



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

GSC 18
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO X

GRUPO DE ESTUDO DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO - GSC

ANÁLISE CRÍTICA DA ABORDAGEM ESTATÍSTICA DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS ASSOCIADOS A MANOBRAS DE EQUIPAMENTOS E LINHAS DE TRANSMISSÃO

Antonio Fernando Almeida Lima * Álvaro J.P. Ramos Yendys Sydney Dantas

ANDESA – Consultoria em Sistemas de Energia Elétrica

RESUMO

Nos estudos usuais, envolvendo simulações de transitórios eletromagnéticos de energização de linhas ou transformadores, religamentos, rejeições de cargas ou outros, nem sempre se está alerta ao enfoque da aleatoriedade dos resultados, para representar os fenômenos que queremos simular.

Por exemplo, é usual, em um estudo de energização de transformadores, fazermos simulações usando o programa de ATP, usando funções estatísticas para representar o instante de fechamento do disjuntor, considerando a dispersão de pólos e o ponto da onda de tensão. Neste caso, o programa ATP permite a realização de “N” simulações determinísticas, considerando um conjunto provável de pontos, gerados automaticamente, representando o instante de fechamento dos pólos do disjuntor e o instante da onda de tensão.

O instante de fechamento dos pólos do disjuntor é tratado como uma variável aleatória, com uma dispersão entre pólos de $\pm 2,5$ ms, com distribuição gaussiana e desvio padrão de 0,8334 ms. O ponto de fechamento da onda de tensão é tratado como uma variável aleatória, uniformemente distribuída ao longo do ciclo de tensão.

Nossa abordagem tem a finalidade de questionar se o número “N”, de simulações realizadas, é suficiente para garantir que os resultados obtidos, das grandezas envolvidas, tenham significância estatística capaz de garantir avaliações probabilísticas com seus resultados. Para isto, sugerimos que seja analisada a principal variável, por exemplo, a distribuição de picos de tensão, com testes estatísticos de aderência à curva normal teórica (teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov).

PALAVRAS-CHAVE

Teste de normalidade, Cálculos probabilísticos,

1.0 - INTRODUÇÃO

As simulações envolvendo estudos de transitório eletromagnéticos, permeiam a necessidade de garantir representatividade da aleatoriedade dos fenômenos envolvidos como, por exemplo, o instante de fechamento dos polos do disjuntor, ao longo do ciclo de tensão, num processo de energização de uma linha de transmissão. O programa ATP (TRANSIENT ANALYSIS PROGRAM), largamente utilizado no setor elétrico brasileiro, dispõe de recursos que garantem a realização de simulações com a representatividade requerida do fenômeno. É comum a utilização de chaves onde o instante de fechamento dos polos do disjuntor é tratado com uma variável aleatória, com uma dispersão entre os polos de $\pm 2,5$ ms, com distribuição Gaussiana e desvio padrão de 0,8334 ms e,

considerando o ponto de fechamento da onda de tensão como uma variável aleatória, uniformemente distribuída ao longo do ciclo de tensão.

O número de simulações determinísticas “N” capaz de acomodar o universo de simulações que garantam a aleatoriedade requerida do fenômeno, já foi objeto de análise ao longo do tempo. Experiências de vários anos de simulação apontam para um valor de “N”= 200, como sendo um bom valor que atende ao objetivo da representatividade do fenômeno analisado.

Ressaltamos, entretanto, que a abordagem apresentada neste documento não questiona a representatividade do fenômeno pelo programa ATP, mas pretende agregar mais informações de qualidade, com resultados probabilísticos, aos valores das grandezas obtidos das simulações.

2.0 - METODOLOGIA

Foi desenvolvido um aplicativo simples para coletar as informações contidas nos arquivos, extensão **LIS**, de saída do programa ATP.

Escolhida a grandeza ou grandezas de interesse, o aplicativo faz uma varredura no arquivo de saída de uma simulação estatística do ATP e retorna com o conjunto de valores, correspondente aos máximos obtidos de cada simulação, do conjunto das “N” simulações estatísticas, independente da fase onde ocorreu esse valor máximo..

Esse conjunto é submetido ao teste de normalidade pelo método de Kolmogorov-Smirnov e, caso o resultado indique aderência, com nível de significância compatível, à curva normal teórica, de média e desvio padrão iguais aos obtidos pela grandeza selecionada, poderemos agregar informações probabilísticas aos resultados obtidos nas simulações.

Caso os resultados apresentados não sejam compatíveis com uma distribuição normal, poderemos elevar o número “N” de simulações e repetir o processo.

3.0 - ALGUNS RESULTADOS PRÁTICOS OBTIDOS

Numa simulação, utilizando o programa ATP, envolvendo uma manobra de energização do circuito Presidente Dutra – Teresina 500 kV C2, foi realizada uma simulação estatística considerando N=200 e se obteve os resultados resumidos na tabela a seguir:

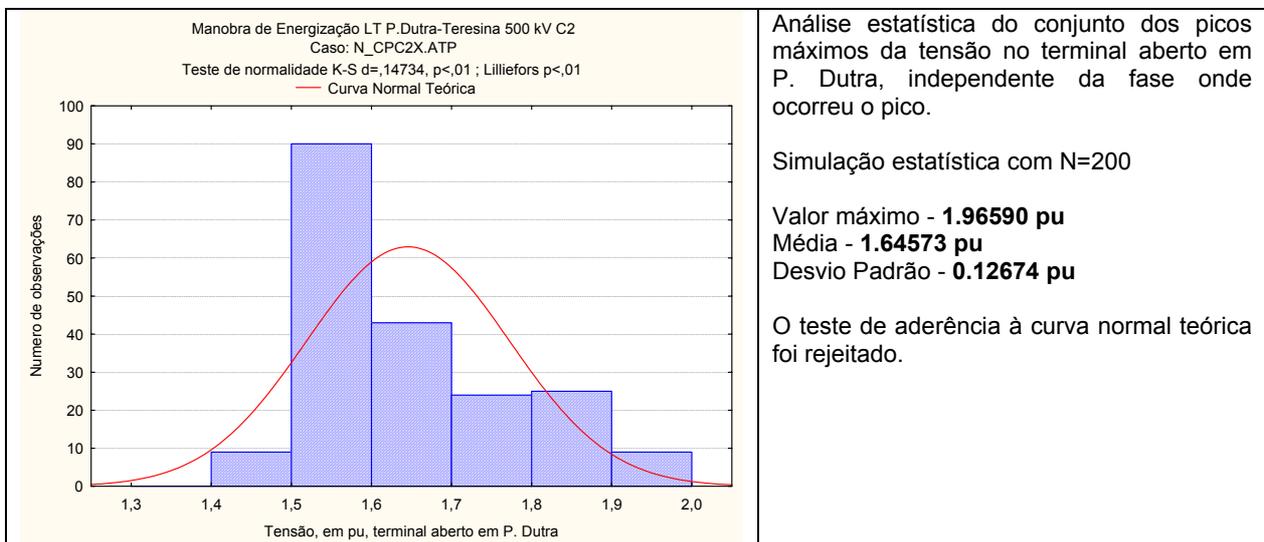


Tabela 1 – Resumo da simulação estatística de energização do circuito Presidente Dutra – Teresina 500 kV C2, utilizando o programa ATP, com N=200.

Como podemos observar, o teste de normalidade pelo método de Kolmogorov-Smirnov, apresentou nível de significância $p < 0,01$, o que acarreta não ser estatisticamente recomendável associar probabilidade aos resultados obtidos.

Dentro da metodologia sugerida, reprocessamos a simulação estatística do ATP, considerando N= 300 e obtivemos os resultados apresentados a seguir:

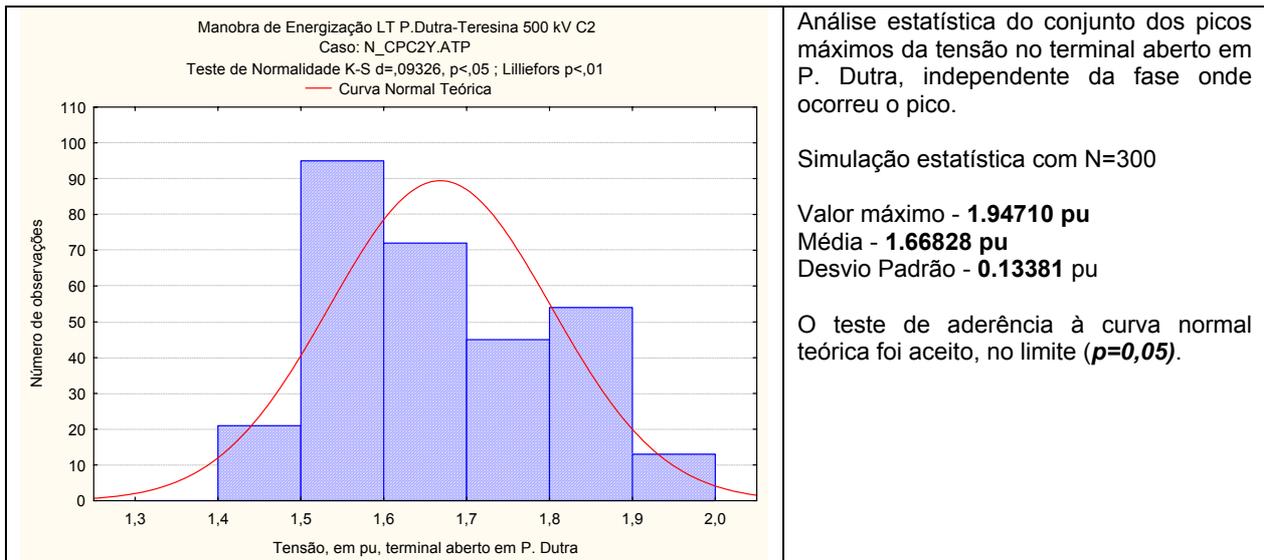


Tabela 2 – Resumo da simulação estatística de energização do circuito Presidente Dutra – Teresina 500 kV C2, utilizando o programa ATP, com N=300.

O conjunto dos picos de tensão, no terminal aberto da SE Presidente Dutra 500 kV, obtidos nessa nova simulação estatística (N=300), quando submetidos ao teste de normalidade pelo método de Kolmogorov-Smirnov, obteve nível de significância (**p=0,05**), compatível com a hipótese de uma variável aleatória de média = **1.66828 pu** e Desvio Padrão = **0.13381 pu**.

Em função do teste positivo, com relação a aderência à curva normal, podemos associar probabilidade aos valores obtidos na simulação estatística do ATP.

Por exemplo, a probabilidade de uma manobra de energização do circuito analisado vir a superar o valor do pico de tensão máximo, obtido na simulação, ou seja **V=1,947 pu**, será calculado utilizando as tabelas da curva normal padrão.

Probabilidade $P(X > \text{valor máximo}) = 1,87 \%$.

Se considerarmos o valor máximo obtido na simulação estatística anterior (N=200), e utilizarmos as tabelas de probabilidade associadas a curva normal padrão, obtemos o seguinte resultado:

$P(X > 1.9659 \text{ pu}) = 1,32 \%$

Observe, entretanto, que se fossem utilizados os resultados da primeira simulação (n=200), considerando a média = **1.64573 pu** e desvio padrão = **0.12674 pu**, os cálculos da probabilidade de superação do valor **1.9659 pu** seria de:

$P(X > 1.9659 \text{ pu}) = 0,59\%$ um pouco diferente de cálculo obtidos com os dados da segunda simulação.

4.0 - CONCLUSÃO

Com essa metodologia, utilizando técnicas para avaliar a aderência dos resultados das simulações estatísticas do ATP, pode-se agregar qualidade na informação sobre o máximo valor obtido nessas simulações.

Desta forma, se agrega uma visão da probabilidade de superação deste valor, dando maior segurança e visibilidade de que, esse pico máximo obtido, represente ou não a maior solicitação esperada do fenômeno analisado.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico

(2) ATP – Alternative Transients Program – RULE BOOK, 1987

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Antonio Fernando Almeida Lima

Nascido em Garanhuns / PE em 14 de março de 1954.

Mestrado (1982) pela FUPAI e Graduação (1978) em Engenharia Elétrica: UFPE-Pernambuco

Empresa: Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF, 1977 – 1995.

ANDESA – Consultoria em Sistema de Energia Elétrica – desde 1998.

Participação em grupos de trabalho GCOI/GTAS-NO