

**XXI SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

necessários para análise do comportamento harmônico da rede elétrica, como, por exemplo, dados de filtros harmônicos e de fontes de correntes harmônicas.

Para a determinação das fontes de corrente de 5<sup>o</sup> harmônico, foi desenvolvida uma nova metodologia que utiliza alguns dados de medições.

A validade da modelagem matemática dos componentes e dos dados utilizados para a representação da rede elétrica, utilizados no programa HarmZs, pode ser verificada por meio da comparação entre diversos resultados de simulação e de medição. Como será apresentado, os principais aspectos relacionados às causas da sobrecarga nos filtros de 3<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> harmônicos da SE Ibiúna 345 kV, observados nas medições realizadas, foram reproduzidos pelas simulações computacionais. Dentre estes aspectos, pode-se citar:

1. Amplificações nas correntes de 5<sup>o</sup> harmônico nas LTs de 345 kV Bandeirantes – Xavantes e Miguel Reale – Norte.
2. Distribuição das correntes de 5<sup>o</sup> harmônico na barra de 345 kV da SE Ibiúna.
3. Impacto do chaveamento da LT Ibiúna – Bateias (500 kV) nesta distribuição de correntes.

## 2.0 - DADOS UTILIZADOS

Todos os dados utilizados neste artigo foram fornecidos pelo ONS. Estes dados são os seguintes:

1. Arquivos de fluxo de potência e de estabilidade transitória para o nível de carga média. No trabalho original do qual resultou este artigo, foram considerados dois intercâmbios de potência: Sul exportando para o Sudeste e Sul importando do Sudeste. Devido à limitação de espaço, neste artigo serão apresentados apenas os resultados referentes ao Sul exportador. Os resultados para o Sul importador encontram-se em [4].
2. Arquivo de dados dos filtros harmônicos da SE Ibiúna 345 kV.
3. Dados dos cabos subterrâneos que interligam as subestações de 345 kV Miguel Reale – Norte e Bandeirantes – Xavantes, e um trecho entre as subestações de 230 kV Centro – Anhanguera.
4. Dados de medições de correntes de 5<sup>o</sup> harmônico.

Deve-se observar que nas simulações computacionais realizadas, utilizando o programa HarmZs, as cargas lineares foram modeladas como circuitos abertos.

## 3.0 - METODOLOGIA UTILIZADA PARA DETERMINAÇÃO DAS FONTES DE CORRENTE DE 5<sup>o</sup> HARMÔNICO

A metodologia desenvolvida utilizou valores de medição de correntes de 5<sup>o</sup> harmônico fornecidos pelo ONS [5]. De acordo com [5] e [6], as medições foram realizadas na rede elétrica próxima aos filtros de Ibiúna, conforme mostrado na Figura 1. Nesta figura, a impedância  $Z$ , conectada à barra de Ibiúna 345 kV, representa o equivalente dos filtros sintonizados em frequências diferentes das de 3<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> harmônicos e dos bancos de capacitores. Tais medições evidenciaram que as principais correntes harmônicas que incidem sobre os filtros de 3<sup>o</sup>/5<sup>o</sup> harmônicos de Ibiúna são oriundas das LTs que estão conectadas à SE Ibiúna no barramento de 345 kV. Destas, as LTs Ibiúna – Interlagos e Ibiúna – Guarulhos são as que mais contribuem, sendo que as principais causas do fluxo de 5<sup>o</sup> harmônico nestas LTs são:

LTs Ibiúna – Interlagos: Amplificação da corrente de 5<sup>o</sup> harmônico injetada pela SE Bandeirantes (345 kV) através dos 3 cabos subterrâneos que interligam esta SE a SE Xavantes. Nesta SE também existe uma contribuição das LTs Milton Fornasaro – Xavantes. Da SE Xavantes o fluxo de 5<sup>o</sup> harmônico segue através das LTs Xavantes – Interlagos até as LTs Interlagos – Ibiúna.

LTs Ibiúna – Guarulhos: Amplificação da corrente de 5<sup>o</sup> harmônico injetada pela SE Miguel Reale (345 kV) através de 2 cabos subterrâneos que interligam esta SE a SE Norte. Na SE Norte, as correntes que chegam através dos cabos são acrescidas pelas correntes das cargas ligadas a esta SE. Daí o fluxo de corrente chega as LTs Guarulhos – Ibiúna pelas LTs Norte – Guarulhos.

De acordo com o descrito acima, pode-se considerar para efeito de simulação, fontes de correntes de 5<sup>o</sup> harmônico na barra Norte 88 kV e nas barras de 345 kV de Miguel Reale, Bandeirantes e Milton Fornasaro. Estas fontes, juntamente com as correntes medidas (especificadas), utilizadas na metodologia para determinação dos valores destas fontes, estão representadas por setas pretas na Figura 1. Os valores das correntes medidas estão apresentados na Tabela 1.

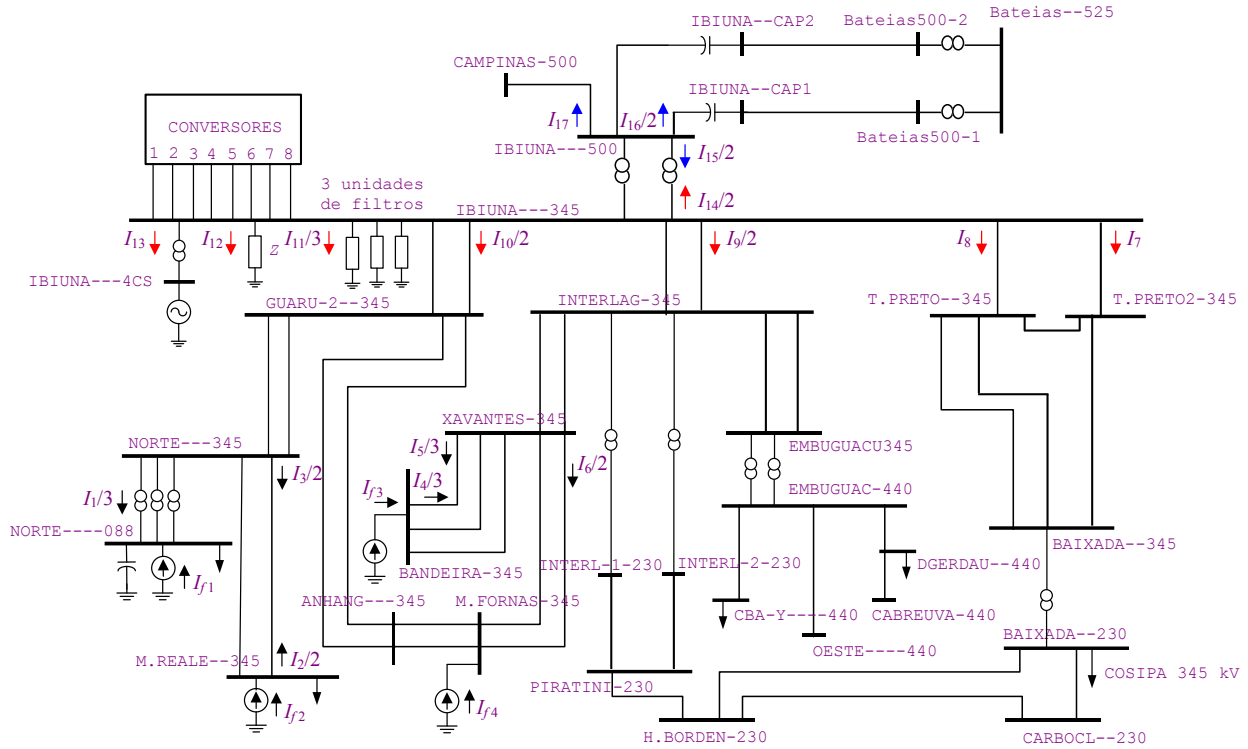


Figura 1: Rede elétrica nas proximidades de Ibiúna 345 kV

Tabela 1: Valores medidos do Terminal 1 para o Terminal 2 das correntes de 5º harmônico na fase B

Data	Horário	Terminal 1	Terminal 2	Corrente (A)	
13-05-2008	11:45:00	Norte	Cargas	$I_1$	$8.79 \angle 96.91^\circ$
		Miguel Reale	Norte	$I_2$	$5.88 \angle 61.10^\circ$
		Norte	Miguel Reale	$I_3$	$10.55 \angle 73.22^\circ$
15-02-2008	12:45:00	Xavantes	Bandeirantes	$I_5$	$45.39 \angle 131.35^\circ$
		Xavantes	Milton Fornasaro	$I_6$	$11.08 \angle -157.66^\circ$

Deve-se observar que todas as subestações apresentadas na Tabela 1 são de 345 kV.

Note que as medições realizadas na mesma data e horário estão sincronizadas. De fato, embora se saiba que as medições realizadas em datas e horários diferentes não estão sincronizadas, por hipótese e para efeito de simulação, considerou-se que todas as medições realizadas estão sincronizadas.

Nas referências [5] e [6] é citado que o valor da corrente  $I_4$  (Bandeirantes – Xavantes) é de três a quatro vezes inferior ao valor da corrente  $I_5$ . Com relação ao seu ângulo, nada é mencionado. Por este motivo, adotou-se para o módulo de  $I_4$  o valor de um terço do módulo de  $I_5$ , ou seja, 15.13 A. Para o seu ângulo adotou-se o valor de  $-37.00^\circ$ , pois com este valor a defasagem angular entre as correntes  $I_4$  e  $I_5$  é de  $168.35^\circ$ , a mesma defasagem observada com o programa HarmZs entre as correntes em Bandeirantes e em Xavantes, quando se conecta uma fonte de corrente igual a  $1\angle 0^\circ$  na barra de Bandeirantes.

Considere, inicialmente, que todas as quatro fontes de correntes de 5º harmônico  $I_{fk}$ ,  $k=1, \dots, 4$ , mostradas na Figura 1, sejam iguais a  $1\angle 0^\circ$ . Aplicando o princípio da superposição, pode-se escrever para a corrente  $I_1$ :

$$I_1^{(inicial)} = I_{1,1} + I_{1,2} + I_{1,3} + I_{1,4} \quad (3.1)$$

onde  $I_{1,1}$  é o valor da corrente  $I_1$  quando apenas a fonte  $I_{f1}$  está atuando com o valor  $1\angle 0^\circ$ , estando as demais desligadas. De maneira geral,  $I_{1,k}$ ,  $k=1, \dots, 4$  é o valor da corrente  $I_1$  quando apenas a fonte  $I_{fk}$ ,  $k=1, \dots, 4$  está atuando com o valor  $1\angle 0^\circ$ .

Considere, agora, que a fonte  $I_{f1}$  tenha sido multiplicada pela constante complexa  $\alpha_1$ , a fonte  $I_{f2}$  pela constante  $\alpha_2$ , e assim sucessivamente. Desta forma, aplicando-se novamente o princípio da superposição, o novo valor (valor final) da corrente  $I_1$  será dado por:

$$I_1^{(final)} = \alpha_1 I_{1,1} + \alpha_2 I_{1,2} + \alpha_3 I_{1,3} + \alpha_4 I_{1,4} \quad (3.2)$$

De maneira geral, pode-se escrever:

$$I_j^{(final)} = \alpha_1 I_{j,1} + \alpha_2 I_{j,2} + \alpha_3 I_{j,3} + \alpha_4 I_{j,4}; \quad j = 1, \dots, 6 \quad (3.3)$$

A Equação (3.3) pode ser escrita na forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} I_1^{(final)} \\ I_2^{(final)} \\ I_3^{(final)} \\ I_4^{(final)} \\ I_5^{(final)} \\ I_6^{(final)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{1,1} & I_{1,2} & I_{1,3} & I_{1,4} \\ I_{2,1} & I_{2,2} & I_{2,3} & I_{2,4} \\ I_{3,1} & I_{3,2} & I_{3,3} & I_{3,4} \\ I_{4,1} & I_{4,2} & I_{4,3} & I_{4,4} \\ I_{5,1} & I_{5,2} & I_{5,3} & I_{5,4} \\ I_{6,1} & I_{6,2} & I_{6,3} & I_{6,4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Ou mais reduzidamente como:

$$\mathbf{b} = \mathbf{A} \boldsymbol{\alpha} \quad (3.5)$$

Os valores de  $I_k^{(final)}$ ,  $k = 1, \dots, 6$  são os valores medidos apresentados na Tabela 1 mais o valor especificado de  $I_4$ . Por outro lado, os valores de  $I_{k,j}$ ,  $k = 1, \dots, 6$  e  $j = 1, \dots, 4$ , são obtidos utilizando o programa HarmZs. Os valores de  $\alpha_j$  podem ser obtidos resolvendo o sistema retangular linear (3.4) utilizando a pseudo-inversa de Moore-Penrose do Matlab [7] da matriz formada pelos elementos  $I_{k,j}$ ,  $k = 1, \dots, 6$  e  $j = 1, \dots, 4$ . Esta solução minimiza a norma de  $(\mathbf{A}\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{b})$ .

#### 4.0 - RESULTADOS CONSIDERANDO QUATRO FONTES DE CORRENTE DE 5º HARMÔNICO

Considerando quatro fontes de corrente, os valores obtidos para o vetor  $\mathbf{b}$ , estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores calculados do Terminal 1 para o Terminal 2 das correntes de 5º Harmônico – Quatro fontes

Terminal 1	Terminal 2	Corrente (A)	
Norte	Cargas	$I_1$	$9.066 \angle 84.69^\circ$
Miguel Reale	Norte	$I_2$	$5.652 \angle 138.60^\circ$
Norte	Miguel Reale	$I_3$	$9.313 \angle 100.57^\circ$
Bandeirantes	Xavantes	$I_4$	$21.686 \angle -44.17^\circ$
Xavantes	Bandeirantes	$I_5$	$41.293 \angle 131.58^\circ$
Xavantes	Milton Fornasaro	$I_6$	$10.369 \angle -171.34^\circ$

Na Figura 2 e na Figura 3 estão mostrados os diagramas polares das correntes de 5º harmônico medidas e calculadas do vetor  $\mathbf{b}$ . Como se pode observar, houve uma boa concordância entre elas, com exceção dos ângulos das correntes  $I_2$  e  $I_3$ .

Os valores medidos e calculados das correntes  $(I_7 + I_8)$ ,  $I_9$  e  $I_{10}$  (correntes nas LTs de 345 kV que chegam a Ibiúna, representadas por setas vermelhas na Figura 1) estão mostrados na Figura 4 (a) e (b), respectivamente.

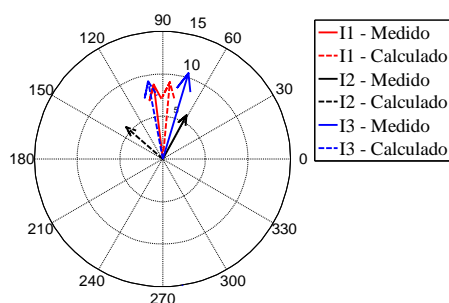


Figura 2: Valores medidos e calculados das correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  – Quatro fontes

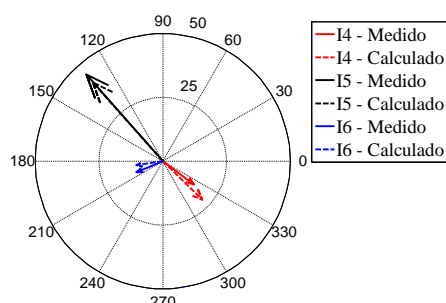
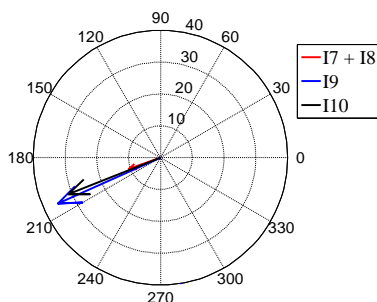
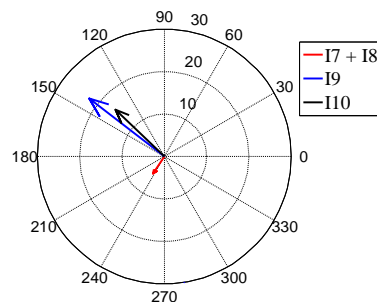


Figura 3: Valores medidos e calculados das correntes  $I_4$ ,  $I_5$  e  $I_6$  – Quatro fontes



(a)



(b)

Figura 4: Correntes nas LTs de 345 kV que chegam a Ibiúna: (a) medidas e (b) calculadas com quatro fontes

## 5.0 - RESULTADOS CONSIDERANDO SEIS FONTES DE CORRENTE DE 5º HARMÔNICO

Como pode ser observado na Figura 4 (a), as correntes medidas estão praticamente em fase e as magnitudes das correntes nas LTs Ibiúna – Interlagos ( $I_9$ ) e Ibiúna – Guarulhos ( $I_{10}$ ) são aproximadamente iguais e significativamente maiores do que a soma das magnitudes das correntes nas LTs Ibiúna – Tijuco Preto ( $I_7 + I_8$ ).

Comparando a Figura 4 (a) com a Figura 4 (b), observa-se que as magnitudes dos módulos das correntes medidas são maiores do que as calculadas. Por outro lado, considerando a Figura 4 (b), também se observa que os valores calculados das magnitudes e fases das correntes  $I_9$  e  $I_{10}$  são da mesma ordem de grandeza. Estas magnitudes são significativamente maiores do que a de ( $I_7 + I_8$ ). No entanto, a fase de ( $I_7 + I_8$ ) está adiantada de mais de  $90^\circ$  de  $I_9$  e  $I_{10}$ .

Estas diferenças indicam a necessidade de se considerar as contribuições de correntes das LTs Ibiúna – Tijuco Preto, que foram inicialmente desprezadas. Segundo a referência [5], estas contribuições estão em torno de 15% da soma das contribuições das LTs Ibiúna – Interlagos e Ibiúna – Guarulhos. Assim, considerou-se, adicionalmente, fontes de correntes de 5º harmônico nas barras de Tijuco Preto 345 kV. Portanto, agora, o sistema possuirá seis fontes de correntes. Além dos valores medidos (especificados) de corrente, utilizados anteriormente, para cálculo dos valores das componentes do vetor  $\alpha$ , especificou-se também os valores das correntes das LTs Ibiúna – Tijuco Preto, ou seja,  $I_7$  e  $I_8$ . Para os módulos destas correntes especificou-se seu valor medido na data de 25/01/08 e no horário de 09:30:00 [5], igual a 5.27 A. Para seus ângulos especificou-se o valor calculado de  $I_9$ , conforme apresentado na Figura 4 (b), de forma a se tentar fazer com que todas as correntes nas LTs de 345 kV fiquem aproximadamente em fase.

Os valores das correntes medidas ou especificadas estão apresentados na Tabela 3. Nesta tabela os valores medidos estão mostrados em preto e os especificados em vermelho. Os valores calculados destas correntes estão apresentados na Tabela 4.

Um dos aspectos relacionados às causas de sobrecarga nos filtros de  $3^\circ/5^\circ$  harmônicos, que se conseguiu reproduzir com a metodologia proposta, foram as amplificações de correntes nas LTs, conforme mostrado na Tabela 5.

Na Figura 5, Figura 6 e Figura 7 estão mostrados os diagramas polares das correntes de 5º harmônico medidas e calculadas do vetor  $b$ . Como se pode observar, houve uma boa concordância entre elas, com exceção dos ângulos das correntes  $I_2$  e  $I_3$ .

Os valores calculados das correntes ( $I_7 + I_8$ ),  $I_9$  e  $I_{10}$  (correntes nas LTs de 345 kV que chegam a Ibiúna) estão mostrados na Figura 8. Comparando esta figura com a Figura 4 (a) e (b), observa-se que os valores calculados dos módulos das correntes se aproximaram consideravelmente dos valores medidos e que as três correntes estão praticamente em fase, como ocorre com os valores medidos. No entanto, as fases dos valores calculados são diferentes das fases dos medidos.

Tabela 3: Valores medidos ou especificados do Terminal 1 para o Terminal 2 das correntes de 5º harmônico na fase B – Seis fontes

Data	Horário	Terminal 1	Terminal 2	Corrente (A)	
13-05-2008	11:45:00	Norte	Cargas	$I_1$	$8.79 \angle 96.91^\circ$
		Miguel Reale	Norte	$I_2$	$5.88 \angle 61.10^\circ$
		Norte	Miguel Reale	$I_3$	$10.55 \angle 73.22^\circ$
-	-	Bandeirantes	Xavantes	$I_4$	$15.13 \angle -37.00^\circ$
15-02-2008	12:45:00	Xavantes	Bandeirantes	$I_5$	$45.39 \angle 131.35^\circ$
		Xavantes	Milton Fornasaro	$I_6$	$11.08 \angle -157.66^\circ$
25-01-2008	09:30:00	Ibiúna	Tijuco Preto	$I_7$	$5.27 \angle 142.53^\circ$
		Ibiúna	Tijuco Preto	$I_8$	$5.27 \angle 142.53^\circ$

Tabela 4: Valores calculados do Terminal 1 para o Terminal 2 das correntes de 5º harmônico – Seis fontes

Terminal 1	Terminal 2	Corrente (A)	
Norte	Cargas	$I_1$	$8.6013 \angle 85.801^\circ$
Miguel Reale	Norte	$I_2$	$6.582 \angle 120.82^\circ$
Norte	Miguel Reale	$I_3$	$10.546 \angle 95.905^\circ$
Bandeirantes	Xavantes	$I_4$	$20.539 \angle -38.102^\circ$
Xavantes	Bandeirantes	$I_5$	$41.69 \angle 130.22^\circ$
Xavantes	Milton Fornasaro	$I_6$	$10.875 \angle -163.4^\circ$
Ibiúna	Tijuco Preto	$I_7$	$5.7252 \angle 136.99^\circ$
Ibiúna	Tijuco Preto	$I_8$	$6.6622 \angle 136.88^\circ$

Tabela 5: Amplificações de corrente de 5º harmônico – Seis fontes

Linha de Transmissão		Amplificação de Corrente corrente no terminal 2 / corrente no terminal 1	
Terminal 1	Terminal 2	Medido	Calculado
Bandeirantes ( $I_4$ )	Xavantes ( $I_5$ )	3.00	2.03
M. Reale ( $I_2$ )	Norte ( $I_3$ )	1.79	1.60

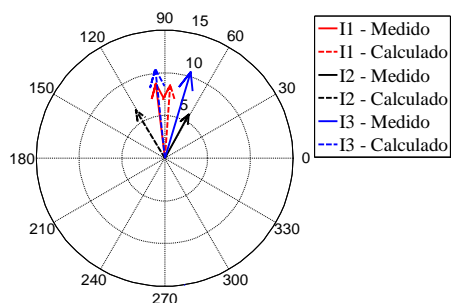


Figura 5: Valores medidos e calculados das correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  – Seis fontes

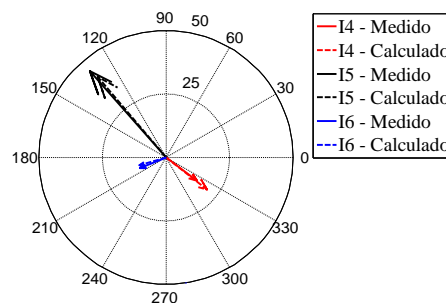


Figura 6: Valores medidos e calculados das correntes  $I_4$ ,  $I_5$  e  $I_6$  – Seis fontes

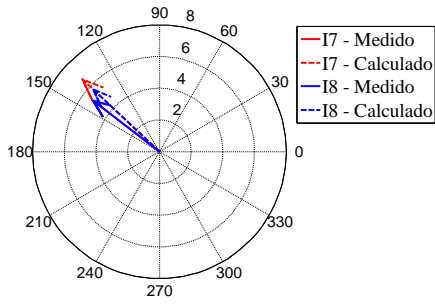


Figura 7: Valores medidos e calculados das correntes  $I_7$  e  $I_8$  – Seis fontes

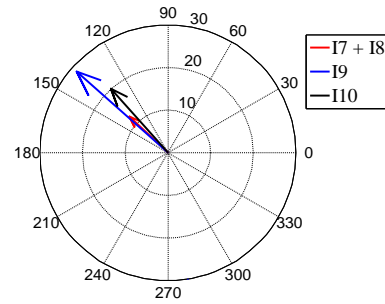


Figura 8: Valores calculados das correntes nas LTs de 345 kV que chegam a Ibiúna – Seis fontes

Os valores calculados das correntes  $(I_7 + I_8 + I_9 + I_{10})$ ,  $I_{11}$ ,  $(I_{12} + I_{13})$ ,  $I_{14}$  e  $(I_{11} + I_{14})$  estão mostradas na Figura 9 (a). Os valores medidos destas correntes estão mostrados na Figura 9 (b). Note que as medições destas correntes foram realizadas na data de 25-01-08 no horário de 09:30, ou seja, em data e horário diferentes da maioria das medições apresentadas na Tabela 3. Como se pode observar, existem diferenças nos módulos e, principalmente, nos ângulos entre os valores medidos e calculados. No entanto, as defasagens relativas entre as correntes medidas e calculadas estão muito próximas. Isto pode ser melhor observado rotacionando a Figura 9 (a) de  $66.62^\circ$ , conforme mostrado na Figura 9 (c), e comparando com a Figura 9 (b). Este ângulo de  $66.62^\circ$  é a defasagem entre o valor calculado e o medido do somatório de correntes  $(I_7 + I_8 + I_9 + I_{10})$ . Como pode ser observado, existe uma boa concordância entre os valores medidos e os calculados e rotacionados.

Os valores medidos e calculados de  $I_{15}$ ,  $I_{16}$ ,  $I_{17}$  (representadas por setas azuis na Figura 1) e  $(I_{16} + I_{17})$  estão mostrados na Figura 10 e Figura 11, respectivamente. Comparando estas figuras, notam-se diferenças significativas, principalmente com relação aos ângulos das correntes. No entanto, as proporções dos módulos das correntes nos transformadores e nas LTs estão muito próximas.

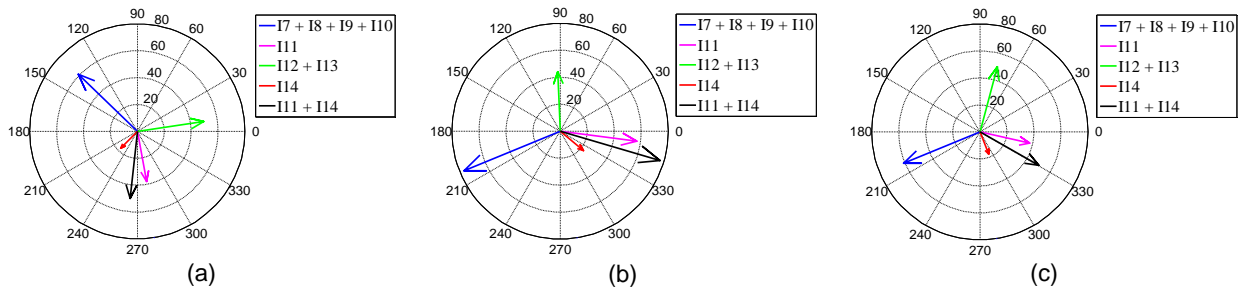


Figura 9: Valores de diversas correntes na barra de Ibiúna 345 kV: (a) calculados com seis fontes, (b) medidos e (c) calculados rotacionados de  $66.62^\circ$

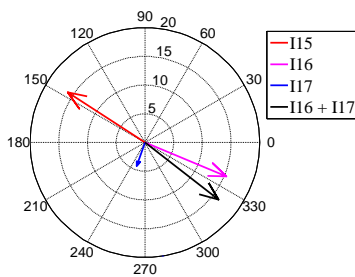


Figura 10: Valores medidos das correntes na barra de Ibiúna 500 kV

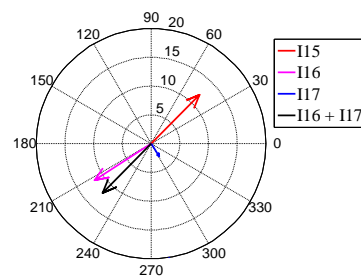


Figura 11: Valores calculados das correntes na barra de Ibiúna 500kV – Seis fontes

Os valores calculados das correntes  $(I_7 + I_8 + I_9 + I_{10})$ ,  $I_{11}$ ,  $(I_{12} + I_{13})$ ,  $I_{14}$  e  $(I_{11} + I_{14})$  com uma das LTs Ibiúna – Bateias aberta estão mostrados na Figura 12. Comparando esta figura com a Figura 9 (a), observa-se uma redução de 37.94 A para 29.08 A no módulo da corrente nos filtros de  $3^a/5^a$  harmônicos ( $I_{11}$ ) além de uma redução do ângulo desta corrente em relação a do transformador de Ibiúna ( $I_{14}$ ). Note que estes fatos foram observados experimentalmente nas medições realizadas em 2008 [5], [6].

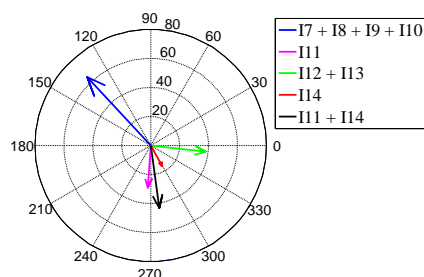


Figura 12: Valores calculados de diversas correntes na barra de Ibiúna 345 kV, com uma das LTs Ibiúna – Bateias aberta – Seis Fontes

## 6.0 - CONCLUSÃO

Neste artigo está descrita uma metodologia, utilizando o programa HarmZs, para a determinação de fontes de correntes harmônicas baseada em valores medidos e na pseudo-inversa de Moore-Penrose. Com os valores destas fontes, foi possível calcular os valores das correntes de quinto harmônico nas barras de Ibiúna 345 kV e 500 kV. O estudo foi realizado considerando o nível de carga média para o Sul exportando. Os resultados para o Sul importador encontram-se em [4].

Conseguiu-se reproduzir os principais aspectos relacionados à sobrecarga dos filtros de  $3^{\circ}/5^{\circ}$  harmônicos, ou seja, as amplificações de correntes nas LTs Bandeirantes – Xavantes e M. Reale – Norte conforme mostrado na Tabela 5, bem como a distribuição de correntes de  $5^{\circ}$  harmônico na barra de 345 kV da SE Ibiúna, como pode ser constatado comparando os valores medidos, apresentados na Figura 9 (b), com os calculados, apresentados na Figura 9 (c). Reproduziu-se também o impacto da abertura da LT Ibiúna – Bateias (500 kV) nesta distribuição, que foi a redução do módulo da corrente nos filtros de  $3^{\circ}/5^{\circ}$  harmônicos e do ângulo desta corrente em relação a do transformador de Ibiúna (ver Figura 9 (a) e Figura 12).

Julga-se que as diferenças encontradas entre os valores medidos e calculados de correntes de  $5^{\circ}$  harmônico podem ser devidas a:

1. Falta de sincronismo entre as medições. Observando a Tabela 1 e Tabela 3, nota-se que as medições de correntes tendo a SE Norte como um dos terminais foram realizadas na data de 13-05-2008 no horário de 11:45:00, enquanto as medições tendo a SE Xavantes como terminal 1 foram realizadas na data de 15-02-2008 no horário de 12:45:00. Por outro lado, as correntes medidas em Ibiúna foram feitas na data de 25-01-08 no horário de 09:30:00 (Figura 9 (b) e Figura 10).
2. Modelagem das cargas lineares por circuitos abertos, ou seja, desconhecimento dos modelos das cargas.
3. Podem existir diferenças topológicas entre as redes onde as medições foram realizadas e a utilizada nas simulações.
4. Não consideração de outras cargas não-lineares, tanto do lado de 345 kV quanto no de 500 kV.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cristiano de Oliveira Costa, Sergio Luis Varricchio e Franklin Clement Véliz, “Manual do Usuário do Programa HarmZs Versão 1.7 para Estudo do Comportamento Harmônico e Análise Modal de Redes Elétricas”, Relatório Técnico CEPEL, No. DSE 51747 / 2007.
- [2] Edmundo Pinto Neto, Flávio Rodrigo de M. Alves, João Alberto Passos Filho e Ricardo Mota Henriques, “Programa de Análise de Redes – ANAREDE V09-08/06 - Manual do Usuário”, Relatório Técnico CEPEL, No. DP-DSE 30875/2006, 2006.
- [3] Ricardo Diniz Rangel, Sergio Gomes Jr. e Julio César Rezende Ferraz, “Programa de Análise de Transitórios Eletromecânicos – ANATEM – Manual do Usuário – V09-08/04”, Relatório Técnico CEPEL, No. DP-DSE 46023/04, 2005.
- [4] Franklin Clement Véliz, Sergio Luis Varricchio e Cristiano de Oliveira Costa, “Simulação Computacional das Correntes de  $5^{\circ}$  Harmônico nas Vizinhanças da SE Ibiúna 345 kV para Verificação da Sobrecarga nos Filtros de  $3^{\circ}$  e  $5^{\circ}$  Harmônicos”, Relatório Técnico CEPEL, DRE – 23882/09, 2009.
- [5] José Roberto de Medeiros, Nelson Kagan, Silvio Xavier Duarte e Tiago Poles de Souza, “Resultados Complementares Relacionados à Campanha de Medição de Harmônicas no Sistema de Transmissão em Torno da SE Ibiúna para Avaliação das Sobrecargas Harmônicas nos Filtros de  $3^{\circ}$  e  $5^{\circ}$  Ordens Harmônicas”, Relatório Técnico ENERQ/ONS, março de 2008.
- [6] Dalton O. C. Brasil, Antônio Guarini, Fernando Lage, Marcos Sereno, Arthur Rosa, Roberto Silva, Nelson Kagan, Sílvia X. Duarte, Tiago P. Souza e José R. Medeiros, “Resultados Relacionados à Campanha de Medição de Harmônicas para Identificação de Causas da Sobrecarga Observada em Componentes dos Filtros de  $3^{\circ}$  e  $5^{\circ}$  Ordem Harmônicas Localizado na SE Ibiúna”, VIII CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica, Blumenau, SC, 2009.
- [7] Matlab, mathWorks, Inc, 2004.



## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Sergio Luis Varricchio:** nascido em Petrópolis, RJ em 13 de agosto de 1963. Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Petrópolis (UCP) em 1987. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1994. Trabalha no CEPEL desde 1989, nas áreas de análise de sistemas de potência, qualidade de energia e transitórios eletromagnéticos. De 2008 a 2009 foi Presidente do Capítulo de Potência & Energia do IEEE Seção Rio de Janeiro. É “senior member” do IEEE desde 2006.

**Franklin Clement Véliz:** Nascido em Lima, Peru, em 29 de abril de 1974. Recebeu os graus de Engenheiro Eletricista e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 2001 e 2005, respectivamente. Tem experiência no desenvolvimento de métodos e ferramentas computacionais para na análise de sistemas de potência. Atualmente trabalha na PUC-RJ.



**Cristiano de Oliveira Costa:** nascido em Ponte Nova, MG em 23 de janeiro de 1979. Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) em 2002. Trabalha no CEPEL desde 2002 no desenvolvimento de ferramentas computacionais aplicadas a análise da qualidade de energia elétrica.



**José Roberto de Medeiros:** nascido no Rio de Janeiro, RJ em 19 de Março de 1953. Formado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) em 1976. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1991. No momento trabalha para o ONS como engenheiro consultor através da JRMED na área de qualidade de energia elétrica.