



**XXIII SNTPEE
SEMÍNÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GMI/01
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - XII

GRUPO ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERÊNCIAS DE MANUTENÇÃO - GMI

AVALIAÇÃO DE RISCO DE RISCO EM UNIDADES GERADORAS ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

**Thiago Bonifácio Rego(*)
CHESF**

**Renata Araripe de Macedo
CHESF**

**Hélio Burle de Menezes
CHESF**

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo computacional para simulação da disponibilidade de unidades geradoras utilizando modelagem probabilística dos diferentes tipos de desligamentos e seus tempos de reparo.

O enfoque principal dado ao modelo foi a construção de um histograma que retrata as indisponibilidades das unidades geradoras devido às manutenções preventivas ou corretivas, onde, aplicando-se o método de Monte Carlo, foi simulado vários intervalos de tempo, onde foram calculados parâmetros operacionais que projetam o comportamento da disponibilidade das unidades geradoras nos cenários futuros.

Finalmente, como contribuição, é apresentado um estudo de caso real da simulação da disponibilidade da Usina Hidroelétrica de Xingó pertencente a Chesf, onde foi simulado a distribuição probabilística da disponibilidade de geração da usina para diferentes cenários testados.

Os resultados obtidos foram promissores indicando que o modelo proposto pode conduzir a resultados próximos da realidade, o que permite a gestão da manutenção mitigar o risco do empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE

Usinas Hidrelétricas, Disponibilidade, Geração de Números Aleatórios, Probabilidade

1.0 - INTRODUÇÃO

A Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – Chesf , concessionária de serviço público de energia elétrica, controlada pela Eletrobras, atua no setor de geração, transmissão e comercialização de energia. Seu parque gerador totaliza 10.615MW de potência instalada representando, aproximadamente 9,30 % de toda a capacidade instalada do Brasil (1).

Com vistas ao atendimento à demanda de energia pelo mercado, de modo a cumprir os contratos de venda de energia firmados, faz-se necessária a elaboração de um programa eficiente de manutenções com foco na confiabilidade dos equipamentos e na disponibilidade das instalações por meio de ações que evitem a ocorrência de falhas, preservando a função do ativo, e não apenas efetuando consertos ou reparos.

(*)Companhia Hidro Elétrica do São Fransisco, Av. Delmiro Gouveia, 333, Recife – Pernambuco, Brasil. – CEP 50761-901 Tel: (+55 81) 3229 -2211 – Fax: (+55 81) 3229-2212 – Email: thiagor@chesf.gov.br

Sendo assim, a manutenção passa a desempenhar um papel estratégico na empresa, garantindo a integridade funcional dos equipamentos envolvidos na produção de energia elétrica, visando manter a excelência operacional, assegurar a capacidade de geração de energia e cumprir as metas de disponibilidade das usinas, conforme os requisitos legais e contratados.

Para cumprir tais requisitos é necessário que haja um rigoroso controle do desempenho das unidades geradoras, tanto por parte das empresas, como do Operador Nacional do Sistema (ONS), por meio de um controle de todos os eventos que ocorrem em cada unidade geradora. Desta forma, a cada momento que a unidade geradora muda a sua condição operativa, é registrado em um sistema de gerenciamento de dados que coleta, guarda e dissemina os dados gerados no ambiente operacional, desde eventos diários de registro de ocorrências a planejamento de atividades de rotina.

Com os registros, dispõe-se de uma grande quantidade de informações sobre as condições dos equipamentos determinando assim os parâmetros que refletem o desempenho da manutenção.

Devido ao comportamento aleatório dos eventos torna-se difícil fazer uma estimativa da disponibilidade futura de uma determinada instalação. Entretanto, observa-se que cada tipo de evento comporta-se segundo um modelo de distribuição de probabilidade que pode ser obtida a partir do histórico do equipamento.

Assim, a estimação da disponibilidade de uma unidade geradora é tratada como um problema probabilístico onde foi necessária a separação dos dados provenientes do banco de dados da empresa por tipo de evento, e efetuado um levantamento dos parâmetros de probabilidade bem como sua distribuição de probabilidade.

Para a obtenção dos parâmetros foi desenvolvido um software denominada SIMU-DISP, desenvolvida pelo Departamento de Manutenção da Geração da Chesf, que por meio de simulação computacional, utilizando geração de números aleatórios para cada evento, determina a disponibilidade de geração, sua variância e a probabilidade de não atendimento da disponibilidade de referência para uma unidade geradora.

Com esses resultados, espera-se mapear o comportamento das unidades geradoras e equipamentos com o intuito de estudar a probabilidade do não atendimento da disponibilidade contratada a assim auxiliar a Gestão da Manutenção na programação das manutenções ao longo do ano.

2.0 - O MODELO ENERGÉTICO NACIONAL

As reformas no setor elétrico brasileiro introduziram a concepção de livre mercado no setor, incentivando a competição e mantendo sob regulação os setores antes considerados monopólios naturais.

Com a instituição da Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel pela Lei nº 9.427/1996 estabeleceu-se a regulação e fiscalização da produção, transmissão e distribuição de energia e a criação do Operador Nacional de Sistema – ONS pela Lei nº 9.648/1998 consolidou-se a desverticalização da cadeia produtiva do setor promovendo o planejamento, a operação e o despacho centralizado da geração para a otimização do Sistema Interligado Nacional – SIN.

A Lei nº 10.848/2004 instituiu a comercialização de energia elétrica por meio da contratação regulada ou livre com critérios de garantia de suprimento, confiabilidade de fornecimento e modicidade tarifária.

Sendo assim, no modelo energético atual são definidos as regras de operação, concessão, contratos e comercialização referente às responsabilidades assumidas pelas empresas geradoras, em especial a Resolução Aneel nº 244/1998, que estabelece os critérios de cálculo da Energia Assegurada¹ das usinas hidrelétricas pertencente ao SIN.

A Resolução Aneel nº 352/2003 associa o termo garantia física de usinas hidroelétricas participantes do MRE ao termo energia assegurada, onde as usinas que participam do Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) têm a garantia física com base na respectiva energia assegurada sazonalizada.

Contudo, as Medidas Provisórias 577 e 579, que foram convertidas nas Leis 12.767 /2012 e 12.783/2013, respectivamente, modificaram as regras das concessões de serviço público de energia elétrica no âmbito da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária, onde foi estabelecido que toda a energia das usinas com contratos a serem renovados deverá

¹ A energia assegurada representa o valor máximo de energia, definido pela Aneel, que pode ser vendido por uma usina hidrelétrica de acordo com seu contrato de concessão, independentemente do volume de energia elétrica que é despachado por usina. Atualmente, o termo “energia assegurada” referido no Decreto nº 2.655/1998 é designado como garantia física de energia, em razão do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

ser direcionada ao mercado regulado por meio de cotas, sob a gestão da CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

Sendo assim, de acordo com as regras do setor elétrico brasileiro, cada usina hidrelétrica recebe um determinado valor de energia assegurada. Esse número está baseado em uma fórmula de risco de fornecimento de energia elétrica, que tem como referência o registro histórico de vazões ao longo do rio onde a usina está instalada, pelo rendimento das unidades geradoras e por sua disponibilidade de geração. No cálculo são desconsiderados os períodos em que as unidades geradoras estão paradas por motivo de manutenções programadas e paradas de emergência.

Esta operação cooperativa do parque gerador brasileiro foi historicamente adotada visando garantir o uso eficiente de recursos energéticos no país.

Matematicamente, a operação cooperativa parque gerador brasileiro pode ser representado adequadamente em termos de sua energia assegurada, o recurso hídrico, o rendimento das turbinas hidráulicas e a disponibilidade de geração, sendo expresso de acordo com a equação 1.

$$EA = f(H, \rho, D) \quad (1)$$

onde:

EA = Energia Assegurada

H = Recursos hídricos

ρ = rendimento

D = disponibilidade

A Energia Assegurada e o rendimento das unidades geradoras são considerados constantes. Assim a disponibilidade é o único fator variável no cálculo. Como a disponibilidade de geração é diretamente afetada pelas paradas nas unidades geradoras, pode-se relacionar as atividades de manutenção diretamente um fator estratégico para o negócio de geração de energia elétrica.

A Chesf opera suas usinas com base no contrato de concessão nº 006/2004 – Aneel/Chesf, onde são previstos que a média da disponibilidade dos últimos 60 meses seja superior a um valor de referência relacionado a energia assegurada.

Em 2014 a Chesf gerou 44.162 GWh, valor referente a geração bruta produzida, o que representa 9,89 % da geração de energia elétrica no Brasil, segundo o ONS. Atualmente, a energia assegurada da Chesf é de 6.023,7 MW (médios), homologada pela Resolução Anel nº 453, de 30 de dezembro de 1998.

As várias medidas de caráter regulatório deixam claras as necessidades cada vez maiores de um fornecimento de serviço de qualidade pelas concessionárias de energia elétrica, criando assim à necessidade de uma maior gestão dos ativos que possam interoper a capacidade de geração de energia.

Sendo assim, através de determinação de distribuições de probabilidade de falhas, defeitos e critérios de manutenções preventivas levantadas a partir de dados históricos, pretende-se determinar uma curva de risco de disponibilidade e estimar qual o risco de não atendimento da disponibilidade de referência.

O problema de estimação da disponibilidade de uma unidade geradora é tratado neste trabalho como um problema probabilístico. Será apresentado um estudo de caso a partir dos dados históricos em uma instalação de geração de energia hidrelétrica e determinar a disponibilidade esperada e a variabilidade da disponibilidade para este caso.

3.0 - A METODOLOGIA DO TRABALHO

Para o desenvolvimento da técnica de simulação proposta foi preciso entender o funcionamento do objeto simulado. Desta forma, fez-se necessário entender a composição de uma unidade geradora, as falhas e os problemas que mais afetam a disponibilidade de geração de energia, bem como sua duração e frequência. Também foi analisado o valor da indisponibilidade para o cálculo da energia assegurada que o aproveitamento pode gerar.

3.1 A Unidade Geradora

Uma unidade geradora é o conjunto composto por turbina, gerador, sistema de regulação de tensão e velocidade, sistemas eletromecânicos de proteção, medição, controle e supervisão e seus equipamentos auxiliares projetadas para operar em conjunto.

A água armazenada no reservatório entra na turbina por meio de um conduto forçado, produzindo um movimento giratório do eixo da turbina, ou seja, a energia potencial armazenada no reservatório é transformada em energia mecânica quando a água passa pela turbina. No gerador, que está acoplado à turbina, a energia mecânica é transformada em energia elétrica.

Todos os sistemas eletromecânicos atual no conjunto girante de modo a garantir que a energia gerada tenha um padrão de qualidade exigido pela Aneel.

Sendo assim, a produção ótima de energia hidroelétrica depende da adoção de políticas de manutenção que permita a redução do tempo entre as manutenções sem prejuízo a confiabilidade do sistema.

Os dados utilizados para validar a técnica de simulação proposta foram obtidos no banco de dados da Usina Hidroelétrica de Xingó, que é, atualmente, a maior usina da Chesf em geração de energia. Com 06 unidades geradoras e 2.462,00 MW de potência instalada, fornece 16,99% da energia comercializada pela empresa.

A disponibilidade total da usina de Xingó foi de 93,97%, superior ao estabelecido pela meta empresarial, superior a 86,48%.

3.2 A Disponibilidade de Geração

A unidade geradora foi projetada, idealmente, para prover um fornecimento de energia contínuo, porém seus componentes estão sujeitas a falhas que causam indisponibilidade da sua função de geração, permanente ou temporariamente. Tais falhas são de natureza aleatória, podendo ser ainda falhas individuais ou múltiplas.

Sendo a geração de energia elétrica um serviço público, o seu fornecimento é regulado com o objetivo de garantir a segurança do suprimento da demanda, ou seja, garantir que o fornecimento de energia não seja interrompido sob alegação de falha do equipamento ou não atendimento a demanda, que, atualmente no Brasil é esperado um crescimento médio anual de 4,8 % no consumo de energia elétrica nos próximos oito anos, de acordo com a projeção da Demanda de Energia Elétrica 2011/2020 [2].

O atendimento a demanda máxima exige maiores esforços do concessionário. As paradas de máquinas para manutenção devem ser planejadas levando-se em conta o seu importante papel na integridade dos equipamentos e aspectos operativos, como indisponibilidades forçada e programada das unidades geradoras.

A Disponibilidade de uma usina hidrelétrica representa o percentual de horas disponíveis das unidades geradoras em um período considerado. Este indicador é acompanhado pela Eletrobras, ONS e Aneel, fazendo parte de cláusula do Contrato de Metas de Desempenho Empresarial (CMDE)² Chesf/Eletrobras e do acompanhamento de requisitos contratuais definidos junto a Aneel. O não atendimento pode resultar em aplicação de restrições ou penalidades a empresa.

No CMDE foram estabelecidos os resultados e as metas para o ciclo de 2010 a 2014 a serem alcançados para maior eficiência, robustez e rentabilidade financeira do Sistema Eletrobras, bem como as condições de acompanhamento e monitoramento do CMDE.

3.3 A Software Implementado

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo computacional orientado a objetos para a Simulação Monte Carlo, compreendendo desde o projeto até a sua implementação.

O modelo de Monte Carlo proposto permite que as falhas no sistema sejam representadas, propiciando uma avaliação do comportamento futuro da unidade geradora por meio de técnicas de análise probabilísticas para a construção do modelo computacional proposto. O maior número de repetições levará a um comportamento próximo ao real.

A implementação utilizada foi denominada SIMU-DISP - Simulador de Disponibilidade em unidades geradoras, desenvolvida pelo Departamento de Manutenção da Geração da Chesf.

O objetivo do simulador proposto é encontrar um valor estimado da disponibilidade de uma unidade geradora. Para isso, foi utilizado o Banco de Dados de Geração com o histórico de registros das ocorrências de falhas das

² O CMDE é uma ferramenta aplicada à busca da melhoria da eficiência financeira e operacional das empresas estabelecendo resultados e metas de gestão com o uso de indicadores. O acompanhamento é realizado a cada trimestre, por meio de um processo de gestão integrada.

unidades geradoras no período entre os anos de 2000 a 2010, os quais foram processados através do sistema de gestão corporativo da Chesf.

O instrumento analítico adotado para avaliar se a variabilidade ocorrida nos custos é estatisticamente significativa, foi a análise da disponibilidade (D) e do desvio padrão entre os testes sendo aplicado o Teste de Hipótese para validação dos resultados.

O grande objetivo da aplicação do Teste de Hipótese é sintetizar a informação contida nos dados de observação. Pretende-se substituir um conjunto de informações por apenas uma que seja indicadora da tendência central dos dados de saída gerados pela simulação.

O primeiro aspecto a ser considerado antes da utilização do simulador para a solução do problema proposto é a coleta e tipificação dos tipos de falhas que causaram parada das unidades geradoras. Cada parada da unidade geradora foi classificada por um tipo de falha, segundo a Tabela 1.

A classificação da parada da unidade geradora por tipo de falha otimiza a identificação de problemas relacionados a falha e suas conseqüências, permitindo a padronização do processo.

Tabela 1 – Tipos de Falhas em Unidades Geradoras

Tipos de Parada	Característica
Elétrica	Forçado
Mecânica	Forçado
Proteção	Forçado
Inspeção	Forçado
Revisão gerais	Programado
Correção programada	Programado
Inspeção periódica	Programado

4.0 - GESTÃO DA DISPONIBILIDADE DA GERAÇÃO

A principais funções do Departamento de Manutenção da Geração da Chesf é garantir a disponibilidade das unidades geradoras quando solicitadas a operar. Para isso, é estabelecido anualmente um cronograma de manutenção para todas as 15 usinas da empresa, com a finalidade de manter a função Geração disponível para operação reduzindo a probabilidade de paradas não planejada.

Entende-se por parada da unidade geradora, a interrupção da produção de energia ou a impossibilidade início de produção, (partida da unidade geradora).

O ONS monitora o cronograma de manutenção de todo o Sistema Interligado Nacional (SIN), observando a disponibilidade do equipamento em relação a fatores hidrológicos, requisitos de carga e otimização de custos gerais da produção. É sua responsabilidade também, de acordo com a Resolução Aneel nº 688/2003, processar mensalmente os índices de disponibilidades verificada das usinas (3).

Neste trabalho uma parada da unidade geradora será caracterizada como uma falha, podendo ser de natureza elétrica ou mecânica. Foi feita uma segregação de falhas conforme a Tabela 2 os tipos de manutenção Programada (paradas da unidade geradora solicitadas com antecedência) e Forçada (falhas).

Tabela 2 – Levantamento dos Parâmetros de Falhas

Natureza	Tipo de parada	Distribuição	Parâmetros
Elétricas	Forçado	Exponencial	$\lambda = 0,2542 \times 10^{-3}$
		Lognormal	$\mu = 1,2864 \text{ s} = 0,72$
Mecânicas	Forçado	Weibull	$\beta = 2,17 \quad \eta = 9694,32$
		Lognormal	$\mu = 5,121 \text{ s} = 0,834$
Proteções	Forçado	Exponencial	$\lambda = 0,1628 \times 10^{-9}$
		Lognormal	$\mu = 2,467 \text{ s} = 1,2355$
Revisões gerais	Programado	Exponencial	50.000h
		Lognormal	$\mu = 6,295 \text{ s} = 0,1438$
Correções programadas	Programado	Exponencial	$\lambda = 1,78 \times 10^{-3}$
		Lognormal	$\mu = 3,846 \text{ s} = 0,3860$
Inspeções periódica	Programado	Exponencial	5.000h
		Lognormal	$\mu = 2,542 \text{ s} = 0,1734$

Por termos essa diversidade de tipos de falhas é necessário realizar uma segregação dessas falhas para que não ocorra uma grande variação nos tempos entre falhas e sua duração que não traria uma conclusão definitiva para o trabalho.

Com esta segregação de tipos de paradas de unidades geradoras pode-se realizar uma análise para obtenção de uma distribuição de probabilidade que se ajuste melhor para cada tipo de parada. Após obter as distribuições, é realizado um teste de hipóteses para determinar a aderência da distribuição ao tipo de parada.

Como a Disponibilidade de uma unidade geradora é dada pela razão entre o tempo de funcionamento do equipamento e o tempo total. Faz-se necessário a determinação de uma distribuição de probabilidade para avaliar o tempo que o equipamento ficou indisponível, ou seja, o tempo que a unidade geradora ficou parada. Desta forma, determina-se uma distribuição de probabilidade para cada tipo de parada descrita na Tabela 2.

Ao final, realiza-se o teste de hipóteses para verificação da aderência da distribuição de probabilidade à duração da parada.

Para todos os casos de teste de hipóteses, utiliza-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. O valor de p é comparado se é superior a 0,1. Sendo esta condição verdadeira, é aceito a distribuição de probabilidade adotada para os tipos e durações de parada da unidade geradora.

É sugerido para os tipos de parada elétricas, eletrônicas, proteções e correções programadas a distribuição de probabilidade exponencial pela característica aleatória e não cumulativa das falhas. Para as paradas mecânica, propõe-se a distribuição de probabilidade de Weibull já que as características desse tipo de falha podem aumentar durante o uso do equipamento devido a seu envelhecimento ocasionando mais falhas ao longo do tempo.

As paradas de revisões gerais e inspeções periódicas são definidas pelo plano de preventiva e têm seus parâmetros baseados em horas de operação, desta forma, não necessitando determinar uma distribuição de probabilidade para as paradas por manutenção preventiva. Para as durações das paradas são utilizados a distribuição de probabilidade LogNormal pela característica de atendimento da mesma.

Após a definição das distribuições de probabilidade e seus parâmetros para cada tipo de parada e duração, é definido o tempo de simulação. Esse tempo vai determinar todas as intervenções e paradas para obter o tempo de funcionamento, os tempos de desligamento programados e forçados. Na Figura 1, vê como é feita a simulação dos tempos de intervenção e de funcionamento.

A Aneel, por meio da Resolução Normativa nº 688/2003, instituiu a fórmula para determinação da disponibilidade de uma unidade geradora pela seguinte expressão:

$$Disp = (1 - TEIFa) \times (1 - TEIP) \quad (2)$$

Onde:

TEIFa – É o tempo equivalente de desligamento forçado

TEIP – É o tempo equivalente de desligamento programado

O TEIFa é definido pela seguinte expressão:

$$TEIFa = \frac{HDF + HECF}{HS + HRD + HDF + HEDF} \quad (3)$$

Sendo que:

HDF é o somatório dos tempos de desligamento forçado.

HEDF é o tempo equivalente de indisponibilidade forçada (restrição operacional).

HS é o tempo total de funcionamento da unidade geradora.

HRD é a tempo total de reserva desligada.

A TEIP é definida por:

$$TEIP = \frac{HDP + HEDP}{HP} \quad (4)$$

Sendo

HDP – tempo total de desligamento programado

HEDP – tempo equivalente de desligamento programado

HP – tempo total do período

Desta forma, considerando o resultado das simulações, é possível determinar a disponibilidade de uma unidade geradora.

Para fins de simplificação, os tempos equivalentes forçado e programado são considerados nulos. Esta simplificação é bastante razoável devido que pelo banco de dados estudado, num histórico de mais de 10 anos, o somatório do tempo em restrições operacionais foi inferior a 0,01% e seus efeitos no cálculo da disponibilidade é inferior à $10E^{-5}$.

Uma outra simplificação importante foi o termo HRD, este termo foi considerado constante ao longo do período e devido a complexidade da sua variabilidade que depende de fatores externos, tais como, demanda de energia, efeitos de hidráulidade, indisponibilidade de outras instalações e inviabilidade de transmissão de energia, entre outros. Além disso, o valor pode ser considerado constante para períodos superiores à 1 ano já que esses fatores são mitigados em longos períodos, não afetando assim o cálculo da disponibilidade.

Depois de definidos todos esses parâmetros, foi desenvolvido um programa em R (R Development Core Team, 2011) utilizando as funções de geração de números aleatórios. Computando cada um dos parâmetros para cada tipo de parada. Assim gerado os números aleatórios, é calculado a disponibilidade de uma unidade geradora. Esse processo é calculado cerca de 10.000 vezes para que se tenha uma amostra razoável de dados e se obtenha parâmetros para verificar a variabilidade e riscos envolvidos no processo de produção de energia.

5.0 - ESTUDO DE CASO

Para aplicar as técnicas sugerida, foi escolhido a usina hidroelétrica Xingó, localizada entre os municípios de Canindé de São Francisco – SE e Piranhas – AL. A usina de uma potência nominal de 3.000 MW e é composta por 6 unidades geradores cuja as turbinas são de fabricação VOITH e os geradores de fabricação SIEMENS.

Foi analisado o histórico de falhas, manutenções preventivas, defeitos programados e tempos de reparo do ano 2002 a 2011. Nesta análise, foi segregado o histórico de paradas conforme a Tabela 3. Vendo o tempo médio de reparo e entre as falhas. Nesta análise foi levantado, na tabela II, os parâmetros de falha.

Tabela 3 – Resultado da Disponibilidade obtida após 10.000 simulações

Média	96,49%
Mínimo	86,68%
Máximo	99,16%
1o Quartis	95,84%
3o Quartis	97,40%
Mediana	96,72%

O algoritmo proposto foi testado em um banco de dados reais obtidos diretamente da rede de monitoração da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF.

Esses dados são colocados no programa desenvolvido, e realizada a análise para verificação dos riscos envolvidos.

O critério de parada escolhido para analisar a convergência da implementação, neste caso, foi o número máximo de interações, fixo em 10.000. Isso significa que os parâmetros ótimos serão conhecidos ao final do processo de 10.000 repetições.

Após os testes e a sua separação em grupos, foi feita a análise dos dados coletados para verificar a funcionalidade do algoritmo. Para a validação dos dados coletados, estes devem ser significativos e cobrir amplamente o problema proposto. A Fig 1 apresenta o histograma da disponibilidade simulada.

O gráfico indica que, após 10.000 interações, a disponibilidade da usina pode variar entre 0,86 e 0,99. contudo, a probabilidade de ocorrer uma disponibilidade de 0,86 é mínima, como pode ser observado na Tabela 3. Sendo assim, a disponibilidade esperada será igual a média no valor igual a 96,49%.

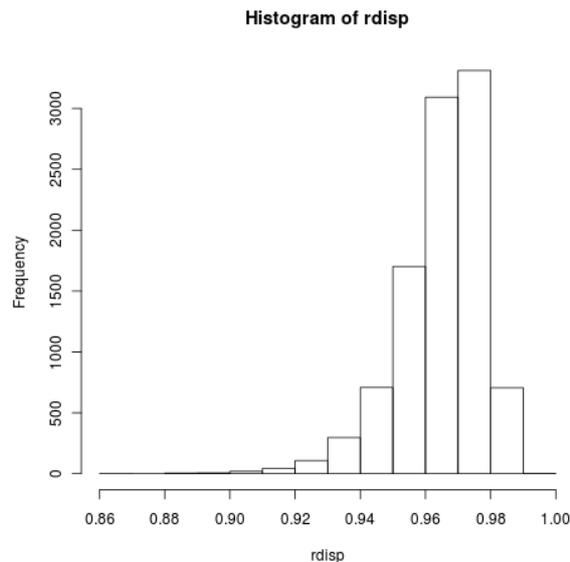


FIGURA 1 – Histograma da Disponibilidade para 10.000 Simulações

6.0 - CONCLUSÕES

Onde foi simulado o intervalo entre paradas da unidade geradora que fornece a maior disponibilidade da máquina. Tais paradas deverão ser previstas no plano de manutenção. Para isso, foram feitas simulações de Monte Carlo para emular a ocorrência de quebras e a execução de reparos seguindo distribuições de probabilidade de acordo com a realidade histórica de quebras e reparos efetuados nas unidades geradoras.

Foram apresentadas as distribuições de probabilidade que melhor se adequaram aos tempos entre falhas e tempos de reparo, obtidas com o auxílio do software estatístico R. A partir dessas distribuições foram feitas simulações para obtenção da variabilidade da disponibilidade das unidades geradoras.

Desta forma, pode-se obter o risco envolvido no negócio de produção de energia elétrica e a verificar o impacto de melhorias, investimentos e metodologias de manutenção na disponibilidade.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL, 2012, Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp> (acesso em: 01/10/2012).
- (2) EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Nota Técnica DEN 03/11 – Projeção da Demanda de Energia Elétrica (2011-2020); Brasil, 2011.
- (3) Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL, 2003, RESOLUÇÃO Nº 688 de 24/12/2003 publicado em 26/12/2003.