



GRUPO VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS – GSE

REATOR DE SATURAÇÃO NATURAL: ESTUDOS PARA O PROJETO DE UM PROTÓTIPO

Marcelo J. A. Maia* M. Afonso de Carvalho Jr. Luiz A. Magnata da Fonte** Fabiana S. Leal**

*** COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (Chesf)**

**** UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)**

RESUMO

O presente informe técnico descreve os procedimentos para o projeto de um protótipo de reator de saturação natural (RSN) destinado à subestação de Mossoró, localizada no sistema oeste da Chesf. O protótipo operará em 13,8 kV e desenvolverá 5,4 Mvar, devendo substituir um reator linear atualmente em operação no barramento de 13,8 kV dessa subestação. Diversos anteprojetos foram elaborados, com diferentes configurações e materiais magnéticos, sendo o julgamento pautado numa combinação do desempenho harmônico e no valor das perdas.

PALAVRAS-CHAVE

Reator de Saturação Natural, Protótipo, Projeto, Característica Operacional, Harmônico, Perdas

1.0 - INTRODUÇÃO

Os reatores de saturação natural (RSN) se constituem em um equipamento de grande versatilidade, podendo ser útil em diversas situações operacionais dos sistemas de potência. Na década de 60, em face do conhecimento ainda incipiente no tocante a eletrônica de potência, tais equipamentos foram largamente empregados para a compensação de reativos, supressão de cintilações de tensão, regulação de tensão e atenuação VTCDs (1, 2). Para isso, o RSN era conectado em derivação aos moldes de um reator linear, em geral, empregando um transformador elevador e também capacitores, quer para a correção da inclinação da curva característica, quer como fonte de potência reativa. Uma outra montagem, desta vez com o RSN conectado em série, também foi proposta para funcionar como limitador da corrente de curtos-circuitos de barramentos (2).

No presente informe técnico será abordado o uso do RSN no papel de compensação das linhas de transmissão em substituição aos reatores lineares, tradicionalmente empregados para esse fim. A elevação substancial na potência transferida, bem como na margem de estabilidade de tensão proporcionadas pelos RSNs, como apontam as investigações efetuadas pela Chesf e a UFPE (3), recomendam a aplicação pretendida. Ainda mais, a rapidez de resposta, a confiabilidade, a simplicidade da manutenção e operação e o baixo custo desse tipo de equipamento são outros pontos de grande interesse para as empresas do setor elétrico. Por tais razões, a Chesf planejou a construção de um protótipo de RSN para aplicação em uma de suas subestações, o qual deverá prestar-se às pesquisas tecnológicas indispensáveis para a viabilização comercial desse equipamento.

Os estudos para o dimensionamento desse protótipo de RSN, bem como as análises de desempenho do mesmo foram realizadas através de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento firmado entre a Chesf e a UFPE, na carteira P&D da ANEEL do ciclo 2001-2002, e são, justamente, os resultados desses trabalhos que constituem o corpo do presente informe técnico.

2.0 - ESCOLHA DO PONTO DE CONEXÃO DO PROTÓTIPO DE RSN

Um exame do sistema de transmissão operado pela Chesf apontou a tensão de 13,8 kV como a mais recomendada para instalação de um protótipo de RSN. Abaixo dessa tensão, um RSN não produziria qualquer efeito significativo na operação do sistema e acima da mesma, embora se disponha dos conhecimentos necessários para o desenvolvimento do projeto, as dificuldades para a construção do protótipo tomariam grande vulto, o que poderia pôr em risco a viabilidade da pesquisa.

Um outro elemento relevante para a definição do ponto de conexão do RSN foi a potência exigida dos reatores, pois não é de interesse do projeto de P&D ultrapassar certos limites, além dos quais a fabricação e os custos tornariam inviáveis o mesmo. Uma potência inferior a 10 Mvar foi, por conseguinte, eleita como a mais adequada para o propósito atual, de sorte que a investigação pautou-se nesse valor.

O exame do sistema Chesf consistiu, portanto, em relacionar as subestações que contassem com reatores lineares satisfazendo os requisitos fixados acima e, ainda mais, que tais reatores experimentassem manobras rotineiras impostas pela evolução da carga do sistema. Como é sabido, o controle de tensão nos sistemas elétricos de potência requer, por ocasião da carga leve, que certa quantidade de reatores seja inserida para uma compensação adequada das linhas de transmissão. Por outro lado, quando a carga imposta ao sistema experimenta uma elevação, parte desses reatores tornar-se-á desnecessária, sendo, conseqüentemente, removida do sistema. Evidentemente que essas manobras freqüentes dos reatores lineares, além de envolver toda a cadeia de comando da operação, desde a equipe de despacho até os operadores locais, também produzem pequenos impactos de carga no sistema, dando origem a oscilações na tensão da rede. Tais ações e eventos podem ser perfeitamente evitados caso os reatores lineares fossem substituídos por RSNs, pois esses equipamentos se amoldam, naturalmente, às variações da carga sem exigir qualquer intervenção dos operadores. A luz do exposto foi escolhido um dos barramentos de 13,8 kV da subestação de Mossoró, onde funciona um reator linear de 5 Mvar, como o local mais oportuno à aplicação de um protótipo de RSN.

3.0 - ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE RSN

Especificar um RSN é estabelecer a curva tensão×corrente que o mesmo deverá obedecer e, para isso, bastará que sejam caracterizados os pontos extremos da mesma: V_n , I_n e V_s , I_s na Figura 3. Considerando-se que o RSN deverá substituir um reator linear atualmente em operação na SE Mossoró, a característica operacional do RSN deverá reproduzir o funcionamento deste equipamento desde a carga leve até a carga máxima do sistema.

Como os prognósticos para a instalação do protótipo de RSN indicam o ano de 2007, as configurações e condições de carregamento do sistema foram estabelecidas a partir dos estudos de planejamento consignados para esse ano de 2007. Os arquivos de dados fornecidos pelo ONS para esse caso foram:

- Carga leve (Jul-07-LEV*PAR 05-07*01/09/04);
- Carga média (Jul-07-MED*PAR 05-07*01/09/04);
- Carga pesada (Dez-07-PES*PAR05-07*01/09/04).

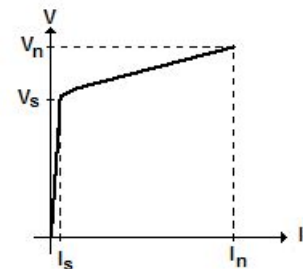


FIGURA 3

Com base nesses arquivos, simulações de estado permanente foram efetuadas com o auxílio do programa ANAREDE do Cepel, com o intuito de levantar a exata configuração do sistema Chesf no ano e os carregamentos definidos. Os resultados dessas simulações para a SE Mossoró mostraram que a tensão na barra onde deverá ficar instalado o RSN, barra 5445, diminuiu de intensidade entre a carga leve e média, caindo de 1,013 para 0,971 p.u., mas exibe, na carga pesada, uma elevação para 1,047 p.u.. Tal comportamento da tensão foi obtido mediante manobras no comutador de derivações dos transformadores 230/69/13,8 kV da subestação, não sendo adequado para alimentação de um RSN, que requer uma redução da tensão com o aumento da carga.

Tendo em mente esse requisito e considerando, ainda, que a manutenção do comutador de derivações dos transformadores numa posição fixa é bem mais conveniente do ponto de vista operacional, procedeu-se alguns estudos de fluxo de potência no sistema interligado nacional com o propósito de obter-se na barra de 13,8 kV uma tensão com intensidade decrescente desde a carga leve até a pesada. Os resultados do ANAREDE para tais estudos apontam que o uso do comutador de derivações na posição 0,977 atenderá perfeitamente os objetivos estabelecidos. Com essa modificação, a magnitude da tensão em carga pesada na barra 5445, ficará em 1,030 pu, sendo assim inferior à tensão em carga leve, 1,036 pu, de modo que as condições requeridas à aplicação de um RSN estarão, assim, garantidas.

Nessas circunstâncias, o carregamento nominal do RSN será determinado pela operação em carga leve, $V_n=1,036$ p.u.=14297 V e $I_n=218$ A, o que corresponderá a 5,4 Mvar de potência. Quanto à tensão de início de saturação, V_s na Figura 3, esta deveria ser escolhida, a rigor, 5 % abaixo da tensão nominal, pois essa é a faixa de trabalho fixada para a barra de 69 kV da subestação de Mossoró. Contudo, a concepção de um RSN com tal inclinação

somente seria viável com o concurso de materiais ferromagnéticos especiais ou de capacitores de compensação em série, o que elevaria bastante os custos do projeto. Dessa maneira, optou-se por uma inclinação mais acentuada para o RSN, 10 %, o que resultou num valor de 12862 V para a tensão de início de saturação V_s e uma corrente de 21 A, correspondente a 10% da corrente nominal.

4.0 - METODOLOGIA DE PROJETO DO PROTÓTIPO DO RSN

A metodologia escolhida para a concepção do RSN foi a menos hermética possível, de modo a proporcionar uma maior flexibilização dos dados de entrada e dos elementos de controle do projeto. Com essa finalidade, a estrutura eletromagnética do RSN é fixada a priori, bem como as dimensões e a indução de trabalho dos núcleos, as quais, em vez de serem determinados por cálculos como ocorre nos transformadores, foram convertidas em variáveis manipuladas pelo usuário para promover a convergência do processo. A sensibilidade acerca da influência desses parâmetros no projeto do RSNs, auferida com esse procedimento, compensa, sem dúvida, a reduzida experiência construtiva. Essa técnica é conhecida como reversa por se contrapor à forma de concepção convencional dos transformadores.

Com o intuito de conceder uma maior presteza ao processo, a ferramenta eleita para a avaliação do desempenho dos anteprojetos do RSN foi o EMTP-ATP, fazendo-se uso de modelos matemáticos apropriados para a representação desses equipamentos. Assim, uma vez definidos os contornos principais de um projeto preliminar, os parâmetros do modelo matemático correspondente deverão ser determinados para permitir as simulações naquele programa. O comportamento operacional levantado dessa maneira será, então, confrontado com a especificação desejada para o RSN, o que ensejará a definição dos ajustes necessários ao anteprojetado. A figura 4 ilustra o fluxograma dessa metodologia.

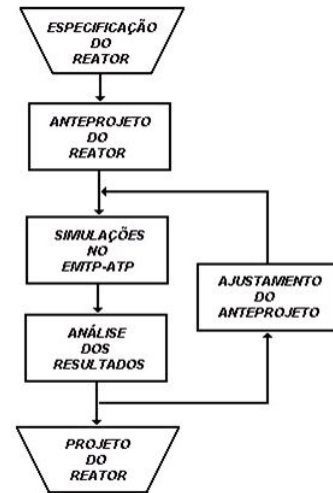


FIGURA 4

5.0 - ESTRUTURA ELETROMAGNÉTICA DO PROTÓTIPO DE RSN

A estrutura magnética de um RSN poderá dispor de qualquer quantidade de colunas, o que, em contrapartida, ditará o comportamento harmônico da corrente solicitada pelo mesmo. Quanto maior for o número de colunas, menor será a magnitude das harmônicas características presentes na corrente de alimentação do RSN. A experiência da General Electric Company (GEC) (2) e da Tallinn Technical University (TTU) (4), apontam para uma estrutura com 9 (nove) colunas como o mais indicada para as aplicações em sistema elétrico de potência, sendo essa, pois, a opção adotada para o protótipo destinado à subestação de Mossoró. Para complementar a estrutura magnética do RSN, a forma do jugo da mesma foi eleita, por questões econômicas, de modo a constituir um monobloco único, tal como mostra a Figura 5.

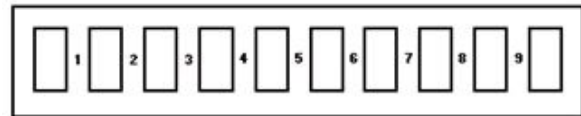


FIGURA 5

Para a manufatura dessa estrutura, dois tipos de material magnéticos foram considerados:

- Aço silicioso de grão orientado RG8H da KAWASAKI
- Aço silicioso de grão não-orientado E-170 da ACESITA

Os pontos de início da saturação para cada um dos anteprojetos de RSN foram selecionados de sorte a abranger toda a região tida como saturada dos materiais magnéticos. Como mostra a Figura 6, o primeiro ponto eleito situou-se no "joelho" da curva de magnetização, 1,50 T para o aço de grão não-orientado (GNO) e 1,85 T para o aço de grão orientado (GO), e o último localizou-se na região dita de profunda saturação do material, 1,80 T no GNO e 2,00 T no GO. Com as fronteiras assim definidas, uma prospecção detalhada da influência exercida pelo ponto de saturação no desempenho do RSN pode, então, ser realizada.

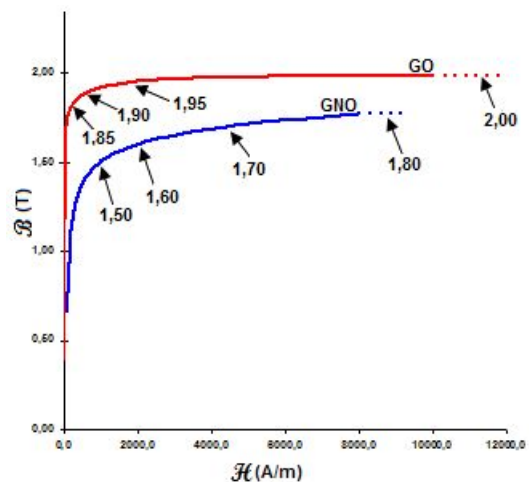


FIGURA 6

A disposição dos enrolamentos nas colunas da estrutura magnética poderá assumir três formas distintas, como assinala a Figura 7. Na Figura 7-(a), o RSN possui enrolamentos primários conectados em série, enquanto na Figura 7-(b), tais enrolamentos foram ligados em paralelo, configurações utilizadas pela GEC. Na Figura 7-(c), por outro lado, apresenta a mesma ligação paralela anterior, porém com os enrolamentos dispostos como num autotransformador, proposta desenvolvida pela TTU. Os enrolamentos secundários de cada coluna, quando existentes, são interligados em malha fechada. Nos estudos de ante-projeto do RSN para a subestação de Mossoró foram apreciadas todas essas configurações elétricas.

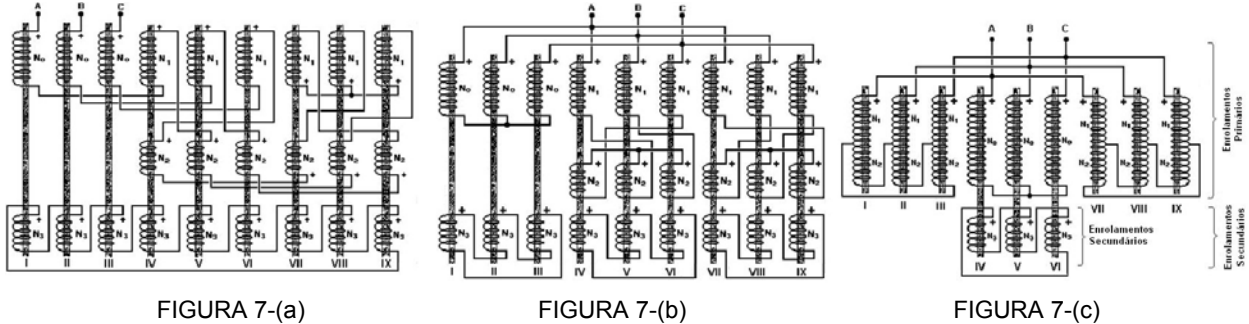


FIGURA 7-(a)

FIGURA 7-(b)

FIGURA 7-(c)

6.0 - CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS PROJETOS DE RSN

O projeto dos RSNs com ligação série e paralelo dos enrolamentos conforme a GEC e com ligação paralela segundo a TTU foi conduzido de acordo com a metodologia descrita na Figura 4. Após os ajustamentos necessários das dimensões inicialmente propostas, os resultados finais estão reunidos na Tabela 1 para as estruturas com aço GO. A característica operacional levantada para cada um desses projetos exhibe o formato apresentado na Figura 8 para os RSNs com ligação série e com estruturas construídas com aço GO.

TABELA 1

LIGAÇÃO ENROLAMENTOS	AÇO GO		
	INDUÇÃO (T)	DIMENSÕES COLUNAS (mm)	
		Diâmetro	Altura
SÉRIE (GEC)	1,85	165,0	1210,0
	1,90	150,0	1250,0
	1,95	140,0	1170,0
	2,00	132,0	1210,0
PARALELO (GEC)	1,85	340,0	1185,0
	1,90	275,0	1210,0
	1,95	235,0	1215,0
	2,00	205,0	1260,0
PARALELO (TTU)	1,85	328,0	1225,0
	1,90	267,0	1210,0
	1,95	225,0	1215,0
	2,00	205,0	1200,0

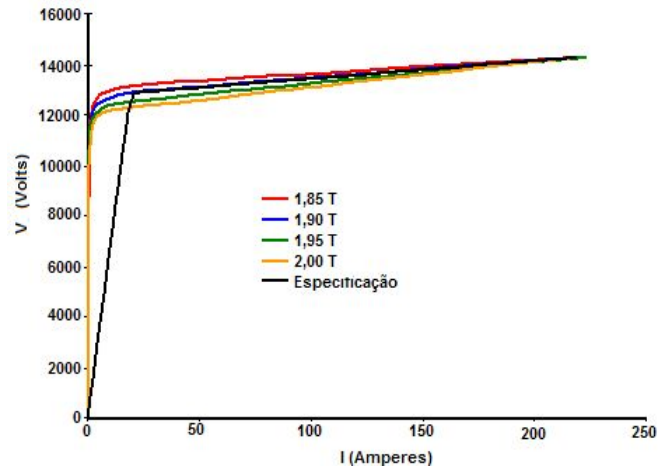


FIGURA 8

7.0 - DESEMPENHO HARMÔNICO DOS PROJETOS DE RSN

7.1 Limites Normativos

O comportamento harmônico de cada um dos projetos de RSN foi avaliado à luz dos valores prescritos na norma IEEE Std. 519, versão 1996 (5). Para o caso em apreço, tensões iguais ou inferiores a 69 kV, essa norma estabelece os limites indicados na Tabela 2 para as componentes harmônicas de ordem ímpar, expressos em relação à corrente de curto-circuito no local da conexão e em % da fundamental. Como o valor eficaz da corrente de curto-circuito trifásico franco na barra de 13,8 kV da subestação de Mossoró alcança, em estado permanente, 10.954 A, a corrente nominal do RSN de 218 A, será, portanto, cerca de 50 vezes menor. Nessas circunstâncias, a adoção dos valores limites para a distorção de corrente prescritos na faixa 20–50 da relação ($I_{\text{curto}}/I_{\text{carga}}$) da Tabela 2 parece inteiramente satisfatória para uma avaliação do desempenho harmônico do RSN.

Uma outra cláusula prevista na norma IEEE citada refere-se à majoração dos limites recomendados na Tabela 2 quando o dispositivo examinado funcionar em regime de pulsos. Para os RSNs dispostos de 9 (nove) colunas e que funciona em regime de 18 pulsos, a elevação dos valores referentes às componentes harmônicas típicas alcançará 1,732. Em contrapartida, essa mesma norma estabelece uma redução da magnitude dos harmônicos não-característicos, os quais deverão permanecer abaixo de 25% dos valores originais da Tabela 2. A combinação de todas essas exigências resulta na Tabela 3, a qual expressa os limites máximos permitidos para as componentes harmônicas da corrente do RSN de Mossoró em % da fundamental.

TABELA 2

I_{curto} I_{carga}	Distorção Harmônica Individual (DHI) (%)					DHT (%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 - 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 - 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 - 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

TABELA 3

Ordem harmônica	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h \leq 19$	$19 < h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 37$	$37 < h \leq 53$	$53 \leq h \leq 55$	$55 < h < 71$	$71 \leq h \leq 73$	$h > 73$
Intensidade (%)	1,75	0,875	4,33	0,625	0,25	0,866	0,125	0,866	0,125	0,866	0,125

Concernente à distorção harmônica total da corrente, designada pela sigla DHT na Tabela 2, a norma IEEE não faz qualquer distinção particular entre consumidores, de modo que o valor originalmente especificado para a faixa de interesse, 8,0% da componente fundamental, deverá ser respeitado.

7.1 Comportamento Harmônico dos Projetos de RSN

O comportamento harmônico dos projetos de RSN foi obtido mediante simulações no EMTP-ATP, sendo o RSN alimentado por uma fonte de tensão trifásica senoidal e equilibrada. A determinação da intensidade de cada uma das componentes harmônicas presentes na corrente solicitada pelos RSNs até a ordem 81ª ocorreu na sua condição operacional mais crítica, a plena carga, onde o RSN funciona sob profunda saturação. A técnica utilizada com essa finalidade foi, naturalmente, a análise de Fourier, recurso disponível na biblioteca do EMTP-ATP. Como ilustração dos resultados, a Figura 9 retrata o espectro de Fourier da corrente do RSN com enrolamentos conectados em série e com estrutura magnética fabricada com aço GNO, juntamente com os limites prescritos pela norma. Como se evidencia de um exame dessa figura, somente os RSN que operam com indução de saturação igual ou superior a 1,70 T exibiram componentes harmônicas com intensidade inferior aos limites impostos pela norma.

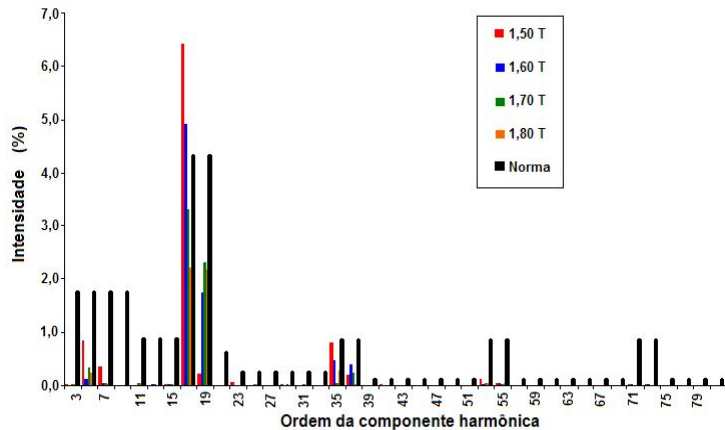


FIGURA 9

A análise de Fourier apontou que somente 14 dos 32 projetos propostos para o RSN de Mossoró satisfizeram os requisitos harmônicos impostos pela norma IEEE Std. 519 e que RSNs dispostos de uma estrutura magnética em aço GNO exibiam um desempenho harmônico superior àqueles com o aço GO.

8.0 - RENDIMENTO DOS PROJETOS DE RSN

Os projetos recomendados pelos estudos harmônicos foram, em seguida, examinados tendo-se em conta as perdas no ferro e no cobre de cada um deles. Os valores dessas perdas estão reunidos na Tabela 4 e demonstram que, quanto maior a indução de saturação da estrutura do RSN, independente do tipo de aço utilizado na sua construção, menores as perdas no ferro e maiores as perdas verificadas no cobre. Tal comportamento decorre da redução do volume do ferro exigido pela estrutura magnética e pela elevação do volume do cobre motivada pelo crescimento do número de espiras. Apesar dessa divergência entre as perdas no ferro e no cobre, a tendência das perdas totais no RSN é de queda com a elevação da indução. Sob o prisma do rendimento, portanto, recomenda-se o uso de uma indução de projeto elevada, igual ou acima de 1,80 T para o

aço GNO ou de 2,00 T para o aço GO. Os resultados da Tabela 4 também apontam para a primazia dos aços GO quando a configuração paralela for eleita para os enrolamentos do RSN. Por outro lado, se a opção recair na conexão série, o aço GNO deverá ser o preferido.

9.0 - CUSTO DOS PROJETOS DE RSN

O custo de cada projeto será estimado com base, apenas, na quantidade de material ativo, ferro e cobre, consumida por cada um, pois os dispêndios com outros insumos variam de fornecedor para fornecedor, sendo, portanto, de difícil avaliação. Para o conjunto de projetos constante da Tabela 4, a estimativa do peso de cada um desses componentes encontra-se assinalada na Tabela 5.

Um exame dessa tabela mostra que o uso de uma baixa indução de trabalho para o projeto resulta numa estrutura magnética com grande volume de ferro. Por outro lado, quanto maior for essa indução, maior também será a necessidade de cobre para a confecção dos enrolamentos. Dessa maneira, é imprescindível que o analista identifique um valor de indução que torne o projeto ótimo do ponto de vista do consumo de materiais. A Tabela 5 também demonstra que os modelos de RSNs com ligação série dos enrolamentos utilizam menos ferro que os demais e que os modelos com ligação paralela requerem menos cobre.

10.0 - CONCLUSÃO

Os estudos ora apresentados revelam ser perfeitamente factível projetar e construir RSNs dentro de padrões que atendam as normas mais exigentes no que tange ao comportamento harmônico, o que, certamente, minimiza algumas das restrições vigentes no seio do setor elétrico brasileiro.

Esses estudos também mostram que é possível desenvolver projetos de RSN com perdas inferiores aquelas apresentadas por transformadores de mesma potência e tensão nominais. De acordo com dados típicos, um transformador trifásico com 5,4 MVA para 13,8 kV exibiria cerca de 1,0 % de perdas totais e, como mostra a Tabela 4, valores de até 0,6 % poderão ser alcançados sem embaraços por um RSN.

Finalmente, os projetos de RSN desenvolvidos, apesar de disporem de 9 colunas, não utilizam uma quantidade maior de material ativo que um transformador similar. As informações disponíveis apontam que um transformador de 5,4 MVA e 13,8 kV empregaria cerca de 5500 kg de ferro e 850 kg de cobre, portanto, valores até maiores que aqueles obtidos em alguns projetos de RSN ora descritos, o que importaria em custos de produção pelo menos similares.

11.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Saturated Reactors: Aid Long Distance AC Line Planning – Armstrong W., Montgomery D. – Energy International, vol. 12, no. 7, July 1975.
- (2) Saturated Reactors: Some Recent Applications in Power Systems – Thanawala H. L., Young D. J. - Energy International, vol. 7, no. 11, November 1970.
- (3) Increasing the Capacity of Long EHV Transmission Lines - Carvalho, M. A. e Fonte, L. A. M. - IEEE / PES Transmission and Distribution Latin America Conference, São Paulo, 2001.
- (4) High Power Saturated Reactors for AC Power Transmission Lines – Yarik Y., Tellinen J. – Proceedings of the Stonian Academy of Sciences, vol. 4, no. 4, 1988.
- (5) IEEE Std.519 - IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems - May, 1996.

12.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Marcelo José Albuquerque Maia

Nascido em Campina Grande, PB, em 12 de maio de 1956;

MBA em Administração (1997): FGV-RJ, Especialização em Sistemas Elétricos (1980): UNIFEI-MG e Graduação em Engenharia Elétrica (1978): UFCG-PB;

Empresa: Chesf, desde 1978, Assessor da Superintendência de Planejamento da Expansão da Transmissão-SPE.

TABELA 4

LIGAÇÃO ENROLAMENTOS	AÇO	INDUÇÃO (T)	PERDAS (%)		
			COBRE	FERRO	TOTAIS
SÉRIE (GEC)	GNO	1,70	0,65	0,16	0,81
		1,80	0,55	0,16	0,71
PARALELO (GEC)	GNO	1,50	10,38	0,13	10,51
		1,60	5,21	0,15	5,36
		1,70	2,89	0,20	3,09
		1,80	2,05	0,24	2,29
	GO	1,95	0,34	0,50	0,84
		2,00	0,29	0,55	0,84
PARALELO (TTU)	GNO	1,60	5,13	0,09	5,22
		1,70	2,87	0,11	2,98
		1,80	2,02	0,13	2,15
		1,90	0,40	0,25	0,65
	GO	1,95	0,31	0,28	0,59
		2,00	0,28	0,32	0,60

TABELA 5

LIGAÇÃO ENROLAMENTOS	AÇO	INDUÇÃO (T)	PESO (kg)	
			FERRO	COBRE
SÉRIE (GEC)	GNO	1,70	3783	953
		1,80	2687	982
PARALELO (GEC)	GNO	1,50	104940	468
		1,60	45676	660
		1,70	20744	758
		1,80	12213	921
	GO	1,95	5376	2097
		2,00	4083	2437
PARALELO (TTU)	GNO	1,60	44804	485
		1,70	20471	638
		1,80	11882	771
		1,90	6939	1455
	GO	1,95	4635	1632
		2,00	3851	1792

Luiz Antônio Magnata da Fonte

Nascido no Recife, PE, em 08 de janeiro de 1947.

Doutorado (2004), Mestrado (1997) e Graduação (1969) em Engenharia Elétrica: UFPE-Pernambuco;
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Manoel Afonso de Carvalho Jr.

Nascido em Salvador, BA, em 10 de agosto de 1950

Ph. D (1983) na UMIST-Inglaterra, Graduação (1973) em Engenharia Elétrica: UFBA-Bahia
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Fabiana da Silva Leal

Nascida no Recife, PE, em 07 de outubro de 1972.

Mestrado (2000) e Graduação (1997) em Engenharia Elétrica: UFPE-Pernambuco

Empresa: Chesf – Desde 2002, Engenheira da Divisão de Estudos e Tecnologia de Alta Tensão-DEAT/DES/SPE