



**XX SNPTEE
SEMÍNÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
XXX.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO-IV

GRUPO DE ESTUDOS DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMA DE POTÊNCIA CA E CC-GAT

AValiação DO RELIGAMENTO MONOPOLAR DAS LINHAS DA SE-MD 220 KV DA ITAIPU E ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO RELIGAMENTO TRIPOLAR

Robson Almir de Oliveira

ITAIPU BINACIONAL

(*) José Benedito Mota Júnior

RESUMO

Este trabalho visa analisar o desempenho do religamento monopolar dos dois circuitos de 220 [kV] entre as subestações Margem Direita, da Itaipu, e de Carayaó, do sistema ANDE- Paraguai, que vem apresentando um baixo índice de sucesso. Foram identificados, através de simulações, os níveis de corrente de arco secundário e de tensão de restabelecimento, de forma a verificar se há a necessidade de reajuste do religamento monopolar implantado. Outra possibilidade analisada é a implantação do religamento tripolar, uma vez que este tipo de religamento tem maiores chances de sucesso devido à interrupção das correntes nas fases sãs, as quais não serão mais responsáveis pela indução de corrente de arco secundário na fase faltosa. Baseado nos critérios técnicos que possibilitem uma maior probabilidade de sucesso no religamento e de menor consequência para o sistema elétrico paraguaio em função da dinâmica pós-perturbação, é escolhido o melhor tipo de religamento que deve ser aplicado nestas linhas, se monopolar ou tripolar.

PALAVRAS-CHAVE

Religamento monopolar, religamento tripolar, arco secundário, tempo morto, tensão de restabelecimento.

1.0 - INTRODUÇÃO

A Usina Hidrelétrica de Itaipu atualmente é responsável pelo atendimento de aproximadamente 20 % da energia elétrica consumida no Brasil e 90% da energia consumida no Paraguai, e está conectada aos principais corredores de transmissão do Sistema Interligado Nacional brasileiro (SIN) e do sistema do Paraguai: o setor de 60 Hz conectado ao sistema de transmissão em 765 kV e o setor de 50 Hz conectado ao Elo de Corrente Contínua em ± 600 kV e a quatro linhas de 220 kV que alimentam o Paraguai. A usina atualmente possui 20 unidades geradoras com potência nominal de 700 MW cada uma, totalizando 14.000 MW.

A interconexão de Itaipu 50 Hz com o sistema da ANDE é feita na SE Margem Direita (SE-MD) através de autotransformadores/reguladores que realizam a transformação 500/220 kV e ajustam o nível de tensão no setor de 220 kV às necessidades do sistema paraguaio. A partir da SE-MD 220 kV saem quatro linhas de 220 kV, duas para a SE-Acaray (SE-ACY) e duas para SE-Carayo (SE-CYO), conforme mostra a Figura 1 a seguir. Estas quatro linhas são de vital importância para o atendimento das cargas do sistema paraguaio e, com o crescente aumento da demanda deste sistema, estas linhas têm operado cada vez mais carregadas e próximas ao limite térmico dos cabos, sendo que em algumas situações de carregamento o sistema não suporta a perda de um desses circuitos sem que haja corte de carga.

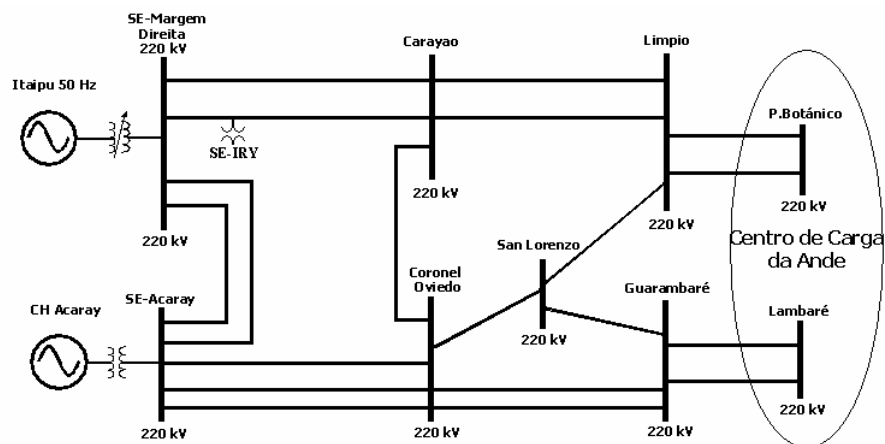


FIGURA 1 – Diagrama unifilar simplificado do setor 50 Hz da Itaipu com sistema Paraguaio.

Os dois circuitos entre a SE-MD e SE-ACY tem comprimento muito pequeno, cerca de 8 km, e não se tem verificado um número relevante de faltas. Porém, as duas linhas entre as SE-MD e SE-CYO, que possuem 210 km e são de circuito duplo na mesma torre, têm apresentado um maior número de falhas, relacionadas principalmente a descargas atmosféricas e queimadas. Como esses tipos de faltas são predominantemente monofásicas foi implantado nos dois circuitos entre a SE-MD e a SE-CYO o religamento monopolar, sem nenhum esquema especial para forçar a extinção da corrente de arco secundário, tal como reator de neutro.

2.0 - RELIGAMENTO AUTOMÁTICO

O religamento automático é um recurso utilizado com frequência nos sistemas elétricos de potência. Na prática, a utilização do religamento automático faz convergir os interesses dos operadores de sistemas elétricos e das concessionárias de transmissão.

Dentre os benefícios que derivam da utilização do religamento automático podem ser citados:

- Melhoria do desempenho dinâmico do sistema;
- Redução dos efeitos de perturbações que resultam de desligamentos subsequentes;
- Aumento da confiabilidade e a redução do tempo de recomposição dos sistemas elétricos;
- Aumento da disponibilidade dos circuitos.

Os benefícios do religamento automático somente são obtidos quando a manobra ocorre com sucesso. Então, deve-se buscar sempre o maior índice possível de religamentos bem sucedidos.

Para entender melhor o processo e a física que envolvem um religamento deve-se atentar para os seguintes aspectos.

2.1 Corrente de arco secundário e tensão de restabelecimento

A corrente de falta que flui pelo caminho do arco após a abertura do disjuntor é denominada corrente de arco secundário. Esta corrente é derivada dos acoplamentos eletrostáticos (capacitivo) e eletromagnéticos (indutivo) com as duas outras fases energizadas no caso monopolar, por isso é mais característica nos casos de abertura monopolar do disjuntor, e/ou outras linhas em paralelo, caso existam. Na abertura tripolar esta corrente se extingue rapidamente.

Quando a corrente de arco secundário se extingue, aparece pelo seu caminho o que se denomina de tensão de restabelecimento. Magnitude e taxas de variações elevadas desta tensão podem levar a reignição do arco secundário (1). Se após o tempo morto do religamento ainda permanecer uma corrente de arco secundário, quando for fechado o disjuntor aparecerá novamente a corrente de arco primário ou de curto-circuito, levando a nova atuação da proteção e ao insucesso do religamento.

2.2 Tempo Morto

De forma geral, pode-se afirmar que o aumento do tempo morto conduz ao aumento da taxa de sucesso do religamento automático, ou seja, o limite mínimo do tempo morto é aquele que garante a extinção do arco secundário. O religamento tripolar permite uma flexibilidade maior na escolha deste tempo, uma vez que não tem que ser coordenado com, por exemplo, a proteção de sobrecorrente de neutro no caso do religamento monopolar (2). O limite máximo para o tempo morto de religamento tripolar é a estabilidade do sistema.

Na prática, caso não se tenha compromisso com a estabilidade do sistema, pode-se adotar tempos mortos de até 10 segundos para o esquema de religamento tripolar. Entretanto, caso se queira extrair benefícios efetivos do religamento tripolar para a estabilidade do sistema, faz-se necessário a adoção de tempos mortos muito baixos, da ordem de 500 [ms], por exemplo. A escolha do tempo morto é predominantemente influenciada pelo tempo que leva para extinguir o arco secundário.

2.3. Extinção do arco secundário

Segundo levantamentos práticos realizados por diversos autores (1), a extinção do arco secundário tem comportamento probabilístico, conforme apresentado na Figura 2, onde se tem o tempo de extinção do arco secundário (t_{ext}) em função da corrente de arco secundário (I_s) de regime permanente (1).

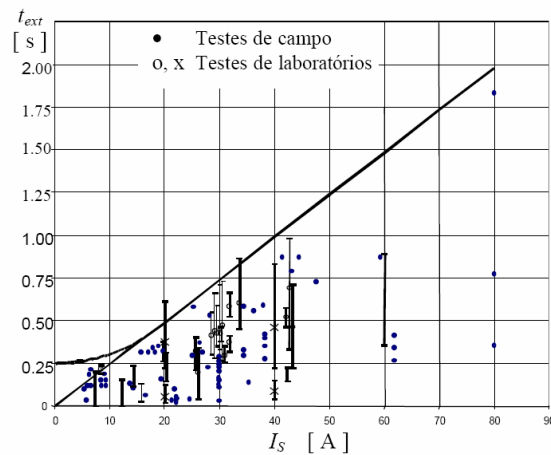


FIGURA 2 – Duração do arco secundário.

Na prática, a Figura 2 mostra que para uma corrente de arco secundário da ordem de 30 [A], por exemplo, o tempo esperado de extinção do arco secundário é de 750 [ms]. Obviamente, a escolha do tempo morto deverá ser comprovada em estudos de estabilidade e verificada em análise de ocorrências.

Outro método utilizado na avaliação da extinção do arco secundário aplicado a religamento monopolar emprega o ábaco levantado pelo CESI – *Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano* (1), o qual delimita uma região de provável extinção do arco secundário, baseado em limites do primeiro pico de tensão de restabelecimento (V_R) e do valor eficaz da corrente de arco secundário (I_s) em [A], conforme Figura 3 a seguir.

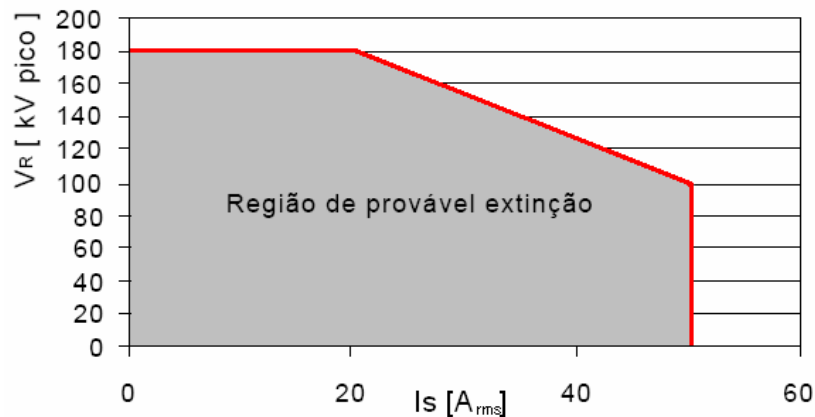


FIGURA 3 – Curva da região de provável extinção do arco secundário.

Conforme Figura 3, para uma corrente de arco secundário de 20 A e uma tensão de restabelecimento inferior a 180 [kV], há uma grande probabilidade do religamento automático ser bem sucedido.

2.4 Tipo do Religamento

2.4.1 Religamento Monopolar

Neste esquema de religamento a eliminação do defeito é feita através da abertura apenas da fase sob falta (abertura monopolar), tipicamente adotado em circuitos em que a maioria dos defeitos envolve apenas uma fase e a terra. Para ser factível, a proteção do circuito tem que ser capaz de realizar a identificação precisa da fase sob defeito, bem como os disjuntores envolvidos devem estar preparados para abertura e fechamento individual de seus pólos.

Para a conclusão do religamento, depois de transcorrido o tempo morto, conecta-se a fase que foi desligada. Durante o ciclo do religamento monopolar permanecem em serviço as fases sãs do circuito, desta forma não ocorre a interrupção total do fluxo de potência pela linha. Esta estratégia melhora o desempenho dinâmico, a confiabilidade e a disponibilidade do sistema ao se comparar com a abertura tripolar. Além disso, há também a redução da sobretensão de chaveamento, pois tem-se apenas uma fase aberta, isto se comparada com a condição de chaveamento tripolar (1). Este tipo de religamento é aplicado tipicamente em sistemas elétricos com características radiais, onde, quase sempre, o critério de planejamento N-1 não é garantido.

Outro detalhe importante do religamento monopolar é que durante o processo de religamento o sistema elétrico opera desequilibrado, o que pode levar a atuação de proteção de sobrecorrente de neutro de outros equipamentos. Desta forma, o tempo morto do religamento monopolar é decisivo na coordenação das proteções envolvidas no sistema em estudo.

O religamento monopolar somente é aplicado a defeitos que envolvem apenas uma fase, caso contrário deve-se proceder à abertura tripolar da linha.

2.4.2 Religamento Tripolar

No caso do religamento automático tripolar a eliminação do defeito ocorre em função da abertura das três fases da linha de transmissão. Depois de transcorrido o tempo morto, a manobra é concluída com a energização pelo terminal líder e o conseqüente fechamento de anel pelo terminal seguidor (2).

A abertura tripolar aumenta a chance de sucesso na extinção da causa do defeito, haja vista que ocorre a abertura de todas as fases pelo período do tempo morto. Desta forma, no religamento tripolar as chances de sucesso aumentam, sobretudo para defeitos relacionados a descargas atmosféricas ou queimadas (defeitos fugitivos).

Entretanto, a abertura tripolar do circuito interrompe totalmente o fluxo de potência pela linha de transmissão, com impacto mais severo ao sistema que no caso da abertura monopolar. Além disso, no fechamento do anel após o tempo morto deve-se considerar os ajustes adequados de verificação de sincronismo, principalmente no que se refere às defasagens angulares.

3.0 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DO DESEMPENHO DO RELIGAMENTO MONOPOLAR DAS LIS 220 KV MD-CYO

As duas linhas LI 220 kV MD-CYO apresentam um comportamento diferente entre si em relação ao religamento monopolar. A linha LI 220 kV MD-CYO, conforme mostrado na Figura 4a apresentou no período de 5 anos (2004 a 2008) um total de 13 faltas monofásicas (59% do total de faltas), das quais 7 falhas (56%) resultaram em religamentos monopolares bem sucedidos. Houve 4 (29%) religamentos sem sucesso motivado pela não extinção do arco e outros 2 (14%) provocados pela evolução da falha para falta bifásica.

A linha LI 220 kV MD-IRY-CYO apresentou no mesmo período 7 (44%) falhas monofásicas, sendo que nenhuma destas faltas resultou em religamento com sucesso, conforme mostrado na Figura 4b. Houve 6 religamentos sem sucesso (85%) devido a não extinção da falha e 1 (15%) motivado pela evolução da falha para falta bifásica.

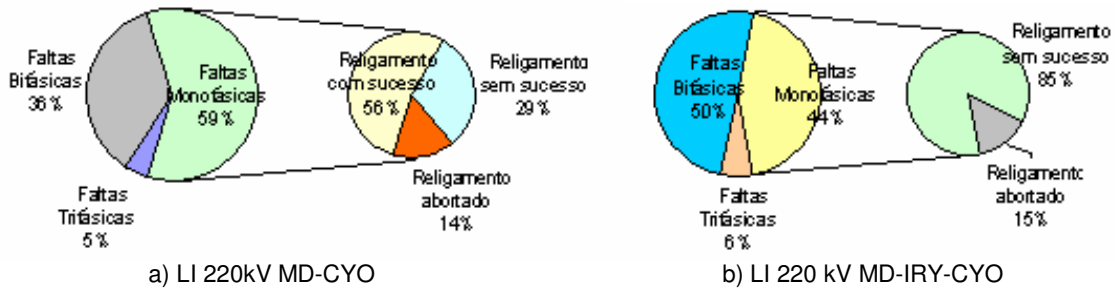


FIGURA 4 – Numero de Faltas na linha x Número de Religamentos monopolares - (Universo de 5 anos)

Por estes resultados, pode-se notar claramente que há uma acentuada diferença entre estas duas linhas no que diz respeito ao sucesso do religamento monopolar. A linha LI 220 kV MD-IRY-CYO não apresentou um único religamento bem sucedido em todo o período estudado. O único ponto que difere os dois circuitos e que pode estar interferindo no desempenho do religamento monopolar da linha LI 220 kV MD-IRY-CYO é o fato desta linha possuir uma derivação (SE-Itakyry) à 70 [km] da SE-MD, conforme Figura 5 a seguir.

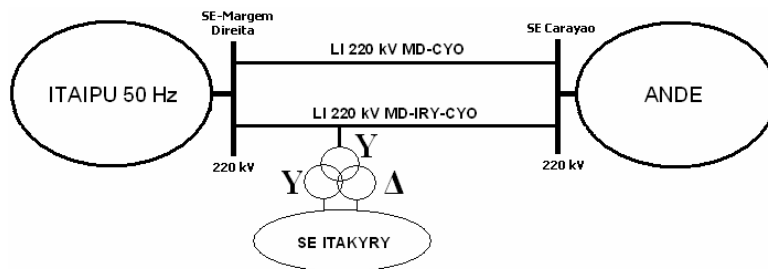
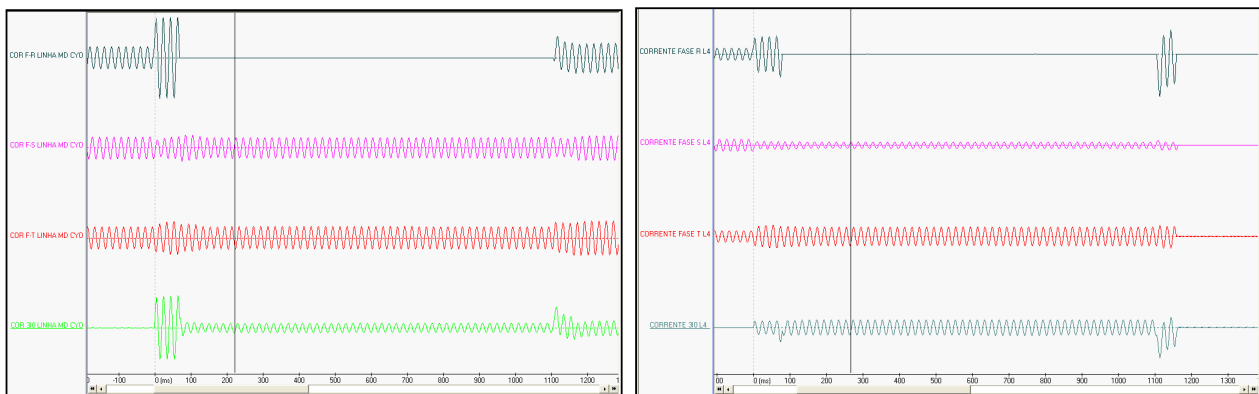


FIGURA 5 – Linhas entre as SEs MD e CYO.

Para ilustrar essa diferença, a Figura 6 mostra os registros oscilográficos de uma perturbação ocorrida em maio de 2007 onde uma falha monofásica atingiu os 2 circuitos. Nesta perturbação houve o início do processo de religamento monopolar nos 2 circuitos, sendo que o mesmo foi concluído com sucesso apenas na linha LI 220 kV MD-CYO (Figura 6a). Na linha LI 220 kV MD-IRY-CYO é possível observar que no momento do fechamento da fase que se encontrava aberta durante o religamento apareceu novamente corrente de falta culminando desta vez, no desligamento tripolar desta linha.



a) LI 220 kV MD-CYO.
b) LI 220 kV MD-IRY-CYO.
FIGURA 6 – Registro oscilográfico de uma falha monofásica que atingiu as duas linhas.

4.0 - ESTUDO DO RELIGAMENTO DAS LINHAS MD-CYO

As linhas LI 220 kV MD-CYO e LI 220 kV MD-IRY-CYO foram construídas na década de 90 e não possuem meios de forçar a extinção da corrente de arco secundário. Assim sendo, para se melhorar o desempenho deste religamento pode-se proceder de duas maneiras: mudar o tempo morto do religamento ou então alterar a modalidade do mesmo, de monopolar para tripolar.

4.1 Análise do atual religamento automático monopolar

A análise do religamento monopolar, conforme mencionado anteriormente, deve ser baseada na extinção da corrente de arco secundário. Deve-se obter o valor desta corrente a partir de simulações, e realizar a coordenação do tempo morto necessário para a extinção da corrente de arco secundário com a temporização das demais proteções de elementos adjacentes.

A corrente de arco secundário foi obtida por simulações no ATP – *Alternative Transients Program* (7), com a representação do seguinte sistema, onde as linhas foram representadas pelo modelo de parâmetros distribuídos (Clarke) para linhas transpostas (5) (6):

- Itaipu com todas as unidades geradoras, linhas e transformadores, sendo os níveis de tensão de 18 [kV], 500 [kV] e 220 [kV],
- ANDE (Paraguai): todas as linhas de 220 kV e a hidrelétrica de Acaray;
- Elo de CC de Furnas modelado através de cargas RLCs com seus respectivos filtros.

Foram realizadas simulações variando a distância da falta relativa a SE-MD, e o resultado encontra-se apresentado a seguir. Nestes casos, a tensão da SE-MD 220 [kV] estava ajustada em 235 [kV], que é um valor médio de operação. Para o carregamento de ambas linhas também foi considerado um valor normal de operação (em torno de 200 [MW] por cada linha).

4.1.1 Análise do religamento para a LI 220 kV MD-CYO

O resultado da aplicação de curto-circuito monofásico na LI 220 kV MD-CYO encontra-se na tabela 1 a seguir. Observa-se nesta tabela que os valores da corrente de arco secundário (I_S) e da tensão de restabelecimento (V_R) levam a conclusão que o atual tempo de religamento para faltas monofásicas, ajustado em 1 [s], está adequado, já que conforme a Figura 2 anterior seria necessário um tempo morto de aproximadamente 500 [ms] para se ter a extinção da corrente de arco secundário da ordem de 10 [A]. A tensão de restabelecimento não apresenta valores que, conforme mostrado na Figura 3, indicassem a possibilidade do reacendimento do arco. Assim sendo, pode-se concluir que o religamento monopolar da LI 220 kV MD-CYO está adequado, não havendo motivo para que o mesmo sofra alteração.

TABELA 1 – Curto-circuito na LI MD-CYO (L3).

Localização da falta (%)	I_S (A_{rms})	V_R (kV_{pico})
0	10,16	45,4
10	9,92	44,1
33	9,31	41,6
50	9,07	40,6
100	8,61	38,2

O desempenho satisfatório do religamento monopolar da linha LI 220 kV MD-CYO é confirmado pela estatística do religamento monopolar nesta linha no período de 5 anos (Figura 4a), onde do total de falhas monofásicas, 56% obtiveram êxito no religamento monopolar.

As simulações não mostraram uma influência muito grande nos valores da corrente de arco secundário bem como da tensão de restabelecimento, se considerado as linhas em plena carga ou a vazio, com um terminal aberto. Para o caso do curto-circuito logo na saída da linha na SE-MD (0%) a corrente que era 10,16 [A] para um fluxo de 200 [MW] pela linha reduziu para 9,80 [A] para a linha a vazio, e a tensão de restabelecimento reduziu de 45,4 [kV] para 43,5 [kV] na mesma situação. Desta forma, não foi dada continuidade às avaliações com a variação do carregamento dessas linhas.

4.1.2 Análise do religamento da LI 220 kV MD-IRY-CYO

É importante observar na análise do religamento monopolar da LI MD-IRY-CYO que está linha possui uma derivação na SE-Itakyry, alimentando cargas por um transformador de 220/66/23 [kV], com conexão estrela/estrela/delta, conforme Figura 5 anterior. Assim sendo, foram consideradas cargas de 45 [MW] e 20 [Mvar] para o 66 [kV] e de 15 [MW] e 5 [Mvar] para o 23 [kV], cargas estas típicas desta subestação.

Os resultados das simulações no ATP encontram-se na Tabela 2 a seguir, podendo observar uma elevada corrente de arco secundário, chegando a atingir 400 [A], bem como uma elevada tensão de restabelecimento. Assim sendo, usando-se os critérios definidos pelas Figuras 2 e 3 pode-se concluir que o religamento monopolar

desta linha dificilmente obterá êxito, fato confirmado pela estatística, Figura 4 b, que aponta que nunca houve um religamento com sucesso desta linha.

TABELA 2 – Curto-circuito na LI MD-IRY-CYO (L4).

Localização da falta (%)	I_S (A _{rms})	V_R (kV _{pico})
0	294,0	183,3
10	318,7	184,3
33	401,4	181,0
50	356,6	183,1
100	277,1	185,3

Desta forma, concluí-se que a derivação em Itakyry conectada diretamente na linha leva a um elevado valor de corrente de arco secundário e de tensão de restabelecimento, o que inviabiliza o sucesso do religamento monopolar desta linha. Na outra linha paralela, a qual não possuiu derivação em Itakyry, os valores de I_S e V_R são normais, o que tem possibilitado que esta linha religue com sucesso.

Analisando a configuração do transformador que faz o rebaixamento da tensão em Itakyry, observa-se que a presença do delta no 23 [kV] é o principal fator que eleva a corrente de arco secundário e a tensão de restabelecimento. Se este transformador possuísse somente conexão em estrela os valores da corrente I_S e da tensão V_R seriam bastante reduzidos, o que poderia levar ao sucesso do religamento monopolar, conforme pode ser observado na Tabela 3 a seguir.

TABELA 3 – I_S e V_R na LI MD-IRY-CYO (L4) sem delta no transformador em Itakyry.

Localização da falta (%)	I_S (A _{rms})	V_R (kV _{pico})
0	38,0	39,4
10	37,2	38,3
33	35,7	35,7
50	34,8	35,5
100	32,5	34,9

Com estes valores de I_S e V_R o tempo morto de 1 segundo estaria adequado, conforme critério mostrado na Figura 2, ou seja, o desacoplamento das fases quando da troca da conexão delta pela estrela levaria a possibilidade de sucesso do religamento monopolar da linha LI 220 KV MD-IRY-CYO. Porém, a troca do transformador apenas para possibilitar o religamento monopolar com sucesso é uma solução inviável. Desta forma deve ser investigada a adoção do religamento tripolar nesta linha, visto que, com a abertura das 3 fases, a derivação na SE-IRY não influenciaria na extinção do arco. Esta avaliação é feita a seguir.

4.2 Religamento Tripolar na LI 220 kV MD-IRY-CYO

Através de simulações no ATP verificou-se que a influência da impedância mútua com a LI 220 KV MD-CYO é muito pequena, apresentando corrente de arco secundário inferior a 1 [A] mesmo para curto-circuito no terminal da SE-MD (0% de distância). Desta forma, a escolha do tempo do religamento tripolar deve ser direcionado pelo caracter sistêmico da linha, de forma a se obter o menor impacto na estabilidade do sistema (2) (3). A carga capacitiva da linha também não apresenta problema que possa influenciar no tempo morto, pois às cargas de Itakyry provocam o rápido descarregamento da linha.

Os dois circuitos de 220 kV entre a SE-MD e a SE-CYO possuem a 4ª zona da proteção de distância ativada para “trip”, com ajuste de 210 % da impedância da linha e com temporização de 1 segundo, devido ao fato das proteções destas linhas funcionarem como proteção de retaguarda para faltas nos sistema da ANDE (4). A Tabela 4 a seguir apresenta um fluxo de potência típico que pode ocorrer na linha LI 220 kV MD-CYO durante o tempo morto do religamento tripolar da LI 220 kV MD-IRY-CYO.

TABELA 4 – Fluxo de potência entre a SE-MD e SE-CYO.

LINHAS EM OPERAÇÃO	Fluxo LI MD-CYO	LI MD-IRY-CYO	Corrente na LI MD-CYO
2 LTs (pré-falta)	213 MW / 42 Mvar	228 MW / 50 Mvar	533 A
1 LT (durante tempo morto)	310 MW / 93 Mvar	0 MW / 0 Mvar	795 A

Percebe-se que o valor de corrente na linha remanescente pode atingir valores próximos a 800 A, indicando a possibilidade de atuação da 4ª zona durante o período de tempo morto do religamento tripolar da LI MD-IRY-CYO, quando associado a uma subtensão no sistema.

Assim sendo, o tempo morto do religamento tripolar deve ser inferior ao valor do ajuste de tempo da 4ª zona, que é de 1 [s], sendo adotado o tempo de 500 [ms]. Com este valor de tempo morto reduzido as conseqüências para o desempenho dinâmico do sistema são mais severas (2), entretanto, é uma característica do sistema da ANDE apresentar maiores problemas de sobrecarga e consequentemente de subtensão do que problemas dinâmicos. Assim sendo, é preferível aumentar a chance de sucesso e evitar que a linha fique fora em definitivo do que se preocupar com problemas de desempenho dinâmico.

5.0 - CONCLUSÃO

As linhas LI 220 kV MD-CYO e LI 220 kV MD-IRY-CYO são construtivamente idênticas, possuem ambas 210 km, e são de circuito duplo na mesma torre. Porém, a estatística de desempenho dos últimos 5 anos de operação da LI 220 kV MD-IRY-CYO indica que o religamento automático monopolar desta linha nunca foi realizado com sucesso, entretanto a LI 220 kV MD-CYO tem apresentado um resultado satisfatório no processo de religamento com sucesso, superando 50 % dos casos.

O desempenho satisfatório do religamento monopolar da LI 220 kV MD-CYO é justificado pelos baixos valores de corrente de arco secundário e tensão de restabelecimento apresentados por esta linha, sendo recomendado a manutenção deste religamento.

O estudo do religamento monopolar da LI 220 kV MD-IRY-CYO indica um elevado valor de corrente de arco secundário bem como uma elevada tensão de restabelecimento transitória durante o processo de religamento monopolar. Os elevados valores destas duas grandezas indicam que o religamento monopolar desta linha muito dificilmente obterá sucesso, o que é ratificado pela estatística de desempenho deste religamento.

A causa da elevada corrente de arco secundário e tensão de restabelecimento da LI 220 kV MD-IRY-CYO se deve a derivação em Itakyry, a qual possui um transformador com terciário ligado em delta. Esta ligação em delta, no caso de abertura monopolar, acaba por impor à fase aberta praticamente a mesma tensão de operação da linha, inviabilizando a extinção da corrente de arco secundário.

A solução mais viável para se ter religamento automático na LI 220 kV MD-IRY-CYO seria implantar o religamento tripolar, o que neutralizaria o efeito da conexão delta do transformador instalado na SE-Itakyry sobre a corrente de arco secundário. O tempo morto sugerido seria de 500 [ms] para este religamento, o qual estaria coordenado com o ajuste da 4ª zona da proteção de distância da LI 220 kV MD-CYO.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MELO DE SOUZA, Weber, Nova Proposta de Religamento Monopolar Adaptativo Aplicado às Linhas de Transmissão de Extra Alta Tensão; Dissertação de Mestrado, UFMG, 2002.
- (2) MASSAUD, Alexandre G., Aquino, Antônio F.C., Adoção do Religamento Tripolar Lento: Benefícios para o Desempenho do SIN e para Concessionárias de Transmissão, IX STPC, Belo Horizonte, junho 2208.
- (3) KUNDUR, P. S., Power System Stability and Control, EPRI, MacGraw-Hill, Palo Alto, CA, USA, 1994.
- (4) ABB Relays, REL 511 e REL 521, Line Distance Protection Terminal, User's Guide.
- (5) FERNANDES, Alécio B. Lima, Antonio C. S., Aspectos Relevantes em Estudos Probabilísticos de Religamento Automático de Linhas de Transmissão, Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE, UFCG, Campina Grande, PB, 2006.
- (6) FERNANDES, Alécio B. Lima, Antonio C. S., Aplicação de Modelos de Linhas de Transmissão em Estudos sobre Qualidade da Energia Elétrica, VI SBQEE, 21 a 24 de agosto de 2005, Belém – PA – Brasil.
- (7) Dommel, H. W., *Electromagnetic Transients Program Reference Manual*, Vancouver: Department of Electrical Engineering, The University of British Columbia, Canada, 1996.