado é emitido quando as seguintes condições são satisfeitas:

Conexão do 4º filtro (o operador deve ligar o filtro de Candiota manualmente)

- *três filtros CA já estão energizados no lado de 60 Hz*
e
- ***o sentido de transferência é do Uruguai para o Brasil***
e
- *a potência transferida excede 0,862 p.u (437,9 MW)*
e
- *o tempo de absorção do limite de potência reativa excedeu 60 s;*
ou
- *o Conversor está operando no limite, ou seja, a ordem da tensão CC está definida em seu limite máximo, mas a tensão nas válvulas está em seu limite mínimo e o modo RPEM está selecionado;*
ou
- *a tensão CA está menor que 0,93 p.u por 60 s e o modo ACVCM está selecionado.*

Desconexão do 4º filtro (o operador deve desligar o filtro de Candiota manualmente)

- *quatro filtros CA já estão energizados no lado de 60 Hz*
e
- *a potência transferida é menor que 0,803 p.u (407,9 MW)*
ou
- *a potência transferida $\geq 0,803$ p.u (407,9 MW) e a potência reativa limite está sendo exportada a mais de 60 s e o Conversor está operando no limite, ou seja, a ordem da tensão CC está definida em seu limite mínimo, mas a tensão nas válvulas está em seu limite máximo e o modo RPEM está selecionado;*
ou
- *a potência transferida $\geq 0,803$ p.u (407,9 MW) e a tensão CA está maior que 1,07 p.u por 60 s e o modo ACVCM está selecionado.*

Assim sendo, os recursos de operação do LTC do transformador conversor, do chaveamento de elementos de compensação reativa e do controle da tensão CC são utilizados de forma coordenada pelas malhas de controle do Conversor, visando prevenir interações indesejáveis entre os controles e entre os sistemas interconectados.

- **Controle da Tensão CC**

O Conversor absorve potência reativa em uma proporção da potência ativa quando opera com o ângulo de disparo do retificador ou o ângulo de extinção do inversor constante. O nível de potência reativa absorvida pelo Conversor pode ser aumentado a partir do aumento destes ângulos, reduzindo a tensão CC nas válvulas. A técnica de variação da tensão CC para o controle da potência reativa do Conversor fornece uma resposta rápida a variações repentinas da demanda de Mvar. A máxima tensão CC permitida para o Conversor varia a medida que a potência transferida aumenta para compensar, parcialmente, a queda de tensão no transformador conversor (que afeta a tensão nas válvulas). O limite mínimo é o nível de tensão CC abaixo do limite máximo que é necessário para fornecer um intervalo de ação que permita o controle da potência reativa pelo RPC.

Os modos de operação podem ser os seguintes:

1. OLRPC lado A e OLRPC lado B
2. OLRPC lado A e ACVCM lado B
3. OLRPC lado A e RPEM lado B
4. ACVCM lado A e OLRPC lado B
5. ACVCM lado A e RPEM lado B
6. RPEM lado A e OLRPC lado B
7. RPEM lado A e ACVCM lado B
8. RPEM lado A e RPEM lado B

Nota: Não é permitida a operação no modo ACVCM em ambos os lados.

Quando o modo OLRPC é selecionado em ambos os lados, o controle da tensão CC (em malha fechada) é desabilitado e o perfil de tensão CC é gerado por dispositivo denominado Optimum Voltage Order Generator.

Quando o ACVCM é selecionado, o erro “eVac”, que passa pela banda morta “Vac Deadband” (0 p.u.) é usado para determinar, no lado selecionado para ACVCM, a aplicação de um degrau de tensão CC pela atuação no ângulo do conversor e após atingido seu limite, pela atuação do LTC.

Quando o RPEM é selecionado para um lado, o erro eQscheme, que passa por uma banda morta “Q (reactive power exchange) deadbander” (2 Mvar) é usado para determinar uma alteração na ordem de tensão CC pela atuação no ângulo do conversor e após atingido seu limite, pela atuação do LTC.

No caso do RPEM ser selecionado para ambos os lados, então os dois erros serão somados. Quando o limite superior do Mvar exportado é atingido, a tensão CC é reduzida para aumentar a absorção de potência reativa pelo Conversor. Quando o limite inferior do Mvar exportado é atingido, a tensão CC é aumentada para reduzir a absorção de Mvar pelo Conversor.

Em todos os casos e para cada nível de potência CC transferida, os limites superior e inferior da tensão CC gerados pelo “Extreme Limit Calculator” serão respeitados, assim como os limites máximo e mínimo da tensão nas válvulas da VwV (Valve winding Voltage) nos esquemas onde o LTC é usado para dar suporte a eventuais violações do limite de Mvar transferido.

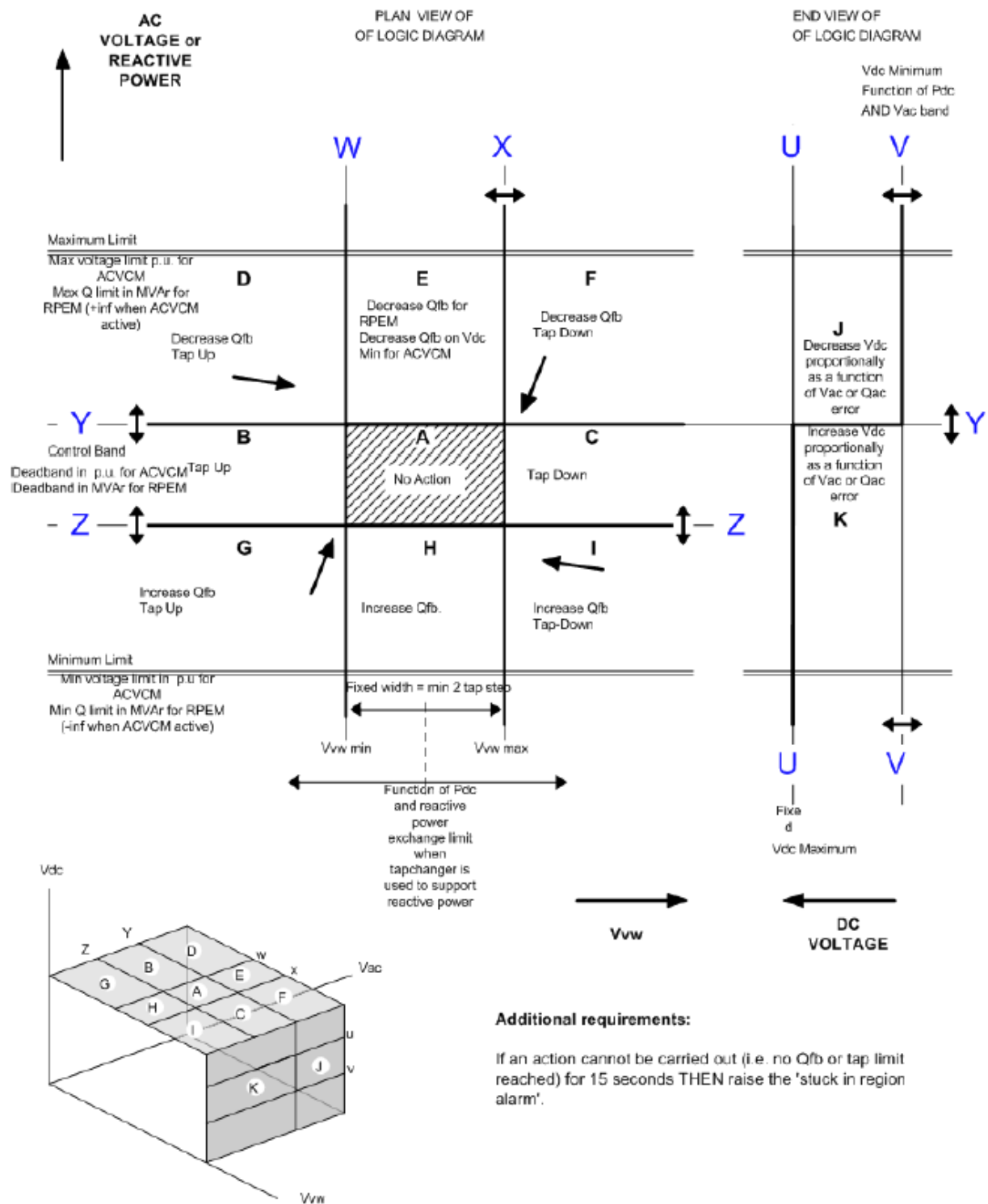
De forma similar, as ações do RPC respeitam os limites definidos pelas zonas de seleção. A superfície $V_{ac}/Q \times V_{wv}$ é dividida em 9 zonas com diferentes sequências de controle (A para I). A superfície $V_{ac}/Q \times V_{dc}$ é dividida em três zonas de ação. Existem, portanto, seis fronteiras que definem os limites entre as zonas (Fronteiras U, V, W, X, Y e Z).

As seis fronteiras são descritas a seguir:

1. U (Limite máximo da tensão CC, em p.u)
2. V (Limite mínimo da tensão CC, em p.u, como função da potência transferida)
3. W (Limite mínimo da tensão nas válvulas (VwV) em p.u, como função da potência transferida)
4. X (Limite máximo da tensão nas válvulas (VwV) em p.u, como função da potência transferida)
5. Y (Limite máximo VCA em p.u (ACVCM) ou Q em Mvar (RPEM), selecionado pelo Operador)
6. Z (Limite mínimo VCA em p.u (ACVCM) ou Q em Mvar (RPEM), selecionado pelo Operador)

Esta ação de controle possui 9 zonas de ação (A-I).

A seguir está incluído um diagrama de estado da ação do RPC, que coordena a ação das demais funções associadas ao controle de potência reativa / tensão.



5 REPRESENTAÇÃO NO PROGRAMA DE ESTABILIDADE TRANSITÓRIA

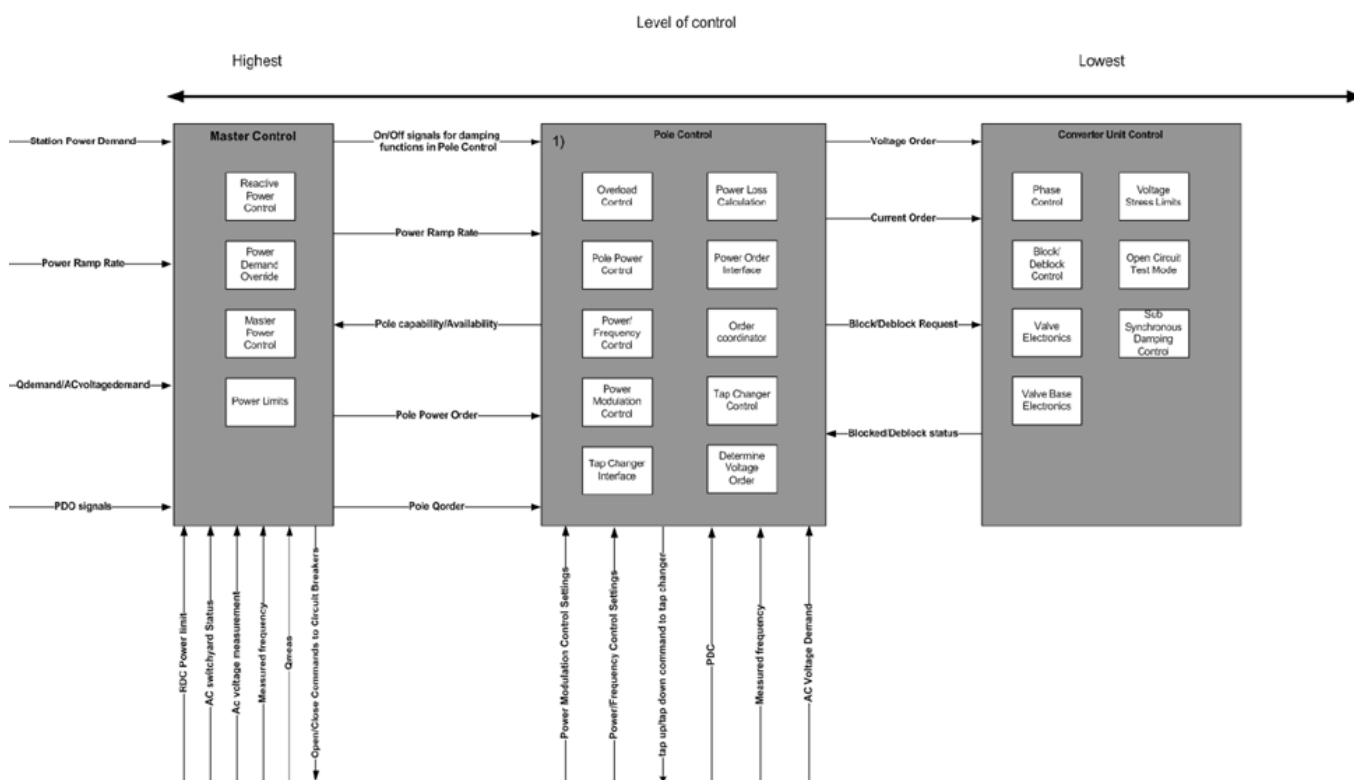
5.1 Estrutura do Controle

Antes de apresentar o que foi incorporado ao modelo, são descritas a seguir as funções presentes no Station Control (SC) da C. F. Melo.

- Master Power Control (MPC) – Controle de Potência principal
- Power Limits – Definição de Limites
- Power Demand Override (PDO) – Programa de Despacho da Conversora (local/remoto)
- Voltage Stability Control (VSC) – Controle de Estabilidade de tensão.
- Reactive Power Control (RPC) – Controle de Potência reativa, cujas funções são:
 - OLRPC – Controle de potência reativa em malha aberta
 - RPEM – Controle de potência reativa em malha fechada
 - ACVCM – Controle da tensão em um dos lados CA
 - TOV/TUV – Controle das sobretensões e subtensões temporárias

A figura a seguir apresenta uma visão geral do sistema de controle, por nível hierárquico, e os sinais adicionais disponíveis, cabendo destacar que a função TUV não está habilitada para a C. F. Melo. Em relação aos sinais adicionais, cabe destacar que, inicialmente, não estão presentes na C. F. Melo, conforme definido na especificação.

Figura 4 – Visão geral do sistema de controle e dos sinais adicionais do HVDC GE/Alstom



Nota: Algumas das funções aqui apresentadas (sinais adicionais) não estarão ativados na C. F. Melo (ver itens a seguir).

- **Sinais Adicionais (Funções de controle de caráter sistêmico)**

Inicialmente, baseado nas análises realizadas pelo fabricante (GE/ALSTOM), as funções Power/Frequency Control (PFC), para auxílio no controle da frequência dos sistemas CA, Power Modulation Control (PMC), para prover amortecimento a eventuais oscilações eletromecânicas observadas nos sistemas CA e Sub-Synchronous Damping Control (SSDC), para prover amortecimento a eventuais interações torcionais subsíncronas observadas entre os controles do HVDC e geradores eletricamente próximos, não foram ativadas para a C. F. Melo.

Contudo, a partir de um aprofundamento das análises relativas à ocorrência de interações torcionais subsíncronas entre o HVDC de Melo e as unidades geradoras eletricamente próximas, observou-se a possibilidade de ocorrência de interações com as UG das usinas termelétricas de P. Médici e Candiota III.

Assim sendo, a GE/ALSTOM realizou estudos adicionais ratificando esta conclusão, fato que definiu a necessidade da implementação na C. F. Melo de um dispositivo mitigador denominado SSDC (Sub-Synchronous Damping Control).

O SSDC prove amortecimento positivo para oscilações torcionais subsíncronas associadas a geradores próximos, respondendo a variações no ângulo de fase da tensão da barra do conversor e a variações na corrente CC modulando a ordem de corrente do polo.

O SSDC não é modelado no programa de estabilidade, devido às características do fenômeno envolvido.

5.2 Modelagem para os estudos dinâmicos (NOVO MODELO)

Para a elaboração dos estudos dinâmicos foi complementado o modelo CDU existente, sendo implantadas as principais alterações conforme incluído no item 3 deste relatório.

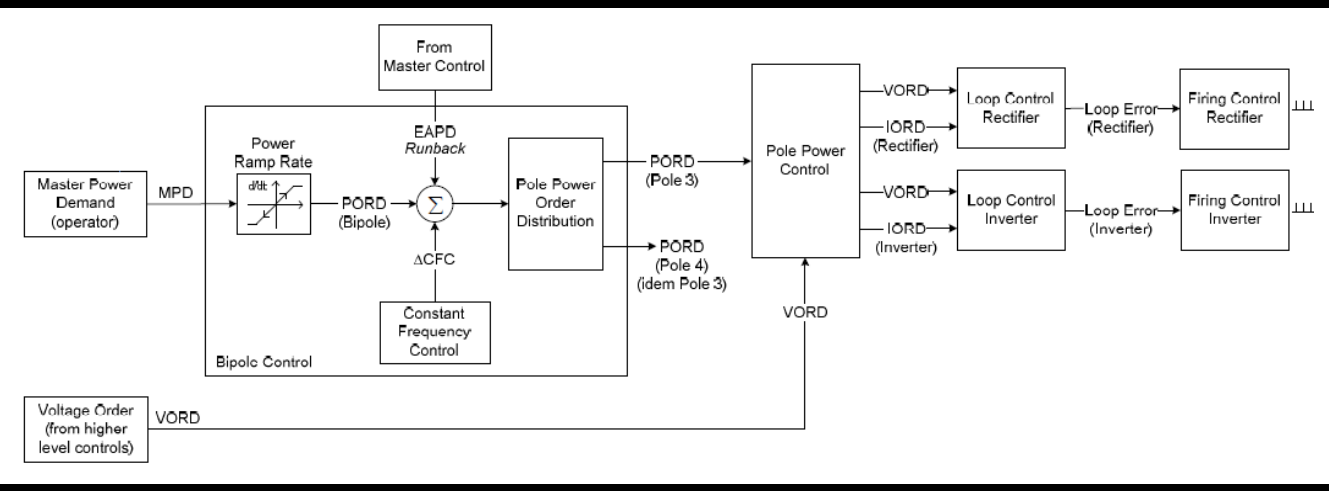
O novo modelo é composto por diversos módulos CDU, os quais contém os controles principais e controles auxiliares existentes na Conversora de Frequência Melo, quais sejam:

Controles principais	Pole Power Control Phase Control	
Controles Auxiliares	Tap-Changer Control (TCC) Voltage Stability Control (VSC) Runback Control	
	Reactive Power Control (RPC) ¹	Open-loop reactive power Control (OLRPC) Reactive Power Exchanged Mode (RPEM) Temporary Overvoltage Control (TOV) AC Voltage Control Mode (ACVCM)

Nota: 1. O TUV não está disponível para a C. F. Melo.

A figura a seguir apresenta um diagrama de bloco funcional dos controles da C. F. Melo.

Figura 5 – Diagrama funcional simplificado dos controles da C. F. Melo



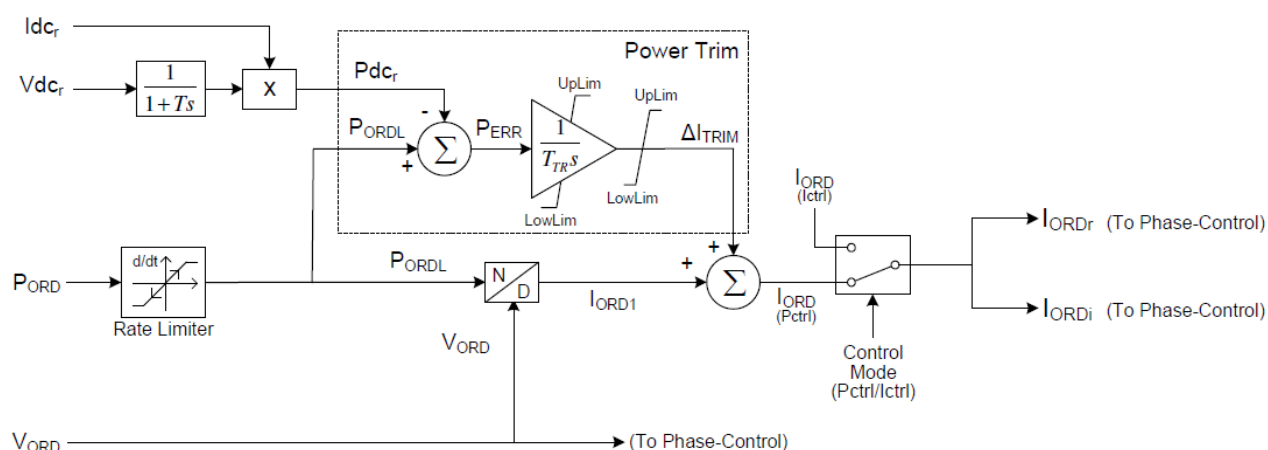
A seguir serão descritas, resumidamente, as funções mais relevantes de cada malha de controle.

5.2.1 Controles Principais

✓ Pole Power Control – Controle da ordem de potência do HVDC)

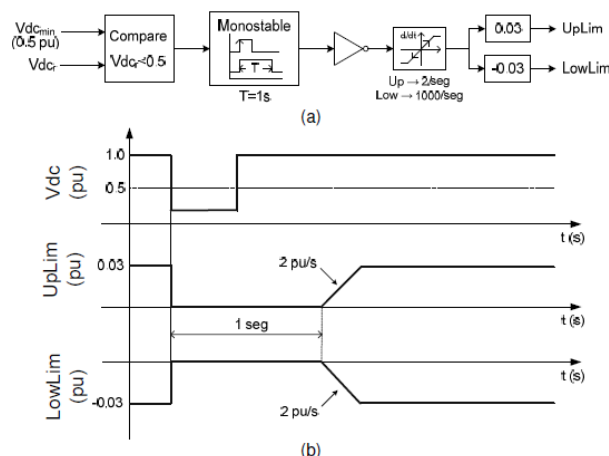
A ordem de potência do polo é definida pelo operador de acordo com os limites do HVDC (incluindo as taxas de tomada e redução de potência). A ordem de corrente (IORD1) advém da divisão do PORD pela ordem de tensão (VORD), a qual é mantida dentro dos limites, em regime pré-definidos.

Figura 6 – Diagrama de Blocos simplificado do Pole Power Control



Devido às diferenças entre a ordem de tensão e aquela medida, a potência CC pode desviar da ordem de potência em regime. Para garantir uma P_{cc} igual a P_{ORD} , uma ação integral lenta chamada *power trim*, é introduzida. A função *power trim* é submetida a limites internos ($UpLim$ e $LowLim$) para garantir uma margem apropriada para correção e, ao mesmo tempo, minimizar o impacto durante grandes perturbações. Estes limites são temporariamente desabilitados em caso de distúrbios severos. Em condições normais são iguais a ± 0.03 p.u. Durante perturbações que promovam afundamentos da tensão CC, os limites são rapidamente reduzidos a zero, por 1 segundo, e então retornam aos valores normais a uma taxa de 2 p.u/s.

A lógica *power trim freezing* é mostrada na figura a seguir.



✓ **Phase Control – Controle de disparo dos Conversores (RET / INV)**

A ordem de corrente determinada pelo Pole Power Control é submetida a uma função denominada **VDCOL** (*Voltage Dependent Current Order Limits*) antes de ser introduzida na malha de controle. A função do VDCOL é reduzir a ordem de corrente em função da tensão, visando auxiliar a recuperação da tensão CA após a ocorrência de faltas pela redução da potência reativa consumida pelos conversores.

Diversas funções são implementadas na malha de controle visando garantir uma operação segura e um apropriado desempenho do HVDC. Cada função produz um sinal de erro e então uma decisão lógica é usada para selecionar qual sinal de erro será enviado para o controle de disparo dos conversores. Em condições normais de operação a função 1 do retificador controla a ordem de corrente CC (*Iorder*) e a função 2 do inversor controla a tensão CC. Em caso de esgotamento da margem de corrente, a função 1 fica ativa no inversor, passando a controlar a ordem de corrente pela variação do ângulo de extinção (e consequentemente a tensão CC) até seu limite, quando então a Potência passa a ser reduzida. As demais funções de controle também têm ação somente durante situações anormais associadas a ocorrência de distúrbios.

São as seguintes as funções de controle existentes no retificador e no inversor.

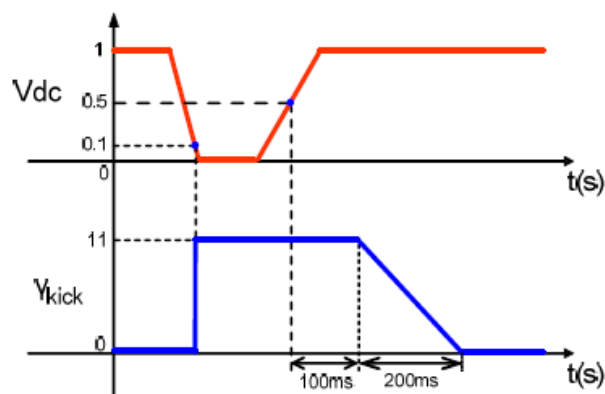
RETIFICADOR	INVERSOR
Função 1 – DC current;	Função 1 – DC current;
	Função 2 – DC voltage;
Função 3 – Gamma Min;	Função 3 – Gamma Min;
Função 4 – AC voltage;	Função 4 – AC voltage;
Função 5 – Alpha Max;	Função 5 – Alpha Max;
Função 6 – Gamma Other Side;	
Função 7 – Max DC Voltage;	Função 7 – Min DC Voltage;
Função 8 – Alpha Min.	Função 8 – Alpha Min.

As malhas de controle estão representadas em detalhe no modelo ANATEM e, adicionalmente, dois controles suplementares estão representados no lado inversor:

✓ **Gamma Kick function**

Aumenta a referência “gamma minimum” da função 3 (Gamma Min) em 11°, baseada no nível de distorção harmônica das tensões CA.

Dado que o ANATEM considera somente valores de sequência positiva à frequência fundamental, o Gamma Kick não pôde ser modelado. Assim, para aproximar a resposta real, uma função Gamma Kick baseada na tensão CC foi implementada no ANATEM. Se a tensão CC cai abaixo de 0,10 p.u, esta função aumenta a ordem de gamma por 11°. Quando a tensão CC sobe acima de 0,50 p.u, a função segura o gamma por mais 100 ms e então, promove um rampeamento lento de 11° para 0° em 200 ms. Esta estratégia é mostrada na figura a seguir.



✓ Alpha Advance (ALAD)

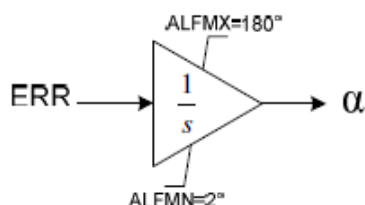
Reduz a referência “alpha maximum” da função 5 (Alpha Max) em 35° a partir da detecção de falha de comutação.

O sinal da função Alpha Advance depende da detecção da falha de comutação. No PSCAD a detecção é feita pela comparação da corrente AC (enrolamento do transformador conversor) com a corrente CC. Se a corrente CC é maior que a corrente AC a falha de comutação é detectada.

Dado que no ANATEM a representação da rede baseada em fasores não permite a representação individualizada das válvulas, as falhas de comutação não podem ser modeladas com precisão. Assim, para representar a resposta do HVDC a uma falha de comutação, o lado CC do inversor é curto circuitado por um determinado período de tempo se o ângulo de extinção (γ) cai abaixo de um valor especificado. O ângulo de extinção mínimo utilizado no ANATEM é de 8° . A duração da falha de comutação dependerá da localização da falta e deve ser ajustada de acordo. Para faltas remotas a falha de comutação fica por 1 ou 2 ciclos (< 30 ms). Contudo, para faltas próximas ao barramento do conversor a falha de comutação permanece por todo o período da falta (cerca de 100 ms). Durante a falha de comutação o valor de ângulo de extinção é assumido como sendo zero no ANATEM. Todavia, no PSCAD valores diferentes de zero são obtidos. Assim sendo, dado que algumas malhas de controle utilizam diretamente o ângulo de extinção, suas saídas apresentarão erros. Isto pode resultar em diferentes comportamentos do HVDC (ANATEM x PSCAD), principalmente durante os primeiros ciclos após a eliminação da falta. Em função disso a Função 5, do lado inversor, é desabilitada durante falhas de comutação.

Phase-Locked Oscillator

A saída do Phase control é um sinal de erro que é injetado no Phase-Locked Oscillator (PLO), que é o coração do controle de disparo. Devido às limitações de modelagem do ANATEM, a ação do PLO é aproximada por um simples integrador com limites, como mostrado na figura a seguir.



O sinal de entrada do PLO é selecionado por uma decisão lógica a cada passo de integração. Sua saída é um ângulo de disparo algébrico usado para calcular as grandezas CC e determinar as potências ativa e reativa injetadas na rede CA.

5.2.2 Controles Auxiliares

✓ Tap-Changer Control (TCC) – Controle do comutador sob carga

O TCC dos terminais retificador e inversor do HVDC back-to-back de Melo operam de forma a manter as tensões AC nos secundários dos respectivos transformadores conversores (VWV - Valve-Winding Voltages) dentro de limites especificados. Estes limites dependem do terminal (Brasil ou Uruguai), do modo de operação (retificador ou inversor) e da ordem de potência do back-to-back.

O valor medido de VWV (em p.u) utilizado pelo sistema controle é obtido dividindo-se a tensão no primário do transformador conversor (VLW – Line-Winding Voltages) pelo tape do transformador (tensão de circuito aberto). O TCC de cada terminal compara o valor medido de VWV com os limites especificados e, caso o valor medido permaneça fora da faixa por um período superior a 500 ms, um comando para comutação de tape (TUP ou TDN) é gerado. Esta temporização é necessária para evitar que o controle de tape atue para eventos transitórios, como faltas nos sistemas AC e DC. Após o envio do comando, a mudança efetiva do tape é efetuada após 5 segundos.

No lado brasileiro, o tape pode variar dentro da faixa $0,9024 < TAP < 1,296$, em passos de 0,0125, totalizando 33 posições de tape.

No lado uruguaio, o tape pode variar dentro da faixa $0,9217 < TAP < 1,297$, em passos de 0,013, totalizando 30 posições de tape.

O TCC está representado no modelo nos CDUs 9093 (Brasil) e 9094 (Uruguai). O modelo identifica automaticamente o modo de operação do conversor (retificador ou inversor) e importa ordem de potência do CDU 9335 (Power Control) para determinar os limites de VVW correspondentes.

O modelo recebe ainda comandos externos para mudança de tape (TUPEX ou TDNEX) provenientes do CDU 9920 (RPC – Reactive Power Control).

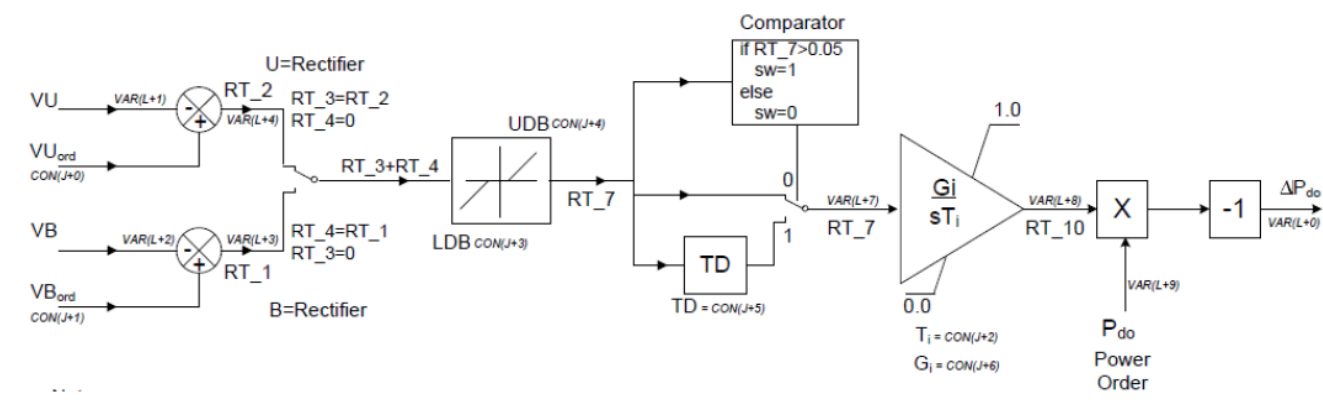
O usuário tem a opção de colocar o TCC em modo Manual (#AUTO=0) ou em modo Automático (#AUTO=1). Em modo Manual, o tape é inicializado com o valor importado do caso de fluxo de potência e alterações só podem ser efetuadas via DEVT (comando TCDU) no bloco ENTRAD referente a variável TAPMAN (bloco 19).

✓ Voltage Stability Control (VSC) – Controle de estabilidade de tensão

Esta malha de controle produz um sinal que reduz a ordem de potência do back-to-back em condições de quedas acentuadas de tensão AC. O VSC atua apenas no terminal retificador.

O diagrama de blocos do VSC é apresentado na figura a seguir.

Figura 7 – Diagrama de Blocos simplificado do Voltage Stability Control (VSC)



O VSC identifica automaticamente qual terminal opera como retificador e compara o valor medido de VLW com um valor de referência (ajustado em **0,9 p.u** em ambos os terminais), produzindo um sinal de erro. O sinal de erro passa por uma banda morta ajustada em 0,0/+0,02 p.u para garantir que o VSC só irá permitir que a ordem de potência aumente novamente após a VLW se recuperar acima de 0,92 p.u.

O sinal de erro resultante é aplicado a um integrador, cuja saída corresponde a um fator entre 0,0 e 1,0. A saída do integrador é inicializada com 0,0. A ordem de potência é multiplicada pela saída do integrador para produzir um sinal que reduz a ordem de potência. Os parâmetros do integrador são $G_i=1,0$ e $T_i=1,0$.

O VSC deve ser capaz de detectar quando há um problema real de instabilidade de tensão ou quando a queda de tensão é resultado de uma falta no sistema. Para isto, uma queda em VLW abaixo do valor de referência por um montante superior a 0,05 p.u é detectada. Quando isto ocorre, a saída do integrador é congelada em zero por um período de tempo $T_d=1,0$ s e então liberada. Este tempo deve ser longo o suficiente para que faltas no sistema tenham sido eliminadas.

O VSC estava originalmente representado em um CDU próprio (CDU 9318). Nesta revisão, ele foi incorporado ao CDU 9335 (Power Control), eliminando assim o CDU 9318. O modelo identifica automaticamente qual terminal está operando como retificador e utiliza a medição de VLW deste terminal. A saída do integrador é ($\Delta PVSC$) é somada à ordem de potência PORD.

O usuário tem a opção de ligar ou desligar o VSC fazendo o parâmetro #VSC=1 ou #VSC=0, respectivamente.

✓ **Reactive Power Control (RPC) – Controle de potência reativa**

O RPC exerce as seguintes funções básicas:

- Comandar a conexão e desconexão dos 3 primeiros filtros em níveis pré-determinados de ordem de potência (ver tabela 4). Os filtros em ambos os lados são chaveados simultaneamente, isto é, um filtro será energizado tanto no retificador quanto no inversor para o mesmo valor de PORD. Este é um controle em malha aberta executado pela função Open-loop reactive power Control (**OLRPC**).
- Determinar a ordem de tensão CC (VORD) e enviá-la para o Power Control e para o Phase Control, de forma a manter o intercâmbio de potência reativa em um ou em ambos os terminais dentro de limites especificados (RPEM) ou a tensão de tensão CA dentro de uma faixa especificada (ACVCM).

E

- Enviar comandos de mudança de tape para o TCC se o intercâmbio de potência reativa (RPEM) ou a tensão CA (ACVCM) estiverem fora dos limites especificados após o ajuste de VORD. Estes são controles em malha fechada executados pela função Reactive Power Control – Exchanged Mode e AC Voltage Control Mode (**RPC-RPEM e RPC-ACVCM**).
- Comandar a desconexão de filtros em ambos os terminais e a conexão do reator no lado Uruguaio quando condições de sobretensão são detectadas. Esta ação de controle é executada pela função Temporary Overvoltage Control (**TOV**).

O RPC é representado em dois diferentes CDUs. As ações associadas ao RPEM e ACVCM são modeladas no CDU 9920 (“MELO-RPC”), enquanto as ações associadas ao OLRPC e TOV são realizadas nos CDUs 9395 (“OLRPC-TOV-UR”) e 9396 (“OLRPC-TOV-BR”).

Os filtros (e o reator no lado uruguaio) são representados por meio de bancos shunt individualizados em cada terminal, e sua conexão e desconexão automática é realizada pelo modelo por intermédio do bloco EXPORT STBSH. O modelo pode comandar o chaveamento automático dos três filtros localizados em Melo 60 Hz (Brasil), do filtro localizado em Candiota e do reator e dos três filtros localizados em Melo 50 Hz (Uruguai).

O usuário tem a opção de colocar o RPC em modo Manual (#AUTO=0) ou em modo Automático (#AUTO=1). Em modo Manual, o número de filtros e o status do reator é inicializado com o valor importado do caso de fluxo de potência e alterações só podem ser efetuadas via DEVT (comando TCDU) no bloco ENTRAD referente a variável TAPMAN (bloco 19).

Estes modos podem ser selecionados de forma independente nos dois terminais, mas os sinais de erro produzidos nos mesmos são combinados de forma coordenada antes de serem enviados ao integrador comum, que determina a ordem de tensão VORD usada pelo sistema de controle (ver mais detalhes na tabela da figura 10).

As funções podem ser habilitadas ou desabilitadas de forma independente em cada terminal, permitindo diversas combinações entre os modos de controle. A única combinação de modos de controle não permitida simultaneamente nos dois terminais é a ACVCM.

A seleção do modo de controle no modelo é feita no CDU 9920 (“MELO-RPC”) por meio das variáveis MODEB e MODEU. Os ajustes dessas variáveis devem ser feitos de acordo com a tabela a seguir.

Tabela 5 – Seleção dos modos de controle no modelo anatem – CDU

MODEB ou MODEU	Modo de Controle
1	OFF (apenas OLRPC)
2	RPEM
3	ACVCM

O usuário tem a opção de ligar ou desligar o RPC fazendo $\#L/D=1$ ou $\#L/D=0$, respectivamente. Quando desligado, VORD é inicializada com o valor inicial da tensão DC importado do caso base de fluxo de potência e mantida constante durante toda simulação. É recomendável que o RPC-RPEM só seja ligado ($\#L/D=1$) se o usuário for realizar algum estudo na área de influência do Back-to-Back de Melo, de forma a evitar problemas de inicialização devido à parametrização incorreta do modelo.

As funções do RPC são descritas em mais detalhes nos itens a seguir.

- **(OLRPC) – Controle de potência reativa em malha aberta**

O OLRPC **que está permanentemente ativo**, conecta e desconecta filtros em função da ordem de potência. Os pontos de chaveamento estão apresentados na tabela 4 deste relatório.

O OLRPC está representado no modelo nos CDUs 9395 (Uruguai) e 9396 (Brasil). O modelo importa a ordem de potência do CDU 9335 (PORD) e chaveia filtros automaticamente quando PORD ultrapassa os valores de referência por um tempo superior a $\#TDOL$, sem necessidade de intervenção do usuário. Filtros são conectados durante rampas de subida, enquanto a desconexão ocorre durante rampas de descida.

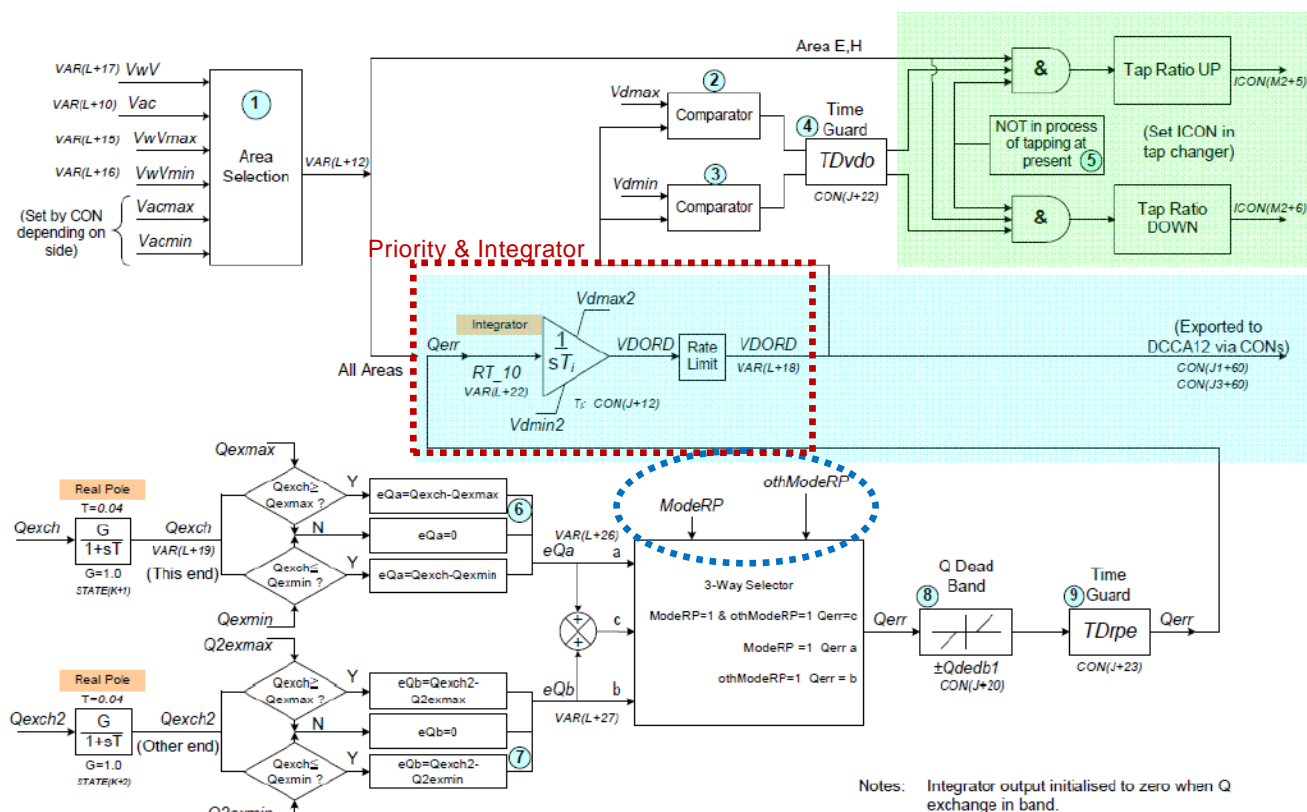
O OLRPC efetua ainda um degrau na ordem de tensão ($\Delta VORD$) imediatamente antes do chaveamento de cada filtro, de forma a compensar a variação no intercâmbio de potência reativa imposto no chaveamento, quais sejam: Conexão/desconexão -20%/+20% (2º filtro) e -10%/+10% (3º filtro). Esta ação está representada no CDU 9920 (“MELO-RPC”).

É importante que o número correto de filtros em função do nível de potência esteja conectado no caso base de fluxo de potência. Caso contrário, ao se iniciar a simulação um comando para chaveamento de filtros será gerado, mesmo que nenhum evento seja aplicado.

- **(RPC-RPEM – Reactive Power Control – Reactive Power Exchanged Mode) – Controle de intercâmbio de potência reativa em malha fechada**

O intercâmbio de potência reativa é monitorado constantemente e um sinal de erro é produzido se o intercâmbio sai dos limites especificados. Se os intercâmbios estão dentro dos limites, o sinal de erro é zero. Estes limites dependem do terminal considerado (Brasil ou Uruguai), do modo de operação do conversor (retificador ou inversor) e da ordem de potência do back-to-back. O sinal de erro total pode ser composto pelo erro medido em um dos terminais (eQa ou eQb) ou pela soma dos erros individuais dos dois terminais, dependendo do modo de operação do RPC em cada lado do HVDC (seleção das variáveis ModeRP e othModeRP), conforme mostrado na figura a seguir.

Figura 8 – Diagrama de Blocos simplificado do RPEM



O sinal de erro total passa então por uma banda morta de $\pm 2,0$ Mvar para prevenir batimentos de controle devido a pequenas oscilações. Para evitar que o RPEM atue para eventos transitórios de curta duração, o RPEM detecta esta condição e aguarda 800 ms antes de realizar alguma ação.

O sinal de erro é enviado para uma lógica de priorização de erros, que recebe os sinais de erro dos dois terminais, independentemente do modo de controle selecionado (RPEM ou ACVCM). Esta lógica determina qual sinal de erro vai ser enviado ao integrador.

O integrador, com constante de tempo de 1 segundo, fornece uma saída corresponde a ordem de tensão CC do back-to-back (VORD). Se o erro é positivo, isto é, o back-to-back está absorvendo potência reativa líquida do sistema, então o RPEM irá comandar o aumento de VORD para reduzir o consumo de potência reativa do conversor (redução dos ângulos de controle). Por outro lado, se o erro é negativo, isto é, o back-to-back está exportando potência reativa líquida para o sistema, então o RPEM irá comandar a redução de VORD para aumentar o consumo de potência reativa do conversor (aumento dos ângulos de controle).

Os limites do integrador, que correspondem aos limites de VORD, dependem do sentido de transmissão de potência (UR→BR ou BR→UR), da ordem e potência e do sentido da rampa de potência (crescente ou decrescente). Imediatamente antes dos pontos de chaveamento programado de filtros, uma variação em degrau é aplicada em VORD para minimizar o impacto do chaveamento na tensão CA. Como há uma histerese entre os pontos de conexão e de desconexão dos filtros, diferentes limites são usados para rampas crescentes e decrescentes de potência. Quando o back-to-back não está executando uma rampa de potência, os limites considerados pelo RPEM são os do último rampeamento realizado. A variação de VORD também é sujeita a uma taxa máxima. *No caso de Melo, esta taxa foi ajustada em um valor muito elevado, virtualmente desabilitando esta limitação.*

O RPC-RPEM também envia comandos de comutação de tape para o TCC se os limites de VORD forem alcançados e se as respectivas tensões no secundário dos transformadores conversores estiverem dentro da faixa especificada (dada pelos limites de V_{wVmax} e V_{wVmin} e V_{acmax} e V_{acmin}). Os comandos de mudança de tape pelo RPEM são inibidos se uma comutação de tape estiver em andamento.

Para evitar que o RPC-RPEM comande mudanças de tape para eventos transitórios de curta duração, o RPC-RPEM detecta esta condição e aguarda um tempo de 800ms antes de realizar alguma ação.

O modo RPC-RPEM deve ser inibido caso a tensão AC medida no referido terminal ultrapassar uma faixa de tensão fixa (0,93 p.u a 1,07 p.u). Em caso de violação, o erro é forçado a zero, impedindo que VORD varie.

O RPC-RPEM está representado no modelo no CDU 9920 ("MELO-RPC"). O modelo importa a ordem de potência e o sentido da rampa do CDU 9335 (Power Control) e um sinal permissivo de "tape em curso" dos CDUs 9093 e 9094 (Tap-Changer Control). O modelo identifica automaticamente o sentido de transmissão de potência para determinar os limites correspondentes de intercâmbio de potência reativa e de ordem de tensão DC. O modelo exporta VORD para o CDU 9335 (Power Control) e para os CDUs 9091 e 9092 (Phase Control), bem como os comandos de tape externo (TUPB, TUPU, TDWB e TDWU) para os CDUs 9093 e 9094 (Tap-Changer Control).

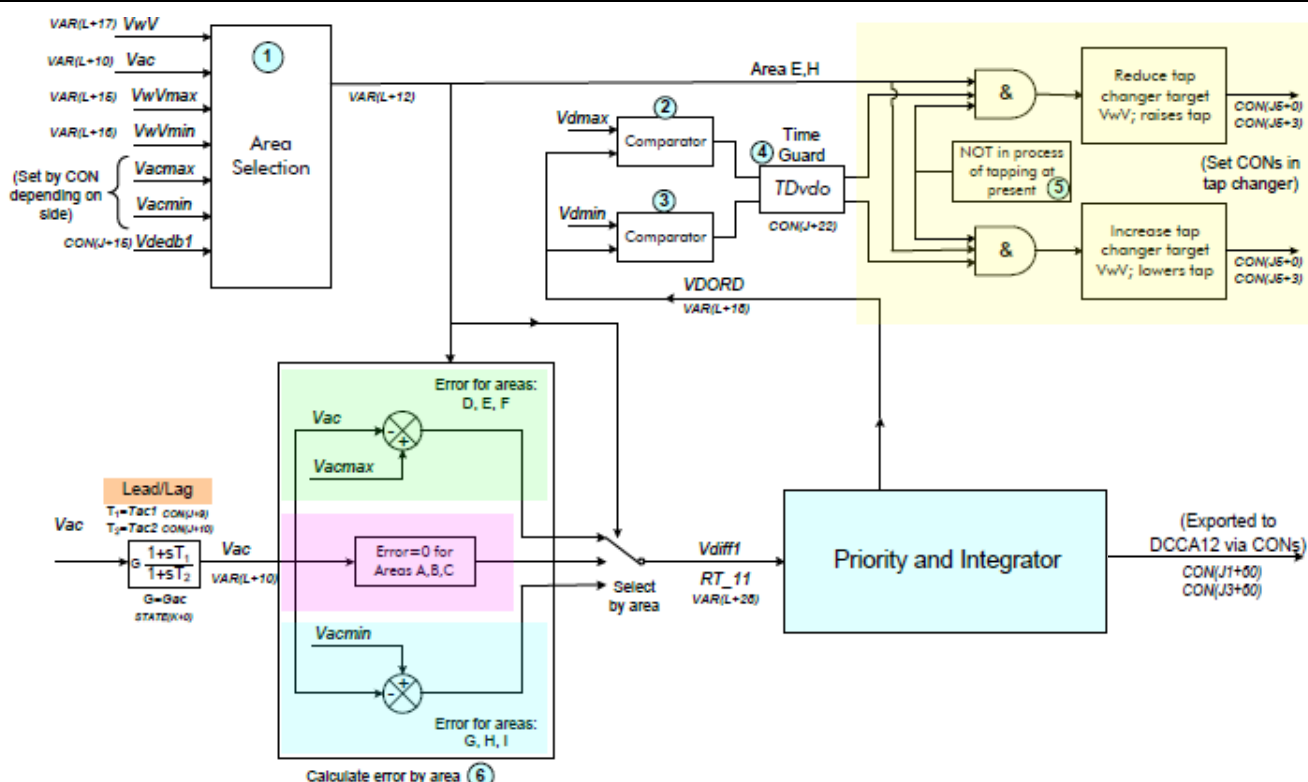
O caso base de fluxo de potência deve ser ajustado de forma que o valor de VDC (medido no retificador) esteja dentro dos limites especificados para aquela condição operativa. Caso contrário, ocorrerá erro na inicialização, uma vez que VORD (que está sujeita aos limites do integrador) é inicializado com o valor importado do caso de fluxo de potência.

Da mesma forma, o caso de fluxo de potência também deve ser ajustado de forma que os intercâmbios de potência reativa (Q_{exch}) estejam dentro dos limites especificados para aquela condição operativa. Caso contrário, ao se iniciar a simulação o RPC-RPEM irá alterar VORD para trazer Q_{exch} para dentro da faixa, mesmo que nenhum evento seja aplicado.

- **(RPC-ACVCM – Reactive Power Control AC Voltage) – Controle de tensão CA em malha fechada**

Este controle altera a tensão CC em resposta a um erro na tensão CA, a qual é mantida dentro de uma banda que é ajustável pelo operador (Vacmax e Vacmin), conforme mostrado na figura a seguir. Esta mudança é feita através do ângulo do conversor e quando VORD alcança seu limite, pela atuação do LTC.

Figura 9 – Diagrama de Blocos simplificado do ACVCM



Cabe destacar que os limites Vacmax e Vacmin têm funções diferentes para os modos ACVCM e RPEM, e usualmente estão ajustados (via operador) em 0,950 p.u e 1,050 p.u e 0,930 p.u e 1,070 p.u, respectivamente.

Conforme já mencionado, o modo ACVCM só pode estar ativo em um terminal de cada vez. O outro terminal deve estar obrigatoriamente estar em modo RPEM ou estar desligado.

No terminal em ACVCM, a tensão AC é monitorada continuamente e um sinal de erro é produzido se a tensão sai dos limites definidos pelo operador (por exemplo, 0,95 p.u a 1,05 p.u). Se a tensão está dentro dessa faixa, o erro é zero.

O sinal de erro é enviado para uma lógica de priorização de erros, que recebe os sinais de erro dos dois terminais, independentemente do modo de controle selecionado (RPEM ou ACVCM). Esta lógica determina qual sinal de erro vai ser enviado ao integrador.

O integrador possui constante de tempo de 1 segundo e sua saída corresponde a ordem de tensão DC do Back-to-Back (VORD). Se o erro é positivo, i.e. tensão abaixo do limite inferior, então o RPC-ACVCM irá comandar o aumento de VORD para reduzir o consumo de Mvar do conversor (redução dos ângulos de controle). Por outro lado, se o erro é negativo, i.e. tensão acima do limite superior, então o RPC-ACVCM irá comandar a redução de VORD para aumentar o consumo de Mvar do conversor (aumento dos ângulos de controle).

Os limites do integrador, que correspondem aos limites de VORD, dependem do sentido de transmissão de potência (UR→BR ou BR→UR), da ordem e potência e do sentido da rampa de potência (crescente ou decrescente). Estes limites são apresentados nas tabelas 14 e 15. Imediatamente antes dos pontos de chaveamento programado de filtros, uma variação em degrau é aplicada em VORD para minimizar o impacto do chaveamento na tensão AC, conforme explicado no item 5.2.2 (OLRPC). Como há uma histerese entre os pontos de conexão e de desconexão dos filtros, diferentes limites são usados para rampas crescentes e decrescentes de potência. Quando o Back-to-Back não está executando uma rampa de potência, os limites considerados pelo ACVCM são os do último rampeamento realizado.

A variação de VORD também é sujeita a uma taxa máxima. No caso de Melo, esta taxa foi ajustada em um valor muito elevado, virtualmente desabilitando esta limitação. O RPC-ACVCM também envia comandos de comutação de tape para o TCC se os limites de VORD forem alcançados e se as respectivas tensões no secundário dos transformadores conversores estiverem dentro da faixa especificada (dada pelos limites de VVW apresentados nas tabelas 10 e 11). Os comandos de mudança de tape pelo RPC-ACVCM são inibidos se uma comutação de tape estiver em andamento. Para evitar que o RPC-ACVCM comande mudanças de tape para eventos transitórios de curta duração, o RPC-ACVCM detecta esta condição e aguarda o tempo de 800ms antes de realizar alguma ação.

O RPC-ACVCM está representado no modelo no CDU 9920 (“MELO-RPC”). O modelo importa a ordem de potência e o sentido da rampa do CDU 9335 (Power Control) e um sinal permissivo de “tape em curso” dos CDUs 9093 e 9094 (Tap-Changer Control). O modelo identifica automaticamente o sentido de transmissão de potência para determinar os limites correspondentes de ordem de tensão DC. O modelo exporta VORD para o CDU 9335 (Power Control) e para os CDUs 9091 e 9092 (Phase Control), bem como os comandos de tape externo (TUPB, TUPU, TDWB e TDWU) para os CDUs 9093 e 9094 (Tap-Changer Control).

O caso base de fluxo de potência deve ser ajustado de forma que o valor de VDC (medido no retificador) esteja dentro dos limites especificados para aquela condição operativa. Caso contrário, ocorrerá erro na inicialização, uma vez que VORD (que está sujeita aos limites do integrador) é inicializado com o valor importado do caso de fluxo de potência. Da mesma forma, o caso de fluxo de potência também deve ser ajustado de forma que a tensão no terminal em ACVCM esteja dentro dos limites definidos pelo operador. Caso contrário, ao se iniciar a simulação o RPC-ACVCM irá alterar VORD para trazer a tensão para dentro da faixa, mesmo que nenhum evento seja aplicado.

- **RPC – Priority And Integrator – Lógica de priorização dos erros do RPC**

Este bloco é o coração do RPC, ou seja, aqui é definido qual sinal de erro será enviado aos Conversores (do lado 60 Hz, do lado 50 Hz ou de ambos), o que dependerá dos modos de operação que estão selecionados para cada lado e os respectivos erros calculados.

A saída do integrador corresponde à ordem de tensão enviada ao terminal inversor para controlar a tensão DC. Quando o modo RPEM é selecionado em apenas um dos terminais (QerrB ou QerrU), o erro de potência reativa deste terminal é selecionado pela lógica de priorização. Quando os dois terminais estão em modo RPEM, o erro resultante é dado pela soma dos erros dos dois terminais (QerrB+QerrU). Se uma operação de tape está em curso ou a tensão AC está fora da faixa entre 0,93 p.u e 1,07 p.u no terminal operando em RPEM, o erro é feito igual a zero.

O modo ACVCM só pode ser selecionado em um terminal por vez (o outro terminal pode estar em RPEM ou sem nenhuma função habilitada). O erro de tensão do terminal em ACVCM é selecionado pela lógica de priorização sempre que a tensão neste terminal violar a faixa de tensão definida pelo operador ($V_{diff} \neq 0$), independente do erro calculado no outro terminal. O modo ACVCM tem, portanto, prioridade em relação ao modo RPEM. Se a tensão no terminal em ACVCM está dentro da faixa operativa ($V_{diff} \approx 0$), o sinal de erro do terminal em RPEM é então selecionado pela lógica de priorização.

A figura a seguir mostra seu digrama funcional e a tabela mostra a lógica de priorização dos erros, em função dos modos de controle aplicados a cada lado da Conversora.

Figura 10 – Diagrama funcional do módulo Priority e Integrator e tabela com a lógica de priorização dos erros

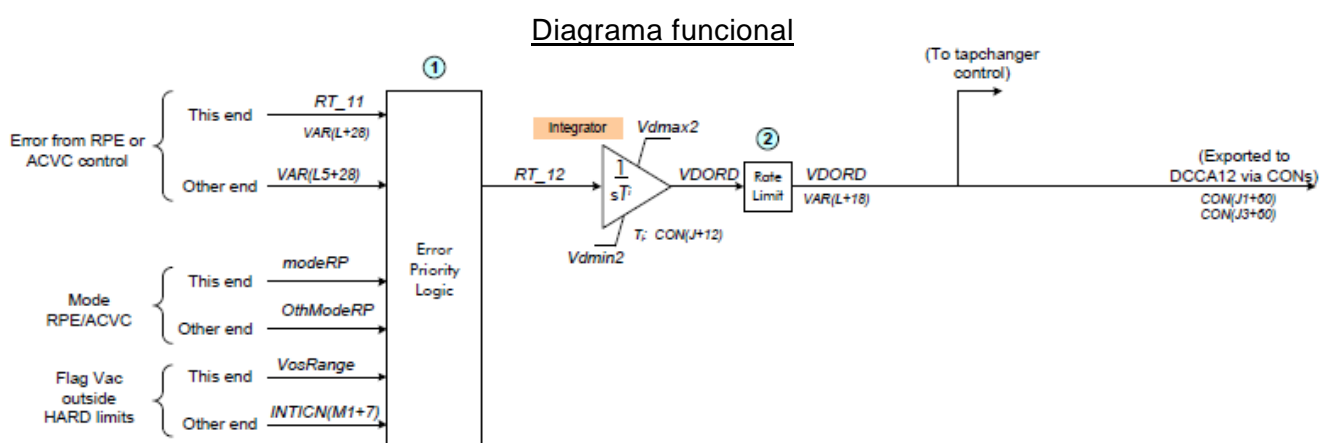


Tabela de priorização de erros (1)

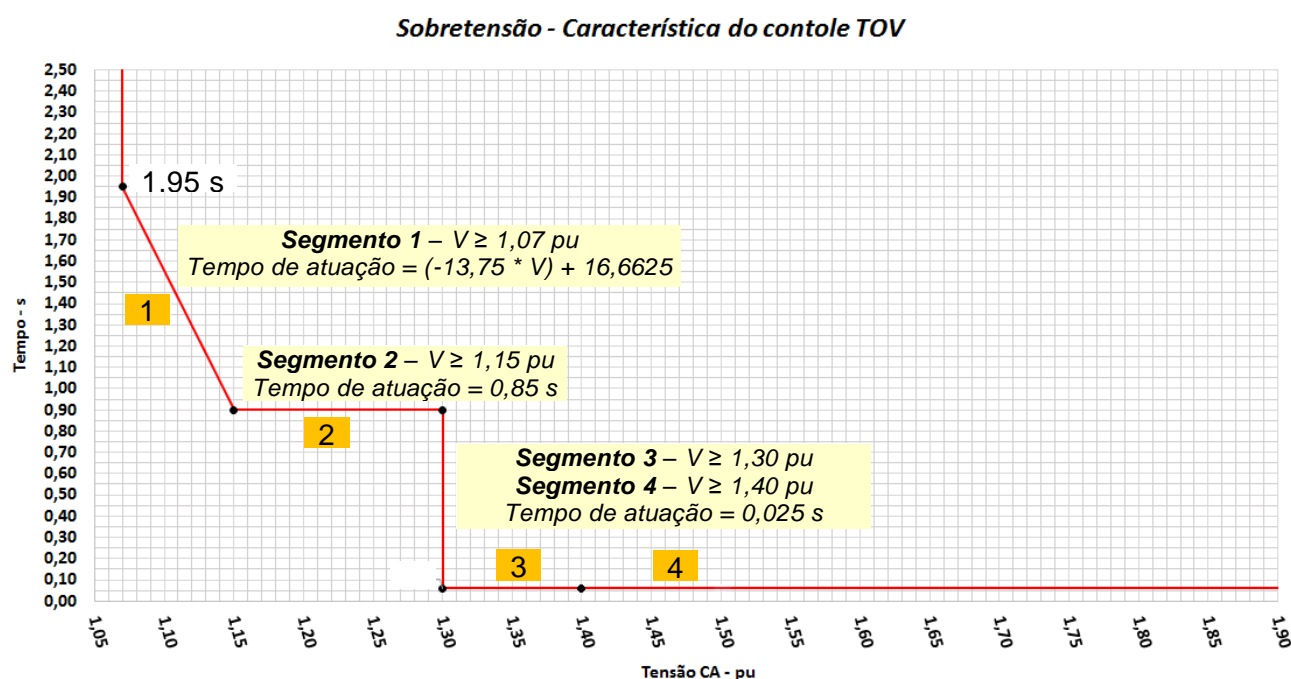
Seleção Modo Brasil	Seleção Modo Uruguai	Condição	Erro usado pelo Integrador
RPEM	-	Sem tape em curso BR e $V_{minB} < VB < V_{maxB}$	QerrB
		Tape em curso BR ou $VB < V_{minB}$ ou $VB > V_{maxB}$	0
-	RPEM	Sem tape em curso UR e $V_{minU} < VU < V_{maxU}$	QerrU
		Tape em curso UR ou $VU < V_{minU}$ ou $VU > V_{maxU}$	0
RPEM	RPEM	Sem tape em curso BR e UR e $V_{minB} < VB < V_{maxB}$ e $V_{minU} < VU < V_{maxU}$	QerrB+QerrU
		Tape em curso BR ou $VB < V_{minB}$ ou $VB > V_{maxB}$ e Sem tape em curso UR e $V_{minU} < VU < V_{maxU}$	QerrU
		Tape em curso UR ou $VU < V_{minU}$ ou $VU > V_{maxU}$ e Sem tape em curso BR e $V_{minB} < VB < V_{maxB}$	QerrB
		Tape em curso BR e $VU < V_{minU}$ ou $VU > V_{maxU}$ ou Tape em curso UR e $VB < V_{minB}$ ou $VB > V_{maxB}$	0
ACVCM	-	$V_{diffB} \neq 0$	V_{diffB}
		$V_{diffB} \approx 0$	0
-	ACVCM	$V_{diffU} \neq 0$	V_{diffU}
		$V_{diffU} \approx 0$	0
ACVCM	RPEM	$V_{diffB} \neq 0$	V_{diffB}
		$V_{diffB} \approx 0$ e $VU < V_{minU}$ ou $VU > V_{maxU}$ ou Tape em curso UR	0
		$V_{diffB} \approx 0$ e $V_{minU} < VU < V_{maxU}$ e Sem tape em curso UR	QerrU
RPEM	ACVCM	$V_{diffU} \neq 0$	V_{diffU}
		$V_{diffU} \approx 0$ e $VB < V_{minB}$ ou $VB > V_{maxB}$ ou Tape em curso BR	0
		$V_{diffU} \approx 0$ e $V_{minB} < VB < V_{maxB}$ e Sem tape em curso BR	QerrB

Legenda: Qerr – Erro calculado pela malha RPEM ($eQa = QerrB$ / Brasil e $eQb = QerrU$ / Uruguai).
 V_{diff} (RT_11) – Erro calculado pela malha ACVCM (V_{diffB} – Brasil / V_{diffU} – Uruguai).
 VB e VU – Vac medido no Brasil / Uruguai.
 V_{max} e V_{min} – V_{acmax} e V_{acmin} (hard limits) ajustados pelo operador para o RPEM.

✓ Temporary Overvoltage Control (TOV) – Controle de sobretensões temporárias

O TOV Control comanda o desligamento de filtros ou a conexão de reator (este último somente no terminal de 50 Hz) em função do nível de sobretensão, seguindo uma característica de tempo inverso em conjunto com uma característica de tempo mínimo definido (IDMT – Inverse Definite Minimum Time). Assim, o tempo permitido para que a sobretensão persista antes do controle atuar é inversamente proporcional ao nível da sobretensão. Quatro segmentos são fornecidos para permitir flexibilidade na definição da característica. A figura a seguir mostra os parâmetros ajustados em ambos os terminais.

Figura 11 – Níveis de sobretensão x tempo de atuação ajustados no TOV Control (segmentos)

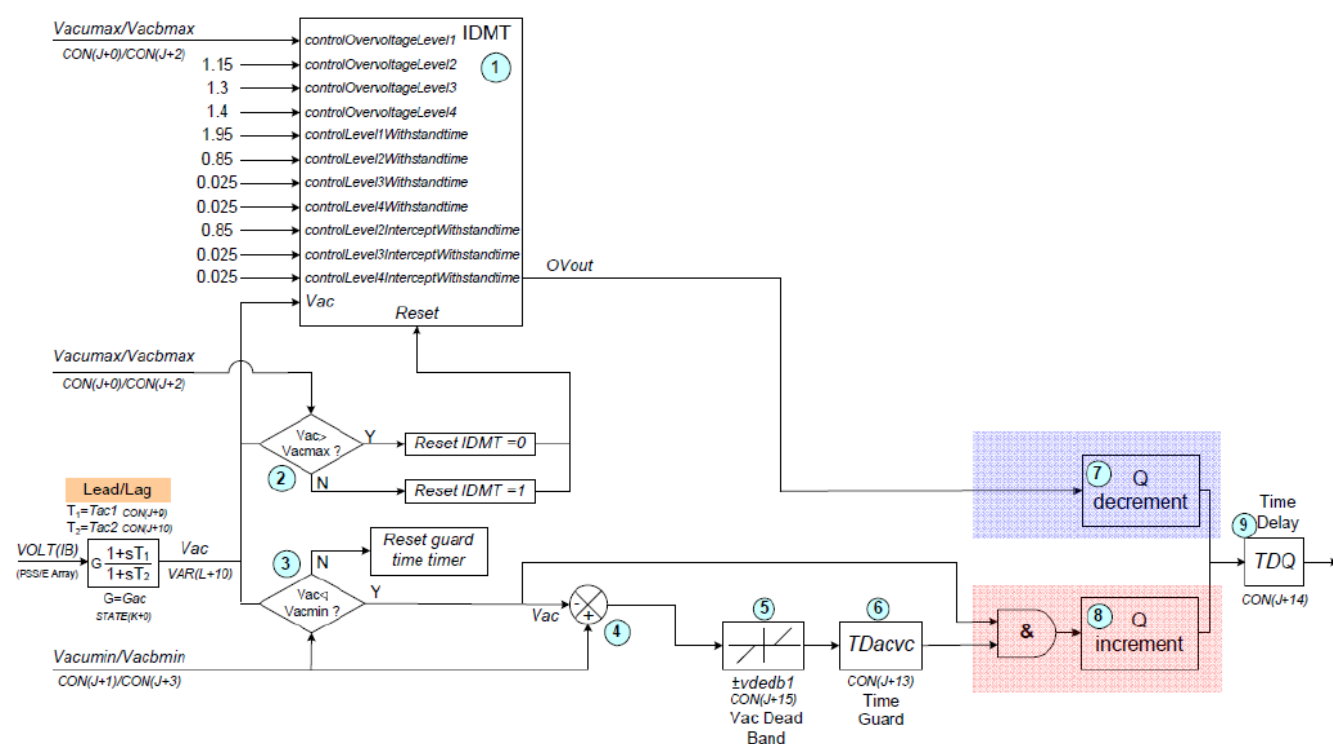


Quando uma condição de sobretensão é detectada (pelo tempo mínimo necessário), a saída do IDMT (OVout) assume o valor 1. Este sinal comanda o chaveamento de um elemento de compensação reativa no terminal em que a sobretensão foi detectada. Se a sobretensão foi verificada no lado Brasileiro, é comandada a desconexão de um filtro.

Caso tenha sido verificada no lado Uruguaio, deve-se primeiramente comandar a conexão do reator. Caso após o primeiro chaveamento a sobretensão tenha sido eliminada, o sinal OVout assume o valor 0, interrompendo o chaveamento de filtros. Caso algum segmento da característica IDMT ainda esteja indicando uma condição de sobretensão, novas desconexões de filtro são comandadas com um intervalo de no mínimo 100 ms entre chaveamentos.

O diagrama de blocos do TOV é apresentado na figura a seguir.

Figura 12 – Diagrama de Blocos simplificado do TOV Control



Nota: 1. Conforme já mencionado, o TUV não está habilitado para a C. F. Melo.

O *TOV Control* também está representado no modelo nos CDUs 9395 (Uruguai) e 9396 (Brasil). O modelo importa a tensão na barra AC e realiza os chaveamentos automáticos seguindo a característica IDMT mostrada na figura 10.

✓ Runback Control

A ação de runback efetua uma brusca redução na potência ordenada quando alguma condição específica é detectada. Esta condição pode envolver a abertura de múltiplas linhas de transmissão ou a rejeição de um grande bloco de geração eletricamente próximos ao conversor, caso seja definido nos estudos pré-operacionais. Esta função pode ser executada via CDU ou através de comando manual no Anatem, devendo o usuário, em ambos os casos, ajustar o montante e a taxa para redução.

O Runback estava originalmente representado em CDU próprio (CDU 9399). Nesta revisão foi incorporado ao CDU 9335 (Power Control), eliminando assim o CDU 9399. Para sua aplicação é necessário que o usuário comande o início e o montante via DEVT através do código TCDU, via variável RB_ORD (bloco 3001). O valor informado no código TCDU deve ser dado em MW e deve ser negativo (redução da ordem de potência). A taxa da redução normalmente é bem rápida, mas é facultado ao usuário definir esta taxa através do parâmetro #TXRBK, dado em MW/s.

✓ **Rapid Filter Removal (RFR)**

Quando ocorre o bloqueio do back-to-back pelo sistema de proteção, todos os filtros são rapidamente desligados em ambos os terminais para evitar sobretensões sustentadas no sistema CA. Essa ação é denominada “Rapid Filter Removal” (RFR) e está representada nos CDUs 9395 (“OLRPC-TOV-UR”) e 9396 (“OLRPC-TOV-BR”).

O modelo importa o status dos conversores através do bloco IMPORT ESTCNV e comanda automaticamente o desligamento dos filtros em operação em Melo 50 Hz, Melo 60 Hz e Candiota. O reator localizado em Melo 50 Hz não é chaveado pelo RFR.

✓ **RPC Power Limits**

Limites de potência são aplicados à ordem de potência em função do número de filtros disponíveis nos dois terminais do back-to-back. Quando todos os filtros estão disponíveis nos dois terminais, o limite de PORD é igual à capacidade de sobrecarga contínua do esquema, ou seja, 1.1 pu (558 MW). Quando um ou mais filtros estão indisponíveis, um limite de potência compatível com a quantidade de filtros disponíveis é aplicado à ordem de potência. A tabela a seguir apresenta os limites de PORD em função do número de filtros disponíveis.

Tabela 6 – RPC Power Limits

Filtros Disponíveis	Limite de Potência (MW)
3	1,10 pu (overload)
2	0,472 pu
1	0,236 pu

Esta funcionalidade está representada nos CDUs 9395 (“OLRPC-TOV-UR”) e 9336 (“OLRPC-TOV-BR”), onde estes limites são calculados, e no CDU 9335 (“POWER-CTRL”), onde estes limites são efetivamente aplicados. Está fora do escopo do modelo contemplar as condições de indisponibilidades de filtro na inicialização, de forma que modelo assume que no início da simulação todos os filtros estão disponíveis, ou seja, o limite de potência é 558 MW (1,1 pu). No entanto, se um filtro for desconectado durante a simulação (seja pela função OLRPC ou pela função TOV), este filtro estará automaticamente indisponível (por um tempo da ordem de 10 minutos) e, portanto, o limite de potência deve ser reduzido. Não há informação disponível na documentação do fabricante acerca de uma possível temporização e/ou taxa para aplicação do limite de potência, de forma que foi considerado que o limite é aplicado instantaneamente após a retirada do filtro.

5.3 Controladores Definidos pelo Usuário – CDU

5.3.1 Modelagem completa

A seguir estão apresentadas as funções de controle com os correspondentes CDU que as executam no Anatem, considerando todos os controles auxiliares modelados. Adicionalmente são incluídos arquivo de localização das variáveis e arquivo para plotagem da C. F. Melo.

Tabela 7 – Controles Principais – CDU

Arquivo(s)	CDU	Funções
Melo_BtB_PowerCtrl_V11	9335	<ul style="list-style-type: none"> • Rampa de potência • RPC Power Limits • Runback • Voltage Stability Control (VSC) • Power Trim • Lógica de congelamento da Função Power Trim • Seleção P-control ou I-control
Melo_BtB_PhaseCtrl_V10	9090 – DTDU (topologia) 9091 – Brasil (ACDU) 9092 – Uruguai (ACDU)	<ul style="list-style-type: none"> • VDCOL • Loops de controle (Idc, Vdc, γ, Vac, Alpha max, γ other side, Vdc min, Vdc max Alpha min) • Gamma kick • Alpha advance • Loop selection • PLO

Nota: 1. O VSC pode ser ativado (1) ou desativado (0) através da variável #VSC.

Tabela 8 – Controles Auxiliares – CDU

Arquivos	CDU	Funções
Melo_BtB_RPC_V10 LIG OU Melo_BtB_RPC_V10 DESL	9920	<ul style="list-style-type: none"> • Operação AUTO ou MANUAL • Seleção do modo de controle • RPEM • ACVCM • Limites de VORD, VWV, Qexch • Lógica de priorização dos erros • Degrau em VORD qdo do chaveamento de filtros pelo OLRPC
Melo_BtB_OLRPC_TOV_V6	9395 – lado URUGUAI 9396 – lado BRASIL	<ul style="list-style-type: none"> • Operação AUTO e MANUAL • OLRPC • TOV Control • RFR • RPC Power Limit
Melo_BtB_Tap_Control_V7 AUT OU Melo_BtB_Tap_Control_V7 MAN	9093 – lado BRASIL 9094 – lado URUGUAI	<ul style="list-style-type: none"> • Operação AUTO ou MANUAL (tape fixo) • Controle de VWV • Comando externo de tape (vindo do RPC)

Notas: 1. LIG – RPC ligado ($\#L/D = 1$) e DESL – RPC desligado ($\#L/D = 0$).
 2. O modo de operação do RPC (1 – OLRPC / 2 – RPEM / 3 – ACVCM) deverá ser definido para cada lado, através das variáveis #MODB (Brasil) e #MODU (Uruguai).
 3. AUT – LTC em modo automático ($\#AUTO = 1$) / MAN – LTC em modo manual ($\#AUTO = 0$).

Tabela 9 – Arquivos Auxiliares

Arquivos Auxiliares ^{1,2}	Arquivo DAT
Arquivo de endereçamento de variáveis (DLOC)	Melo_BtB_DLOC
Arquivo para plotagem (DPLT) <ul style="list-style-type: none"> De todos os blocos Dos blocos essenciais (MÍNIMO) 	Melo_BtB_DPLT Melo_BtB_DPLT_MIN

Notas: 1. Para ajuste do caso de fluxo de potência e inicialização dos modelos Anatem utilizar o arquivo Melo_BtB Inicialização ANATEM.xlsx, o qual está incluído na base de dados.

2. Arquivos utilizáveis para qualquer sentido de transferência.

A simulação considerando desativados o controles auxiliares, pode ser realizada alterando apenas os seguintes arquivos:

Melo_BtB_RPC_V10 LIG ⇔ Melo_BtB_RPC_V10 DESL

Melo_BtB_Tap_Control_V6 AUT ⇔ Melo_BtB_Tap_Control_V6 MAN

Por fim, cabe lembrar que a definição do modo de operação do RPC para cada lado da Conversora de Melo deverá ser definida pelo usuário, via CDU 9920, através dos parâmetros #MODEB (Brasil) e #MODEU (Uruguai), da seguinte forma:

1 – OLRPC / 2 – RPEM / 3 - ACVCM

As opções de operação são as seguintes:

Lado A	Lado B
OLRPC	OLRPC
OLRPC	RPEM
OLRPC	ACVCM
RPEM	OLRPC
RPEM	ACVCM
RPEM	RPEM
ACVCM	OLRPC
ACVCM	RPEM

IMPORTANTE

Dada a natureza do controle RPC, a definição do modo de operação para cada lado do Conversor deve ser definida pelo usuário considerando as necessidades de suporte de Mvar e controle da tensão CA, levando ainda em consideração que o modo ACVCM só pode ser utilizado para um dos lados.

5.3.1.1 Deck para o Anatem

A seguir, deck Anatem para simulação da C. F. Melo, considerando uma potência transferida de 500 MW em ambos os sentidos.

As diferenças existentes no deck para cada sentido de transferência estão identificadas através de hachuras coloridas da seguinte forma:

Sentido BRASIL ⇒ URUGUAI

Sentido URUGUAI ⇒ BRASIL

```
(=====
( ASSOCIAÇÃO DE ARQUIVO COM MODELOS (ANATEM)
(=====
DARQ
  CDU      .\BDados\HVDC Melo\Melo_BtB_PowerCtrl_V10.cdu
  CDU      .\BDados\HVDC Melo\Melo_BtB_PhaseCtrl_V10.CDU
  CDU      .\BDados\HVDC Melo\Melo_BtB_Tap_Control_V6_AUT.cdu
  CDU      .\BDados\HVDC Melo\Melo_BtB_OLRPC_TOV_V5.cdu
  CDU      .\BDados\HVDC Melo\Melo_BtB_RPC_V8_LIG.cdu
  DAT      .\BDados\HVDC Melo\Melo_BtB_DLOC.DAT
999999
(=====
( DADOS DE BARRA INFINITA - C. F. MELO - Lado 50Hz (Uruguai)
(=====
DMDG MD01
(..... Barra infinita 50Hz e 60Hz
(No)      (X'd)(Ra )( H )( D )(MVA)Fr M E
   10              50
999999
(
(=====
( DADOS DE MAQUINAS E ASSOCIACAO DAS MAQUINAS AOS CONTROLES
(=====
DMAQ
( Nb)      Gr (P) (Q) Und ( Mg ) ( Mt )u( Mv )u( Me )u(Xvd)(Nbc)
(..... Barra infinita
99019     10              1              10
999999
(
(=====
( INDUTANCIAS DE LINHAS CC
(=====
DCLI
(De)      (Pa)Nc              ( L ) ( C )
4101      4102 1              100.
999999
(
(=====
( DADOS ASSOCIACAO DE ELO CC AOS CONTROLES
(=====
DELO
(Ne)      ( M+ )u( M- )u
999999
(=====
( DADOS DE CONVERSORES E ASSOCIACAO DE CONVERSORES AOS CONTROLES
(=====
DCNV
(Nc)      (Gkb) (Amn) (Amx) (Gmn) ( Mc )u( S1 )u( S2 )u( S3 )u( S4 )u(Tap )u
4201              9091u              9093u
4202              9092u              9094u
(
999999
(
(=====
( DADOS DE FALHA AUTOMATICA DE COMUTACAO
(=====
(
```

```

DFCM
(Nm) (Vfc) (Gfc) (Thd)
( ***** MELO BtB - BRASIL => URUGUAI ***** )
4202      8.0 0.020
(
( ***** MELO BtB - URUGUAI => BRASIL ***** )
4201      8.0 0.016
999999
(=====
( CONTROLADORES NAO ESPECIFICOS
(=====
DCNE
(Nc)      ( Mc )u
(Power Control - VSC - Run-back
9335      9335u
(OLRPC / TOV Control - URUGUAI
9395      9395u
(OLRPC / TOV Control - BRASIL
9396      9396u
(Reactive Power Control (RPC)
9920      9920u
999999

```

5.3.1.2 Inicialização dos Modelos

Considerando que a simulação de emergências eletricamente mais próximas ao HVDC de Melo necessitam da representação completa da C. F. Melo (incluindo seus controles auxiliares) haverá a necessidade de ajustar, **o ponto de operação no fluxo de potência**, as seguintes grandezas em cada lado do HVDC, visando a correta inicialização dos modelos dinâmicos:

- VWV (Valve-Winding Voltage) = (Tensão na barra CA do conversor / tap do TR conversor)
- $V_{dcr} = V_{CC}$ do terminal retificador
- $Q_{exchange} = Mvar$ que chega a barra CA do conversor
- Ângulos de disparo e extinção (dependentes do sentido da transferência)

Para isso, o usuário pode utilizar as tabelas e/ou os gráficos incluídos a seguir, da seguinte forma:

1. A partir do valor de potência transferida (P_{dc} em MW) tomar o valor de **Vdc sugerido** para o retificador, em kV, na tabela 14 para URU=>BRA e na tabela 15 para BRA=>URU.
2. A seguir, tomar os valores de **ângulo de disparo e extinção** na tabela 16 para BRA=>URU e na tabela 17 para URU=>BRA.

Caso o valor de MW desejado esteja entre os valores apresentados nas tabelas, dever-se-á interpolá-los ou, alternativamente, retirá-los dos gráficos.

A seguir, mas somente no caso em que o Q_{exch} não esteja adequado recomenda-se:

- No lado do Uruguai - chavear (ligar ou deligar) o reator de 70 Mvar na barra 90018.
- No lado do Brasil – Utilizar os diversos recursos para controle tensão existentes.

Contudo, para facilitar o processo de inicialização foi criada a Planilha elaborada pela EGS denominada:

Melo_BtB Inicialização ANATEM.xlsx

a qual será incorporada à base de dados e que calcula os valores acima, para ajuste do fluxo de potência com adequada inicialização dos modelos, sendo apenas necessário ao usuário o fornecimento da potência e sentido da transferência.

NOTA: Cabe também destacar, que mesmo para a simulação com todos os controles auxiliares desativados também será necessário o ajuste do caso para inicialização destes controles.

Tabela 10 – Tabela para inicialização do VWV em p.u – Transferências URUGUAI ⇨ BRASIL

		RETIFICADOR		INVERSOR	
		URUGUAI		BRASIL	
Pdc	Pdc (MW)	VWVU max	VWVU min	VWVB max	VWVB min
10,00%	50,80	0,877	0,799	0,875	0,728
15,00%	76,20	0,877	0,799	0,875	0,728
17,70%	89,92	0,877	0,799	0,875	0,728
20,00%	101,60	0,877	0,799	0,875	0,728
23,61%	119,94	0,877	0,799	0,875	0,728
25,00%	127,00	0,877	0,799	0,875	0,728
30,00%	152,40	0,877	0,799	0,875	0,728
35,00%	177,80	0,877	0,799	0,875	0,728
40,00%	203,20	0,877	0,799	0,875	0,728
41,22%	209,40	0,877	0,799	0,875	0,728
41,33%	209,96	0,877	0,799	0,875	0,728
45,00%	228,60	0,877	0,799	0,875	0,728
46,06%	233,98	0,877	0,799	0,875	0,728
46,65%	236,98	0,877	0,799	0,875	0,728
46,65%	236,98	0,877	0,799	0,875	0,736
47,23%	239,93	0,877	0,799	0,875	0,748
47,83%	242,98	0,877	0,799	0,875	0,761
49,21%	249,99	0,877	0,799	0,875	0,791
50,00%	254,00	0,877	0,799	0,875	0,808
51,38%	261,01	0,877	0,799	0,875	0,837
51,97%	264,01	0,877	0,799	0,875	0,839
51,97%	264,01	0,879	0,801	0,877	0,839
55,00%	279,40	0,890	0,812	0,88	0,85
59,06%	300,02	0,905	0,827	0,903	0,865
59,06%	300,02	0,892	0,827	0,891	0,865
60,00%	304,80	0,895	0,830	0,894	0,869
65,00%	330,20	0,913	0,848	0,912	0,887
70,00%	355,60	0,932	0,867	0,931	0,905
75,00%	381,00	0,950	0,885	0,949	0,924
80,00%	406,40	0,968	0,903	0,967	0,942
82,68%	420,01	0,978	0,913	0,977	0,952
85,00%	431,80	0,987	0,922	0,986	0,96
90,00%	457,20	1,005	0,940	1,004	0,979
91,54%	465,02	1,011	0,946	1,01	0,984
94,49%	480,01	1,022	0,957	1,021	0,995
94,49%	480,01	1,009	0,957	1,008	0,995
95,00%	482,60	1,011	0,959	1,01	0,997
100,00%	508,00	1,029	0,977	1,028	1,015
100,00%	508,00	1,029	0,977	1,028	1,015
100,39%	509,98	1,030	0,978	1,030	1,017
100,39%	509,98	1,017	0,978	1,017	1,017
101,57%	515,98	1,022	0,983	1,022	1,021
101,57%	515,98	1,023	0,984	1,023	1,023
102,89%	522,66	1,025	0,986	1,025	1,025
105,00%	533,40	1,028	0,989	1,028	1,028
105,91%	538,00	1,029	0,990	1,029	1,029
110,00%	558,80	1,035	0,996	1,035	1,035

Tabela 11 – Tabela para inicialização do VWV em p.u – Transferências BRASIL ⇔ URUGUAI

Pdc	Pdc (MW)	RETIFICADOR		INVERSOR	
		BRASIL		URUGUAI	
		VWVB max	VWVB min	VWVU max	VWVU min
10,00%	50,80	0,875	0,813	0,877	0,736
15,00%	76,20	0,875	0,813	0,877	0,736
17,70%	89,92	0,875	0,813	0,877	0,736
20,00%	101,60	0,875	0,813	0,877	0,736
23,61%	119,94	0,875	0,813	0,877	0,736
25,00%	127,00	0,875	0,813	0,877	0,736
30,00%	152,40	0,875	0,813	0,877	0,736
35,00%	177,80	0,875	0,813	0,877	0,736
40,00%	203,20	0,875	0,813	0,877	0,736
41,22%	209,40	0,875	0,813	0,877	0,736
41,33%	209,96	0,875	0,813	0,877	0,736
45,00%	228,60	0,875	0,813	0,877	0,736
46,06%	233,98	0,875	0,813	0,877	0,736
46,65%	236,98	0,875	0,813	0,877	0,736
47,23%	239,93	0,875	0,813	0,877	0,736
47,83%	242,98	0,875	0,813	0,877	0,736
49,21%	249,99	0,875	0,813	0,877	0,765
50,00%	254,00	0,875	0,813	0,877	0,782
51,38%	261,01	0,875	0,813	0,877	0,812
51,38%	261,01	0,875	0,813	0,877	0,823
51,97%	264,01	0,875	0,813	0,877	0,825
51,97%	264,01	0,877	0,815	0,879	0,825
55,00%	279,40	0,888	0,826	0,89	0,836
59,06%	300,02	0,903	0,841	0,905	0,851
59,06%	300,02	0,891	0,841	0,892	0,851
60,00%	304,80	0,894	0,844	0,895	0,854
65,00%	330,20	0,912	0,862	0,913	0,873
70,00%	355,60	0,931	0,881	0,932	0,891
75,00%	381,00	0,949	0,899	0,95	0,909
80,00%	406,40	0,967	0,917	0,968	0,928
82,68%	420,01	0,977	0,927	0,978	0,937
85,00%	431,80	0,986	0,936	0,987	0,946
90,00%	457,20	1,004	0,954	1,005	0,964
91,54%	465,02	1,010	0,960	1,011	0,97
94,49%	480,01	1,021	0,971	1,022	0,981
94,49%	480,01	1,008	0,971	1,009	0,981
95,00%	482,60	1,010	0,973	1,011	0,983
100,00%	508,00	1,028	0,991	1,029	1,001
100,00%	508,00	1,028	1,003	1,029	1,001
100,39%	509,98	1,030	1,005	1,030	1,002
100,39%	509,98	1,017	1,005	1,017	1,002
101,57%	515,98	1,022	1,009	1,022	1,007
101,57%	515,98	1,023	1,010	1,023	1,008
102,89%	522,66	1,025	1,012	1,025	1,010
105,00%	533,40	1,028	1,015	1,028	1,013
105,91%	538,00	1,029	1,017	1,029	1,014
109,96%	558,60	1,035	1,022	1,035	1,020
110,00%	558,80	1,035	1,023	1,035	1,020

Figura 13 – Gráfico para inicialização do VWV – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL

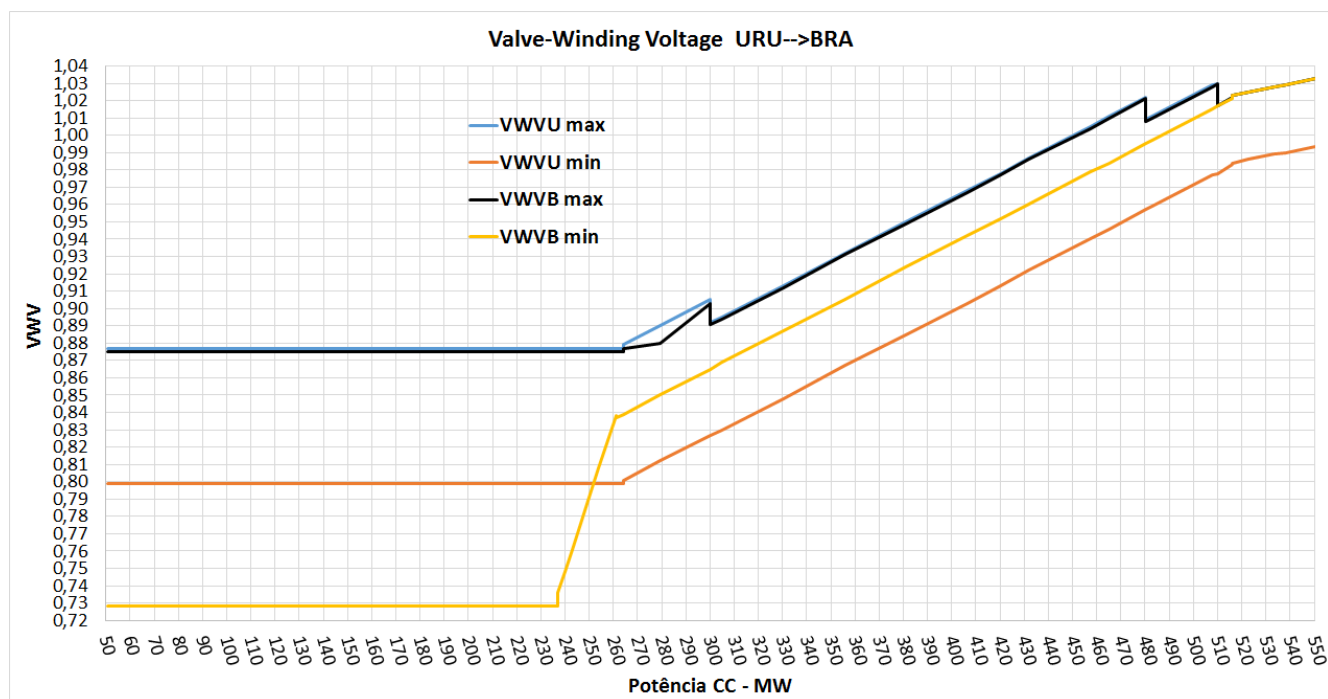


Figura 14 – Gráfico para inicialização do VWV – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI

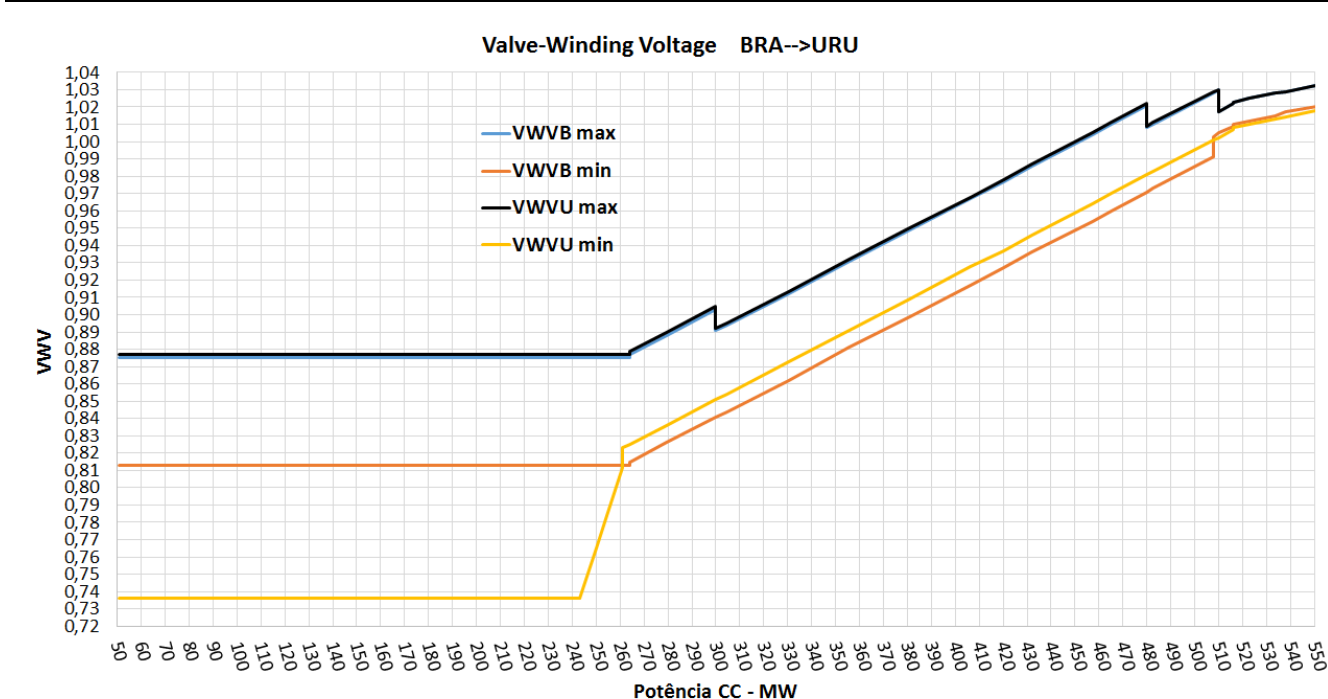


Tabela 12 – Tabela para inicialização do Qexchange em Mvar – Transferências URUGUAI ⇔ BRASIL

		RETIFICADOR		INVERSOR		
		URUGUAI		BRASIL		
Pdc	Pdc (MW)	QU max	QU min	QB max 4F	QB max 3F	QB min
10,00%	50,80	139,80	-20,32	138,9	138,9	60,94
15,00%	76,20	134,80	-30,48	135,86	135,86	58,9
17,70%	89,92	132,00	-35,97	134,21	134,21	57,81
20,00%	101,60	129,70	-40,64	132,81	132,81	56,87
23,61%	119,94	126,00	-47,98	130,61	130,61	55,4
25,00%	127,00	124,60	-50,80	129,76	129,76	54,84
30,00%	152,40	119,50	-60,96	126,71	126,71	52,81
35,00%	177,80	114,40	-71,12	123,66	123,66	50,78
40,00%	203,20	109,40	-81,28	120,62	120,62	48,74
41,22%	209,40	108,10	-83,76	119,87	119,87	48,25
41,33%	209,96	108,00	-83,98	119,81	119,81	48,2
45,00%	228,60	104,30	-91,44	117,57	117,57	46,71
46,06%	233,98	103,20	-93,59	116,92	116,92	46,28
46,65%	236,98	102,60	-94,76	116,56	116,56	46,04
47,23%	239,93	102,00	-95,97	116,21	116,21	45,81
47,83%	242,98	101,40	-97,19	115,84	115,84	45,56
49,21%	249,99	100,00	-100,00	115	115	45
50,00%	254,00	99,00	-100,80	114,2	114,52	44,52
51,38%	261,01	97,40	-102,20	112,8	113,68	43,68
51,97%	264,01	96,60	-102,80	112,2	113,32	43,32
55,00%	279,40	92,90	-105,88	109,12	111,47	41,47
59,06%	300,02	88,00	-110,00	105	109	39
60,00%	304,80	86,80	-110,96	104,04	108,42	38,42
65,00%	330,20	80,80	-116,04	98,96	105,38	35,38
70,00%	355,60	74,70	-121,12	93,88	102,33	32,22
75,00%	381,00	68,60	-126,20	88,8	99,28	29,28
80,00%	406,40	62,50	-131,28	83,72	96,23	26,23
82,68%	420,01	59,20	-134,00	81	81	24,6
85,00%	431,80	56,40	-136,37	78,64	87,13	23,18
90,00%	457,20	50,30	-141,44	73,56	107,42	20,14
91,54%	465,02	48,40	-143,00	72	113,66	19,2
94,49%	480,01	44,80	-146,00	69	125,63	17,4
95,00%	482,60	44,20	-146,52	68,48	127,7	17,09
100,00%	508,00	38,10	-151,60	63,400	147,97	14,04
100,39%	509,98	37,60	-152,00	63,000	149,55	13,80
101,57%	515,98	36,20	-153,20	61,800	154,34	13,08
102,89%	522,66	34,60	-154,53	60,470	159,67	12,28
105,00%	533,40	32,00	-156,68	58,320	168,25	10,99
105,91%	538,00	30,90	-157,60	57,400	171,93	10,44
109,96%	558,60	25,90	-161,72	53,280	188,37	7,97
110,00%	558,80	25,90	-161,76	53,240	188,53	7,94

Tabela 13 – Tabela para inicialização do Qexchange em Mvar – Transferências BRASIL ⇔ URUGUAI

		RETIFICADOR		INVERSOR	
		BRASIL		URUGUAI	
Pdc	Pdc (MW)	QB max	QB min	QU max	QU min
10,00%	50,80	138,90	60,94	150	-2,03
15,00%	76,20	135,86	58,90	150	-3,05
17,70%	89,92	134,21	57,81	150	-3,6
20,00%	101,60	132,81	56,87	150	-4,06
23,61%	119,94	130,61	55,40	150	-4,8
25,00%	127,00	129,76	54,84	150	-5,08
30,00%	152,40	126,71	52,81	150	-6,1
35,00%	177,80	123,66	50,78	150	-7,11
40,00%	203,20	120,62	48,74	150	-8,13
41,22%	209,40	119,87	48,25	150	-8,38
41,33%	209,96	119,81	48,20	150	-8,4
45,00%	228,60	117,57	46,71	150	-9,14
46,06%	233,98	116,92	46,28	150	-9,36
46,65%	236,98	116,56	46,04	150	-9,48
47,23%	239,93	116,21	45,81	150	-9,6
47,83%	242,98	115,84	45,56	150	-9,72
49,21%	249,99	115,00	45,00	150	-10
50,00%	254,00	114,20	44,52	149,68	-10,48
51,38%	261,01	112,80	43,68	149,12	-11,32
51,97%	264,01	112,20	43,32	148,88	-11,68
55,00%	279,40	109,12	41,47	147,65	-13,53
59,06%	300,02	105,00	39,00	146	-16
60,00%	304,80	104,40	38,42	145,62	-16,58
65,00%	330,20	98,96	35,38	143,58	-19,62
70,00%	355,60	93,88	32,33	141,55	-22,67
75,00%	381,00	88,80	29,28	139,52	-25,72
80,00%	406,40	83,72	26,23	137,49	-28,77
82,68%	420,01	81,00	24,60	136,4	-30,4
85,00%	431,80	78,64	23,18	135,46	-31,82
90,00%	457,20	73,56	20,14	133,42	-34,86
91,54%	465,02	72,00	19,20	132,8	-35,8
94,49%	480,01	69,00	17,40	131,6	-37,6
95,00%	482,60	68,48	17,09	131,39	-37,91
100,00%	508,00	63,40	14,04	129,36	-40,96
100,39%	509,98	63,00	13,80	129,20	-41,20
102,89%	522,66	60,47	12,28	128,19	-42,72
105,00%	533,40	58,32	10,99	127,33	-44,01
105,91%	538,00	57,40	10,44	126,96	-44,56
109,96%	558,60	53,28	7,97	125,31	-47,03
110,00%	558,80	53,24	7,94	125,30	-47,06

Figura 15 – Gráfico para inicialização do Qexchange – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL

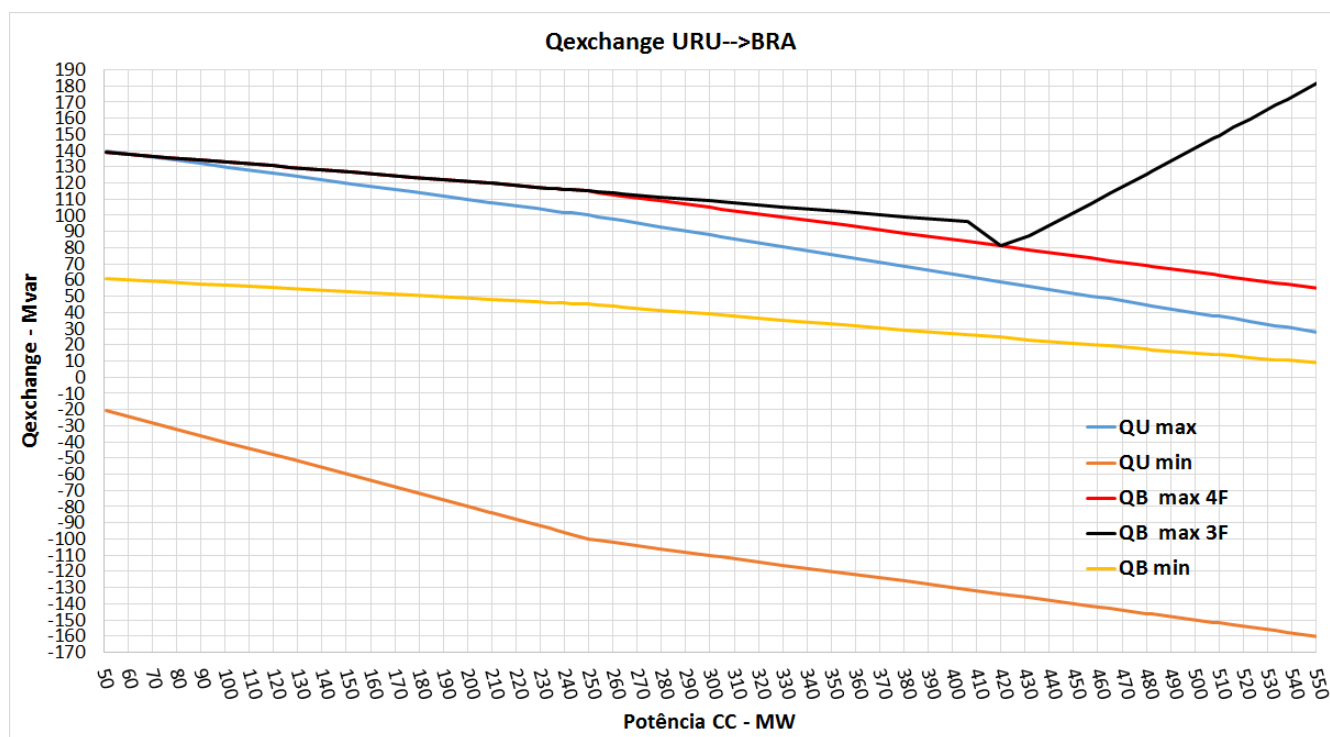


Figura 16 – Gráfico para inicialização do Qexchange – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI

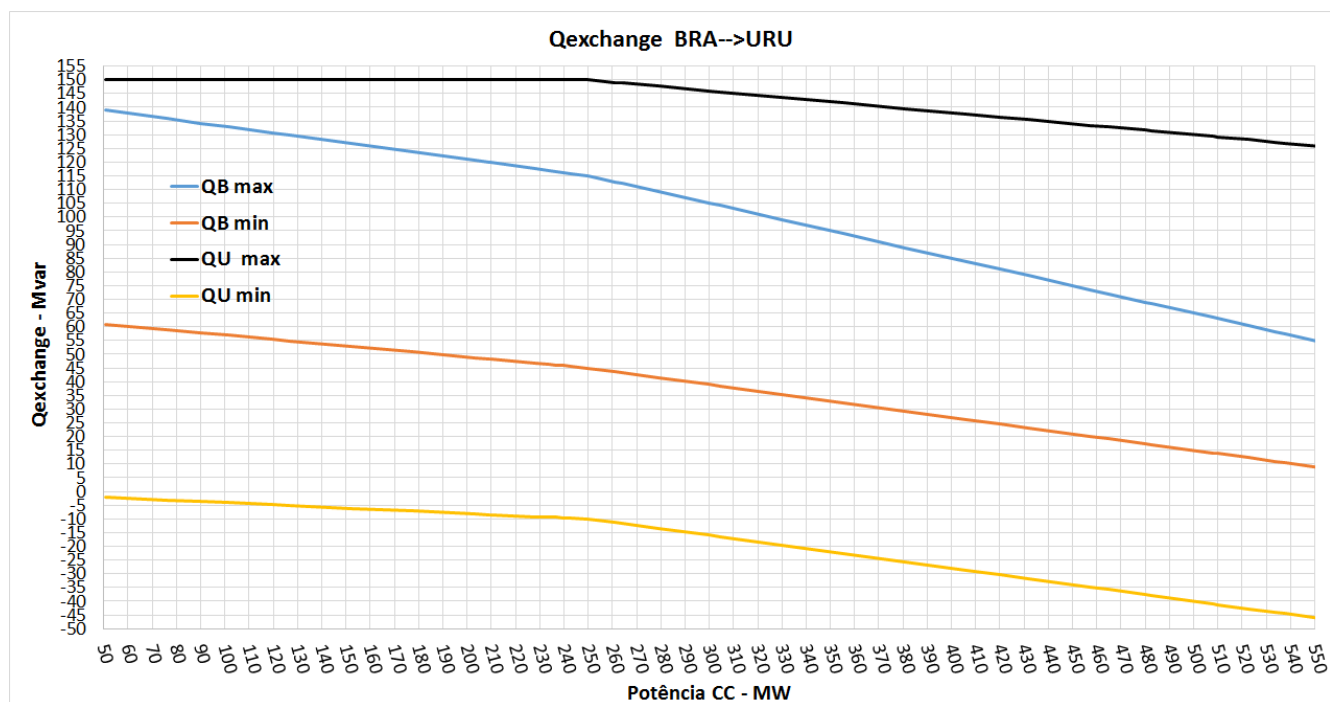


Tabela 14 – Tabela para inicialização da Vdc do retificador em kV – Transferências URUGUAI ⇌ BRASIL

		RETIFICADOR		
		URUGUAI		
Pdc	Pdc (MW)	Vdc sugerido ¹	Vdc max	Vdc min
10,00%	50,80	48,2	109,8	43,9
15,00%	76,20	69,8	109,8	47,1
17,70%	89,92	79,4	109,8	48,7
17,70%	89,92	79,4	109,8	47,8
20,00%	101,60	87,4	109,8	66,0
23,61%	119,94	97,8 ²	109,8	94,6
23,61%	119,94	69,0 ²	109,8	63,1
25,00%	127,00	72,2	109,8	65,5
30,00%	152,40	83,4	109,8	74,1
35,00%	177,80	93,8	109,8	82,7
40,00%	203,20	101,8	109,8	91,3
41,30%	209,40	104,2	109,8	93,4
41,40%	209,96	104,2	109,8	93,6
45,00%	228,60	109,8	109,8	99,9
47,20%	239,93	112,5 ²	114,3	103,8
47,30%	239,93	92,7 ²	114,3	83,9
50,00%	254,00	96,1	125,0	87,5
55,00%	279,40	104,0	134,3	93,9
60,00%	304,80	112,2	137,0	100,3
65,00%	330,20	119,7	139,7	106,7
70,00%	355,60	127,2	142,3	113,2
75,00%	381,00	134,7	145,0	119,6
80,00%	406,40	141,3	147,7	126,0
85,00%	431,80	147,2	150,4	132,4
90,00%	457,20	153,1	153,1	138,8
95,00%	482,60	155,8	155,7	145,1
100,00%	508,00	158,4	158,4	149,6
105,00%	533,40	158,4	158,4	158,4
110,00%	558,80	158,4	158,4	158,4

Notas: 1. Tensão no 525 kV da C. F. Melo = 1,000 pu.

2. Antes e depois do chaveamento de filtro.

Tabela 15 – Tabela para inicialização da Vdc do retificador em kV – Transferências BRASIL ⇌ URUGUAI

		RETIFICADOR		
		BRASIL		
Pdc	Pdc (MW)	Vdc sugerido ¹	Vdc max	Vdc min
10,00%	50,80	48,2	109,80	43,90
15,00%	76,20	69,0	109,80	47,10
17,70%	89,92	79,4	109,80	48,70
17,70%	89,92	79,4	109,80	47,80
20,00%	101,60	86,6	109,80	66,00
23,61%	119,94	97,8 ²	109,80	94,60
23,61%	119,94	68,2 ²	109,80	63,10
25,00%	127,00	71,4	109,80	65,50
30,00%	152,40	82,6	109,80	74,10
35,00%	177,80	92,2	109,80	82,70
40,00%	203,20	101,0	109,80	91,30
41,22%	209,40	102,6	109,80	93,40
41,33%	209,96	102,6	109,80	93,60
45,00%	228,60	108,2	109,80	99,90
47,23%	239,93	110,9 ²	114,30	103,80
47,23%	239,93	91,1 ²	114,30	83,90
50,00%	254,00	94,5	125,00	87,50
55,00%	279,40	102,4	134,30	93,90
60,00%	304,80	110,6	137,00	100,30
65,00%	330,20	118,1	139,70	106,70
70,00%	355,60	125,6	142,30	113,20
75,00%	381,00	132,3	145,00	119,60
80,00%	406,40	138,9	147,70	126,00
85,00%	431,80	144,8	150,40	132,40
90,00%	457,20	150,7	153,10	138,80
95,00%	482,60	155,8	155,70	145,10
100,00%	508,00	158,4	158,40	149,60
105,00%	533,40	159,2	160,00	158,40
110,00%	558,80	160,0	160,00	160,00

Notas: 1. Tensão no 525 kV da C. F. Melo = 1,000 pu.

2. Antes e depois do chaveamento de filtro.

Figura 17 – Gráfico para inicialização da Vdc do retificador – Transferências URUGUAI ⇒ BRASIL

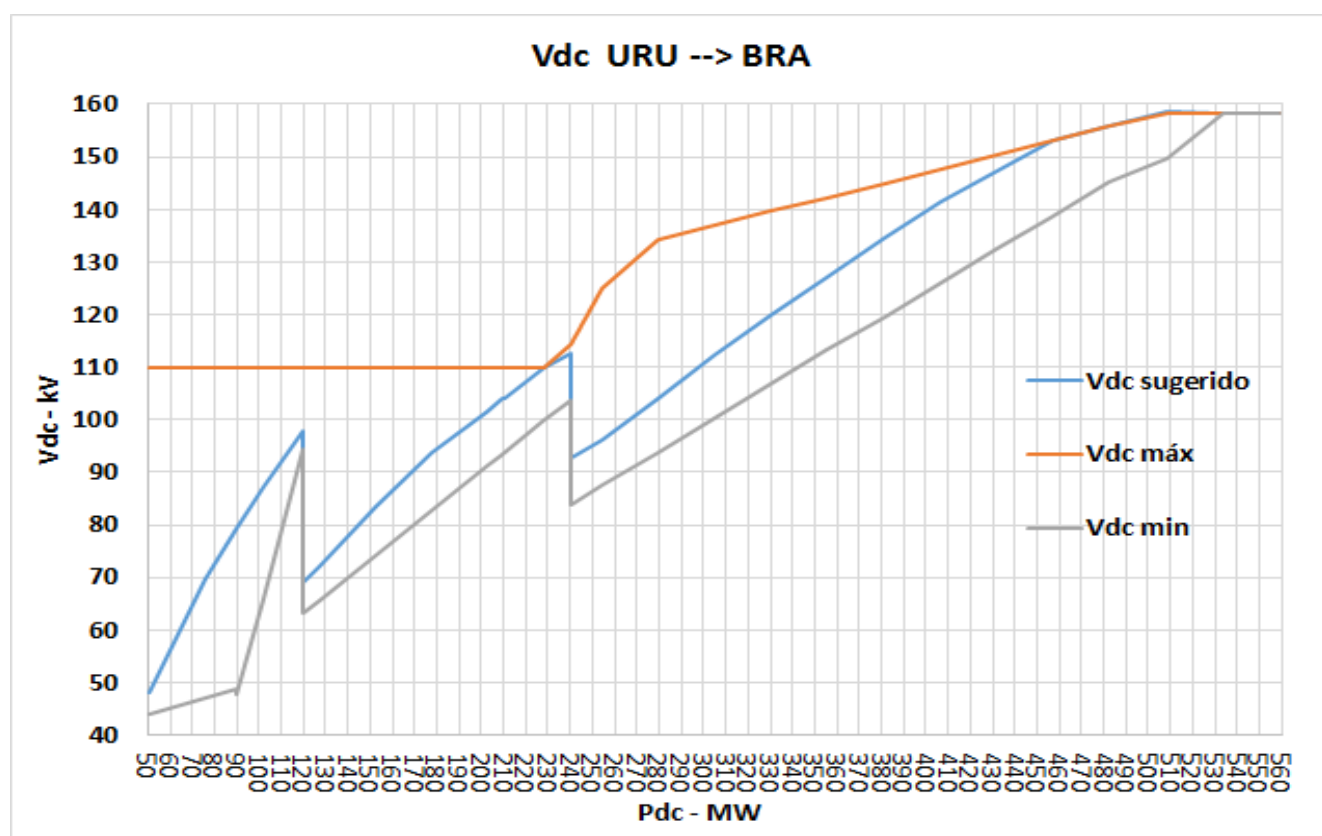


Figura 18 – Gráfico para inicialização da Vdc do retificador – Transferências BRASIL ⇒ URUGUAI

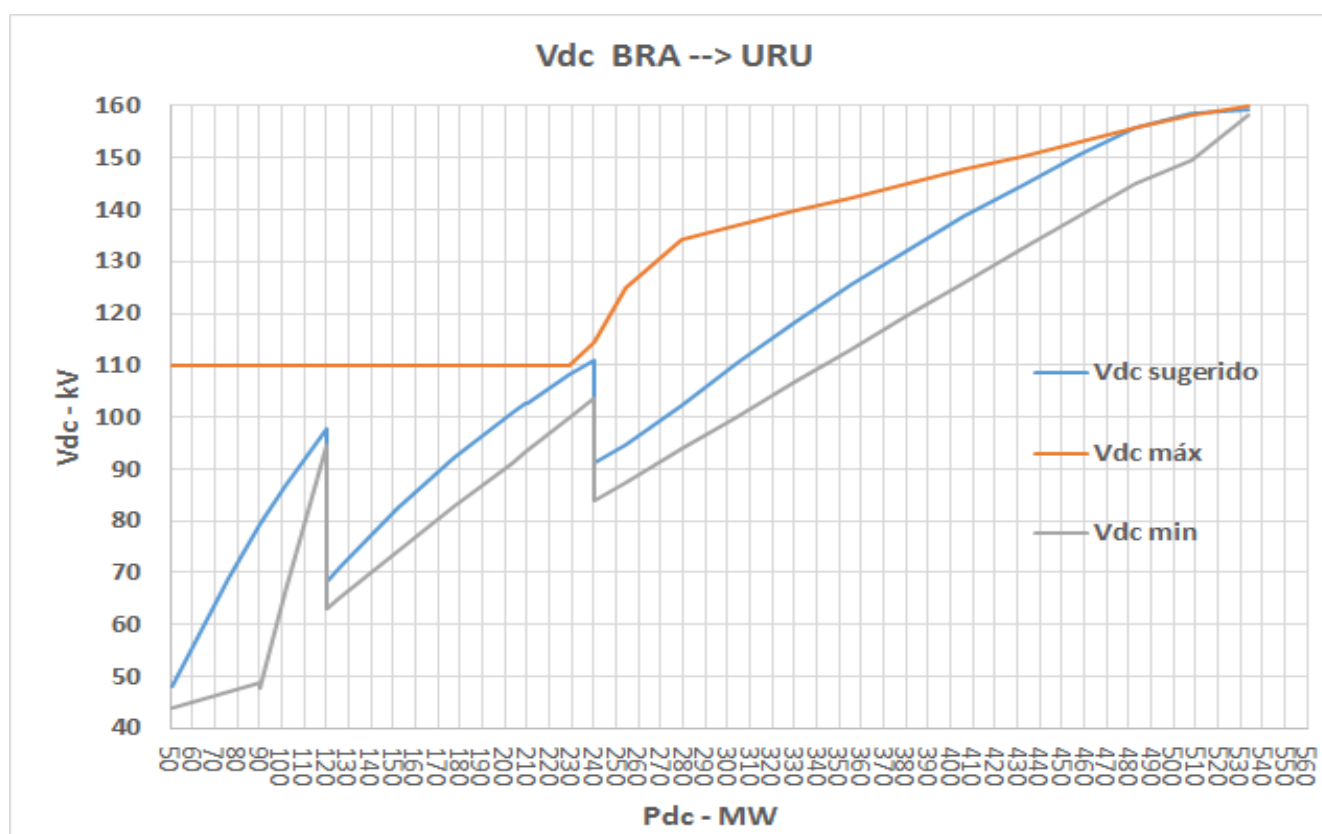


Tabela 16 – Tabela para inicialização dos ângulos de disparo e extinção (graus) – Transferências BRASIL ⇨ URUGUAI

Pd(%)	Pd(MW)	alfa			gama		
		Nom	Max	Min	Nom	Max	Min
10	50.8	69.1	72.1	40.6	70.2	73.1	39
15	76.2	60.6	69.9	39.5	61.9	71.3	38.2
17.7	89.9	56.1	68.7	38.9	57.5	70.4	37.8
17.8	90.4	56.1	68.9	38.9	57.5	70.6	37.8
20	101.6	52.8	66.9	38.4	54.2	68.6	37.5
23.6	119.9	47.3	63.5	37.6	48.9	65.3	36.9
23.7	120.4	59	63.2	37.6	60.9	65	36.9
25	127	57.6	62.3	37.3	59.6	64.1	36.6
30	152.4	52.4	58.6	36.1	54.6	60.6	35.8
35	177.8	47.6	54.9	34.9	50	57	35
40	203.2	42.8	51	33.7	45.5	53.3	34.2
41.3	209.8	41.8	50	33.4	44.6	52.4	33.9
41.4	210.3	41.8	55.9	33.4	44.6	58.6	33.9
45	228.6	38.4	53.8	32.5	41.5	56.6	33.3
47.2	239.8	36.6	52.5	30.2	39.9	55.3	31.1
47.3	240.3	45.7	52.5	30.1	49	55.3	31
50	254	43.7	50.8	18.9	47.2	53.8	19.4
55	279.4	40.5	48.6	8.4	44	51.6	19.7
60	304.8	37.3	45.9	7.9	41	49	19.5
65	330.2	34.6	43.9	7.6	38.3	47.1	19.3
70	355.6	31.7	42	7.2	35.5	45.2	19.1
75	381	29.1	40	7.2	33.1	43.4	19
80	406.4	26.4	38	7.1	30.7	41.6	18.9
85	431.8	24.1	36	7	28.7	39.8	18.8
90	457.2	21.5	34.1	6.6	26.6	38	18.7
95	482.6	19.4	31	6.3	25	35.2	18.7
100	508	19.2	29.8	5.6	25	34.2	18.6
105	533.4	19.4	24.3	9.7	25.4	29.4	18.5
110	558.8	18.9	23.5	9.9	25.2	28.9	18.9

Tabela 17 – Tabela para inicialização dos ângulos de disparo e extinção (graus) – Transferências URUGUAI ⇨ BRASIL

Pd(%)	Pd(MW)	alfa			gama		
		Nom	Max	Min	Nom	Max	Min
10	50.8	69.6	72.6	39.8	69.8	72.7	38.6
15	76.2	60.9	70.6	38.9	61.1	70.7	37.6
17.7	89.9	56.7	69.5	38.4	56.9	69.7	37.1
17.8	90.4	56.7	69.7	38.4	56.9	69.9	37.1
20	101.6	53.1	67.7	38	53.3	67.9	36.6
23.6	119.9	48.1	64.4	37.3	48.3	64.5	35.9
23.7	120.4	59.6	64.1	37.2	59.8	64.3	35.9
25	127	58.3	63.1	37	58.4	63.3	35.6
30	152.4	53.2	59.6	36	53.4	59.7	34.6
35	177.8	48.1	55.9	35	48.3	56.1	33.5
40	203.2	43.8	52.2	34	44	52.3	32.5
41.3	209.8	42.4	51.1	33.7	42.7	51.3	32.2
41.4	210.3	42.4	57.2	33.7	42.7	57.4	32.2
45	228.6	39.1	55.2	33	39.4	55.4	31.3
47.2	239.8	37.4	53.9	30.8	37.7	54.1	29
47.3	240.3	46.7	53.9	30.6	46.9	54.1	28.8
50	254	44.8	52.3	19.3	45.1	52.5	21.5
55	279.4	41.5	50	8.7	41.9	50.3	20.2
60	304.8	38.3	47.4	8.1	38.8	47.7	20
65	330.2	35.4	45.4	7.6	36.1	45.8	19.9
70	355.6	32.5	43.5	7.2	33.3	43.9	19.8
75	381	29.5	41.6	6.8	30.4	42	19.7
80	406.4	26.8	39.8	6.5	27.8	40.1	19.5
85	431.8	24.5	39.6	6.5	25.6	40	19.5
90	457.2	22.2	39.6	6.5	23.2	40	19.5
95	482.6	22.1	37.9	6.4	23.1	38.2	19.3
100	508	22	37.4	6.3	22.9	37.7	19.3
105	533.4	22.8	37.4	6.3	23.7	37.7	19.3
110	558.8	23.1	36	6.3	23.9	36.3	19.1

Figura 19 – Gráfico para inicialização dos ângulos de disparo e extinção – Transferências BRASIL ⇒ URUGUAI

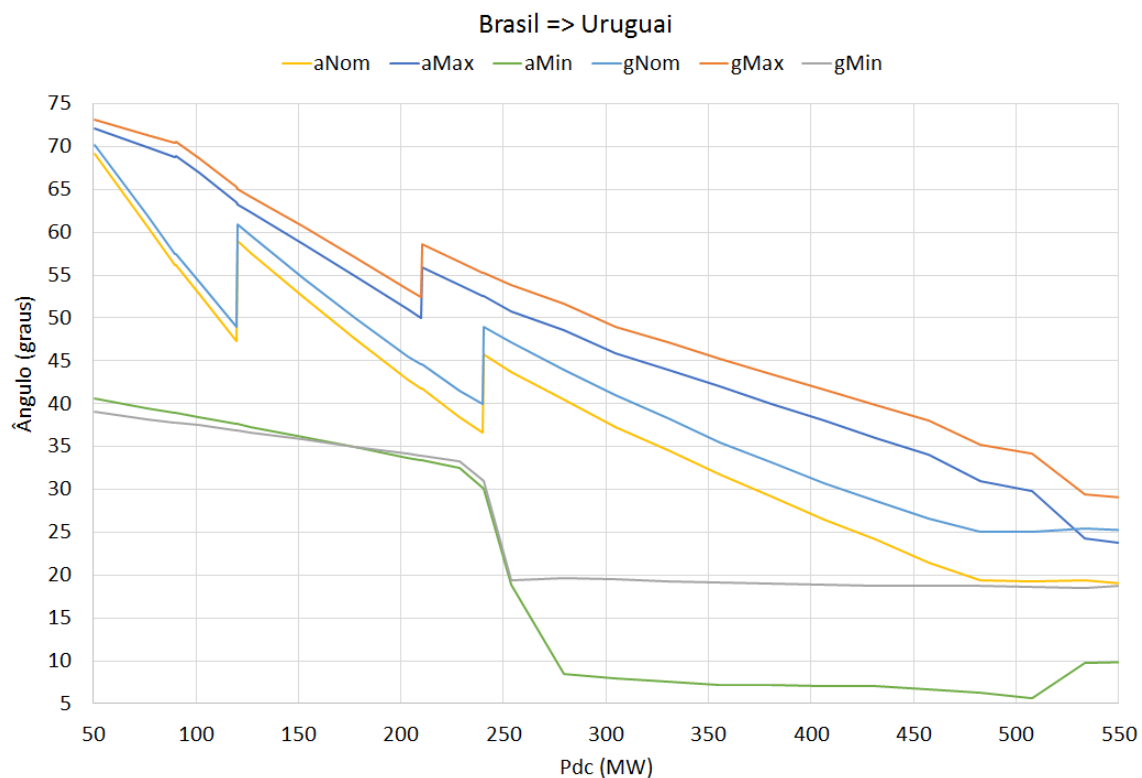
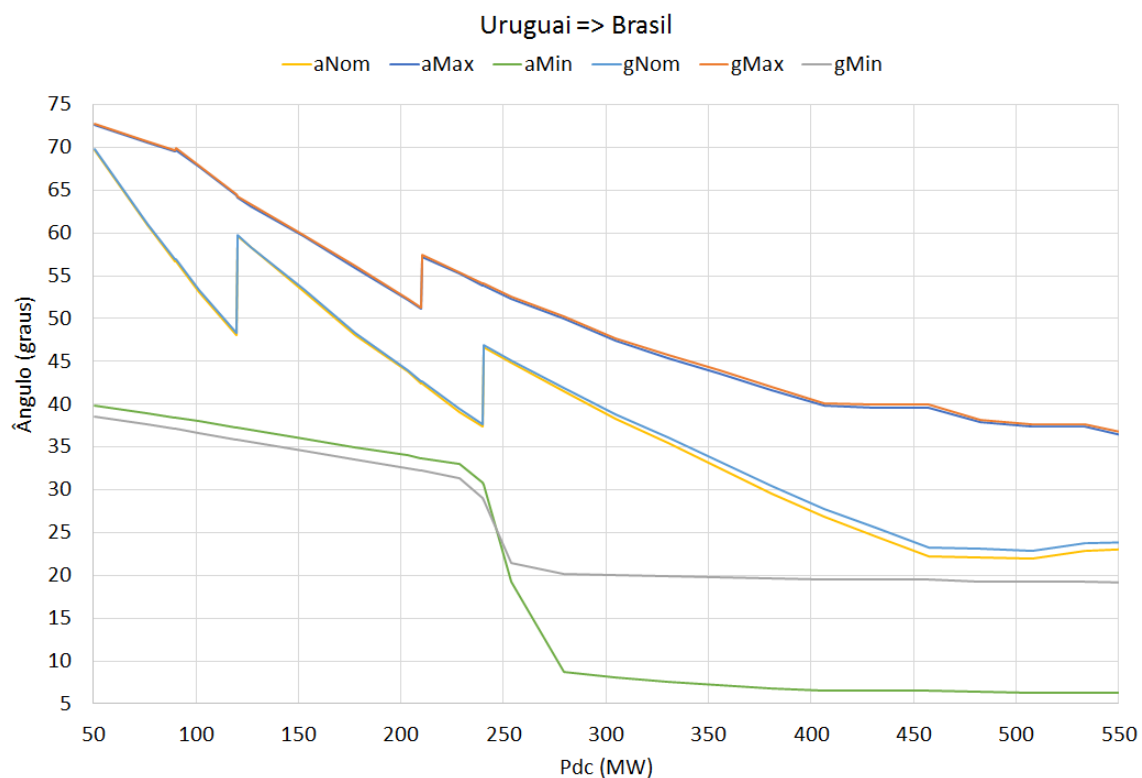


Figura 20 – Gráfico para inicialização dos ângulos de disparo e extinção – Transferências URUGUAI ⇒ BRASIL



6 RECOMENDAÇÕES

1. Para a simulação de emergências eletricamente próximas ao HVDC de Melo, ou seja, que interfiram em sua operação e, como consequência, exijam a representação completa dos controles associados a C. F. Melo (incluindo seus controles auxiliares) haverá a necessidade de limitar, no ajuste do ponto de operação do fluxo de potência, as seguintes grandezas em cada lado do HVDC, visando a correta inicialização dos modelos dinâmicos, conforme apresentado nas Tabelas e figuras apresentadas no item 5.3.1.2.

Nesse sentido, foi incorporado a este relatório procedimento simplificado para o ajuste dos casos de fluxo de potência, utilizando tabelas e gráficos, conforme apresentado no item 5.3.1.2.

Adicionalmente, para facilitar ainda mais esta tarefa, foi criada pelo ONS (EGS) uma Planilha Excel, incorporada à Base de Dados, que fornece o ajuste do Fluxo de potência para a inicialização dos modelos Anatem, para cada ponto de operação simulado, bastando para isso fornecer o valor e o sentido da potência transferida.

2. Para a simulação de emergências eletricamente afastadas do HVDC de Melo, ou seja, que pouco interfiram em sua operação, não exigindo a representação completa dos controles associados a Conversora, pode-se realizar a simulação desativando os controles auxiliares ou, ainda, retirando a Conversora do caso.
Destaque-se contudo, que a desativação da ação dos controles auxiliares não elimina a necessidade de sua correta inicialização para análise de estabilidade.

3. **A otimização de funções de controle de potência reativa (RPC) da conversora para fins específicos (ACVCM e RPEM), deve considerar todas as condições e ajustes que permitem sua atuação, com ênfase para as faixas de Qexch (RPEM) e Vca (ACVCM).**

Da mesma forma, a obtenção dos objetivos de desempenho operacional desejados, a partir da otimização de funções de controle de potência reativa, dependerá da escolha adequada dos modos de operação a serem utilizados em cada lado do HVDC.

7 REFERÊNCIAS

- [1] Relatório ONS 3-046/2015 – Tutorial para simulação da Conversora de Frequência de Melo nos programas Anarede e Anatem – Julho/2015.
- [2] – Complementação do Modelo do Back-to-Back de Melo para o Programa ANATEM – Doc. n.º RL-CK168-02-18 – Jordão Engenharia.
- [3] – Relatório ONS 3-031/2015 – Integração da Conversora de Frequência de Melo (500 MW) e obras associadas ao SIN – Análise pré-operacional.
- [4] – ALSTOM HVDC Model for use in PSS/E – Estacion Conversora de Frecuencia de Melo – MELO-PO1-0000-PES-4238-TN – Revisão 4 – ALSTOM.
- [5] – Relatório ONS 3-031/2015 – Integração da Conversora de Frequência de Melo (500 MW) e obras associadas ao SIN – Análise pré-operacional.
- [6] – Estacion Conversora de Frecuencia de Melo – MAIN CIRCUIT PARAMETRES – MELO - PO1 - HVDC - PES - 2501 – RR – Revisão 3 – AREVA.
- [7] – Estacion Conversora de Frecuencia de Melo – HVDC OPERATION AND CONTROL STRATEGY FOR MELO – MELO-PO1-0000-PES- 2604-TS – Revisão 7 – ALSTOM.
- [8] – Estacion Conversora de Frecuencia de Melo – MELO - HVDC PROTECTION FOR A BACK-TO-BACK SCHEME – MELO-PO1-0000-PES- 2605-TS – Revisão 5 – ALSTOM.
- [9] – Estacion Conversora de Frecuencia de Melo – MELO - TRANSIENT STABILITY FOR MELO HVDC FREQUENCY CONVERTER – MELO-PO1-0500-PES-2527-RR – Revisão 2 – AREVA – Parte 1 a 9.
- [10] – Estacion Conversora de Frecuencia de Melo – Transient Stability and Fundamental Frequency Temporary Overvoltage (FFTOV) Study Outline Report – MELO-PO1-0000-PES-2500-RR – Revisão 9 – AREVA.
- [11] – Estacion Conversora de Frecuencia de Melo – Transient Overvoltage Study Outline Report – MELO-PO1-HVDC-PES-2508-RR – Revisão 4 – AREVA.
- [12] – Melo Back to Back HVDC System Model for the Transient Stability Program ANATEM - RL-CL110-01-14 – Revisão 2 – Jordão Engenharia.
- [13] – Complementação do Modelo do HVDC Back-to-Back de Melo para o Programa ANATEM – R L-CL110-01-15 – Revisão 0 – Jordão Engenharia
- [14] – SE 525/230/13,8 kV Povo Novo, SE 525/138/13,8 kV Santa Vitória do Palmar 2, SE 525/15/13,8 kV Marmeleiro 2 e equipamentos associados – Análise pré-operacional da integração em configuração definitiva – Relatório ONS 3-004/2015.
- [15] – Estacion Conversora de Frecuencia de Melo – HVDC OPERATING CHARACTERISTICS – MELO-PO1-HVDC-PES-2529-RR – Revisão 1 – AREVA.

8 CRÉDITOS

Elaboração : Eng. José Mario Mamfrin Capano Jr. – ONS/DPL/EG/EGE.

Revisão : Jordão Engenharia e ONS.

Gerência : Eng. Leandro Dehon Penna – ONS/DPL/EG/EGE

Ger. Executiva : Eng. Mauro Muniz – ONS/DPL/EG.