**GOP/029**



**21  a  26  de  Outubro  de  2001**

**Campinas  -  São  Paulo  -  Brasil**

**GRUPO  IX**

**GRUPO  DE  ESTUDOS  DE  OPERAÇÃO  DE  SISTEMAS  ELÉTRICOS  -  GOP**

**IMPACTO  DA  POLÍTICA  DE  OPERAÇÃO  DE  ESQUEMAS  DE  MANOBRAS  DE**

**SUBESTAÇÕES  NA  PARCELA  VARIÁVEL**

**João  Ricardo  Paes  de  Barros**

**CHESF  -  Companhia  Hidro  elétrica  do  São  Francisco**

**RESUMO**

Este  trabalho  faz  uma  avaliação  do  impacto  das  fa-

lhas  originadas  nas  subestações  na  parcela  variável,  dada

que  ela  é  o  parâmetro  de  referência  atual  para  penalizar

as  Transmissoras.  Também  faz  avaliações  relativas  a

expectativa  de  lucro  da  empresa  Transmissora  diante  de

diferentes  tipos  de  esquemas  de  manobras,  forma  de

operação  dos  equipamentos  de  manobras  das  subesta-

ções  e  número  de  células  conectadas.

Com  uma  concepção  voltada  para  o  futuro,  infere-se  que

este  trabalho  pode  ser  estendido  para  outras  instalações

de  transmissão  da  rede  básica,  visando  contribuir  para

obtenção  da  maximização  da  disponibilidade  das  insta-

lações  de  transmissão,  uma  vez  que  a  Transmissora

deseja  reduzir  ao  máximo  os  custos  decorrentes  das

penalidades.

**PALAVRAS-CHAVE**

Disponibilidade  -  Transmissão  –  Arranjos  de  Subesta-

ções  –  Parcela  Variável.

**1.0  INTRODUÇÃO**

A  indústria  de  energia  elétrica  emergente  no  Brasil

redefiniu  os  objetivos  empresariais  e  a  missão  da  Trans-

missora,  impondo  necessidades  específicas,  as  quais  são

resumidas  no  seguinte  aspecto:

!  Minimização  da  indisponibilidade  das  instalações

de  transmissão  existentes  e  futuras,  tais  como  as  su-

bestações,  as  linhas  de  transmissão,  os  transformado-

res,  etc;  e  conseqüentemente,  maximização  do  lucro

anual  da  Transmissora,  através  da  maximização  da

disponibilidade  das  instalações  de  transmissão.

Neste  contexto,  maximizar  os  índices  de  disponibilidade

das  instalações  de  transmissão  tornou-se  um  dos  objeti-

vos  estratégicos  a  serem  alcançados  pela  Transmissora.

Como  a  nova  legislação  do  Setor  Elétrico  brasileiro

prevê  elevadas  penalidades  para  a  Transmissora  associa-

das  a  indisponibilidades  dos  equipamentos  do  sistema  de

transmissão  da  rede  básica,  este  aspecto  também  deve

ser  contemplado  nas  análises  dos  diversos  tipos  de  es-

quemas  de  manobras  de  subestações.

Sendo  a  indisponibilidade  de  qualquer  sistema  de  trans-

missão  função  da  indisponibilidade  de  todos  os  seus

componentes,  é  de  se  esperar  que  a  forma  de  operar  um

esquema  de  manobra  de  subestação  refletirá  na  indispo-

nibilidade  dos  circuitos  em  maior  ou  menor  grau,  em

função  do  tipo  de  arranjo  físico  da  subestação  e  forma  de

operação  do  esquema  de  manobra  e  número  de  células

conectadas  na  subestação.

**2.0  OBJETIVO  DO  TRABALHO**

O  objetivo  deste  trabalho  é  apresentar  a  aplicação  do

modelo  de  avaliação  de  indisponibilidade,  de  avaliação

penalidades  por  indisponibilidades  originadas  nos  equi-

pamentos  das  subestações  e  forma  de  operação  dos  es-

quemas  de  manobras.  Faz  também  uma  aplicação  do

modelo  de  avaliação  de  expectativa  de  lucro  da  Trans-

missora  diante  de  diferentes  tipos  de  esquemas  de  mano-

bras,  forma  de  operação  dos  equipamentos  de  manobras

das  subestações  e  número  de  células  conectadas.

Com  o  uso  destes  modelos  é  possível  representar  corre-

tamente  as  falhas  originadas  nas  subestações  e  oferecer

soluções  que  possam  ser  implementadas  na  prática  e  que

sejam  compatíveis  com  a  missão  da  Transmissora.

**3.0  APRESENTAÇÃO  DO  PROBLEMA**

O  problema  em  analise  é  de  fácil  exposição:  as  redes

de  transporte  de  energia  da  CHESF,  nas  tensões  de  500  e

230  kV,  conectam  grandes  quantidades  de  subestações,

onde  a  energia  elétrica  é  gerada  ou  é  consumida,  sendo

transportada  através  de  linhas  de  transmissão  e  auto-

transformadores  de  interligação  das  redes  de  transporte.

Algumas  das  subestações  são  elevadoras  (fluxos  de

**Rua  Delmiro  Gouveia,  333  Bloco  D  /  Sala  D219,  Bongi  -  Brasil  /  Recife  /  PE  -  CEP  50761-901**

**E-Mail:  jrpb@chesf.com.br  -  jrpb@elogica.com.br-  Tel:+55  081  2292440  -  Fax:+55  081  2292393**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | |  | |  | | |
|  | | |  | |  |  |  |
|  | | |  |  |  |  | **LT** |
|  | | |  |  |  |  |  |
|  | | |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | |  | | |
|  |  |  |  |  | X                                    Y | | |
|  |  |  |  |  | **B D\_5CH** | | |
|  |  |  |  |  |  | | |
|  | | |  | |  | | |
|  | | |  | |  | | |
|  | | |  | |  | |  |
|  | | |  | |  | |  |
|  | | |  |  |  | | **LT** |
|  | | |  |  |  | |  |
|  |  | |  |  |  | |  |
|  |  | |  | |  | | |
|  |  | |  |  | X                                   Y | | |
|  |  | |  |  | **B D\_ 4 CH** | | |
|  |  | |  |  |  | | |
|  | | |  | |  | | |
|  | | |  | |  | | |
|  | | |  | |  | |  |
| **B D\_ 6 CH** | | |  | |  | |  |
|  | | |  |  |  | | **LT** |
|  | | |  |  |  | |  |
|  |  | |  |  |  | |  |
|  |  | |  | | Y | | |
|  |  | |  |  | X | | |
|  |  | |  |  |  | | |
|  |  | |  |  | **B PT** | | |
|  | | |  | |  | | |
|  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  | | **LT** |
|  |  | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  | | |
|  | | |  | | X                                      Y | | |
|  | | |  | |  | | |

**2**



potência  saem  destas  subestações,  através  das  linhas  a

elas  conectadas)  e  outras  são  de  consumo  (fluxos  de

potência  entram  nestas  subestações,  através  das  linhas  a

elas  conectadas),  e  as  restantes  são  subestações  seccio-

nadoras,  onde  os  fluxos  que  entram  são  repartidos  entre

as  linhas  de  transmissão.

Entre  as  redes  de  extra-alta  e  alta  tensão  são,  geralmente,

implantados  bancos  de  autotransformadores  monofásicos

com  potências  nominais  elevadas  em  relação  aos  trans-

formadores  das  redes  de  alta  e  baixa  tensão.  No  sistema

de  transmissão  da  CHESF  estes  bancos  são  de  500/230

kV  –  600  MVA  e  300  MVA.

Nos  setores  de  230  kV  das  subestações  abaixadoras  e

seccionadoras  têm-se  utilizado  os  esquemas  de  manobra

Barra  Dupla  a  Cinco  Chaves  –  BD\_5CH  e  Barra  Princi-

pal  e  Transferência  –  BPT,  e  mais  recentemente  o  arranjo

Barra  Dupla  a  Quatro  Chaves  –  BD\_4CH.  Já  nos  setores

de  230  kV  das  subestações  de  interligação  das  redes  de

500  e  230  kV  tem-se  utilizado  o  arranjo  Barra  Dupla  a

Seis  Chaves  –  BD\_6CH.  A  Figura  1  caracteriza  os  prin-

cipais  componentes  (chaves,  disjuntores  e  barramentos)

que  compõem  os  esquemas  de  manobras.

FIGURA  1:  Tipos  de  Esquemas  de  Manobras  de  230  kV

Sabe-se  [1],  [4]  e  [5]  que  as  falhas  originadas  nos  com-

ponentes  das  subestações  afetam  os  índices  de  indispo-

nibilidades  das  linhas  de  transmissão  conectadas  a  elas,

com  maior  ou  menor  intensidade,  dependendo  do  tipo  do

esquema  de  manobra  da  subestação  e  da  forma  como

operam  os  seus  principais  equipamentos.  A  questão  que

surge  é  como  avaliar  o  impacto  na  Parcela  Variável  da

receita  anual  da  Transmissora  -  PV  por  indisponibilida-

des  dos  pontos  de  conexão  das  linhas  de  transmissão

diante  das  seguintes  condições:

!  Operação  dos  barramentos  dos  arranjos  BD\_4CH,

BD\_5CH  e  BD\_6CH.  Neste  caso,  analisou-se  o  re-

batimento  na  PV  em  operar  com  um  ou  os  dois  bar-

ramentos  energizados;

!  Operação  do  disjuntor  de  acoplamento  de  barra-

mentos  dos  arranjos  BD\_4CH,  BD\_5CH  e  BD\_6CH.

Neste  caso,  analisou-se  o  impacto  na  PV  em  operá-lo

normalmente  aberto  ou  fechado;

!  Seccionamento  de  barramento  no  arranjo  BPT.

Neste  caso,  analisou-se  o  efeito  do  seccionamento  na

PV,  em  função  da  quantidade  de  módulos  de  entrada

de  linhas  e  conexões  de  transformadores,  ou  seja,  do

porte  da  subestação.

O  problema  consiste,  então,  em  determinar  os  valores  de

indisponibilidades  do  conjunto  esquema  de  manobra

mais  linha  de  transmissão,  verificando  o  impacto  na  PV

e  na  expectativa  de  lucro  da  Transmissora.  Para  realiza-

ção  destas  tarefas,  tornam-se  necessários  modelos  de:

!  Avaliação  das  Indisponibilidades;

!  Avaliação  das  Penalidades  por  Indisponibilidades;

!  Avaliação  do  Lucro  da  Transmissora

**4.0  MODELOS  DE  AVALIAÇÕES  UTILIZADOS**

**4.1  Modelo  de  Avaliação  das  Indisponibilidades**

As  avaliações  das  indisponibilidades  dos  pontos  de-

nominados  de  “X”  na  Figura  1,  localizados  no  final  da

linha  de  transmissão  –  LT,  para  os  quatro  tipos  de  confi-

gurações  de  esquemas  de  manobras,  foram  feitas  com  o

modelo  computacional  CST  [2].

Note  que  estes  pontos  de  referência  foram  escolhidos

com  a  finalidade  de  capturar  todos  os  modos  de  falhas

originadas  nos  quatro  esquemas  de  manobras  e  do  núme-

ro  de  células  conectadas.

Este  modelo  foi  concebido  para  calcular  os  índices  de

confiabilidade,  traduzidos  em  termos  de  freqüência,

duração  e  indisponibilidades  dos  pontos  de  carga  e  total

dos  esquemas  de  manobras  de  subestações,  para  os  se-

guintes  modos  de  falhas:

mente;

!  Falha  permanente  de  um  componente;

!  Falha  permanente  de  dois  componentes  simultanea-

!  Falha  permanente  de  um  componente  quando  um

outro  está  em  manutenção;

!  Falha  ativa  de  um  componente;

!  Falha  ativa  de  um  componente  quando  um  outro

está  em  reparo  ou  em  manutenção;

!  Falha  ativa  de  um  componente  com  a  ocorrência  de

disjuntor  emperrado.

O  referido  programa  computacional  considera  ainda  que

nenhum  equipamento  da  subestação  entrará  em  manu-

tenção  se  houver  um  ou  mais  componentes  falhados.

Considera  também  que  uma  vez  iniciada  a  manutenção

de  um  outro  equipamento  ela  será  concluída,  mesmo  que

um  outro  equipamento  venha  a  falhar  neste  período.

É  conveniente  ressaltar  que  normalmente  o  modelo  CST

considera  que  as  saídas  programadas  para  manutenções

não  provocam  perda  de  continuidade  de  qualquer  ponto

de  carga  da  subestação.

**3**



**4.2  Modelo  de  Avaliação  das  Penalidades**

*PB*

*LA*  =*RA*  −  (*PV*  −*CA*)

*PV*  =*PB*  ⋅*K*0  ⋅*Pu*

As  avaliações  das  penalidades  por  indisponibilidades

dos  pontos  denominados  de  “Y”  na  Figura  1,  foram

realizadas  através  do  modelo  estabelecido  pelo  agente

regulador,  a  Agência  Nacional  de  Energia  Elétrica  -

ANEEL.  Note  que  estes  pontos  de  referência  foram

escolhidos  com  a  finalidade  de  capturar  todos  os  modos

de  falhas  originadas  nos  quatro  esquemas  de  manobras,

do  número  de  células  conectadas  e  da  linha  de  transmis-

são  conectada  no  ponto  “X”,  em  função  do  comprimen-

to.

Este  modelo  foi  concebido  com  a  finalidade  de  fornecer

um  sinal  econômico,  para  a  manutenção  da  qualidade  de

serviço  da  Transmissora,  e  consiste  de  uma  penalidade

definida  pela  PV  por  indisponibilidade  dos  seus  ativos

de  transmissão,  deduzida  mensalmente  do  Pagamento

Base  –  PB.  Segundo  o  Contrato  de  Prestação  de  serviço

de  Transmissão  –  CPST,  esta  parcela  deve  ser  calculada

pela  seguinte  expressão:

*NP* *NO*

*~~PV~~*~~=~~ ~~[~~*~~K~~ p*~~⋅ ∑~~*~~DDP~~i*~~+~~*~~K~~* 0*i*~~⋅  ∑~~*~~DOD~~ i*~~]~~ (1)

1440  ×*D* *i* =1 *i* =1

Onde:

DDP  =  Duração,  em  minutos,  de  cada  desligamento

programado  que  ocorra  durante  o  mês;

DOD  =  Duração,  em  minutos,  de  cada  um  dos  outros

desligamentos  que  ocorram  durante  o  mês;

PB  =  pagamento  base  das  instalações  de  transmissão;

Kp  =  Fator  para  desligamentos  programados  =  Ko  /15;

Ko  =  Fator  para  outros  desligamentos  de  até  300  minutos

após  o  primeiro  minuto  (o  fator  será  reduzido  para

Ko  /15,  após  o  301°  minuto);

NP  =  Número  de  desligamentos  programados  da  instala-

ção  ao  longo  do  mês;

NO  =  Número  de  outros  desligamentos  da  instalação  ao

longo  do  mês;

D  =  Número  de  dias  do  mês.

O  parâmetro  Ko  vale  150  para  os  equipamentos  com

nível  de  tensão  acima  de  230  kV,  e  100  para  os  equipa-

mentos  com  nível  de  tensão  igual  ou  inferior  de  230  kV.

Considerando  o  fato  de  que  após  5  horas  (300  minutos)

o  fator  Koi  será  reduzido  para  K0/15  e  que  as  indisponi-

bilidades  foram  calculadas  em  uma  base  anual,  a  expres-

são  para  o  cálculo  da  PV  total  anual  toma  a  seguinte

forma  algébrica  geral,  a  qual  pode  ser  aplicada  aos  des-

ligamentos  com  durações  superiores  a  5  horas,  como

ocorrem  nos  estudos  de  casos  apresentados  mais  adiante

no  item  5.

(2)

Onde:

Pu  –  Probabilidade  de  Indisponibilidade  programada  e

não  programada  das  instalações  de  transmissão.

Com  estas  considerações  os  valores  de  indisponibilida-

des  DOD  e  DDP  são  calculados  na  base  anual.

**4.3  Modelo  de  Avaliação  do  Lucro  da  Transmissora**

Os  futuros  Contratos  de  Prestação  de  Serviços  de

Transmissão  -  CPST  a  serem  celebrados  entre  as  empre-

sas  Transmissoras  e  o  ONS,  para  disponibilidade  das

instalações  de  transmissão  aos  diversos  usuários  e  aces-

santes  da  rede  básica,  deverão  estabelecer  requisitos

mínimos  de  segurança  e  confiabilidade  para  a  operação

da  rede  básica  de  transmissão.

De  acordo  com  o  CPST  as  empresas  Transmissoras

poderão  ter  suas  receitas  anuais  descontadas  do  valor

total  da  PV,  de  modo  a  refletir  a  efetiva  disponibilidade

das  instalações  de  transmissão.  Considerando  estas  defi-

nições  a  avaliação  do  Lucro  Anual  –  LA  da  Transmisso-

ra  pode  ser  calculada  através  da  seguinte  expressão  ma-

temática:

(4)

Onde:

*LA*  -  Lucro  Anual  da  Transmissora;

*RA*  -  Receita  anual  da  Transmissora;

*CA*  -  Custo  anual,  incluindo  operação,  manutenção,

amortização  do  investimento,  etc.

Fica  evidente  desta  expressão  que  a  expectativa  de  lucro

anual  da  Transmissora:

!  É  função  de  variáveis  aleatórias.  Ou  seja,  depende

dos  índices  de  indisponibilidade  programada  (ma-

nutenção  preventiva)  e  não  programada  (queda  de

torres,  falha  de  equipamento,  falha  humana,  des-

carga  atmosférica,  etc)  das  instalações  de  transmis-

são;

!  A  necessidade  de  reduzir  dos  custos  decorrentes

das  penalidades  por  indisponibilidades,  de  modo

maximizar  o  lucro  anual  da  Transmissora;

!  O  lucro  anual  aumenta  com  o  crescimento  de  RA  e

com  a  redução  de  CA.  Porém  a  redução  de  CA  au-

menta  a  probabilidade  de  crescimento  da  PV,  e

conseqüentemente,  reduz  do  lucro  anual  da  Trans-

missora.

**5.0  ESTUDOS  DE  CASOS**

Para  os  arranjos  BD  foram  analisadas  doze  configu-

rações,  iniciando  com  dois  pontos  de  carga  e  duas  fontes

de  alimentação  e  terminando  com  cinco  fontes  de  ali-

*Pu* = [

*i*>5 ) +*NO*(*DODi*  +*DODi*<5 )]  (3)

15 *i*=1

*i*=1

1*NP  DDP*  +*DOD*

*i*

×  ∑(                                     ∑

8760                                   8760

mentação.  Já  para  o  arranjo  BPT  foram  analisadas  vinte

configurações,  iniciando  com  dois  pontos  de  carga  e

duas  fontes  de  alimentação  e  terminando  com  cinco

fontes  de  alimentação.

**Thank you for using Wondershare PDFelement.**



**You can only convert up to 5 pages in the trial version.**

**To get the full version， please purchase the program here:**

[*http://cbs.wondershare.com/go.php?pid=973&m=db*](http://cbs.wondershare.com/go.php?pid=973&m=db)