



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

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO – XII

GRUPO ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI

**ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS ELÉTRICOS DURANTE A ETAPA DE PROJETO COM
OTIMIZAÇÃO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA**

**Pedro Igor Carvalho Moreira
Eletronorte ***

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia de Análise de Disponibilidade de Sistemas Reparáveis, contemplando a mensuração dos custos com manutenção versus o desembolso com aquisição para um nível esperado de desempenho. A metodologia da análise se utiliza da construção do Diagrama de Blocos do sistema com respectivas descrições funcionais e exportação das informações para o formato de Árvore de Sucesso, composta de portas lógicas, cada uma caracterizando um sistema integrante do projeto. O projetista poderá reavaliar a topologia do sistema, agregando ou retirando redundâncias com a finalidade de ajustar o projeto aos requisitos das partes interessadas.

PALAVRAS-CHAVE

Disponibilidade, Confiabilidade, Manutenibilidade, Sustentabilidade, Modelagem.

1.0 - INTRODUÇÃO

A disponibilidade operacional é atualmente o principal indicador de desempenho das instalações do Sistema Elétrico Brasileiro – SEB. Os Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema – ONS estabelecem as definições, fórmulas e orientações para a contabilização dos indicadores de desempenho das instalações. O setor de energia sempre esteve na vanguarda da utilização de métodos analíticos de modelagem da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade juntamente com os setores militar e aeroespacial.

A Engenharia de Confiabilidade busca desenvolver modelos que permitam representar os sistemas de uma forma cada vez mais realista e elaborar predições que suportem a tomada de decisão. Assim, é possível analisar e reduzir o número de eventos indesejáveis e seus respectivos impactos financeiros, à vida humana e ao meio ambiente.

Um dos campos de estudo em Engenharia de Confiabilidade é a análise de sistemas reparáveis. Uma referência clássica é Ascher e Feingold (1984), onde um sistema reparável é definido como aquele que, após falhar em realizar pelo menos uma de suas funções, pode ser reconduzido (reparado) para o estado em que ele está apto a realizar todas as suas funções por meio de qualquer procedimento que não seja a substituição total do mesmo. Tradicionalmente, a literatura de sistemas reparáveis trata da modelagem de tempos de falha apenas utilizando a teoria de processos pontuais.

As classes de processos estocásticos mais utilizadas e aplicadas na modelagem de sistemas reparáveis são o Processo de Renovação, incluindo o Processo Homogêneo de Poisson, onde o tempo de falha é assumido seguir uma distribuição exponencial com taxa constante, e o Processo Não-Homogêneo de Poisson, com taxa de ocorrência de falhas ou desligamentos variável.

O Processo Não-Homogêneo de Poisson quando se utiliza da Lei de Potência (*Power Law*) como modelo de variação da taxa de ocorrência de desligamentos é também chamado de modelo *Crow-AMSAA*.

2.0 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS

Avaliar é pronunciar-se sobre as características de certo sistema. Dado um sistema real qualquer, uma avaliação deste sistema pode ser caracterizada por toda e qualquer observação sobre ele expressada.

A princípio, toda avaliação tem por objetivo o estabelecimento de um julgamento qualitativo sobre o sistema avaliado. No entanto, toda avaliação científica é feita sobre resultados quantitativos e deve ser, tanto quanto possível objetiva, deixando para o usuário final da avaliação, o julgamento do sistema avaliado.

A aplicação prática da avaliação de desempenho é o conhecimento da situação (estado) do sistema avaliado. Tanto situações anteriores como situações atuais podem ser avaliadas para tornar possível a observação da evolução do sistema. Além disso, a observação do comportamento do sistema ajuda a entender o funcionamento do mesmo. Podem ser ainda avaliadas situações futuras, com a finalidade de previsão e planejamento.

2.1 Indicadores de Processo

Existem indicadores específicos do processo “Manter” que convergem para o resultado expresso pelos indicadores de disponibilidade.

Tais indicadores são definidos de acordo com o Submódulo 25.8 dos Procedimentos de Rede do ONS e ressalta-se que diferentemente do período de agregação dos indicadores de resultados que é de 60 meses, os indicadores de processo possuem um período de agregação de 12 meses.

Os principais indicadores são:

- Taxa de Falhas
- Tempo Médio entre Falhas
- Tempo Médio de Reparo

2.2 Indicadores de Resultados

No contexto das plantas industriais são caracterizados os papéis de Clientes e Fornecedores de Serviços por meio das estruturas organizacionais das áreas de Produção e Manutenção, respectivamente.

A Manutenção se coloca como fornecedora de serviços ao cliente interno da empresa (Produção) criando uma condição de subordinação ao atendimento dos requisitos de satisfação de seus clientes.

Para a Produção, quanto mais tempo as máquinas estiverem disponíveis para produzir, maior será a confiança no atendimento das metas de produção estabelecidas, condicionadas à demanda.

A decisão sobre intervenções de manutenção de forma forçada ou programada, normalmente é da Manutenção, a qual, além de comprometida com as metas de produção defende metas de durabilidade dos ativos sob sua responsabilidade.

Principais indicadores:

a. A Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada (TEIFa) expressa a relação das horas de desligamento forçado e das horas equivalentes de desligamento forçado (unidade operando com potência nominal limitada, associada a uma condição forçada) com as horas em serviço, com as horas de reserva desligada (fora de serviço por interesse sistêmico) e com as horas de reserva desligada por razões externas.

b. A Taxa Equivalente de Indisponibilidade Programada (TEIP) expressa a relação das horas de desligamento programado e das horas equivalentes de desligamento programado (entende-se que a unidade opera com potência nominal limitada associada a uma condição programada) com o total de horas no período de apuração.

c. O Índice de Disponibilidade (ID) mensal expressa a disponibilidade, relacionando as taxas de equivalência de indisponibilidade forçada apurada e programada, mensalmente.

$$ID_{mensal} = (1 - TEIFa_{mensal}) \times (1 - TEIP_{mensal}) \quad (01)$$

Onde:

TEIFa_{mensal} – Taxa de Equivalência de Indisponibilidade Forçada Apurada Mensal.

TEIP_{mensal} – Taxa de Equivalência de Indisponibilidade Programada Mensal.

O ID_{acumulado} expressa a disponibilidade verificada no período de análise, relacionando as taxas de equivalência de indisponibilidade forçada apurada e programada, nos últimos 60 meses. Este indicador deve permanecer acima do ID_{referência} de aplicação do Mecanismo de Redução da Assegurada, no caso das Usinas.

$$ID_{acumulado} = (1 - TEIFa_{acumulado}) \times (1 - TEIP_{acumulado}) \quad (02)$$

Onde:

TEIFa_{acumulado} – Taxa de Equivalência de Indisponibilidade Forçada Apurada acumulada em 60 meses.

TEIP_{acumulado} – Taxa de Equivalência de Indisponibilidade Programada acumulada em 60 meses.

Pela análise dos resultados dos agentes do SEB, disponibilizados no site do ONS (www.ons.com.br), obtemos algumas métricas de comparação para evolução da disponibilidade operacional.

2.4. Indicadores Complementares

Da análise dos indicadores constantes do Procedimento de Rede do ONS, percebe-se que não foram estabelecidos indicadores de processo para Manutenção Programada sendo, porém, um fator impactante na contabilização do Índice de Disponibilidade.

Para a matriz de resposta do modelo incluíram-se indicadores de Manutenção Programada para manter a coerência na análise.

Segundo o Submódulo 23.3 dos Procedimento de Rede do ONS em seu tópico 14.2.7.2 sobre Modelagem da Manutenção, o ONS informa:

“...(a)nos estudos de referência, os efeitos da manutenção preventiva não são considerados; (b) entretanto, na análise de confiabilidade convencional, tanto o parque gerador quanto a malha de transmissão podem ser modelados considerando o efeito da manutenção preventiva; essa prática pode ser incorporada futuramente nos estudos de referência.”

Entende-se que quando os termos Manutenção Preventiva são citados, estão englobando a Manutenção Programada.

Foram propostos indicadores de processo de forma complementar aos constantes do Procedimento de Rede, são eles:

- Taxa de Desligamentos Programados
- Tempo Médio entre Programadas
- Tempo Médio de Reparo Programado

Todos eles definidos similarmente aos seus equivalentes na manutenção forçada.

3.0 - MODELAGEM PROPOSTA

Por meio da definição dos indicadores de manutenção programada pode-se caracterizar adequadamente o estado de indisponibilidade por manutenção programada, o qual desconsidera manutenções preventivas e foca as intervenções corretivas e por melhorias.

Da análise das metodologias de Diagrama de Blocos de Confiabilidade, Análise de Árvore de Falhas e Análise Markoviana, foi possível estabelecer um modelo híbrido, agregando as principais vantagens de cada um.

Inicialmente, estruturou-se uma cadeia de Markov de 03 (três) estados, 01 (um) estado disponível e 02 (dois) estados indisponíveis por manutenção forçada e programada, respectivamente.

A resolução do sistema de equações diferenciais utilizou o software Maple® da Waterloo Inc. o qual possibilitou a resposta analítica da cadeia, obtendo 01 (uma) equação para cada estado. A solução do estado disponível para regime estacionário é apresentada a seguir:

$$A_{SS} = \frac{\mu_f \mu_p}{\mu_p \mu_f + \lambda_p \mu_f + \lambda_f \mu_p}$$

Onde:

- λ_f = taxa de desligamento forçado,
- μ_f = taxa de reparo forçado,
- λ_p = taxa de desligamento programado,
- μ_p = taxa de reparo programado.

As 03 (três) equações resultantes foram atribuídas a eventos terminais em Árvore de Sucesso dinâmicas, a qual possui a mesma característica de uma Árvore de Falhas com a lógica invertida.

Generalizando, o registro da topologia real do sistema é permitido na Árvore de Sucesso, a qual por meio da lógica booleana responde com a probabilidade do sucesso do evento topo.

Tal probabilidade do sucesso do evento topo corresponde à disponibilidade do sistema, a qual pode ser avaliada no tempo, de forma dinâmica.

Para obtenção das probabilidades complementares, as indisponibilidades programadas e forçadas, foram utilizadas manipulações numéricas nos Diagramas de Venn com 03 (três) conjuntos.

Como a resposta à cadeia de Markov foi analítica, foi possível aplicar a Lei de Potência (*Power Law*) para identificação das tendências das taxas de ocorrência de manutenção, obtidas do modelo de crescimento da confiabilidade conhecido como *Crow-AMSAA*.

Como resposta do modelo obtemos uma tabela de indicadores, avaliada para um intervalo de tempo desejado.

Como exemplo, apresentamos um sistema composto por 03 (três) equipamentos:

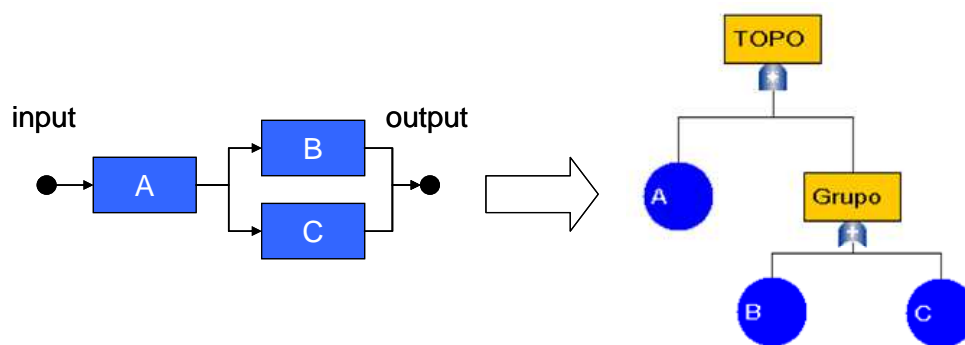


FIGURA 1 - Exemplo de migração de topologia RBD para Árvore de Sucesso

O sistema possui os seguintes dados de entrada:

TABELA 1 - Dados de entrada do exemplo (Sistema 1).

Index	Nome	Tipo	Genitor	Taxa de Manutenção Forçada	Fator de Forma Manutenção Forçada	Taxa de Reparo Forçado	Fator de Forma do Reparo Forçado	Taxa de Manutenção Programada	Fator de Forma da Manutenção Programada	Taxa de Reparo Programado	Fator de Forma dos Reparos Programados	Periodicidade Preventiva	Duração Preventiva	Custo de Aquisição	Fatos de Serviço
0	TOPO	Porta E										4,38E+04	1,50E+01	2,00E+05	90,00%
1	A	Terminal	TOPO	5,00E-04	1,00E+00	1,00E-01	1,00E+00	1,00E-04	1,00E+00	1,00E-02	1,00E+00				
2	Grupo	Porta OU	TOPO									1,00E+04	0,00E+00	0,00E+00	100,00%
3	B	Terminal	Grupo	5,00E-04	1,00E+00	1,00E-01	1,00E+00	2,00E-04	1,00E+00	1,00E-02	1,00E+00				
4	C	Terminal	Grupo	3,00E-04	1,00E+00	1,00E-01	1,00E+00	3,00E-04	1,00E+00	1,00E-02	1,00E+00				

Como saída do modelo, apresentamos os cálculos individualizados por evento terminal e por porta lógica, para um tempo de missão de 43800 horas:

TABELA 2- Exemplo de resultados individuais de reposta do modelo (Sistema 2).

Index	Nome	Tipo	Genitor	Disponibilidade Final	Número de Manutenções Forçadas	Custo dos Reparos Forçados	Número de Manutenções Programadas	Custo dos Reparos Programados	Número de Manutenções Preventivas	Custo das Manutenções Preventivas
0	TOPO	Porta E		98,45%	2,20E+01		4,93E+00		1,00E+00	1,25E+03
1	A	Terminal	TOPO	98,52%	2,19E+01	1,25E+02	4,38E+00	3,50E+02		
2	Grupo	Porta OU	TOPO	99,92%	1,45E-01		5,53E-01		4,38E+00	0,00E+00
3	B	Terminal	Grupo	97,56%	2,19E+01	2,50E+02	8,76E+00	3,00E+02		
4	C	Terminal	Grupo	96,81%	1,31E+01	2,50E+02	1,31E+01	3,00E+02		

Considerando o sistema de forma global, obtemos como resposta do modelo os indicadores padronizados pelos Procedimentos de Rede do ONS.

TABELA 3 - Exemplo de resposta global do modelo.

Indicador	Valor	Unidade
Disponibilidade Média	98,4274%	[h/h]
Indisponibilidade Forçada Média	0,4932%	[h/h]
Indisponibilidade Programada Média	1,0451%	[h/h]
Indisponibilidade Preventiva Média	0,0342%	[h/h]
Taxa de Desligamento Forçado Médio	4,90	[ndf/ano]

Indicador	Valor	Unidade
Tempo Médio entre Desligamentos Forçados	1788,77	[horas/ndf]
Taxa de Reparo Forçado Médio	0,11	[ndf/hora]
Tempo Médio de Reparo Forçado	8,82	[horas/ndf]
Taxa de Desligamento Programado Médio	1,10	[ndp/ano]
Tempo Médio entre Desligamentos Programados	7994,57	[horas/ndp]
Taxa de Reparo Programado Médio	0,01	[ndp/hora]
Tempo Médio de Reparo Programado	83,55	[horas/ndp]
Número de Desligamentos Forçados	22,04	[ndf]
Número de Desligamentos Programados	4,93	[ndp]
Tempo de Indisponibilidade Forçada	194,42	[horas]
Tempo de Indisponibilidade Programada	411,99	[horas]
Tempo de Indisponibilidade Preventiva	13,50	[horas]
Tempo de Indisponibilidade	619,90	[horas]
Tempo Disponível	43111,22	[horas]
Tempo em Serviço	39420,00	[horas]
Tempo Total	43800,00	[horas]
Custo de Manutenção Programada	R\$ 8.100,23	[R\$]
Custo de Manutenção Forçada	R\$ 11.493,56	[R\$]
Custo de Manutenção Preventiva	R\$ 1.249,57	[R\$]
Custo de Manutenção Total	R\$ 20.843,36	[R\$]
Custo de Aquisição	R\$ 200.000,00	[R\$]
Instante inicial	0,00	[horas]
Instante final	43800,00	[horas]

4.0 - ANÁLISE DE VIABILIDADE

A Análise de Viabilidade consta de uma comparação entre os valores esperados de retorno do investimento a ser realizado contra outras opções de investimentos existentes no mercado.

A análise depende de uma previsão do Fluxo de Caixa, contabilizando as entradas e saídas financeiras. Todas as receitas advindas serão contabilizadas como entradas e as despesas como saídas.

Para certos tipos de sistemas o fluxo de caixa deve ser realizado considerando o processo produtivo como um todo.

Para nosso exemplo, vamos considerar que o sistema estudado é remunerado com valor constante a cada hora disponível e não remunerado quando indisponível.

Neste contexto, percebe-se que os fatores fundamentais na análise de viabilidade para a previsão do fluxo de caixa são a disponibilidade, os custos de manutenção e o custo de aquisição do ativo para o período desejado.

Importante notar que caso o sistema estudado altere de alguma forma a receita percebida, tal alteração deverá ser considerada para o cálculo da Taxa Interna de Retorno e Valor Presente.

Para empresas sujeitas a Lei 8.666/93, o quesito valor da aquisição se configura no principal fator de decisão na aquisição de um ativo, quando não estabelecidas condições técnicas adequadas.

Com o conhecimento dos custos de manutenção individuais podemos simular os custos globais e discretizar o fluxo de caixa, porém, como a receita é constante pode-se mostrar que quanto menor a soma dos custos de aquisição e de manutenção, maior será a Taxa Interna de Retorno e o Valor Presente Líquido.

Diante do exposto, consideremos que um fornecedor informe que possua um sistema com as mesmas funcionalidades do estudado anteriormente, porém com “custo de aquisição menor e confiabilidade maior”. Tais informações desencadeariam em analistas menos atenciosos a tendência de priorizar o sistema concorrente.

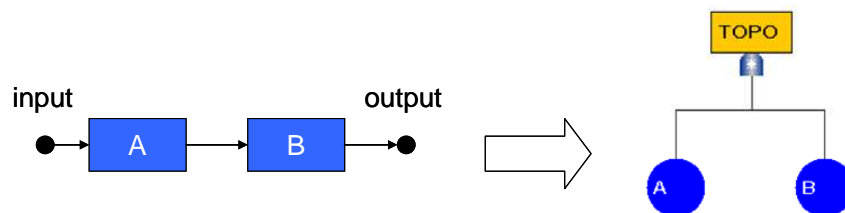


FIGURA 2 - Diagrama de Blocos e Árvore de Sucesso do Sistema 2

TABELA 4 - Dados de entrada do Sistema 2.

Index	Nome	Tipo	Genitor	Taxa de Manutenção Forçada	Fator de Forma Manutenção Forçada	Taxa de Reparo Forçado	Fator de Forma do Reparo Forçado	Taxa de Manutenção Programada	Fator de Forma da Manutenção Programada	Taxa de Reparo Programado	Fator de Forma dos Reparos Programados	Periodicidade Preventiva	Duração Preventiva	Custo de Aquisição	Fatos de Serviço
0	TOPO	Porta E										4,38E+04	2,50E+01	1,75E+05	90,00%
1	A	Terminal	TOPO	1,00E-04	1,00E+00	2,00E-02	1,00E+00	1,00E-04	1,00E+00	5,00E-02	1,00E+00				
2	B	Terminal	TOPO	2,00E-04	1,00E+00	2,00E-02	1,00E+00	1,00E-04	1,00E+00	8,00E-02	1,00E+00				

TABELA 5 - Resultados individuais para o Sistema 2.

Index	Nome	Tipo	Genitor	Disponibilidade Final	Número de Manutenções Forçadas	Custo dos Reparos Forçados	Número de Manutenções Programadas	Custo dos Reparos Programados	Número de Manutenções Preventivas	Custo das Manutenções Preventivas
0	TOPO	Porta E		98,20%	1,31E+01		8,76E+00		1,00E+00	3,50E+03
1	A	Terminal	TOPO	99,30%	4,38E+00	2,54E+03	4,38E+00	2,80E+03		
2	B	Terminal	TOPO	98,89%	8,76E+00	3,54E+03	4,38E+00	3,56E+03		

Tal priorização só poderia se efetivar após a análise global das métricas do novo sistema proposto. São apresentados os valores obtidos da simulação para ambos os sistemas.

TABELA 6 - Análise comparativa entre Sistemas.

Indicador	Sistema 1	Sistema 2	Unidade
Disponibilidade Média	98,4274%	98,1621%	[h/h]
Indisponibilidade Forçada Média	0,4932%	1,4658%	[h/h]
Indisponibilidade Programada Média	1,0451%	0,3151%	[h/h]
Indisponibilidade Preventiva Média	0,0342%	0,0570%	[h/h]
Taxa de Desligamento Forçado Médio	4,90	2,92	[ndf/ano]
Tempo Médio entre Desligamentos Forçados	1788,77	3001,71	[horas/ndf]
Taxa de Reparo Forçado Médio	0,11	0,02	[ndf/hora]
Tempo Médio de Reparo Forçado	8,82	44,00	[horas/ndf]
Taxa de Desligamento Programado Médio	1,10	1,95	[ndp/ano]
Tempo Médio entre Desligamentos Programados	7994,57	4502,57	[horas/ndp]
Taxa de Reparo Programado Médio	0,01	0,07	[ndp/hora]
Tempo Médio de Reparo Programado	83,55	14,19	[horas/ndp]
Número de Desligamentos Forçados	22,04	13,13	[ndf]
Número de Desligamentos Programados	4,93	8,76	[ndp]
Tempo de Indisponibilidade Forçada	194,42	577,82	[horas]
Tempo de Indisponibilidade Programada	411,99	124,20	[horas]
Tempo de Indisponibilidade Preventiva	13,50	22,49	[horas]
Tempo de Indisponibilidade	619,90	724,50	[horas]
Tempo Disponível	43111,22	42995,00	[horas]
Tempo em Serviço	39420,00	39420,00	[horas]
Tempo Total	43800,00	43800,00	[horas]
Custo de Manutenção Programada	R\$ 8.100,23	R\$ 27.840,91	[R\$]
Custo de Manutenção Forçada	R\$ 11.493,56	R\$ 42.111,56	[R\$]
Custo de Manutenção Preventiva	R\$ 1.249,57	R\$ 3.498,00	[R\$]
Custo de Manutenção Total	R\$ 20.843,36	R\$ 73.450,48	[R\$]

Indicador	Sistema 1	Sistema 2	Unidade
Custo de Aquisição	R\$ 200.000,00	R\$ 175.000,00	[R\$]
Instante inicial	0,00	0,00	[horas]
Instante final	43800,00	43800,00	[horas]

Portanto, o fornecedor está correto quando afirma que o Sistema 2 acarreta desembolso inicial menor que o do concorrente e observando somente a soma das taxas de desligamentos forçado e programado como medida de confiabilidade, a afirmativa permanece verdadeira. Porém quando se observa o valor da Disponibilidade e o fato do Sistema 2 possuir alto custo de manutenção, a análise é conclusiva. O Sistema 2 é inferior ao Sistema 1 em termos de Disponibilidade e Custos do Ciclo de Vida.

5.0 - CONCLUSÃO

Do exposto, conclui-se que um projeto de sistema qualquer deve abordar questões sobre os modos e frequências com que os desligamentos vão acontecer e quanto tempo suas funções serão reestabelecidas.

Para as áreas de Manutenção, conclui-se que para uma aquisição de equipamento ou sistema deve ser considerada uma etapa de análise de disponibilidade e custos de manutenção durante o ciclo de vida para uma decisão acertada.

O foco nos Custos de Aquisição e nas métricas de Confiabilidade, por si só, não garantem que comparativamente tais ativos serão os que agregarão melhores resultados ao processo fim da empresa.

Da análise dos fatores complementares que embasariam corretamente as melhores decisões, está a análise dos tempos de reparo e dos custos de manutenção nas várias modalidades.

Para análises mais detalhadas, das quais são conhecidos os instantes de desligamentos e os respectivos tempos de reparo, podem ser obtidos parâmetros adicionais sobre as tendências dos números de desligamentos. Tais tendências podem ser inseridas no modelo para estimação da disponibilidade e quantidades de desligamentos.

O modelo foi inserido no sistema *A² - Availability Analysis*, o qual automatiza os cálculos e gera os relatórios pertinentes aos analistas.

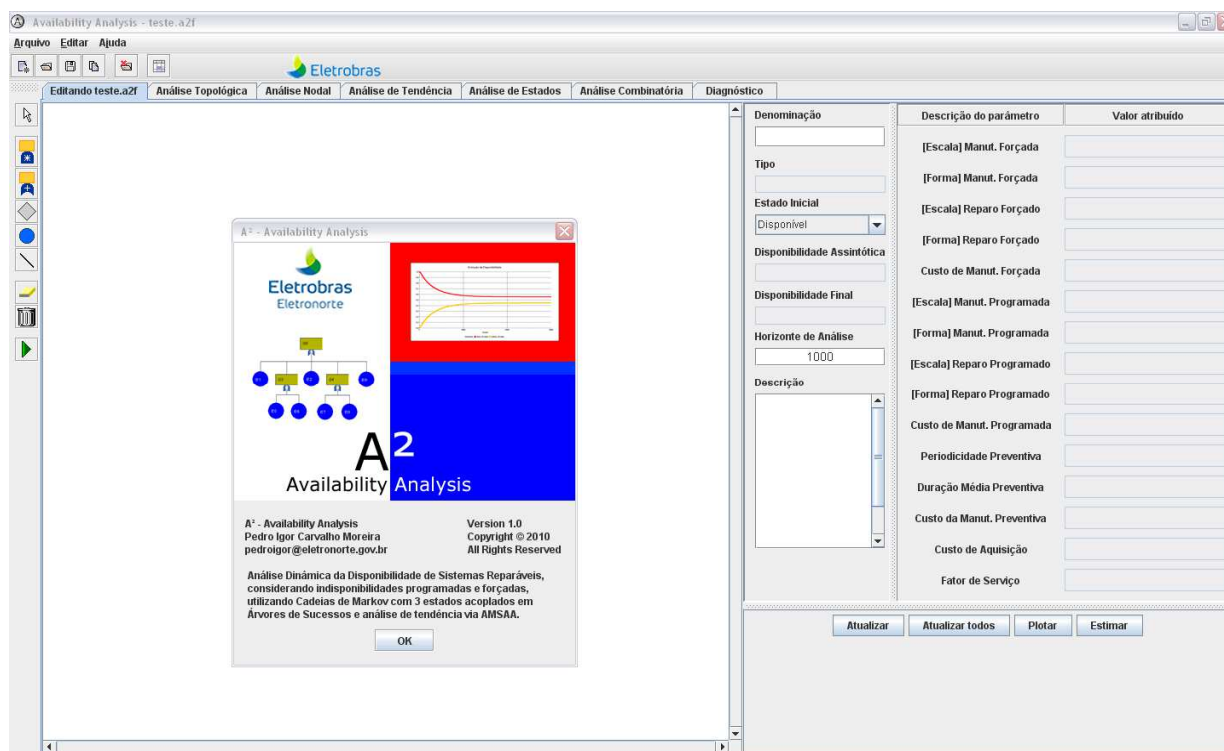


FIGURA 3 - Interface do sistema A².

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DHILLON, B.S. *Engineering Maintenance - A Modern Approach*, 1 ed., 2002.
- (2) DHILLON, B.S. *Maintanability, Maintenance and Reliability for Engineering*, 1 ed., 2006.
- (3) FOGLIATTO, S. F. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*, 1 ed., 2009.
- (4) FONTES, R. D.; DOMINGUES, L. A. et al. *Aplicação combinada de modelos de risco de falha de sistemas reparáveis e não reparáveis para cálculo da confiabilidade de equipamentos*, XX Simpósio Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2009.
- (5) MIL-HDBK-189; *Reliability Growth Management*, 1981.
- (6) MOREIRA, P. I.; FIRMINO, P. R.; DROGUETT, E. L. *Aplicação do Método dos Diagramas Espirais no Auxílio para a Resolução de Árvores de Falhas via OBDD*, XXXVI Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2004.
- (7) MOREIRA, P. I.; FIRMINO, P. R.; DROGUETT, E. L. *Métodos para a remoção de redundâncias de árvores de falhas*, XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2004.
- (8) MOUBRAY, J. *Reliability Centered Maintenance*, 2 ed., 2003.
- (9) Notas de Aula: *Simulação e Modelagem de Sistemas Introdução a Avaliação de Desempenho*, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1998.
- (10) NUREG-0492. *Fault Tree Handbook*, 1 ed., 1981.
- (11) Procedimentos de Rede ONS – Submódulo 25.8: *Indicadores de desempenho de equipamentos e linhas de transmissão e das funções transmissão e geração*, 2009.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Pedro Igor Carvalho Moreira

Nascido em Paulo Afonso – BA em 1980.

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e *Technische Universität Braunschweig* (Alemanha) em 2004.

Pós-graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Pará em 2011.

Atuando na Engenharia de Manutenção da Eletrobras Eletronorte desde 2005, especificamente na UHE Tucuruí.