



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Departamento de Engenharia Elétrica



## Relatório de Estágio Supervisionado

Aluna: Yonatha Marques Pereira de Melo  
Orientador: Prof. Damásio Fernandes Júnior, D.Sc.

Campina Grande - Paraíba

Maio de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

## Relatório de Estágio Supervisionado

*Relatório de Estágio Supervisionado, apresentado à Coordenação de Estágios de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do título de engenheiro eletricista.*

Estagiária: **Yonatha Marques Pereira de Melo**  
Local: **Laboratório de Referência em Controle e Automação - LARCA**  
Período do Estágio: **Janeiro/2011 a Fevereiro/2011**  
Orientador: **Prof. Damásio Fernandes Júnior, D.Sc.**

Campina Grande - Paraíba

Maio de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

## Relatório de Estágio Supervisionado

Julgado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

### **BANCA EXAMINADORA:**

ORIENTADOR: \_\_\_\_\_  
Prof. Damásio Fernandes Júnior, D.Sc.

CONVIDADO: \_\_\_\_\_

Campina Grande – Paraíba  
Maio de 2011

## **Agradecimentos**

A Deus por me dar forças, sabedoria e paciência para enfrentar os momentos mais difíceis e por ter colocado pessoas em meu caminho que estão sempre dispostas a me auxiliar.

Aos meus pais e minha irmã pelo constante incentivo, por todos os ensinamentos ao longo da vida e pelo amor que me dedicaram.

A Daphne pela inestimável amizade e apoio constantes.

Aos amigos do período 2006.1 por facilitarem a superação dos diversos obstáculos que surgiram ao longo de minha vida acadêmica.

A Célio Anésio da Silva cujo auxílio foi indispensável para a realização deste estágio.

A Alana por sempre se dispor a ajudar quando necessário.

Ao professor Damásio Fernandes Júnior pela oportunidade, pelo incentivo, pela orientação e pelos ensinamentos em minha formação acadêmica.

## Apresentação

O estágio supervisionado foi realizado no Laboratório de Referência em Controle e Automação (LARCA) que faz parte do Grupo de Sistemas Elétricos (GSE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), durante o período de 10 de janeiro de 2011 a 18 de fevereiro de 2011.

O estágio realizado possuiu três atividades desenvolvidas, sendo a primeira apresentada no capítulo 4, que foi a obtenção dos parâmetros de um Transformador de Potencial Capacitivo (TPC) de 230 kV através de um *software* desenvolvido no GSE, o TPCalc 1.1. A segunda atividade realizada foi a modelagem e simulação de sistemas elétricos de potência através do *software* RSCAD, que é vinculado ao simulador em tempo real (RTDS<sup>TM</sup> - *Real Time Digital Simulator*), recentemente adquirido pelo GSE/UFCG. A última atividade desenvolvida foi a análise da tensão secundária do TPC quando este transdutor opera frente a um curto-circuito no seu terminal primário, através de simulações digitais.

# Sumário

Lista de Figuras .....	VII
Lista de Tabelas .....	VIII
1. Introdução .....	1
2. Atividades Desenvolvidas .....	2
3. Transformador de Potencial Capacitivo .....	3
3.1. Transformador de Potencial Capacitivo para Proteção.....	4
4. <i>Software</i> TPCalc 1.1 .....	6
4.1. Modelo Computacional do TPC .....	6
4.2. Utilização do TPCalc .....	7
4.3. Simulação utilizando o TPCalc 1.1.....	10
5. RTDS <sup>TM</sup> ( <i>Real Time Digital Simulator</i> ).....	13
5.1. <i>Hardware</i> do RTDS <sup>TM</sup> .....	13
5.2. <i>Software</i> do RTDS <sup>TM</sup> .....	18
6. Resultados e Análise.....	23
7. Conclusões .....	30
8. Bibliografia (Colocar as citações bibliográficas ao longo do texto) .....	31
ANEXO A .....	32
APÊNDICE A .....	34

## Lista de Figuras

Figura 1: Esquema elétrico de um TPC a 60 Hz (FERNANDES Jr., 2003). .....	3
Figura 2: Modelo do TPC utilizado para estimar os parâmetros R, L e C lineares.....	7
Figura 3: Tela do TPCalc 1.1 para o carregamento dos parâmetros do TPC. ....	8
Figura 4: Ícone para a seleção da janela de configurações do TPCalc.....	8
Figura 5: Tela do TPCalc 1.1 de configurações para a execução do programa. ....	8
Figura 6: Atalho para a realização da simulação do TPCalc.....	9
Figura 7: Mensagem de aviso quando ocorre um erro na execução do programa do TPCalc. ....	10
Figura 8: Resposta em frequência - Fase do TPC de 230 kV.....	11
Figura 9: Resposta em frequência - Ganho do TPC de 230 kV. ....	12
Figura 10: Arquivo com o modelo computacional de um TPC no formato ATP na estrutura trifilar. ....	12
Figura 11: <i>Rack</i> do RTDS <sup>TM</sup> (Dantas, 2009).....	14
Figura 12: Módulo do <i>software</i> do RSCAD.....	19
Figura 13: Arquivos contidos no <i>FileManager</i> do RSCAD.....	19
Figura 14: Tela do programa <i>Draft</i> do RSCAD. ....	20
Figura 15: Tela do programa <i>T-Line</i> do RSCAD. ....	21
Figura 16: Programa <i>RunTime</i> do RSCAD. ....	22
Figura 17: Esquema unifilar do sistema elétrico de potência ao qual o TPC está inserido (SILVA, 2010).....	23
Figura 18: Esquema do sistema elétrico de potência ao qual o TPC está inserido.....	24
Figura 19: Esquema da lógica de controle de faltas realizado através da biblioteca <i>Controls</i> do <i>Draft</i> . ....	26
Figura 20: Forma de onda da tensão no primário e no secundário do TPC quando ocorre uma falta na passagem por zero sem o uso do compensador. ....	27
Figura 21: Forma de onda da tensão no primário e no secundário do TPC quando ocorre uma falta na passagem por zero com o uso do compensador(SILVA, 2010). ....	28
Figura 22: Forma de onda da tensão no primário e no secundário do TPC quando ocorre uma falta no pico de tensão sem o uso do compensador. ....	28
Figura 23: Forma de onda da tensão no primário e no secundário do TPC quando ocorre uma falta no pico de tensão com o uso do compensador. (SILVA, 2010) .....	29

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Estimativas iniciais dos parâmetros do TPC para a realização da simulação do <i>software</i> TPCalc 1.1. ....	10
Tabela 2 – Parâmetros do TPC obtidos após a simulação do <i>software</i> TPCalc 1.1. ....	11
Tabela 3 – Parâmetros utilizados para o TPC de 230 kV no <i>software</i> RSCAD. ....	25



# 1. Introdução

O Laboratório de Referência em Controle e Automação (LARCA) é um laboratório constituído por funcionários, alunos e professores dos cursos de engenharia elétrica e engenharia química da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O LARCA faz parte do Grupo de Sistemas Elétricos (GSE), que foi criado em 1999 a partir da fusão de dois grupos: Sistemas de Potência e Alta Tensão.

O GSE formou-se com o intuito de fortalecer a ênfase de eletrotécnica do curso de engenharia elétrica da atual UFCG. Já o LARCA foi inaugurado em 20 de novembro de 2009 e é constituído de três pavimentos com uma área total de 542,64 m<sup>2</sup>, sendo estes pavimentos formados por: 14 salas, sanitários feminino e masculino, um auditório e um hall de entrada. Os 542,64 m<sup>2</sup> de área construída foram distribuídos da seguinte maneira: uma sala de 41,9 m<sup>2</sup> onde há um laboratório de controle de processos; uma sala de 62,4 m<sup>2</sup> destinada ao laboratório de automação de sistemas de energia elétrica; cinco salas de 20,1 m<sup>2</sup> que acomodam 24 alunos de pós-graduação; cinco salas de 13,5 m<sup>2</sup> destinadas a acomodar 4 professores; uma sala de 18,2 m<sup>2</sup> para a Coordenação e Pessoal de Apoio; um auditório de 41,2 m<sup>2</sup> com capacidade para 35 pessoas; uma sala de reunião de 25,8 m<sup>2</sup>; sanitários masculino e feminino com 25,8 m<sup>2</sup> e uma área de 98 m<sup>2</sup> para circulação, hall de entrada e acesso aos pavimentos superiores.

O LARCA possui alguns equipamentos tais como: uma coluna de destilação, um sistema de manufatura flexível e um simulador em tempo real de energia elétrica. Este último foi objeto de estudo durante este estágio. O simulador em tempo real, o RTDS<sup>TM</sup> (*Real Time Digital Simulator*) foi adquirido pela UFCG recentemente e funciona como um analisador de rede (TNA, do inglês *Transient Network Analyser*) e é uma combinação de *hardware* e *software*.

O RTDS<sup>TM</sup> foi o equipamento utilizado para realizar a modelagem e simulação do Transformador de Potencial Capacitivo (TPC) e o sistema elétrico de potência de 230 kV no qual o TPC estava inserido. O estudo realizado com o TPC tem como objetivo geral verificar o problema que ocorre com a reprodução do sinal do secundário do TPC em uma situação de falta no sistema no qual ele está inserido.

## 2. Atividades Desenvolvidas

As atividades que foram realizadas durante o período de estágio foram as citadas a seguir:

- Obtenção dos parâmetros do Transformador de Potencial Capacitivo através do *software* TPCalc 1.1;
- Modelagem e simulação de sistemas elétricos de potência através do *software* RSCAD;
- Análise da tensão secundária do TPC quando este transdutor opera frente a um curto-circuito no seu terminal primário, através de simulações digitais utilizando o RTDS<sup>TM</sup>.

### 3. Transformador de Potencial Capacitivo

O Transformador de Potencial Capacitivo (TPC) é um equipamento elétrico que se classifica como um transformador para instrumento (TI). Os TIs são de grande importância para um sistema elétrico de potência, pois são os responsáveis pela alimentação adequada dos instrumentos elétricos de medição, controle ou proteção.

O TPC é utilizado para possibilitar a diminuição da tensão para valores adequados à alimentação dos equipamentos e dispositivos de controle, medição e proteção. Geralmente o valor da tensão secundária é 115 V. O TPC também possibilita a isolação elétrica entre o circuito de alta tensão e o de baixa tensão, garantindo, desta forma, certa segurança aos operadores. Este equipamento tem como função a reprodução da tensão no primário do transformador (circuito de alta tensão) para o seu secundário (circuito de baixa tensão). Portanto, através do TPC tem-se ideia dos fenômenos transitórios e de regime permanente que ocorrem no sistema de alta tensão para que os instrumentos de controle, medição e proteção, atuem quando necessário.

O TPC pode ser dividido em pelo menos quatro partes: o divisor de tensão capacitivo, o reator de compensação, o transformador de potencial indutivo e o circuito supressor de ferorressonância (CSF). Na figura 1 tem-se a representação de cada uma destas partes.

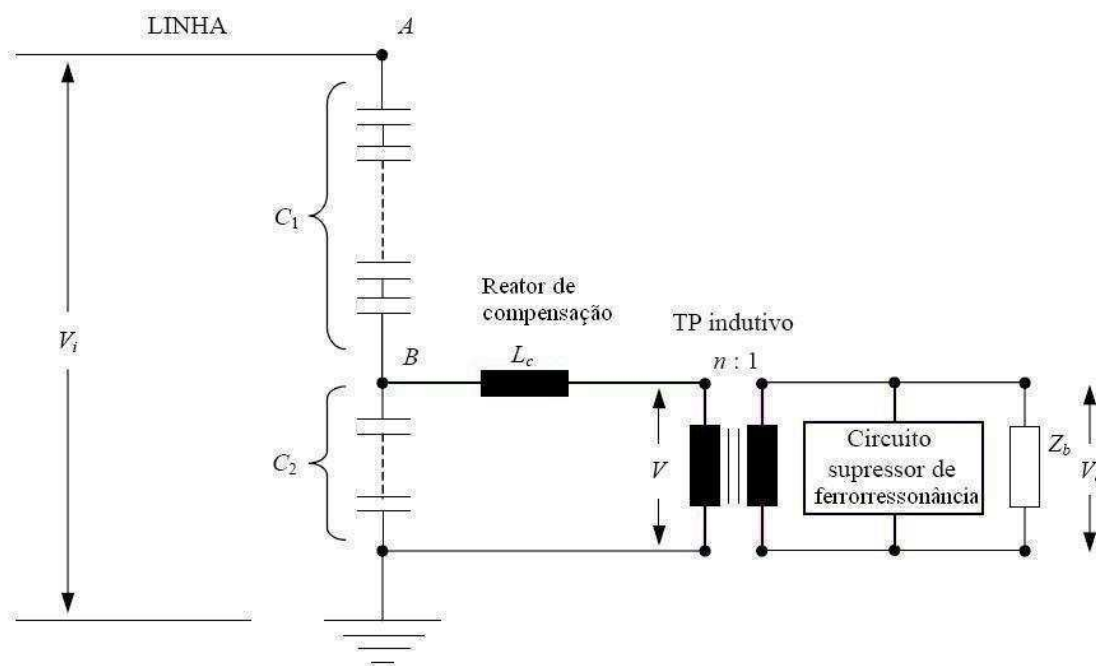


Figura 1: Esquema elétrico de um TPC a 60 Hz.

Fonte: FERNANDES Jr. (2003).

O divisor de tensão capacitivo possui o objetivo de proporcionar uma diminuição no nível da tensão para cerca de 10 kV. Já o reator de compensação opera de maneira a garantir que não ocorra defasagem entre as tensões  $V_i$  e  $V_o$  na frequência do sistema, para que a reprodução da forma de onda da tensão no secundário seja fidedigna a do primário. O transformador de potencial indutivo é o responsável pela diminuição do nível da tensão para valores aceitáveis para a alimentação dos equipamentos de controle, medição e proteção. Enquanto que o CSF opera para amenizar o efeito de ferrorressonância, que é oriundo da ressonância entre as capacitâncias do circuito e alguma indutância não linear proveniente de elementos com núcleo ferromagnético (FERNANDES Jr., 2003).

O TPC deve ser conectado paralelamente ao sistema, vale ressaltar que o TPC é um equipamento monofásico. Este equipamento pode ser dividido em dois tipos: o transformador de potencial capacitivo para medição e para proteção. A maior diferença entre eles é o valor de sua classe de exatidão. A seguir será mais bem detalhado o transformador de potencial capacitivo para a proteção.

### **3.1. Transformador de Potencial Capacitivo para Proteção**

O transformador de Potencial Capacitivo pode ser utilizado tanto para a medição, quanto para a proteção. Entretanto, um mesmo equipamento não deve ser utilizado para as duas coisas, pois as características do núcleo ferromagnético do transformador de potencial indutivo são distintas.

O TPC para a proteção tem como característica uma corrente de saturação da ordem de 20 vezes a corrente nominal do sistema para que dessa forma possa identificar um surto. Os TPC de proteção são de extrema importância, visto que, eles são os responsáveis pela atuação precisa dos relés. Portanto, torna-se necessário que o TPC seja capaz de reproduzir em seu secundário os sinais presentes em seu primário. Este fato não ocorre sempre, especialmente em situações em que há a presença de harmônicos na rede ou uma situação em que ocorre uma falta.

Quando ocorre uma falta no sistema de transmissão/subtransmissão de energia elétrica, a tensão secundária do TPC não representa instantaneamente uma réplica da tensão primária. Isso acontece porque a energia armazenada nos elementos, como

capacitores e indutores, não mudam instantaneamente sua carga ou fluxo (MACHADO, 2009).

Tendo em vista este problema da representação fidedigna do sinal de tensão pelo TPC, foi desenvolvido no GSE um filtro, que é capaz de melhorar o sinal oriundo do secundário do TPC para evitar que a atuação dos relés seja indevida.

## 4. Software TPCalc 1.1

O *software* TPCalc 1.1 foi desenvolvido através da realização de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), intitulado *Representação de Transformadores de Potencial Capacitivos em Estudos de Transitórios Eletromagnéticos*.

O *software* TPCalc 1.1 é um programa para cálculos dos parâmetros de transformadores de potencial capacitivos e possui como principal objetivo o cálculo dos parâmetros R, L e C lineares de um modelo do TPC, obtidos por meio de dados de resposta em frequência, de maneira a garantir a reprodução adequada das funções de módulo e fase da relação de tensão do TPC. O FORTRAN foi a linguagem utilizada para o desenvolvimento da otimização dos cálculos dos parâmetros do TPC. Além do FORTRAN, utilizou-se a linguagem C++ *Builder 6* para a criação da interface homem-máquina.

O TPCalc 1.1 possui um sistema gráfico que garante uma maior facilidade ao usuário na utilização do método de otimização Levenberg-Marquardt para estimar os parâmetros R, L e C do TPC, e permite verificar o desempenho do ajuste dos parâmetros, através do erro médio entre as curvas de referência, módulo e fase, com as curvas computadas por meio da função analítica que descreve o comportamento do TPC. O sistema gráfico ainda possibilita a visualização dos resultados em arquivos do tipo EMTP (*Electromagnetic Transients Program*), fator que facilita a análise e a implementação dos parâmetros obtidos em estudos de simulações de transitórios eletromagnéticos.

### 4.1. Modelo Computacional do TPC

O modelo de TPC adotado pelo *software* é constituído de uma coluna capacitiva formada pelos capacitores  $C_1$  e  $C_2$ , que estão em série, um reator de compensação representado pela resistência  $R_C$ , pelo indutor  $L_C$  e pela capacitância parasita  $C_C$ . Ainda no modelo do TPC, encontra-se um transformador de potencial indutivo e um CSF. O transformador de potencial indutivo é representado pelo enrolamento primário, que contém uma resistência  $R_p$ , uma indutância de dispersão  $L_p$  e uma capacitância parasita

$C_p$ , e pelo núcleo magnético, que apresenta uma indutância de magnetização  $L_m$  e resistência de perdas  $R_m$ . Já o CSF é caracterizado pelo seu reator, que possui  $L_{f1}$ ,  $L_{f2}$  e  $M$ , pelo capacitor  $C_f$  e resistência de amortecimento  $R_f$ . Neste modelo ainda é representada a impedância  $Z_b$  que indica as cargas dos instrumentos que estão conectados ao secundário do TPC. Na figura 2 há um esquema do modelo do TPC utilizado.

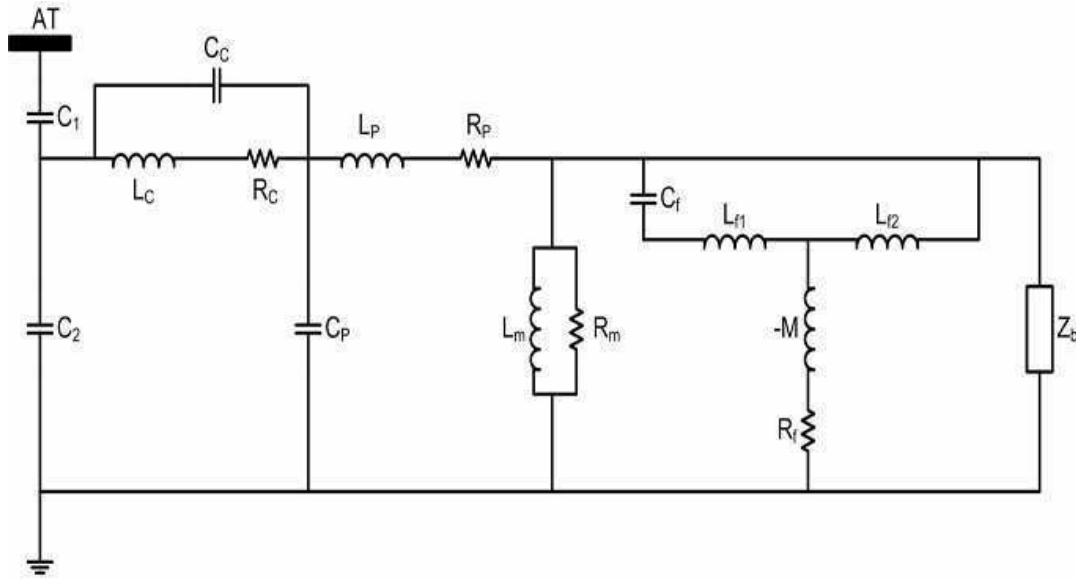


Figura 2: Modelo do TPC utilizado para estimar os parâmetros R, L e C lineares.

## 4.2. Utilização do TPCalc

O *software* TPCalc 1.1 quando iniciado apresenta a seguinte tela ilustrada na figura 3. Também se observa na figura 3 que o ícone selecionado é o responsável pelo carregamento das estimativas iniciais dos parâmetros R, L e C do circuito.

O TPCalc 1.1 permite que arquivos que acompanham o *software* no formato *.dat* carreguem diretamente as estimativas iniciais ou que o usuário coloque as suas próprias estimativas.

O segundo passo adotado é o carregamento dos valores de entrada que são as respostas em frequência de fase e ganho, que serão utilizados como referência. Este procedimento pode ser realizado selecionando a parte intitulada: Resposta em Frequência-Referência.

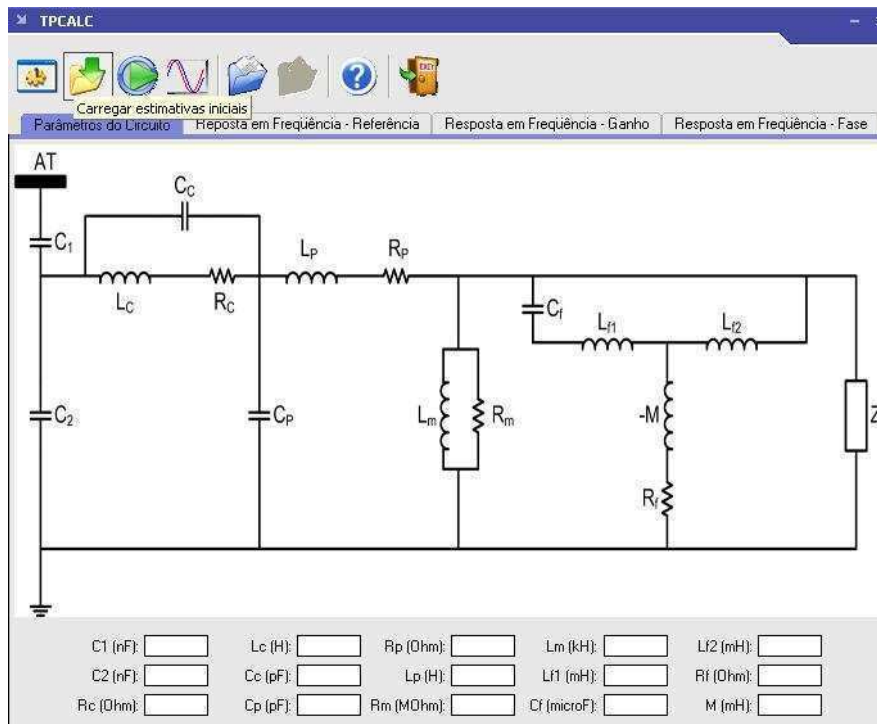


Figura 3: Tela do TPCalc 1.1 para o carregamento dos parâmetros do TPC.

A seguir, deve-se carregar as demais configurações, o ícone a ser selecionado é ilustrado na figura 4 e a janela oriunda desta seleção é indicada na figura 5.



Figura 4: Ícone para a seleção da janela de configurações do TPCalc.

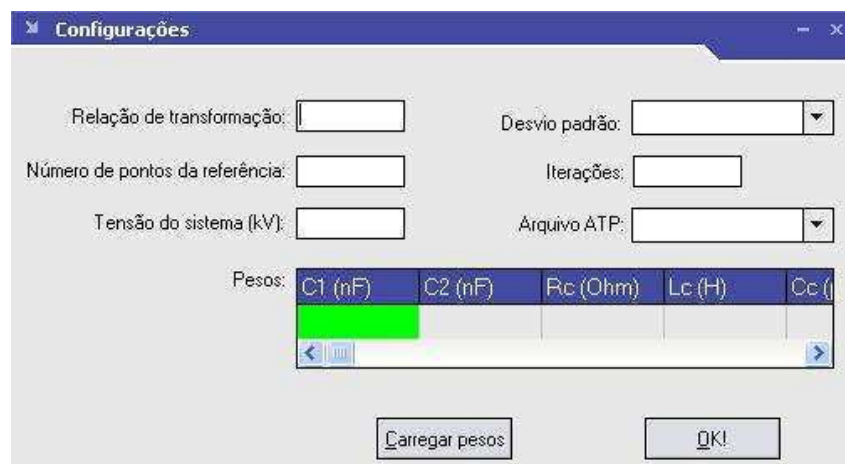


Figura 5: Tela do TPCalc 1.1 de configurações para a execução do programa.



O primeiro campo a ser preenchido é a relação de transformação. Esse valor é a relação de transformação do primário do transformador de potencial indutivo e o seu secundário. Para o TPC de 230 kV analisado, essa relação é em torno de 152.

O campo seguinte é o de desvio padrão. O usuário deve escolher entre dois tipos de desvios, o desvio do tipo 1 acarreta em uma minimização do erro percentual, enquanto que a escolha do desvio tipo 2 leva a minimização do erro absoluto.

O terceiro campo que deve ser preenchido é o número de pontos de referência, e este deve estar de acordo com a quantidade de pontos informados pela curva de resposta em frequência de referência.

Há um campo destinado a quantidade de iterações que o *software* deve realizar, lembrando-se que quanto maior a quantidade de iterações, maior é o esforço computacional e maior será o ajuste da função com relação à referência.

O quinto campo é responsável pela indicação do nível de tensão do sistema no qual o TPC está operando, e o mesmo deve ser preenchido utilizando-se valores em kV.

O sexto campo é utilizado para a realização da escolha de qual tipo de arquivo do ATP (*Alternative Transient Program*), unifilar ou trifilar, deve ser gerado pelo TPCalc 1.1. O arquivo gerado tem como nome padrão *TPC.sai*.

O último campo é destinado aos pesos, ou seja, o *software* permite que o usuário carregue neste campo um vetor de pesos, que contem o peso a ser atribuído para cada um dos parâmetros do TPC.

Após a inserção das estimativas iniciais, dos valores de entrada, que são os valores de resposta em frequência de fase e ganho, e o preenchimento de todos os campos das configurações, pode-se realizar a simulação através do atalho ilustrado na figura 6.



**Figura 6: Atalho para a realização da simulação do TPCalc.**

Caso os valores estimados, os valores de entrada ou os valores presentes nos campos da configuração não permitam a convergência da rotina computacional, será exibida a mensagem de aviso ilustrada na figura 7.

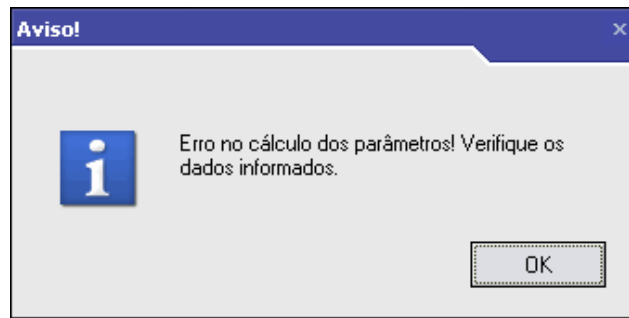


Figura 7: Mensagem de aviso quando ocorre um erro na execução do programa do TPCalc.

### 4.3. Simulação utilizando o TPCalc 1.1

As simulações foram realizadas no TPCalc 1.1 e foram obtidos os parâmetros R, L e C com o uso das estimativas iniciais apresentadas na tabela 1. Já os 44 valores da resposta em frequência, considerando-se a fase e o ganho, foram obtidos através de medições realizadas no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG para um TPC de 230 kV.

Tabela 1: Estimativas iniciais dos parâmetros do TPC para a realização da simulação do software TPCalc 1.1.

Divisor de Tensão	Reator de Compensação	TPI	CSF
<b>C1 = 10,04 nF</b>	Rc = 10 kΩ	Rp = 100 kΩ	Rf = 1 Ω
<b>C2 = 65,4 nF</b>	Cc = 10000 pF	Lp = 100 H	Cf = 100 μF
	Lc = 100 H	Rm = 1 MΩ	Lf1 = 10 mH
	Cp = 100 pF	Lm = 10 kH	Lf2 = 100 mH
			M = 10 mH

Por fim, foram preenchidos os campos de configurações tomando a relação de transformação de 152,6, um total de 100 iterações, o desvio padrão tipo 1, um arquivo do ATP trifilar e 44 pontos de referência. Dessa forma, foram obtidos os valores para os parâmetros R, L e C apresentados na tabela 2.

Os resultados obtidos correspondem aos gráficos das respostas em frequência de fase e ganho, mostrados nas figuras 8 e 9, respectivamente.

Tabela 2: Parâmetros do TPC obtidos após a simulação do software TPCalc 1.1.

Divisor de Tensão	Reator de Compensação	TPI	CSF
<b>C1 = 10,04 nF</b>	Rc = 343,64 $\Omega$	Rp = 2271,48 $\Omega$	Rf = 5,22 $\Omega$
<b>C2 = 65,4 nF</b>	Cc = 872992,24 pF	Lp = 113,03 H	Cf = 182,79 $\mu$ F
	Lc = 3,57 H	Rm = 3,45 M $\Omega$	Lf1 = 6,15 mH
	Cp = 856,87 pF	Lm = 3,47 kH	Lf2 = 26,39 mH
			M = 5,37 mH

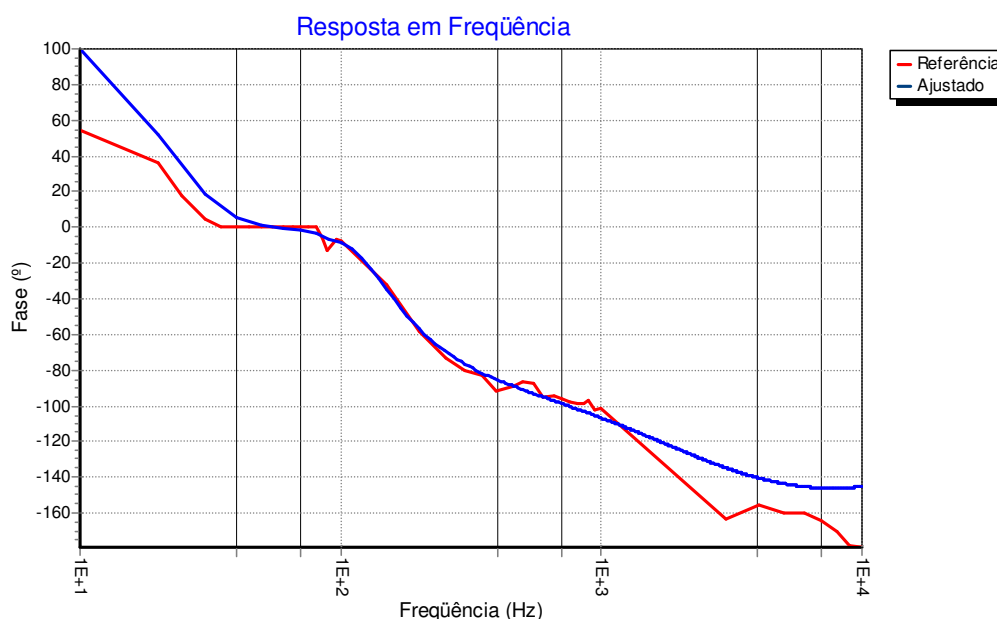


Figura 8: Resposta em frequência - Fase do TPC de 230 kV.

Observa-se no gráfico da figura 8 que a fase da resposta em frequência do TPC será igual a zero quando estiver próxima da frequência da rede, 60 Hz, caso contrário, ocorrerá uma defasagem entre o sinal do primário do TPC e o sinal do secundário. Tornando-se mais uma vez clara a necessidade de inserção de um compensador ou filtro para que o sinal de saída do TPC possa ser condizente com o sinal do primário nas situações de falta ou na presença dos harmônicos. De maneira análoga ao gráfico da figura 8, a figura 9 também ilustra a situação de que na frequência de 60 Hz o sinal é reproduzido de maneira mais precisa, ou seja, o ganho em dB para a frequência da rede é de aproximadamente zero.

Os erros médios obtidos na resposta em frequência da fase foram de 32,01915° para a primeira iteração e 8,4078° para a última. Já na resposta em frequência do ganho, os erros médios foram de 133,6999% na primeira iteração e 6,3653% na última iteração.

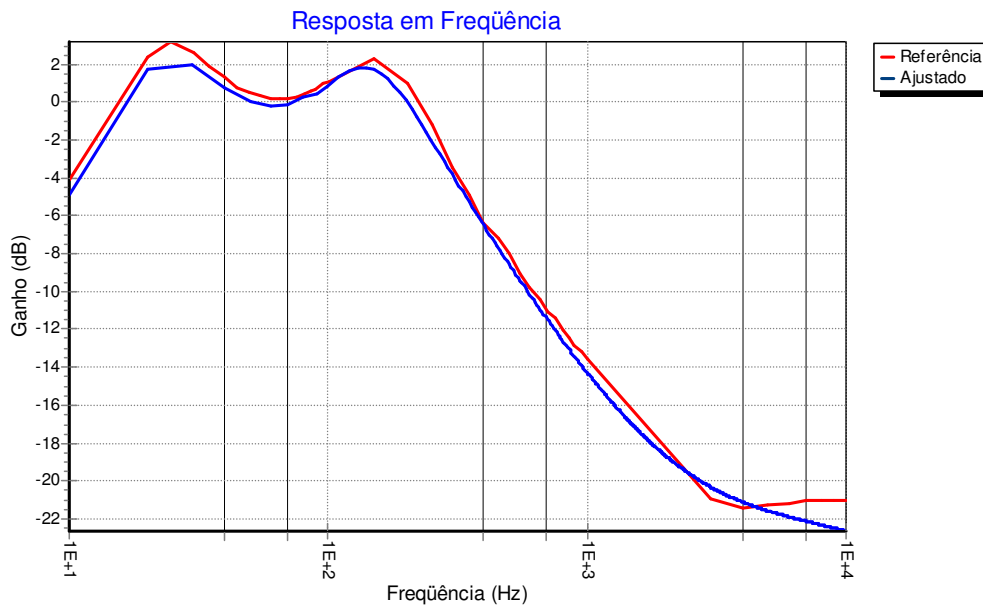


Figura 9: Resposta em frequência - Ganho do TPC de 230 kV.

O TPCalc 1.1 ainda gera como resultado um arquivo no formato para o ATP que possui os parâmetros do TPC a serem utilizados no sistema. O arquivo que foi gerado pode ser observado na figura 10.

```

TPC - Notepad
File Edit Format View Help
C ===== Arquivo com o modelo do TPC =====
C
C ===== TPC1 =====
C <BUS1><BUS2><BUS3><BUS4>< R(ohm) >> L(mH) << C(microF) << <>
C TPC1 TPCa1 .1004000E-01
C TPC1a .3436362E+03 .3565935E+04 .6540000E-01
C TPC1a TPC1b .8729922E+00
C TPC1b TPC1b .8568726E-03
C TPC1c .1483204E+03
C TPC1c .1489254E+03
C TPC1c TPC1d .6148449E+01 .1827898E+03
C TPC1c TPC1d .2639407E+02
C TPC1d .5217578E+01 -.537181E+01
C
C ===== TPind do TPC1 =====
C TRANSFORMER 9999 TPIND1
C 1 TPC1b .2E+04.1E+06 17.67
C 2 TPC1c .1E-07.1E-07 .1158
C
C ===== TPC2 =====
C <BUS1><BUS2><BUS3><BUS4>< R(ohm) >> L(mH) << C(microF) << <>
C TPC2 TPC2a .1004000E-01
C TPC2a .3436362E+03 .3565935E+04 .6540000E-01
C TPC2a TPC2b .8729922E+00
C TPC2a TPC2b .8568726E-03
C TPC2c .1483204E+03
C TPC2c .1489254E+03
C TPC2c TPC2d .6148449E+01 .1827898E+03
C TPC2c TPC2d .2639407E+02
C TPC2d .5217578E+01 -.537181E+01
C
C ===== TPind do TPC2 =====
C TRANSFORMER 9999 TPIND2
C 1 TPC2b .2E+04.1E+06 17.67

```

Figura 10: Arquivo com o modelo computacional de um TPC no formato ATP na estrutura trifilar.

## 5. RTDS<sup>TM</sup> (*Real Time Digital Simulator*)

O simulador digital em tempo real, o RTDS<sup>TM</sup> foi especialmente projetado para o estudo do fenômeno de transitórios eletromagnéticos em tempo real. O RTDS<sup>TM</sup> é um equipamento que pode ser dividido em duas partes, um *hardware* e um *software*.

O *hardware* do RTDS<sup>TM</sup> é composto por um processador digital de sinais (*Digital Signal Processor – DSP*) e um computador com quantidade de instruções reduzidas (*Reduced Instruction Set Computer – RISC*) baseados em técnicas avançadas de processamento paralelo, de maneira a alcançar a velocidade adequada para manter a operação contínua em tempo real.

O *software* do RTDS<sup>TM</sup> inclui modelos dos componentes do sistema de potência necessários para representar diversos elementos complexos que formam o sistema elétrico de potência. A técnica utilizada no RTDS<sup>TM</sup> na solução de toda a rede é a análise nodal. Os algoritmos básicos são apresentados no clássico artigo de H. W. Dommel intitulado: *Digital Computer Solution of Eletromagnetic Transients in Single and Multiphase Networks*. O algoritmo de solução de Dommel é utilizado em praticamente todos os programas de modelagem de simulação digital no estudo de transitórios eletromagnéticos. Além disto, o *software* do RTDS<sup>TM</sup> também possui uma poderosa ferramenta de Interface Gráfica para o usuário (*Graphical User Interface – GUI*), denominada de RSCAD, através da qual o usuário é capaz de construir, compilar e analisar os casos simulados.

### 5.1. *Hardware* do RTDS<sup>TM</sup>

Os simuladores digitais, diferentemente dos simuladores analógicos, nos quais as saídas são contínuas no domínio do tempo, são capazes de avaliar o modelo do sistema elétrico de potência apenas em instantes discretos no tempo. O tempo entre cada instante discreto é denominado de passo de discretização ( $\Delta t$ ). Centenas de milhares de cálculos devem ser realizados durante cada passo de discretização, de forma a avaliar o estado do sistema em cada instante. O tempo de discretização utilizado pelo RTDS<sup>TM</sup> é de 50  $\mu$ s.

A operação em tempo real é garantida pelo RTDS™ devido à atuação de diversos processadores de alta velocidade trabalhando em paralelo. Em cada *rack* do RTDS™ podem ser instalados dois tipos de cartão de processamento, o computador com uma quantidade de instruções reduzidas (RISC) e o cartão de processamento triplo (3PC). Cada *rack* do RTDS™ tem a capacidade de simular sistemas elétricos com até 18 nós trifásicos e na figura 11 pode-se observar o *rack* do RTDS™.



**Figura 11: Rack do RTDS™.**

**Fonte: Dantas (2009).**

- 3PC (*Triple Processor Card*)

O Cartão de Processamento Triplo (3PC) contém três dispositivos analógicos ADS21062, cujo *clock* possui uma velocidade de 40 MHz. Além disto, também possui uma memória associada, uma interface *backplane* e portas de entrada/saída. Cada 3PC possui 24 canais de saídas analógicas de 12 bits e com a tensão no intervalo de +10 V a -10 V; duas portas de entrada digital com 16 bits cada; e duas portas de saída digital, também com 16 bits.

Os três processadores são denominados de *A*, *B* e *C*, e cada um destes tem acesso a 8 canais de saída analógicas. Ainda há nos processadores *A* e *B* uma porta de entrada digital e uma saída digital. Vale ressaltar que não há nenhuma porta digital associada com o processador *C*, este processador é utilizado para selecionar qual canal entrada/saída está disponível. Aplicações com as portas de entrada/saída variam de

acordo com o tipo do modelo do componente do sistema de potência, no qual é atribuído para rodar nos processadores 3PC.

- WIF (*Workstation Interface Card*)

Em cada *rack* do RTDS<sup>TM</sup> é instalado um cartão de interface da estação de trabalho ou cartão WIF. O cartão WIF possui quatro funções: o diagnóstico do *rack*; a comunicação entre a estação de trabalho do computador e o RTDS<sup>TM</sup>; a sincronização para o caso *multi-rack*; e a comunicação *backplane*.

O *rack* é diagnosticado sempre que é ligado e os resultados deste diagnóstico podem ser obtidos através do RSCAD/*RunTime*. Já a comunicação entre o RTDS<sup>TM</sup> e o computador *host* da estação de trabalho é realizada utilizando-se uma ligação ethernet de 10/100 na base T.

A sincronização entre o *rack* individual em um caso de simulação a *multi-rack* também é uma função do WIF. No caso de simuladores que incluem três ou mais *racks* é necessário um *Global Bus Hub* (GBH). O GBH é instalado na parte de trás de um dos cubículos do RTDS<sup>TM</sup> e é utilizado para facilitar a comunicação direta de certos sinais entre os *racks* do RTDS<sup>TM</sup> durante a simulação. Para o caso do RTDS<sup>TM</sup> da UFCG em que os simuladores utilizam apenas um *rack* não é necessário um GBH. Já na situação de dois *racks*, o cartão WIF é conectado diretamente por cabos de fibra ótica.

- IRC (*InterRack Communication Card*)

O cartão de comunicação entre *racks* ou IRC é instalado em cada um dos *multi-rack*. O IRC é utilizado na comunicação de dados entre os *racks* interconectados. A alta velocidade dos conversores de dados de paralelo para serial e serial para paralelo permite a conexão entre os *racks*.

Um par de LEDs da parte da frente do painel está presente em cada um dos seis canais de comunicação do IRC. O LED verde aceso indica que o canal de associação está ativado para a simulação (RTDS Technologies Inc., 2008). Logo, o LED só estará ligado quando estiver ocorrendo a simulação e se o *software* do RTDS<sup>TM</sup> possui uma determinada comunicação direta entre os dois *racks* conectados pelo canal especificado.

O LED vermelho ligado sinaliza que um pacote inválido foi recebido. O protocolo de comunicação serial para o envio e o recebimento de informações possui

uma quantidade de bits extras para a detecção de erros. Sendo interessante ressaltar que os bits extras são utilizados exclusivamente para a detecção dos erros e não para a correção dos mesmos. Há ocorrência de apenas um erro na transmissão irá acarretar na permanência do LED vermelho aceso até o instante em que o caso simulado for interrompido.

- GTWIF (*Giga Transceiver Workstation Interface*)

Atualmente, os cartões WIF e IRC estão sendo substituídos pelo cartão GTWIF (*Giga Transceiver Workstation Interface*), que possibilita uma maior taxa de transferência de dados entre os cartões de processamento e por consequência aumenta a capacidade de processamento de 18 nós trifásicos para 22 por cada *rack*.

- GPC (*Giga Processor Card*)

O cartão GPC é um cartão de processamento que é utilizado geralmente para solucionar mais de um modelo de componente do sistema ao mesmo tempo. Cada cartão GPC é constituído de dois processadores RISC PowerPC750GX, onde cada um opera com um *clock* de 1 GHz. O cartão GPC substituiu o cartão RPC (*RISC Processor Card*), que possuía processadores que operavam a 600 MHz.

Um cartão GPC por cada *rack* é destinado para a resolução de equações da rede. Outro processador GPC deve ser reservado para a solução dos componentes dos modelos simulados na rede. Os dois cartões GPC se comunicam através de um barramento em anel de alta velocidade que também inclui o *backplane*.

- GT-I/O (*Gigabit Transceiver – Input/Output*)

O RTDS<sup>TM</sup> possui interfaces para a entrada e saída de dados do sistema elétrico que permitem a realização de testes com dispositivos de proteção e de controle. Para a realização destas funções o RTDS<sup>TM</sup> utiliza a uma família de cartões denominada de GT-I/O. Os cartões desta família são conectados ao GPC através de fibra ótica de 2 GHz e permitem uma isolamento ótica em relação ao simulador.



➤ *GTAO (Gigabit Transceiver Analog Output)*

O GTAO é um cartão que possibilita a isolamento ótica da saída analógica da simulação de um equipamento externo. O GTAO possui 12 canais de saída, cada um com 16 bits e permitem gerar sinais analógicos com valores de pico entre  $\pm 10$  V. O cartão GTAO realiza o processo de *oversampling* quando opera com passos de simulação regulares e a saída é fornecida a cada intervalo de 1  $\mu$ s.

➤ *GTAI (Gigabit Transceiver Analog Input)*

O GTAI é um cartão utilizado para possibilitar a entrada de sinais analógicos externos ao RTDS<sup>TM</sup>. O GTAI permite atualizações para o cartão GPC em intervalos de no mínimo 6  $\mu$ s. O cartão GTAI é constituído de dois canais conversores de sinais analógicos para digitais de 16 bits, sendo cada um desses canais formados por 6 entradas. Assim como GTAO, o GTAI pode gerar sinais analógicos com valores de pico entre  $\pm 10$  V.

➤ *GTDO (Gigabit Transceiver Digital Output)*

O GTDO é um cartão que possui um total de 64 saídas digitais, os sinais gerados variam de 7 V a 24 V e uma fonte de corrente que pode atingir até 100 mA. Este cartão é utilizado para a comunicação com os equipamentos externos.

➤ *GTDI (Gigabit Transceiver Digital Input)*

O GTDI é um cartão que possui 64 canais de entradas digitais e estas são utilizadas como interface para os sinais digitais provenientes de equipamentos externos ao RTDS<sup>TM</sup>, onde esses sinais externos devem estar entre 0 V e 5 V.

➤ *GTFPI (Gigabit Transceiver Front Painel Interface Card)*

O cartão GTFPI é utilizado para a interface de entrada ou saída de sinais digitais através do painel frontal do RTDS<sup>TM</sup> e ainda sinais de alta tensão. O GTFPI se conecta ao GPC através de fibra ótica e é necessário pelo menos um cartão GTFPI por cubículo.

➤ GTNET (*Gigabit Transceiver Network Interface System Card*)

O cartão GTNET é utilizado para garantir uma comunicação em tempo real de envio e retorno de informações para o simulador do RTDS<sup>TM</sup> via ethernet. O GTNET é o cartão destinado para a interface de protocolos de rede, estando pré-instalado no mesmo o protocolo IEC 61850 (DANTAS, 2009). Logo, o GTNET permite o envio de mensagens GSSE (*Generic Substation Status Event*) ou GOOSE (*Generic Object Oriented System Events*) com até 32 saídas binárias do simulador ou ainda possibilita o recebimento deste tipo de mensagens de 5 IED (*Intelligent Electronic Devices*) externos.

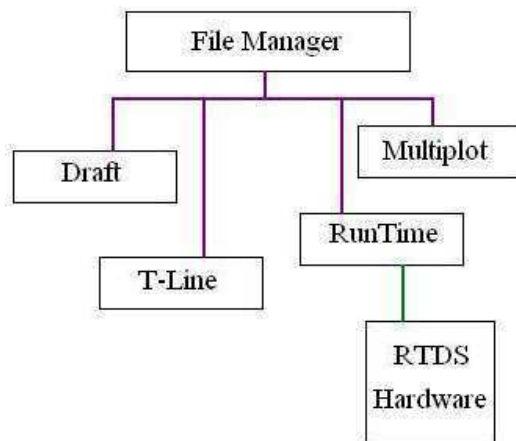
O GTNET também apresenta a funcionalidade *playback*, que está presente nas caixas de teste de relés, e esta função permite que os registros oscilográficos que foram capturados pelos IED possam ser reproduzidos pelo RTDS<sup>TM</sup>. A reprodução destas informações pelo RTDS<sup>TM</sup> possibilita a análise das prováveis causas de falhas de operação do sistema de proteção quando um distúrbio for registrado.

## 5.2. Software do RTDS<sup>TM</sup>

O *software* do RTDS<sup>TM</sup> é organizado em uma hierarquia que possui três níveis: a interface gráfica do usuário de alto nível; a comunicação e execução em nível médio; e o sistema de operação de multi-tarefas WIF de baixo nível. Entretanto, o usuário do RTDS<sup>TM</sup> terá interação apenas com o *software* de alto nível, sendo os *softwares* de níveis mais baixos acessados automaticamente pelo nível mais alto.

- Interface gráfica do usuário

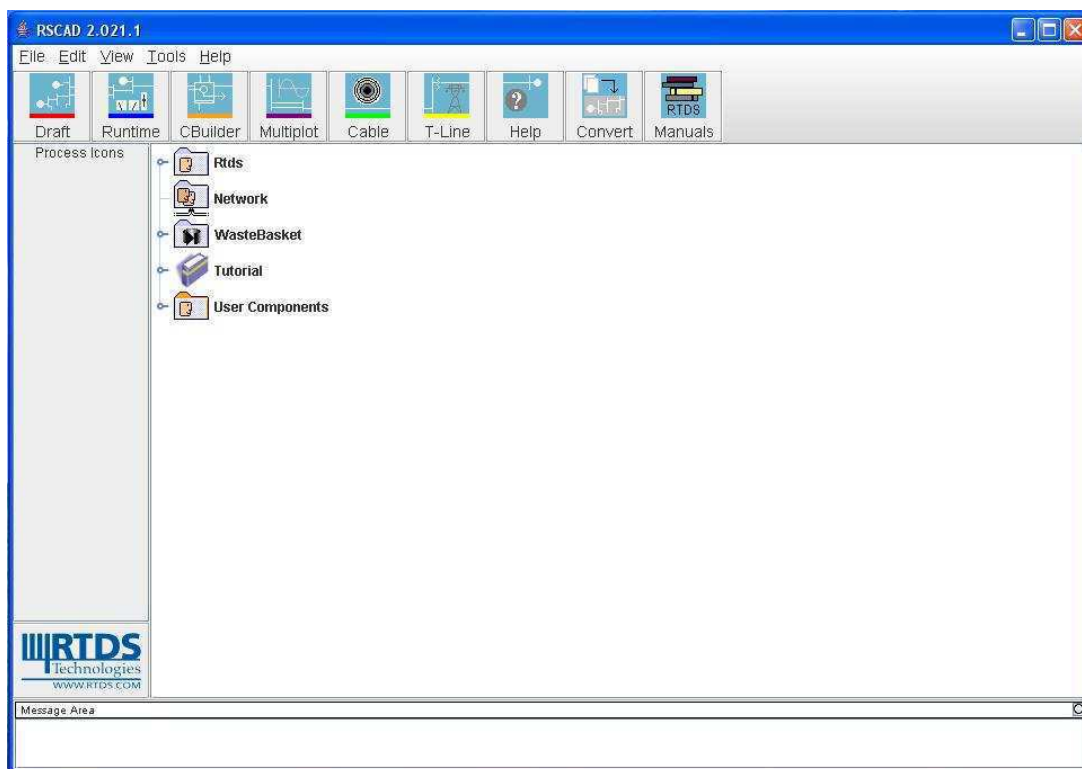
O nível mais alto do *software* do RTDS<sup>TM</sup> contém a família RSCAD de ferramentas, onde o RSCAD foi uma parte desenvolvida para garantir uma interface totalmente gráfica ao usuário do RTDS<sup>TM</sup>. A seguir, na figura 12, pode-se observar o módulo do *software* do RSCAD.



**Figura 12: Módulo do *software* do RSCAD.**

➤ *FileManager*

O *FileManager*, ou simplesmente *fileman*, representa o ponto de partida para a interface do RSCAD. O *fileman* é utilizado para projetar, realizar o gerenciamento de casos e facilitar as trocas de informações entre os usuários. Todos os demais programas do RSCAD estão contidos no módulo *fileman*, como observado na figura 13.



**Figura 13: Arquivos contidos no *FileManager* do RSCAD.**

➤ *Draft*

O *Draft* é usado para modelar circuitos e parâmetros de entrada. A tela do *Draft* é dividida em duas partes: a parte da biblioteca e a da modelagem do sistema. Os ícones individuais de cada componente são selecionados a partir da biblioteca e colocados em seguida na parte referente à modelagem. Na figura 14 observa-se a tela do *Draft*.

O *Draft* possui uma biblioteca destinada a elaboração da lógica dos sistemas de controle, denominada de *Controls*. A biblioteca *Controls* é formada por geradores de sinais, portas lógicas, botões, chaves, entre outros componentes. Outra biblioteca de grande aplicação é a que possui os componentes de um sistema de potência intitulada de *Power System*. A biblioteca *Power System* possui entre seus componentes resistores, indutores, capacitores, fontes de tensão, transformadores e barramentos.

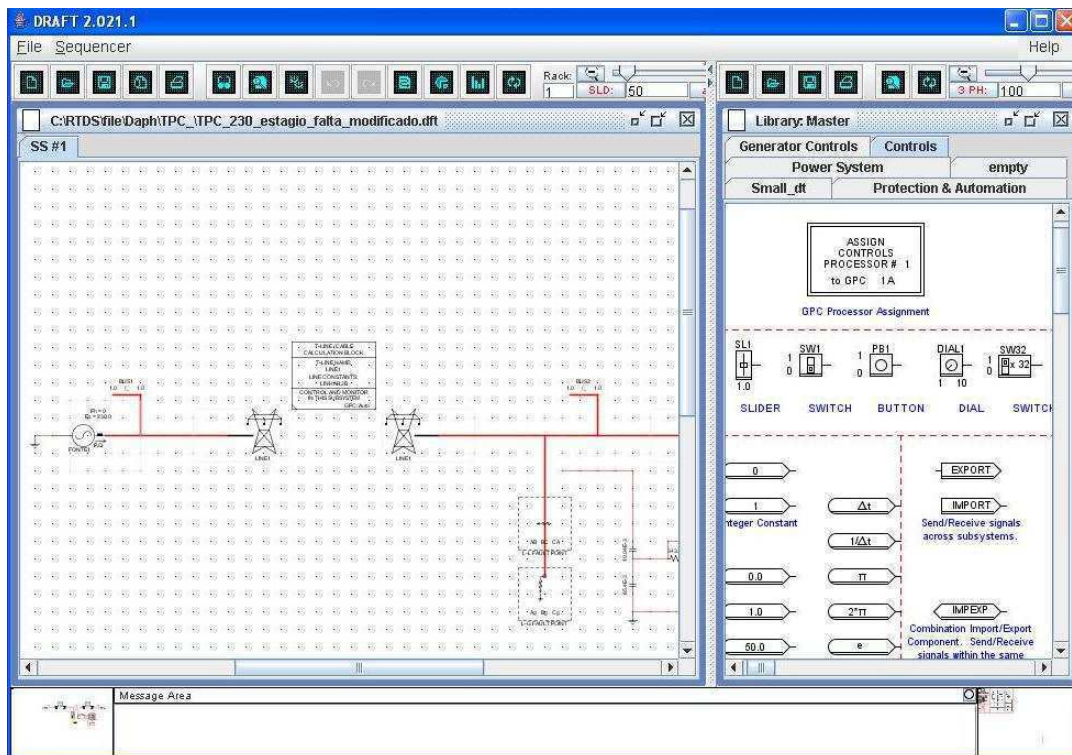


Figura 14: Tela do programa *Draft* do RSCAD.

➤ *T-Line e Cable*

O *T-Line e Cable* são utilizados para definir as propriedades das linhas de transmissão aéreas e cabos subterrâneos, respectivamente. De uma maneira geral, os

dados de entrada são em termos da geometria e configuração física da linha. As constantes das linhas e dos cabos, assim como as equações são resolvidas e permitindo o uso das mesmas no programa *Draft*. Pode-se observar na figura 15 a tela do programa *T-Line*.

O *T-Line* permite que o usuário selecione o modelo da linha e se a mesma é idealmente transposta, transposta ou não é transposta.

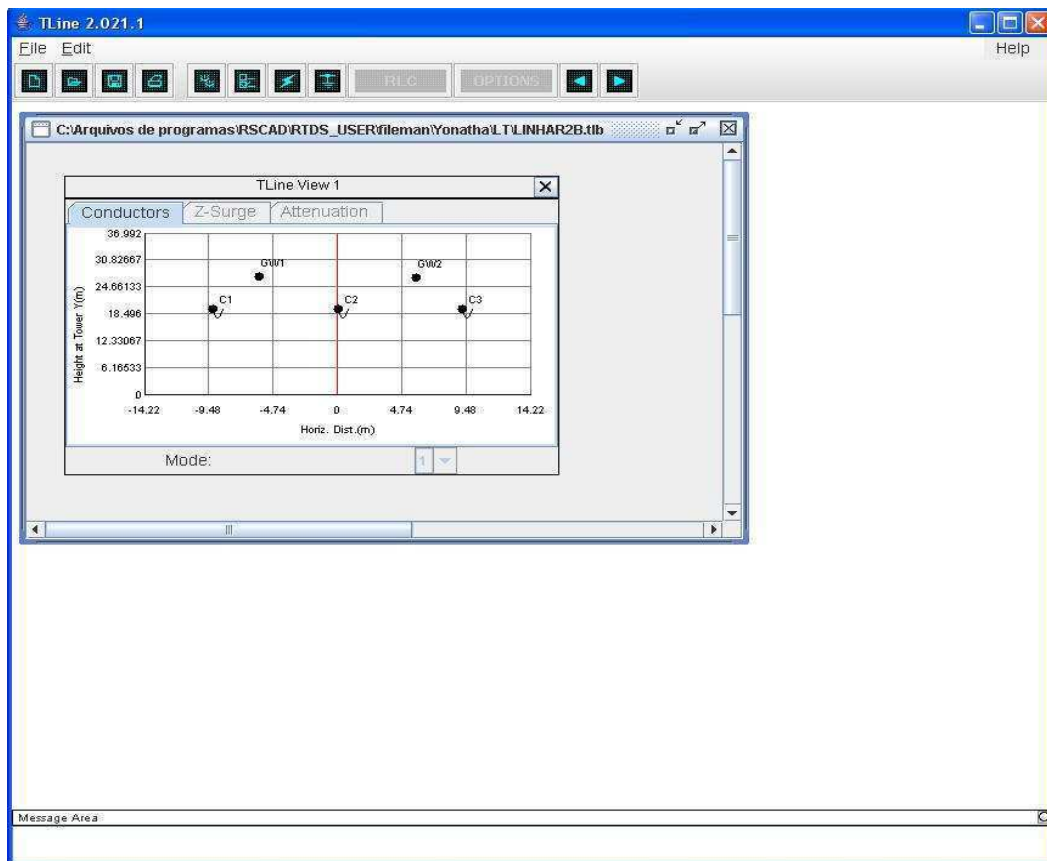


Figura 15: Tela do programa *T-Line* do RSCAD.

### ➤ *RunTime*

O *RunTime* é utilizado para controlar os casos de simulação que são executados no *hardware* do RTDS™. O controle da simulação, incluindo os comandos de início e parada, a aplicação de faltas e a operação dos disjuntores são executadas através do *RunTime*. Os componentes que permitem estes comandos são os botões, as chaves e os *sliders*. Além disto, o *RunTime* também analisa as medições *online* e a aquisição de dados/distúrbios. Na figura 16 pode-se observar a tela do *RunTime*.



**Figura 16: Programa RunTime do RSCAD.**

➤ *C-Builder (Component Builder)*

O *C-Builder* é uma parte do *software* do RTDS<sup>TM</sup> que permite a criação de novos componentes, sejam estes componentes de controle ou do sistema elétrico. A criação dos novos componentes se dá através de algoritmos feitos pelo usuário na linguagem C de programação e de modelos para os componentes. Logo, podem-se interagir os componentes já fornecidos pelo RTDS<sup>TM</sup> com os componentes criados pelo usuário através do *C-Builder* e realizar em seguida as simulações em tempo real.

## 6. Resultados e Análise

Os resultados obtidos foram de grande importância para comprovar o aprendizado do *software* RSCAD.

O primeiro passo tomado foi a configuração adequada de linhas de transmissão (LT) de 230 kV através do programa *T-Line* do RSCAD. A configuração das LT levou em consideração parâmetros como o comprimento, o número de condutores por fase, o raio dos condutores, entre outros. Todos os parâmetros utilizados para a configuração das LT de 230 kV podem ser visualizados no ANEXO A.

A seguir pode-se observar a figura 17 que retrata o esquema unifilar do sistema elétrico a ser simulado. Portanto, observando-se a figura 17 tem-se que foram utilizadas duas LT de 230 kV e que a falta deve ocorrer na barra 2, que está localizada entre as LT e na qual está inserido o TPC.

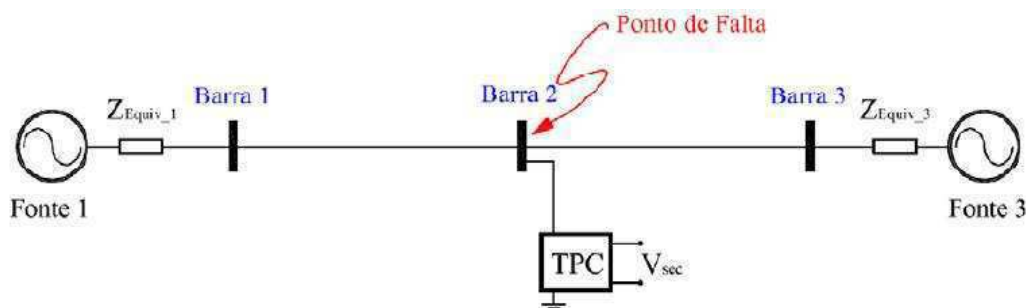


Figura 17: Esquema unifilar do sistema elétrico de potência ao qual o TPC está inserido.

Fonte: SILVA (2010).

Em seguida, foi montado o sistema de 230 kV no programa *Draft* do RSCAD como ilustrado na figura 18. O sistema elétrico esquematizado na figura 18 é constituído de um TPC, três barras trifásicas, duas LT de 100 km e duas fontes trifásicas de 230 kV rms.

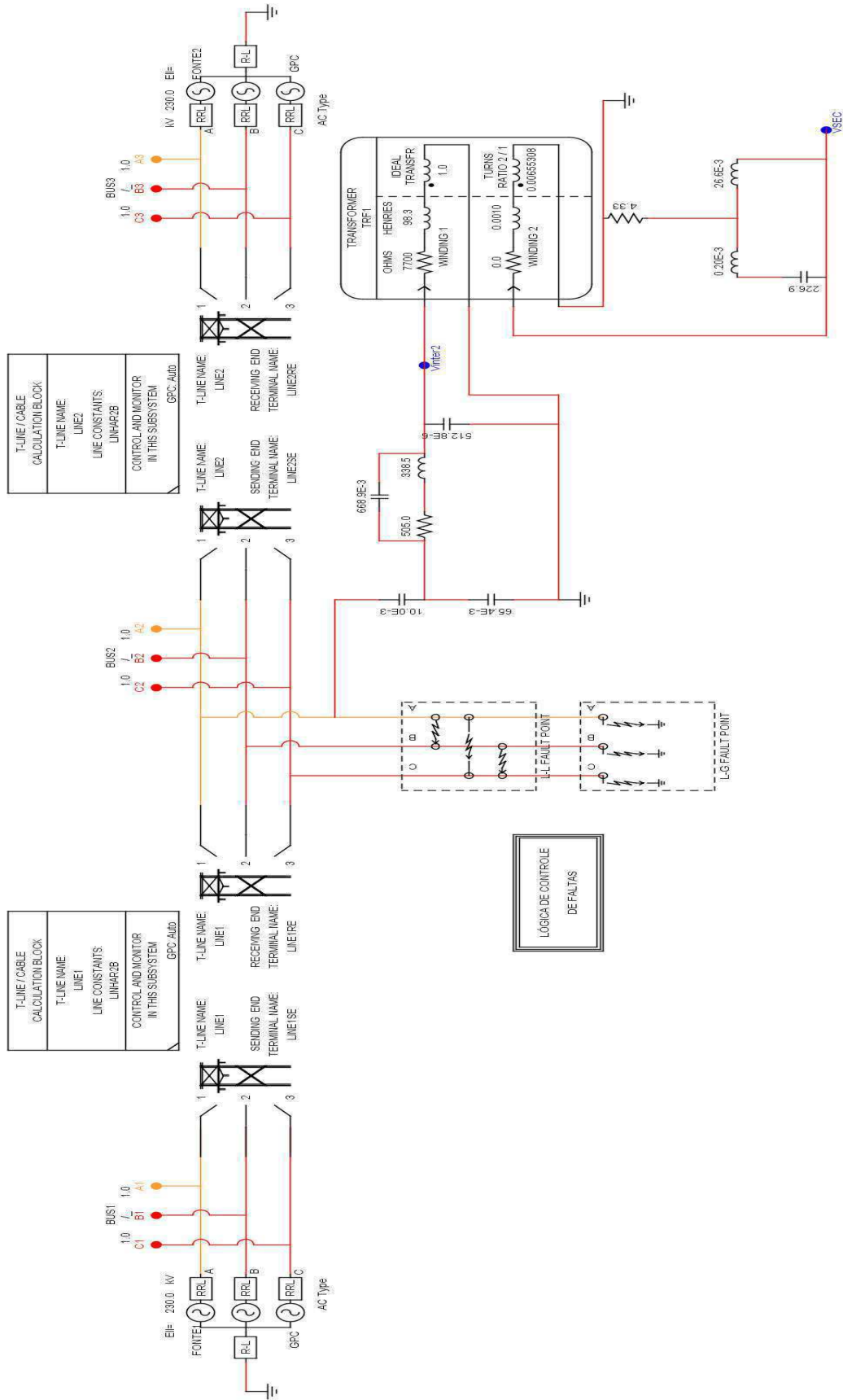


Figura 18: Esquema do sistema elétrico de potência ao qual o TPC está inserido.



Os parâmetros do TPC obtidos com o *software* TPCalc 1.1 para este estudo são mostrados na tabela 3.

**Tabela 3: Parâmetros utilizados para o TPC de 230 kV no *software* RSCAD.**

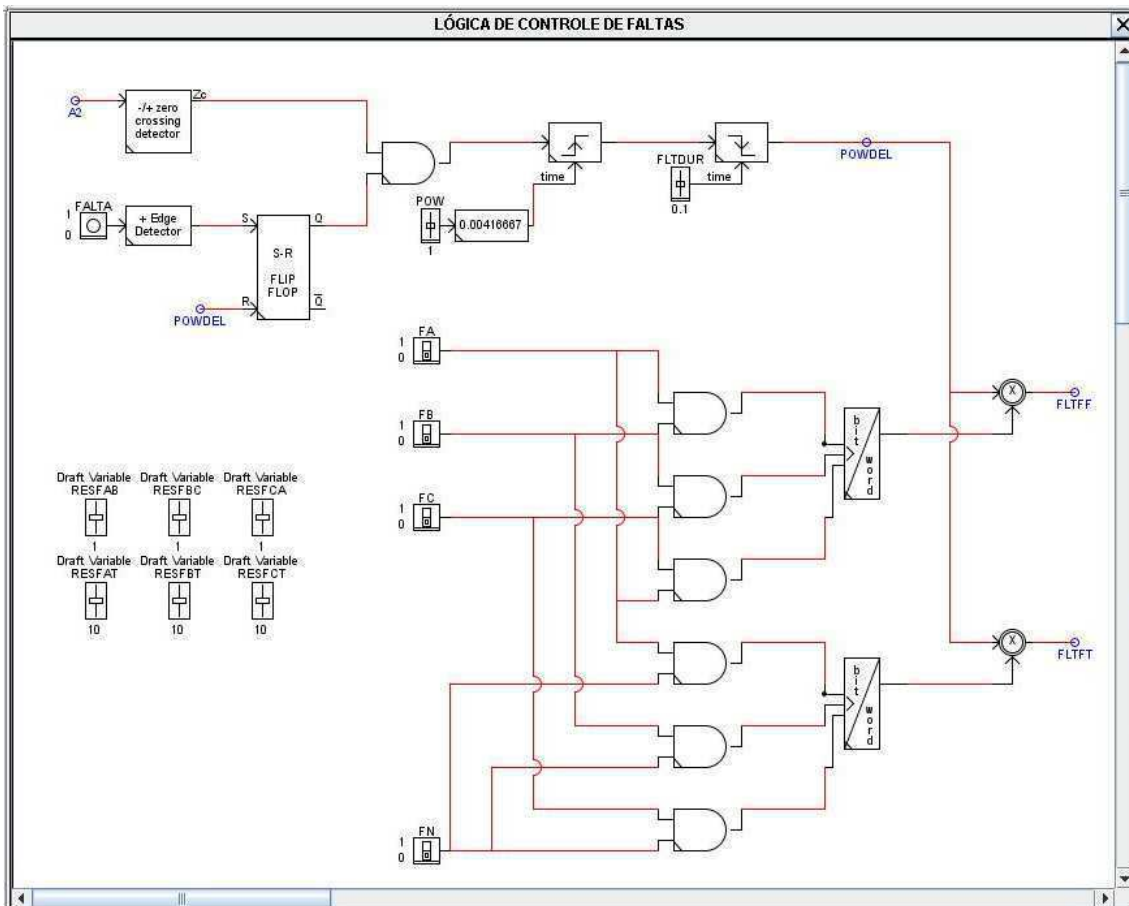
Divisor de Tensão	Reator de Compensação	TPI	CSF
<b>C1 = 10,00 nF</b>	Rc = 3 kΩ	Rp = 30 kΩ	Rf = 1,7 Ω
<b>C2 = 65,4 nF</b>	Cc = 3 nF	Lp = 170 H	Cf = 170 μF
	Lc = 170 H	Rm = 1,7 MΩ	Lf1 = 3 mH
	Cp = 30 pF	Lm = 17 kH	Lf2 = 170 mH
			M = 8 mH

Pode-se observar na figura 18, que o esquema possui uma parte referente ao controle da lógica de faltas. O controle de faltas é o responsável pela determinação do tipo de falta que deve ser aplicado, do tempo de duração da falta e do instante em que a mesma deve ocorrer. O controle de faltas, diferentemente do restante do esquema da figura 18 que faz parte da biblioteca *Power System* do *Draft*, foi realizado com ferramentas presentes na biblioteca *Controls* do *Draft*. A seguir pode ser observada a figura 19 que contém o esquema da lógica de controle de faltas.

A lógica de controle de faltas foi modelada no *Draft*, entretanto os componentes responsáveis pela caracterização do tipo da falta e do instante de aplicação da falta também estão presentes no *RunTime*, que é o local destinado a simulação do sistema elétrico de 230 kV.

Após a modelagem do sistema, o mesmo foi salvo no formato *.dft* e em seguida foi realizada a compilação ainda no *Draft*. Quando a compilação ocorreu com sucesso foi gerado um arquivo com o formato *.sib* que permitiu a abertura do modelo na parte do *RunTime* do RSCAD. No *Runtime* do RSCAD foram simulados dois casos de faltas.

No primeiro caso simulado foi aplicada uma falta fase-terra ocorrida na fase A no instante em que o sinal de tensão estava na passagem por zero. Já o segundo caso simulado foi para uma falta semelhante, entretanto o instante da falta foi quando a tensão atingiu o valor de pico.

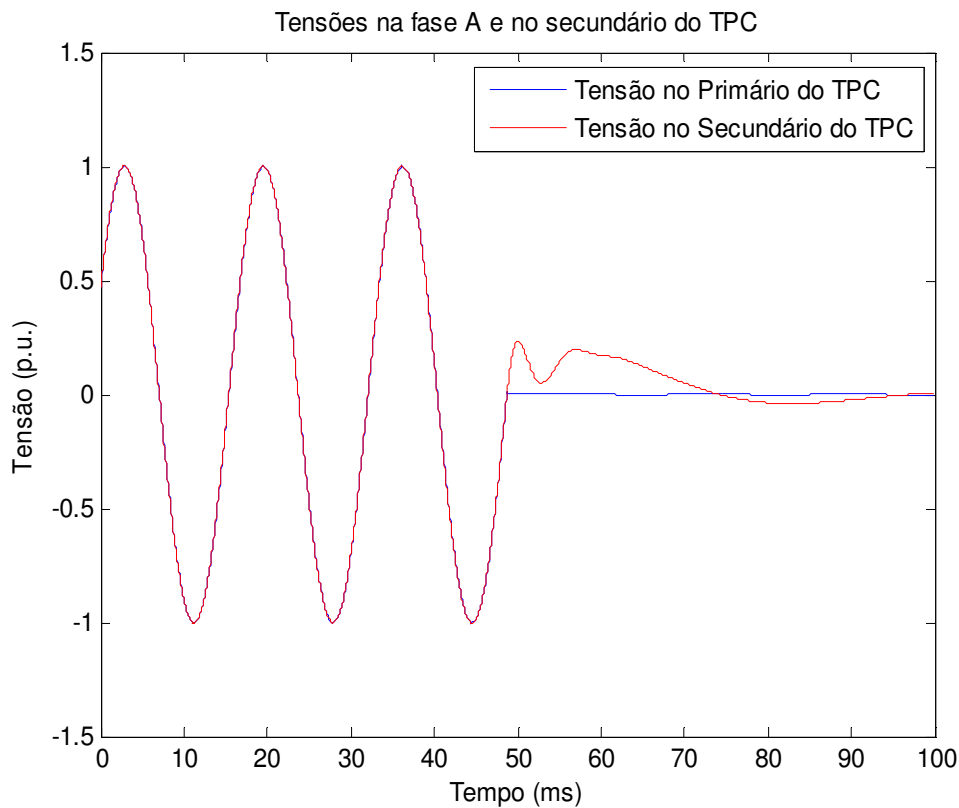


**Figura 19: Esquema da lógica de controle de faltas realizado através da biblioteca *Controls* do *Draft*.**

As simulações realizadas no *RunTime* permitiram que arquivos no formato *.cfg* e *.dat* fossem gerados. Estes arquivos foram utilizados para a realização de um tratamento de dados adequado no *software* MATLAB® e em seguida, pôde-se plotar os gráficos das duas situações de falta na própria plataforma MATLAB®, que permite uma melhor visualização dos resultados que o programa *RunTime* do RSCAD. Os algoritmos utilizados para o tratamento dos dados são mostrados no APÊNDICE A.

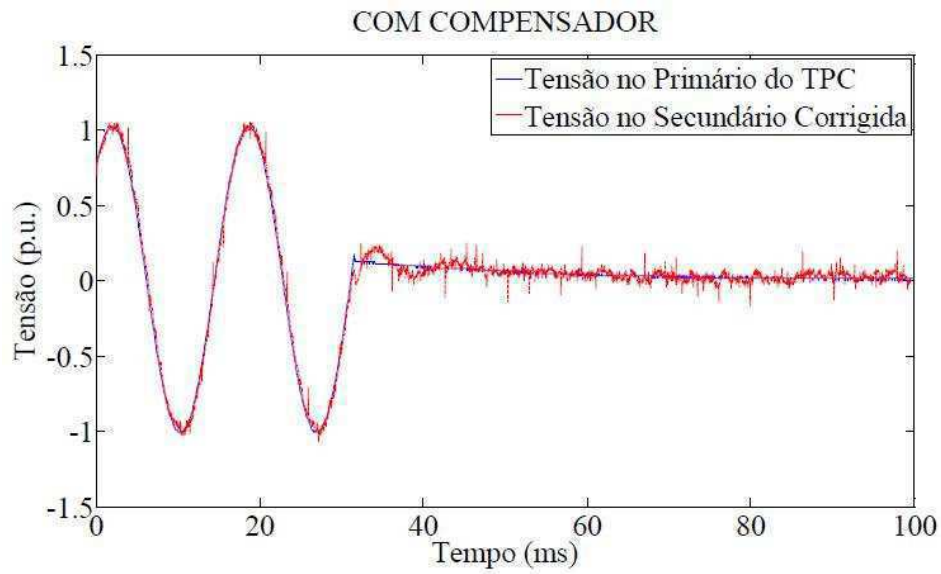
Logo, a seguir tem-se as figuras 20 e 21 que tratam do caso em que a falta ocorre no instante da passagem da tensão por zero, sendo a diferença entre as duas figuras o fato que uma apresenta o uso do compensador (ou filtro digital) desenvolvido no GSE e a outra figura foi obtida sem o uso do compensador. O compensador desenvolvido no GSE é basicamente um filtro digital recursivo cujos parâmetros são obtidos da resposta em frequência do TPC admitindo uma topologia predefinida (SILVA, 2010). O compensador é utilizado para adequar a tensão do secundário dos TPC em situações de

distúrbios, sejam elas devido a manobras no sistema, faltas ou qualquer outro fenômeno que faça o TPC operar em uma frequência diferente da frequência nominal.



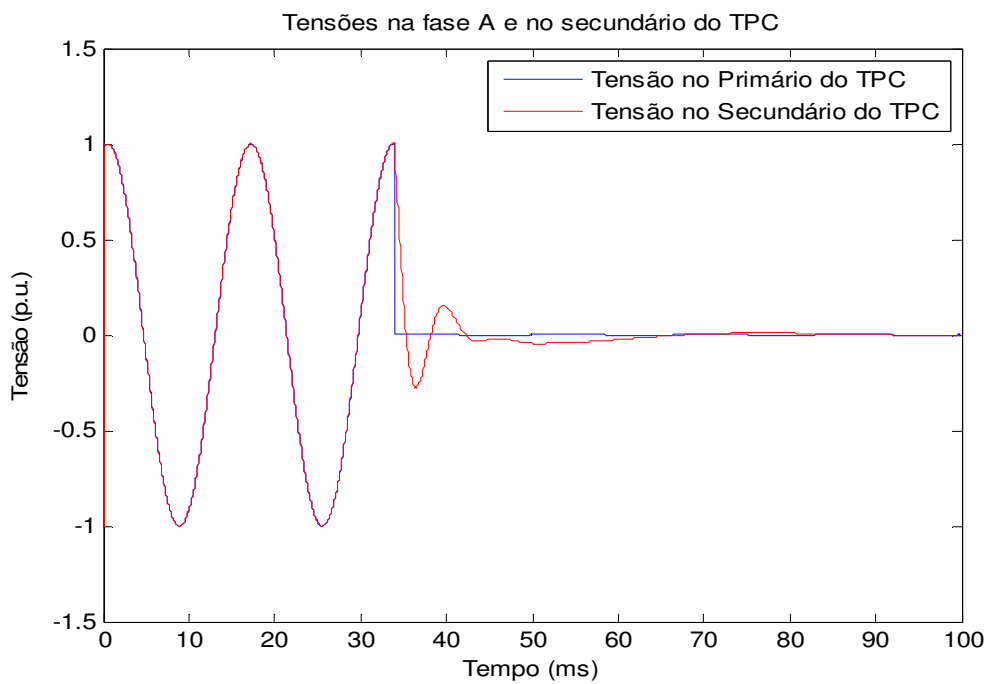
**Figura 20: Forma de onda da tensão no primário e no secundário do TPC quando ocorre uma falta na passagem por zero sem o uso do compensador.**

Observa-se na figura 20 que a tensão no secundário do TPC leva cerca de 25 ms para atingir o valor zero após o instante da falta, tornando evidente o problema da reprodução fidedigna do sinal de tensão pelo TPC. Já na figura 21 pode-se observar que o tempo levado para a tensão alcançar o valor zero após o instante de falta é menor que 10 ms, ilustrando a funcionalidade do compensador desenvolvido no GSE.

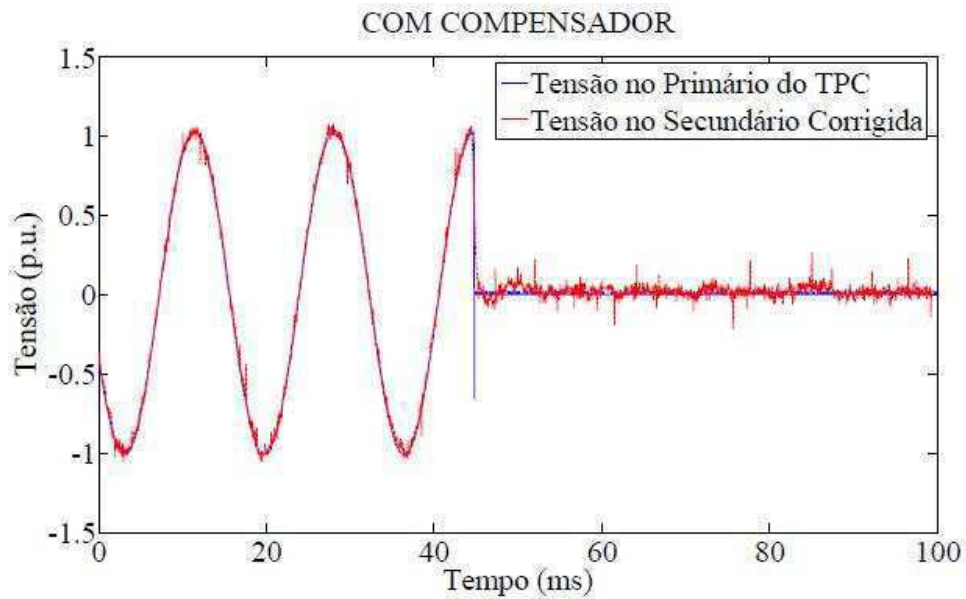


**Figura 21: Forma de onda da tensão no primário e no secundário do TPC quando ocorre uma falta na passagem por zero com o uso do compensador.**

**Fonte: SILVA (2010).**



**Figura 22: Forma de onda da tensão no primário e no secundário do TPC quando ocorre uma falta no pico de tensão sem o uso do compensador.**



**Figura 23: Forma de onda da tensão no primário e no secundário do TPC quando ocorre uma falta no pico de tensão com o uso do compensador.**

**Fonte: SILVA (2010).**

Os gráficos mostrados nas figuras 22 e 23 retratam o caso em que a falta ocorre no instante da passagem pelo pico da tensão. A figura 22 foi realizada sem o uso do compensador (filtro digital), enquanto a figura 23 foi feita utilizando o compensador. O uso do filtro digital garante uma maior aproximação com o valor do primário do TPC e uma resposta no regime transitório mais rápida.

Finalmente é interessante informar que o compensador além de melhorar a reprodução do sinal de tensão oriundo do TPC de 230 kV em uma situação de falta, também permite uma melhora para o caso de distúrbios causados pela presença de harmônicos na rede.

## 7. Conclusões

O estágio supervisionado realizado no Laboratório de Referência em Controle e Automação (LARCA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) foi satisfatório, pois possibilitou através do simulador em tempo real RTDS<sup>TM</sup>, a observação e a comprovação de problemas na reprodução de um sinal presente no primário do TPC para o seu secundário em regime transitório, mais particularmente em uma situação de falta.

Logo, este estágio permitiu a familiarização da estagiária com os *softwares* TPCalc 1.1 e o RSCAD, que é o *software* utilizado pelo simulador em tempo real. O estágio tornou clara a importância do compensador, que deve ser conectado ao secundário do TPC para evitar a atuação indevida dos relés de proteção, garantindo assim uma maior confiabilidade ao sistema de proteção.

## 8. Bibliografia

DANTAS, K. M. C. *Introdução ao Real-Time Digital Simulator (RTDS<sup>TM</sup>)*. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2009.

DOMMEL, H. W. “Digital Computer Solution of Eletromagnetic Transient in Single and Multiphase Networks”. *IEEE*, April 1969.

FERNANDES Jr., D. *Modelo de Transformadores de Potencial Capacitivos para Estudos de Transitórios Eletromagnéticos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, dezembro de 2003.

GSE/UFCG. *Relatório Final do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Representação de Transformadores de Potencial Capacitivos em Estudos de Transitórios Eletromagnéticos*, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, abril 2007.

MACHADO, E. P. *Uma Técnica para Compensação Dinâmica de Transformadores de Potencial Capacitivos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, março de 2009.

RTDS Technologies Inc. *Real Time Digital Simulator Tutorial Manual. (RSCAD Version)*. Canada, March 2008.

RTDS Technologies Inc. *RTDS<sup>TM</sup> User's Manual*, 2007.

SILVA, C. A. *Correção da Tensão Secundária de Transformadores de Potencial Capacitivos em Tempo Real*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, março 2010.

Working Group of the Relay Input Sources Subcommittee of the Power System Relay Committee. “Transient Response of Coupling Capacitor Voltage Transformer IEEE Committee Report”, *IEEE PAS-100*, No. 12, December/1981.

## **ANEXO A**

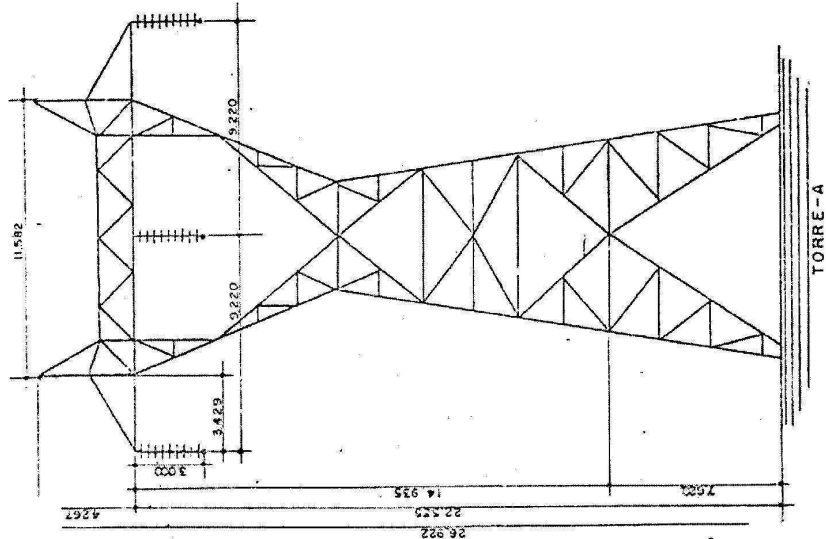
Configurações da Linha de Transmissão de 230 kV



CIA: HIDRO ELTRICA DO SAO FRANCISCO  
PRUG. P1101056 CADASTRO DAS LINHAS DE TRANSMISSAO  
SEQ. TENSAO ISOLAMENTO/NOME LT/ESTRUTURA NOME - RECIFE II-20NGI.230 KV/CI

1. INFORMES

CDIGO RCD-BCI-U1/0  
MANTENEDOR/EXTENSAO 13.50  
CONSTRUTORA M.K.F/SEE  
TERMINO DA MONTAGEM 12/52  
TENSAO DE OPERACAO (KV) 01/53  
CONFIGURACAO DO CIRCUITO 230  
CODIGO DE OPERACAO 04V1  
CODIGO DE CUSTO 500B



2. CARACTERISTICAS TECNICAS

CONDUITOR UTILIZADO ACSR 636,0 MCM 26/7  
N. CONDUITORES POR FASE 11,62  
ESPACAMENTO ENTRE SUB-CONDUITORES (M) ACC 3/8" HS 7 FIOS  
ESPACAMENTO EQUIVALENTE (M) DISCO DE VIARG DE 10'X5,3/4"  
CABO GUARDA UTILIZADO 16  
ISOLADOR UTILIZADO A-74  
N. ISOLADORES NA SUSPENSAO 036 ACO  
ESTRUTURA TIPICA 60E 200C  
QUANTIDADE DE ESTRUTURAS 15E 15C  
FAIXA DE LIMPEZA (M) 305,0  
VAG BASICO (M) 23,7  
TENSAO ESTICAMENTO (PERC. TENSAO FUTURA - EDS) 1442  
ESPACAMENTO MINIMO NA ESTRUTURA (M) 1442  
ESPACAMENTO MINIMO NO MEIO DO VAO (M) 1442  
NBI NORMAL (KV) 0,07  
DECRESCIMO NBI TERMINAL (KV) 25  
EXTENSAO DO DECREMENTO (KM) 25  
NBI TRANSFORMADORES TERMINAIS (KV) 531  
TENSAD NOMINAL PARA-RAIL (KV) 0  
INDICE SAIDAS/100KM/ANC PROJ ETC 50  
ANGULO DE PROTECCAO (GRAUS) 665  
RESIST. PE TORRE PROJ ETC 15 OHM ( 50 PERC.), MAX.30 OHM  
RESISTIV. SOLO APROXIMADA (OHM) 531  
INDICE CERAMICO APROXIMADO 0  
LIMITE TERMICO DA LT (GRAUS) 50  
CORRENTE MAXIMA P/FASE (A) 665  
TEMPO ABERTURA DISJUNTOR (CICLOS) (CICLOS)  
IMPEDANCIA DE SURTO (OHM) 415

OHM/KM/FASE OHM/KM/FASE NF/KM/FASE MOD(PERC.) FASE(GRAUS) REQ(PERC.) XEG(PERC.) YEO/2(PERC.)  
0,095 0,530 8,31 95,58 0,00 1,35 1,35 2,24

OHM/KM/FASE OHM/KM/FASE NF/KM/FASE REC(PERC.) XEG(PERC.) YEO/2 ZEO/2  
0,522 1,432 6,179 3,65 0,0 0,0 0,83

OHM/KM/FASE OHM/KM/FASE NF/KM/FASE REC(PERC.) XEG(PERC.) YMEQ/2 ZMEQ/2  
0,425 0,733 0,61 1,08 0,00 0,08

SEGUENCIA Z E R O  
MUTUA SEGUENCIA Z E R O

## **APÊNDICE A**

Algoritmo utilizado no *software* MATLAB® para o tratamento dos dados oriundos do RSCAD.

Algoritmo utilizado para a situação de falta fase-terra no instante da passagem pelo pico.

```

%=====
%===      Universidade Federal de Campina Grande      ===
%===      14/02/2011 - Campina Grande, Paraíba      ===
%===      Aluna: Yonatha Marques Pereira de Melo    ===
%===      Gráfico do RTDS                          ===
%===      Falta fase-terra no instante de passagem pelo pico  ===
%=====

%Entrada dos dados:
dados_graf = load('Falta_AT_pico.dat');
%Recebimento dos dados:
tempo = dados_graf(:,2)/1000;
VA2 = dados_graf(:,3);

%Adequação para a tensão em pu:
va2 = ((VA2*0.0930959)-190.66)*(1000/(4096*46.53));
vsec = ((dados_graf(:,5)*7.996E-5)-0.163759)*(1000/(4096*0.03996));

figure(1)
plot(tempo, va2,'b'),hold on,plot(tempo, vsec,'r')
title('Tensões na fase A e no secundário do TPC')
xlabel('Tempo (ms)')
ylabel('Tensão (p.u.)')

```

Algoritmo utilizado para a situação de falta fase-terra no instante da passagem pelo zero.

```

%=====
%===      Universidade Federal de Campina Grande      ===
%===      14/02/2011 - Campina Grande,Paraíba      ===
%===      Aluna: Yonatha Marques Pereira de Melo    ===
%===      Gráfico do RTDS                          ===
%===      Falta fase-terra no instante de passagem por zero  ===
%=====

%Entrada dos dados:
dados_graf = load('Falta_AT_zero.dat');
%Recebimento dos dados:
tempo = dados_graf(:,2)/1000;
VA2 = dados_graf(:,3);

%Adequação para a tensão em pu:
va2 = ((VA2*0.0930959)-190.66)*(1000/(4096*46.5));
vsec = ((dados_graf(:,5)*7.99607E-5)-0.163761)*(1000/(4096*0.0399));

figure(1)
plot(tempo, va2,'b'),hold on,plot(tempo, vsec,'r')
title('Tensões na fase A e no secundário do TPC')
xlabel('Tempo (ms)')
ylabel('Tensão (p.u.)')

```