



Grupo de Estudo de Análise e Técnicas de Sistemas de Potência-GAT

Revisão do Esquema de Separação Automática de Unidades Geradoras para a ANDE (ESAUPA), realizando simulações sequenciais de forma automática e adaptativa, por meio dos aplicativos ANAREDE e ANATEM

JHONATAN ANDRADE DOS SANTOS(1); ALFREDO JAVIER MEZGER SZOSTAK(1); ANDRÉ PAGANI TOCHETTO(1); ROBSON ALMIR DE OLIVEIRA(1); IB(1);

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de revisão do Esquema Automático de Separação de Unidades Para a ANDE (ESAUPA) dado o incremento da carga da ANDE registrado nos últimos anos. Nesta revisão uma metodologia para a realização de simulações de forma sequencial, automática e adaptativa foi empregada, a fim de viabilizar a análise do problema, em função da explosão combinatória associado ao número de variáveis. Nesta tarefa foram empregados os aplicativos ANAREDE e ANATEM para avaliação do desempenho do sistema elétrico de potência, e o aplicativo MATLAB para o gerenciamento das simulações sequenciais e o tratamento dos resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE

Análise de Sistemas Elétricos de Potência, Esquemas de Controle de Emergência, Simulações sequenciais, Simulações automáticas, Simulações adaptativas.

1.0 - INTRODUÇÃO

A Usina Hidrelétrica de Itaipu é composta por 20 unidades geradoras com potência nominal de 700MW cada uma, totalizando 14.000MW, metade delas opera em 60Hz e metade em 50Hz. Itaipu atualmente é responsável pelo atendimento de 15% da energia elétrica consumida no Brasil e 90% da energia consumida no Paraguai. O setor de 50Hz está conectado ao Sistema Interligado Nacional do Brasil (SIN-BR) através do Elo de Corrente Contínua de $\pm 600\text{kV}$ de Furnas (Elo CC) e conectado ao Sistema Interligado Nacional do Paraguai (SIN-PY) através de uma linha de 500kV e quatro linhas de 220kV. O sistema elétrico paraguaio é gerenciado pela empresa estatal paraguaia de energia elétrica denominada *Administración Nacional de Electricidad* (ANDE).

A operação de Itaipu de forma segura e confiável somente é possível devido aos diversos esquemas de controle de emergências (ECEs) instalados tanto no setor de 60Hz quanto no setor de 50Hz, tais como aqueles apresentados em [1,2,3,4]. Dentre os ECEs do setor de 50Hz, o Esquema de Separação Automática de Unidades Para a ANDE (ESAUPA) desempenha um papel fundamental na manutenção do atendimento ao SIN-PY em caso de perda dos bipólos do Elo CC, seja por falhas internas ou pela ocorrência de blecautes no SIN-BR. O ESAUPA atua separando unidades geradoras do setor de 50Hz para atender o sistema ANDE quando ocorrem grandes variações de frequência.

Foram registradas três atuações do ESAUPA nos últimos três anos, nos dias 16.10.2016, 3.6.2018 e 5.8.2018, das quais as duas últimas atuaram com sucesso. Contudo, quando destas ocorrências, os valores de intercâmbio Itaipu/ANDE, que delimitavam as faixas de separação de unidades geradoras no ESAUPA, eram do ajuste realizado em 2008. Desde então, a carga do sistema ANDE tem crescido de forma expressiva, levando a necessidade de revisão do ESAUPA.

O ajuste do ESAUPA é realizado pela análise de simulações dinâmicas que envolvem o bloqueio dos bipólos do Elo CC. A avaliação deste ajuste é um problema computacionalmente complexo, dada a explosão combinatória associada ao número de variáveis envolvidas. A dimensão do universo de possibilidades revela que a análise determinística por analistas é inviável sem nenhum automatismo associado. De fato, nas revisões anteriores do ESAUPA apenas uma pequena fração do universo de casos era avaliada, dado que nenhum automatismo era empregado. Neste formato, havia vulnerabilidades associadas às condições não avaliadas, o que poderia comprometer o desempenho do esquema.

Neste contexto, no estudo de revisão realizado foi empregada uma metodologia de simulação sequencial capaz de tratar a explosão combinatória supracitada. Esta metodologia é baseada na interação do MATLAB [5] com os aplicativos ANAREDE [6] e ANATEM [7], e realiza a análise de todas as possibilidades de forma automática e adaptativa, selecionando os casos mais relevantes e reduzindo de forma drástica o tempo de execução do estudo.

O artigo está estruturado como segue: a Seção 2.0 apresenta uma visão geral sobre o mecanismo de funcionamento do ESAUPA, a Seção 3.0 apresenta a metodologia de simulação sequencial, automática e adaptativa empregada no estudo de revisão, e a Seção 4.0 apresenta a análise dos resultados obtidos em função desta metodologia. Por fim, a Seção 5.0 apresenta as conclusões deste trabalho.

2.0 - DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO ESQUEMA DE SEPARAÇÃO DE UNIDADES PARA A ANDE (ESAUPA)

O Esquema de Separação de Unidades Para a ANDE (ESAUPA) atua quando ocorrem grandes variações de frequência no setor de 50Hz de Itaipu, separando unidades geradoras para a ANDE a fim de evitar a abertura da interligação Itaipu/ANDE pela atuação das Proteções de Isolação Forçada (FIP) de sobrefrequência ($f > 56\text{Hz}$ por 3,3 segundos – Ação C7) ou subfrequência ($f < 45\text{Hz}$ – Ação C2). Para tanto, o ESAUPA atua com base nas seguintes condições: (i) caso $\Delta f/\Delta t \geq 2,3\text{Hz/s}$ (aferida na janela entre 51Hz e 52Hz) ou (ii) caso $f \geq 55\text{Hz}$ por mais de 100 milissegundos. O ajuste do ESAUPA realizado em 2008 permitia a separação de uma a três unidades geradoras em função do intercâmbio Itaipu/ANDE, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Número de Unidades Geradoras Separadas em Função do Intercâmbio Itaipu/ANDE

Intercâmbio Itaipu/ANDE (MW)	Seleção de unidades ilhamento	
	$\Delta f/\Delta t \geq 2,3\text{Hz/s}$	$f \geq 55\text{Hz @ 100ms}$
$I_{ANDE} < 600$	Uma	Uma
$660 \leq I_{ANDE} < 750$	Uma	Duas
$750 \leq I_{ANDE} < 960$	Uma	Duas
$960 \leq I_{ANDE} < 1.250$	Duas	Duas
$1.250 \leq I_{ANDE} < 1.340$	Duas	Duas
$I_{ANDE} > 1.340$	Três	Três

Conforme indicado na Tabela 1, a separação de três unidades geradoras ocorre para valores de intercâmbio Itaipu/ANDE maiores do que 1.340MW, sendo que o maior intercâmbio Itaipu/ANDE já registrado é de 3.102MW. Este é um indicativo da necessidade de incluir novas unidades geradoras para a separação pelo ESAUPA.

No contexto da revisão do ESAUPA, existe outro esquema baseado em frequência muito relevante: o Esquema de Corte de Carga na ANDE (ECCA), que realiza o corte de aproximadamente 15% da carga da ANDE. Quando habilitado, este esquema atua quando a frequência no setor de 50Hz for inferior a 47Hz por mais de 100 milissegundos.

3.0 - METODOLOGIA EMPREGADA NA REVISÃO DO ESAUPA

A metodologia empregada no estudo de revisão do ESAUPA está baseada na interação do MATLAB [5] com os aplicativos ANAREDE [6] e ANATEM [7]. A metodologia empregada na realização das simulações, do ponto de vista de implementação computacional, está apresentada em detalhes em [8]. A seguir são apresentados os critérios e premissas para a realização do estudo de revisão supracitado, bem como para a análise dos resultados.

3.1 – Premissas e Perturbações

As premissas adotadas para o estudo de revisão do ESAUPA são aquelas apresentadas a seguir:

- Mesma faixa de intercâmbio Itaipu/ANDE para a separação de unidades geradoras por taxa de variação de frequência e por frequência absoluta;

- b. Número de unidades geradoras sincronizadas em Itaipu 50Hz variando de 7 a 10 unidades geradoras;
- c. Número de unidades geradoras que podem ser separadas pelo ESAUPA variando de 1 a 4 unidades geradoras;
- d. Potência ativa em Itaipu 50Hz com valores de 500MW, 600MW, 700MW e 750MW por unidade geradora sincronizada;
- e. Número de conversores do Elo CC em operação variando de 6 a 8;
- f. Intercâmbio Itaipu/ANDE variando de 750MW a 3.000MW, distribuídos em 24 patamares.

Em função destas premissas, do ponto de vista da topologia do sistema, existem 1.152 cenários pré-distúrbio para avaliação.

Por sua vez, as condições para a realização das simulações neste estudo de revisão são apresentadas a seguir:

- a. Foram simuladas 20 perturbações, considerando tanto o bloqueio simultâneo quanto variações associadas ao bloqueio não simultâneo dos polos do Elo CC¹. A Tabela 2 apresenta a lista das perturbações avaliadas;
- b. Do ponto de vista da lógica de atuação do ESAUPA, foram analisadas as seguintes condições:
 - Com ECCA desabilitado;
 - Com ECCA habilitado em regime permanente;
 - Também foram realizadas simulações sem a atuação do ESAUPA. Estes casos serão utilizados como base de comparação para a avaliação de desempenho do esquema.

Tabela 2 – Perturbações Avaliadas para os Casos com 6, 7 e 8 Conversores no Elo CC

Número de Conversores	Perturbação	Tempo de Bloqueio (s)			
		Polo 1	Polo 2	Polo 3	Polo 4
8	P1	0,3	0,3	0,3	0,3
8	P2	0,3	0,3	5,3	5,3
8	P3	0,3	5,3	10,3	15,3
8	P4	0,3	5,3	10,3	10,3
7	P5	0,3	0,3	5,3	5,3
7	P6	5,3	5,3	0,3	0,3
7	P7	0,3	5,3	10,3	15,3
7	P8	5,3	0,3	10,3	15,3
7	P9	10,3	15,3	0,3	5,3
7	P10	15,3	10,3	0,3	5,3
7	P11	0,3	5,3	10,3	10,3
7	P12	5,3	0,3	10,3	10,3
7	P13	10,3	10,3	0,3	5,3
6	P14	-	0,3	5,3	5,3
6	P15	-	5,3	0,3	0,3
6	P16	-	5,3	10,3	15,3
6	P17	-	0,3	10,3	15,3
6	P18	-	15,3	0,3	5,3
6	P19	-	10,3	0,3	5,3
6	P20	-	0,3	10,3	10,3

Considerando os cenários pré-distúrbio, o número de perturbações, as lógicas de atuação do ESAUPA e o número de unidades geradoras que podem ser separadas para a ANDE, existem 69.120 combinações possíveis para simulação. Na sequência, será descrita a metodologia empregada para o tratamento deste conjunto de simulações.

3.2 – Metodologia de Simulação Sequencial, Automática e Adaptativa

A metodologia descrita a seguir foi empregada para a seleção dos casos mais relevantes para a avaliação do ESAUPA sem que, ao mesmo tempo, as conclusões obtidas sejam comprometidas. Esta metodologia evitou que simulações que apresentem o mesmo comportamento sejam realizadas mais de uma vez. A Figura 1 ilustra a metodologia supracitada.

¹ É importante frisar que os intervalos de tempo avaliados no bloqueio não simultâneo dos polos do Elo CC são estimativas realizadas com base em blecautes ocorridos no SIN-BR que levaram ao desligamento completo do Elo CC.

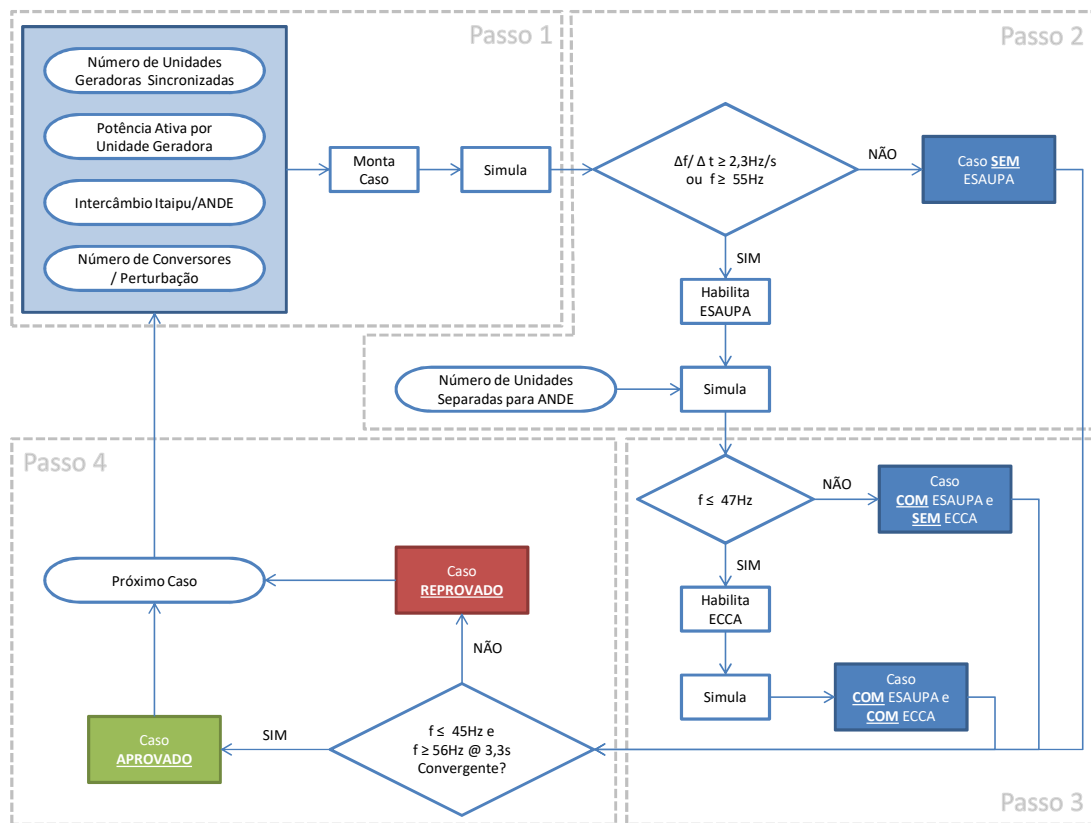


Figura 1 – Fluxograma da Metodologia Empregada na Revisão do ESAUPA

As simulações foram realizadas conforme segue:

Passo 1: Com base na topologia do sistema pré-distúrbio, composta pela combinação do número de unidades geradoras sincronizadas, potência ativa por unidade geradora, intercâmbio Itaipu/ANDE e número de conversores em operação no Elo CC, o caso é montado no aplicativo ANAREDE [6], conforme apresentado em [8]. Então, com base na lista de perturbações apresentadas na Tabela 2, o caso é montado no aplicativo ANATEM [7], conforme apresentado em [8], e a simulação com o ESAUPA e ECCA desabilitados é realizada;

Passo 2: Os resultados obtidos no Passo 1 são avaliados por meio do aplicativo MATLAB [5], conforme apresentado em [8]. O caso é classificado como “SEM ESAUPA” quando as condições de atuação do ESAUPA não são atendidas. Quando as condições de atuação do ESAUPA são atendidas, as simulações são refeitas com o ESAUPA habilitado em função do número de unidades geradoras a serem separadas para a ANDE, enquanto o ECCA permanece desabilitado;

Passo 3: Os resultados obtidos no Passo 2 são novamente avaliados por meio do aplicativo MATLAB [5]. O caso é classificado como “COM ESAUPA e SEM ECCA” quando as condições de atuação do ECCA não são atendidas nas simulações com o ESAUPA habilitado e ECCA desabilitado. Por sua vez, o caso é classificado como “COM ESAUPA e COM ECCA” quando as condições de atuação do ECCA são atendidas. Nestas condições as simulações são refeitas com o ECCA habilitado, em função do número de unidades geradoras a serem separadas para a ANDE.

Passo 4: Para a classificação de cada caso simulado como “APROVADO”, os seguintes critérios foram adotados. O caso será classificado como “REPROVADO” se estes critérios não forem atendidos:

- Os valores de frequência observados ao longo da simulação não devem ser inferiores a 45Hz (Ação C2) e não devem ser superiores a 56Hz por mais de 3,3 segundos (Ação C7);
- O caso não deve apresentar problemas de convergência.

Para a determinação do número de unidades geradoras a serem separadas para a ANDE durante o procedimento indicado na Figura 1, adotou-se a razão entre o intercâmbio Itaipu/ANDE e a potência ativa máxima por unidade geradora de Itaipu 50Hz (750MW). Esta divisão, em geral, não resultará em um número inteiro. Este valor será aproximado para o valor inteiro imediatamente superior. Adicionalmente, quando possível, será realizada uma análise de sensibilidade separando uma unidade geradora a mais e uma unidade geradora a menos do que o número de unidades geradoras estabelecido através procedimento descrito anteriormente.

Para a avaliação dos resultados obtidos em função da metodologia discutida nesta seção, definiu-se uma Taxa de Efetividade, de modo a estabelecer uma base de comparação. Na próxima Seção a Taxa de Efetividade definida será discutida.

3.3 – Taxa de Efetividade

Foi atribuído um peso a cada caso em função da probabilidade de ocorrência simultânea do cenário pré-distúrbio e da perturbação.

3.3.1 Probabilidade do Cenário Pré-distúrbio

Considerando que o cenário pré-distúrbio foi definido em função dos estados: (i) número de unidades geradoras sincronizadas; (ii) potência ativa gerada por unidade geradora sincronizada; e (iii) número de conversores do Elo CC em operação; a probabilidade do cenário pré-distúrbio pode ser expressa pela Equação (1), considerando que tais estados são independentes.

$$P_{\text{PRÉ-DISTÚRBIO}} = (P_{\#UG})(P_{MW/UG})(P_{\#CONV}) \quad (1)$$

onde,

$P_{\text{PRÉ-DISTÚRBIO}}$: Probabilidade do cenário pré-distúrbio avaliado ocorrer;

$P_{\#UG}$: Permanência associada ao número de unidades geradoras sincronizadas do caso avaliado (Tabela 3);

$P_{MW/UG}$: Permanência associada à potência ativa por unidade geradora sincronizada do caso avaliado (Tabela 4);

$P_{\#CONV}$: Permanência associada ao número de conversores do Elo CC em operação do caso avaliado (Tabela 5).

A Tabela 3, a Tabela 4 e a Tabela 5 apresentam os valores de permanência de cada estado, calculado com base na permanência no ano de 2017.

Tabela 3 – Permanência do Número de Unidades Geradoras Sincronizadas no Ano de 2017

Número de Unidades Geradoras Sincronizadas	Permanência ($P_{\#UG}$)
≤ 7	2,30%
8	11,74%
9	39,39%
10	46,57%

Tabela 4 – Permanência da Potência Ativa por Unidade Geradora Sincronizada no Ano de 2017

Potência Ativa por Unidade Geradora (MW)	Permanência ($P_{MW/UG}$)
$P_{UG} \leq 500$	12,53%
$500 < P_{UG} \leq 600$	20,21%
$600 < P_{UG} \leq 700$	60,27%
$700 < P_{UG} \leq 750$	6,99%

Tabela 5 – Permanência do Número de Conversores do Elo CC em Operação no Ano de 2017

Número de Conversores em Operação no Elo CC	Permanência ($P_{\#CONV}$)
6	0,93%
7	21,61%
8	77,46%

3.3.2 Probabilidade da Perturbação

Considerou-se que as perturbações apresentadas na Tabela 2 para cada número de conversores em operação no Elo CC possuem a mesma probabilidade de ocorrência. A Tabela 6 apresenta a relação entre o número de conversores em operação no Elo CC e a probabilidade de cada perturbação ocorrer.

Tabela 6 – Probabilidade de cada Perturbação ocorrer em função do Número de Conversores no Elo CC em Operação

Número de Conversores em Operação no Elo CC	Número de Perturbações	P _{PERTURBAÇÃO}
8	4	25,00%
7	9	11,00%
6	7	14,29%

3.3.3 Peso de cada caso

O peso associado a cada caso simulado ($P_{\text{CASO SIMULADO}}$) é o produto da probabilidade do cenário pré-distúrbio pela probabilidade da perturbação, tal como expresso pela Equação (2).

$$P_{\text{CASO SIMULADO}} = (P_{\text{PRÉ-DISTÚRPIO}})(P_{\text{PERTURBAÇÃO}}) \quad (2)$$

3.3.4 Taxa de Efetividade

Com base nos aspectos discutidos anteriormente, a Taxa de Efetividade foi definida como sendo a razão do somatório dos pesos dos casos simulados classificados como “APROVADO” pelo somatório dos pesos de todos os casos simulados, para cada combinação avaliada de intercâmbio Itaipu/ANDE e o número de unidades geradoras separadas para a ANDE. A Equação (3) apresenta a relação que define a Taxa de Efetividade.

$$\text{Taxa de Efetividade}_{(i,j)} = \frac{\sum P_{\text{CASO SIMULADO}}(i,j), \text{“APROVADO”}}{\sum P_{\text{CASO SIMULADO}}(i,j)} \quad (3)$$

onde,

i: Intercâmbio Itaipu/ANDE avaliado;

j: Número de unidades geradoras separadas para a ANDE.

Nestas condições, a Taxa de Efetividade proporciona uma mesma base de comparação entre os casos classificados como “SEM ESAUPA”, “COM ESAUPA e SEM ECCA” e “COM ESAUPA e COM ECCA”, a cada valor de intercâmbio Itaipu/ANDE avaliado e a cada número de unidades geradoras separadas para a ANDE.

4.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Em função da aplicação da metodologia discutida na Seção 3.0, foram realizadas 25.167 simulações, que representam 36% das 69.120 combinações possíveis de cenários pré-distúrbio e perturbações. Na sequência serão apresentados os resultados obtidos em termos da Taxa de Efetividade dos casos classificados como “SEM ESAUPA”, “COM ESAUPA e SEM ECCA” e “COM ESAUPA e COM ECCA” de forma comparativa.

4.1 – Comparação dos Casos “COM ESAUPA e COM ECCA”, “COM ESAUPA e SEM ECCA” e “SEM ESAUPA”

A Figura 2 apresenta de forma comparativa os resultados obtidos para os casos classificados como (a) “SEM ESAUPA” e “COM ESAUPA e SEM ECCA” e (b) “SEM ESAUPA” e “COM ESAUPA e COM ECCA”, em termos da Taxa de Efetividade dos casos avaliados em função do intercâmbio Itaipu/ANDE.

Conforme é possível observar na Figura 2, nas condições aqui analisadas, o emprego do ESAUPA tanto com o ECCA habilitado quanto desabilitado apresenta uma Taxa de Efetividade significativamente superior aos casos “SEM ESAUPA”. Tal condição demonstra a importância do ESAUPA e capacidade deste em incrementar as chances de sucesso na manutenção do sistema ANDE quando da perda dos bipólos do Elo CC.

Além disso, observa-se que a partir da separação de duas unidades geradoras a Taxa de Efetividade apresenta um ponto de inflexão, de modo que no cruzamento das curvas é possível identificar os valores de intercâmbio Itaipu/ANDE que delimitam as faixas de ajuste do ESAUPA. A Tabela 7 resume a proposta de ajuste do ESAUPA para a condição com ECCA desabilitado e habilitado.

Outro aspecto interessante a ser observado na Figura 2 é que a Taxa de Efetividade dos casos “SEM ESAUPA” é maior a medida que o intercâmbio Itaipu/ANDE é maior. Conforme esperado, nestas condições menor será o fluxo pelo Elo CC, dado o limite de geração de Itaipu 50Hz, e menor será o impacto na perda dos bipólos do Elo CC, levando o sistema a apresentar excursões menores de frequência.

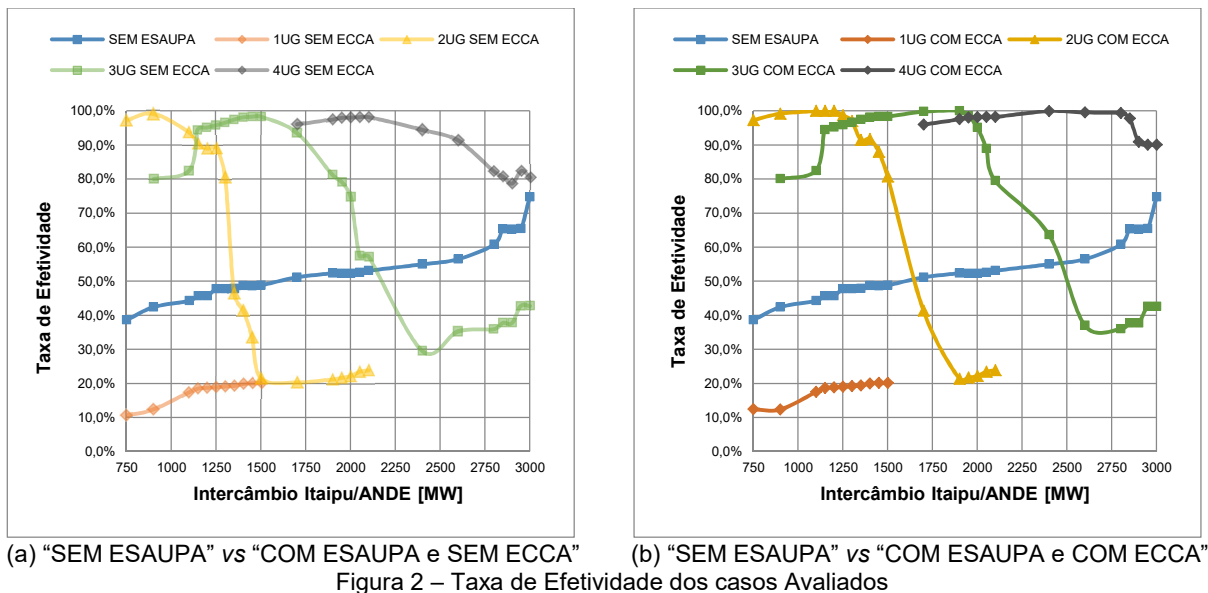


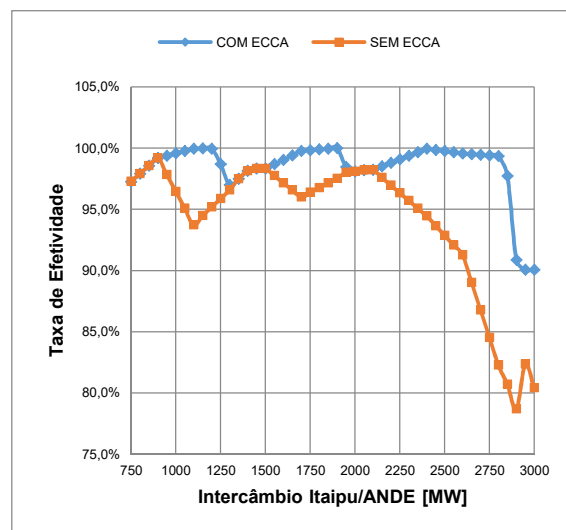
Tabela 7 – Proposta de Ajuste para ESAUPA com ECCA Desabilitado e Habilitado

# UGs Separadas	Intercâmbio Itaipu/ANDE (MW)	
	ECCA Desabilitado	ECCA Habilitado
2	$I_{ANDE} \leq 1.100$	$I_{ANDE} \leq 1.300$
3	$1.100 < I_{ANDE} \leq 1.700$	$1.300 < I_{ANDE} \leq 1.950$
4	$I_{ANDE} > 1.700$	$I_{ANDE} > 1.950$

4.2 – Comparação dos Casos "COM ESAUPA e SEM ECCA" e "COM ESAUPA e COM ECCA"

Em função dos resultados apresentados na Seção 4.1, torna-se necessário avaliar de forma comparativa os casos com ECCA habilitado e desabilitado, a fim de identificar a influência do ECCA no desempenho do ESAUPA. Embora os ajustes das faixas de intercâmbio Itaipu/ANDE sejam diferentes entre os casos com ECCA desabilitado e habilitado (Tabela 7), em ambas as condições as faixas de ajuste estão associadas a separação de 2, 3 e 4 unidades geradoras para a ANDE.

A Figura 3 ilustra de forma comparativa a Taxa de Efetividade consolidada dos casos "COM ESAUPA e SEM ECCA" e "COM ESAUPA e COM ECCA", ou seja, a Taxa de Efetividade para cada caso de acordo os ajustes apresentados na Tabela 7. Por meio desta figura é possível observar que há um ganho significativo no desempenho de ESAUPA em termos da Taxa de Efetividade quando o ECCA está habilitado. Em função destes resultados sugere-se que o ECCA permaneça habilitado de modo a atuar de forma conjunta com o ESAUPA.



5.0 - CONCLUSÃO

O ajuste do ESAUPA realizado em 2008, que separava até três unidades geradoras para a ANDE, conforme revelado pelos resultados aqui apresentados, não apresenta desempenho adequado para valores elevados de intercâmbio Itaipu/ANDE, o que demonstra a importância da revisão realizada.

O estudo de revisão aqui apresentado permitiu unificar as faixas de ajuste do intercâmbio Itaipu/ANDE para atuação conjunta em termos de taxa de variação de frequência e frequência absoluta, simplificando a implementação e a operação deste esquema.

A utilização do ECCA em conjunto com o ESAUPA proporciona um incremento significativo no desempenho deste esquema, quando comparado com os casos nos quais o ECCA está desabilitado. Em função disto, propõe-se que o ECCA permaneça habilitado de modo a atuar de forma conjunta com o ESAUPA.

Conforme esperado, o ESAUPA não é efetivo para todos os casos. As não efetividades do ESAUPA advêm das muitas combinações de eventos que podem implicar no bloqueio dos polos do Elo CC, associado principalmente à incerteza do intervalo de tempo em que acontecerão os bloqueios, bem como das inúmeras combinações de condições operativas pré-distúrbio possíveis. De qualquer maneira, a Taxa de Efetividade consolidada do ESAUPA observada no presente estudo de revisão é consideravelmente elevada, apresentando valores superiores a 90% na condição com ECCA habilitado.

A aplicação da metodologia de simulação sequencial, automática e adaptativa discutida neste trabalho proporcionou uma redução de 64% no número de casos associados ao problema de explosão combinatória inerente à avaliação do ESAUPA. Ainda assim, foram realizadas 25.167 simulações, as quais apenas puderam ser avaliadas em tempo hábil justamente em função da metodologia automática supracitada.

Por fim, é possível afirmar que a metodologia apresentada no estudo de revisão do ESAUPA realizado pode ser aplicada, com as devidas modificações, a diversos outros estudos de avaliação de desempenho de sistemas elétricos de potência que necessitem de um grande volume de simulações sequenciais.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) OLIVEIRA, D. B., MOTA JUNIOR, J. B., VALDETARO, I. T. P., GOMES, P., et. al. Implantação de SEP para corte de geração na UHE Tucuruí a partir de distúrbios no Tronco de 765kV de Furnas através da UHE Itaipu. X STPC. Outubro, 2010.
- (2) PESENTE, J. R., DECKER, I. C., SILVA, A. S. Estudo de utilização de medição sincronizada de fasores para o Esquema de Controle de Emergência do Sistema de Transmissão de Itaipu em 60Hz. X STPC. Outubro, 2010.
- (3) NEIS, P., TUFAILE, R. B. R., FAVORETO, R. S., SILVA, R. J. G. C., RIBEIRO, J. R. Maximização da capacidade de escoamento de energia de Itaipu através de Sistemas Especiais de Proteção. XII EDAO. Novembro, 2012.
- (4) DUTRA, D. C. L., SILVA, R. J. G. C., PIVOTO, C. G., SANTO, S. E., RODRIGUES, C. L. Lógica contra colapso de tensão no sistema 50Hz – Subestação Conversora de Foz do Iguaçu. XV ERIAC. Maio, 2013.
- (5) MATLAB User's Guid – R2013a. The Math Works Inc, 2013.
- (6) Centro de Pesquisas em Energia Elétrica. Programa ANAREDE – Análise de Redes – Manual do Usuário V11.0.1, 2019.
- (7) Centro de Pesquisas em Energia Elétrica. Programa ANATEM – Análise de Transitórios Eletromecânicos – Manual do Usuário V11.5.1, 2018.
- (8) SANTOS, J. A., SZOSTAK, A. J. M., TOCHETO, A. P., OLIVEIRA, R. A. Desenvolvimento de uma metodologia para a realização de simulações em lote de forma sequencial, automática e adaptativa, utilizando o MATLAB para o gerenciamento integrado dos aplicativos ANAREDE e ANATEM. XVIII ERIAC. Maio, 2019.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Jhonatan Andrade dos Santos é formado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) em 2012 e Doutor em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) em 2019. Trabalhou na Celesc Distribuição em 2016 nas áreas de estudos elétricos e análise da conexão de geradores distribuídos. Em 2017 trabalhou no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) na análise de intervenções e desligamentos na Rede Básica. Atualmente trabalha na Itaipu Binacional na divisão de Estudos Elétricos e Normas.