



**XV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

**STC/ 21
17 à 22 de outubro de 1999
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**SESSÃO TÉCNICA ESPECIAL
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – (STC)**

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE RISCO
UM ESTUDO DE CASO EM GLD
PROJETO LIGHT DE DESLOCAMENTO DA DEMANDA NA PONTA**

Marcos Huber Mendes - Eletrobrás* Antenor de Oliveira Lima - Eletrobrás Antonio Raad - Eletrobrás
Bruno Valente dos Santos - Light Reinaldo Castro Souza – PUC/RJ

RESUMO

Verdadeiras usinas virtuais podem ser construídas a partir da demanda disponibilizada por projetos de Gerenciamento pelo Lado da Demanda – GLD. O deslocamento da demanda na ponta através de controladores de carga tem demonstrado ser um dos processos de GLD mais promissores.

A Análise de Custos e Benefícios de projetos pilotos e de suas possíveis ampliações é a ferramenta que dimensiona a efetividade da demanda disponibilizada por um projeto de GLD. No momento atual a cultura do Setor Elétrico brasileiro determina Análises de Custos e Benefícios onde as incertezas inerentes ao projeto analisado são considerados através de concentração de dados, utilizando medidas de posição como médias e medianas e, no máximo, medidas de dispersão como a variação entre o mínimo e o máximo ou desvio padrão, sem ainda analisar de maneira completa estas incertezas e suas interrelações. No ambiente complexo e frente aos recursos escassos e da necessidade de efetividade nas decisões em que o Setor Elétrico se encontra uma análise completa das incertezas é primordial. A Simulação e Análise Probabilística de Risco é a ferramenta que possibilita o tratamento completo das incertezas e suas inter-relações.

A utilização da Simulação e Análise Probabilística de Risco para a Análise de Custos e Benefícios do Projeto Light de Deslocamento da Demanda na Ponta exemplifica a qualidade e a efetividade dos resultados de Apoio a Decisão necessários para o momento atual do Setor Elétrico.

PALAVRAS-CHAVE

Risco, Simulação, Análise de Risco, Análise Probabilística de Risco; Análise e Simulação de Risco; Análise de Custo / Benefício

**1.0 SIMULAÇÃO E ANÁLISE
PROBABILÍSTICA DE RISCO**

A Simulação e Análise Probabilística de Risco considera as incertezas envolvidas no processo decisório de maneira completa. Analisando qualitativamente e quantitativamente as incertezas, elas são transformadas em riscos que por sua vez são analisados levando em consideração todas as interrelações possíveis e fornecendo uma razão de Custo / Benefício que pode ser associada a uma medida de risco ou probabilidade de ocorrência.

Numa Análise de Custo e Benefício a Simulação e Análise Probabilística de Risco atua de modo efetivo no Apoio à Decisão permitindo responder perguntas como:

Qual a probabilidade da relação de Benefício / Custo ser menor do que 1;

Qual a probabilidade de se obter a relação de Benefício / Custo desejada;

Quais variáveis devemos controlar, e em que valores, para se obter a relação de Benefício / Custo desejada.

A Simulação e Análise Probabilística de Risco permite realizar Cenários específicos onde podem ser determinadas quais variáveis e em que valores

precisam ser controladas para que se obtenha, por exemplo, razões de Benefício / Custo maiores do que 1 ou que se otimize a relação de Custos e Benefícios.

2.0 O Projeto Light e os Resultados Tradicionais da Análise de Custo e Benefício

No momento da Análise de Custos e Benefícios do projeto Light de Deslocamento da Demanda na Ponta, projeto Piloto e sua Ampliação, foram considerados como principais incertezas as variáveis relativas a:

- Custo dos Controladores de Demanda
- Desconto Oferecido ao Cliente
- Período de Vigência do Desconto
- Vida Útil do Projeto
- Taxa de Atratividade
- Tarifa da Light
- Fator de Carga da Light
- Demanda Disponibilizada a partir da Potência e Tempo de Uso de Eletrodomésticos

Para Análise Tradicional de Custos e Benefícios os valores relativos a estas incertezas foram considerados através de concentração de dados, utilizando medidas de posição como médias e medianas e , no máximo, medidas de dispersão como a variação entre o mínimo e o máximo ou desvio padrão.

Os dados de Demanda Disponibilizada foram obtidos dos resultados da Pesquisa de Posse e Hábitos realizada, a pedido da Light pela PUC/RJ, considerando a Potência e os Tempos Médios de uso de Eletrodomésticos. Estes resultados foram confirmados a partir de dados de medições de Curvas de Carga realizados pela Light durante o projeto piloto.

A planilha abaixo apresenta o cálculo de Custos e Benefícios Tradicional com as incertezas consideradas como:

- Custo Médio dos Controladores de Demanda: R\$ 190,00
- Desconto Oferecido ao Cliente: R\$ 18,76
- Período de Vigência do Desconto: 7 meses
- Vida Útil do Projeto: 15 anos
- Taxa de Atratividade: 15%
- Tarifa Média da Light: R\$ 95,39 por Mwh
- Fator de Carga Médio Mensal da Light: 77,49%
- Demanda Disponibilizada Média: 0,34 Kw (De acordo com a Potência Média e Tempo Médio de Uso de Eletrodomésticos obtidos da Pesquisa de Posses e Hábitos realizada pela PUC/RJ e confirmada pela medição de Curvas de Carga realizada pela LIGHT).

O que nos leva a uma Relação de Benefício / Custo de 1,92 no Projeto Piloto e de 1,47 na Expansão do Projeto.

É importante perceber que se fossemos analisar Cenários considerando as incertezas com apenas dois valores, possivelmente máximo e mínimo, teríamos de analisar 256 (2⁸) resultados e ainda não teríamos informações sobre a importância relativa de cada incerteza nos resultados e muito menos da probabilidade de ocorrência de cada resultado.

Obtivemos um valor para Relação de Benefício / Custo da Expansão de 1,47, considerando valores medianos, mas não temos informações sobre a probabilidade de ocorrência deste valor. Notamos ainda que a especificação de Intervalos de Confiança para a Relação de Benefício / Custo depende da determinação de uma distribuição teórica de probabilidades para esta relação.

3.0 A Análise de Custo e Benefícios através da Simulação e Análise Probabilística de Risco

Em uma abordagem simplificada, podemos considerar que a Simulação e Análise Probabilística de Risco é realizada em duas etapas: a Análise Qualitativa e a Análise Quantitativa.

Na Análise Qualitativa as incertezas consideradas no processo são transformadas em Riscos. Através da Análise Qualitativa são especificadas distribuições de probabilidade para cada uma das variáveis do processo que foi considerada como incerteza. Estas distribuições de probabilidade são os Riscos que serão analisados através de Simulação.

Os Riscos considerados para a Análise de Custos e Benefícios através da Análise e Simulação Probabilística de Risco são especificados na tabela a seguir, onde a coluna mais a direita corresponde a distribuição de probabilidade considerada.

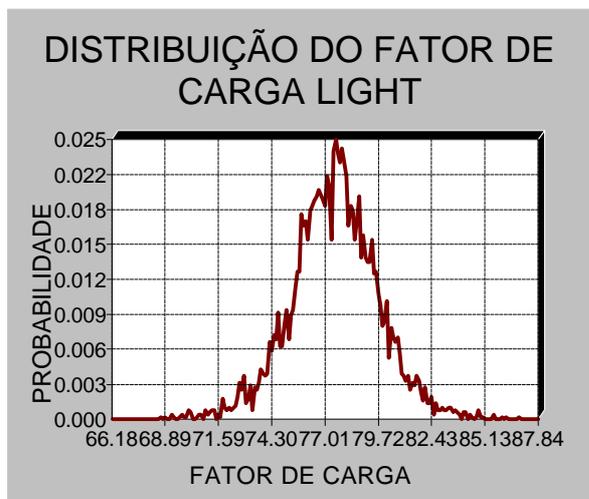
A Análise Quantitativa realiza a Simulação de todos os resultados considerando todas as possíveis realizações e inter-relações dos Riscos (distribuições de probabilidade) envolvidos. Correlações entre as distribuições de probabilidade são consideradas. Na Análise Quantitativa os resultados da planilha de Custos e Benefícios do item anterior passam a ser apenas uma iteração da Simulação a ser realizada. São realizadas tantas iterações quantas necessárias para garantir uma convergência dos resultados.

A Simulação foi considerada como convergindo quando a média, o desvio padrão e todos os percentis dos Riscos considerados e dos Resultados a serem

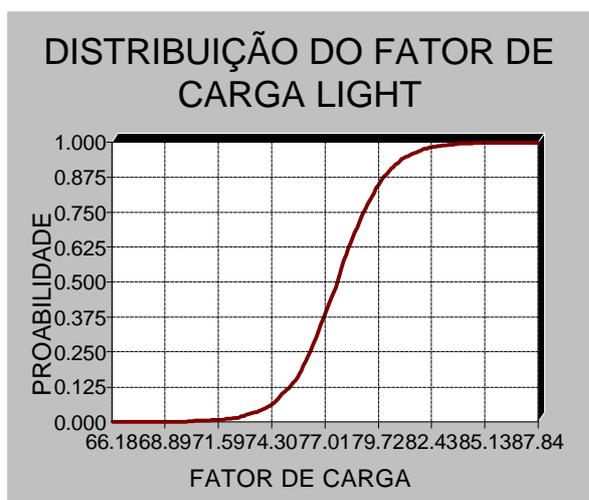
analisados não variavam mais do que 1,5% a cada 100 iterações. Na Simulação realizada a convergência ocorreu com aproximadamente 5000 iterações.

O resultado da Simulação é uma distribuição de probabilidades. No caso da Simulação para Análise de Custos e Benefícios o resultado é a distribuição de probabilidades da Relação de Benefício / Custo. Estes resultados costumam ser apresentados em forma de curvas de distribuição acumuladas de probabilidade.

A Análise Qualitativa determinou, por exemplo, a partir de dados da Light a curva do gráfico abaixo para a Distribuição do Fator de Carga Mensal da Light.



Esta curva foi bem representada por uma distribuição de probabilidade Logística que é apresentada no gráfico de probabilidades acumuladas abaixo onde podemos notar o Fator de Carga Médio Mensal da Light (77,49) e as probabilidades de ocorrência de valores abaixo (0,375) ou acima (0,625) deste valor médio.



A distribuição da Demanda Disponibilizada foi resultado de uma Análise e Simulação Probabilística de Risco considerando os dados da Pesquisa de Posses e Hábitos realizada pela PUC/RJ. A distribuição de probabilidades resultante da Simulação com dados da Pesquisa de Posses e Hábitos foi utilizada como entrada da Simulação para Análise de Custos e Benefícios. O gráfico a seguir apresenta a curva de probabilidades acumuladas da Distribuição da Demanda Disponibilizada onde podemos perceber a Demanda Disponibilizada Média (0,35) e as probabilidades de ocorrência de valores abaixo (0,750) ou acima (0,250) deste valor médio.



4.0 Resultados e a Efetividade nas Decisões

O resultado da Análise e Simulação Probabilística de Risco para a Análise de Custos e Benefícios é apresentado no final deste item na forma da curva de probabilidades acumuladas da Relação de Benefício / Custo da Expansão do Projeto Piloto.

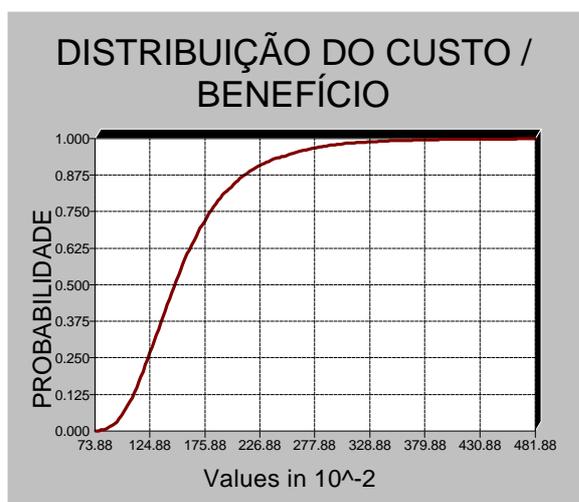
Da análise dos resultados percebemos uma probabilidade de 0,0782 de ocorrência de valores para Relação Benefício / Custo abaixo de 1 e uma probabilidade de 0,9618 para Relações de Benefício / Custo acima de 1.

A Análise e Simulação Probabilística de Risco permite ainda, através da Análise de Cenários, determinar quais variáveis e em que valores precisam ser controladas para se obter resultados específicos. No caso da Expansão do Projeto Piloto da Light a efetividade nas decisões é plenamente alcançada quando realizamos Análises de Cenários identificando que:

- Só teremos uma Relação de Benefício/Custo menor do que 1 se considerarmos o Período de Vigência do Desconto entre 9,7 e 12 meses e

Disponibilizarmos a Demanda unicamente para o Setor Industrial.

- Para obtermos uma Relação de Benefício / Custo maior do que 1,5 basta considerarmos o Período de Vigência do Desconto entre 4 e 6,2 meses.
- Para uma Relação de Benefício / Custo superior a 2 devemos ter o Período de Vigência do Desconto entre 4 e 5,9 meses e Disponibilizar a Demanda unicamente para o Setor Residencial.
- Se estivermos preocupados em obter uma Relação de Benefício\Custo maior do que 3,3 precisamos nos preocupar com o Desconto Oferecido ao Cliente e a com a Disponibilização da Demanda.



5.0 Conclusão

A Análise e Simulação Probabilística de Risco permite especificar a probabilidade de ocorrência para todos os valores possíveis da Relação de Benefício / Custo. Assim, a Relação de Benefício / Custo pode ser associada a uma medida de Risco ou probabilidade de ocorrência. A especificação de probabilidades de ocorrência é primordial para a efetividade nas decisões.

ANEXO 1

Input Variables:

Cell	Name	Current
!K2	Controlador	Triang(160,180,230)
!L7	Desconto fixado	Triang(7.72,(7.72+\$M\$25)/2,\$M\$25)
!L8	Período em meses	Triang(4,6,12)
!F14	Taxa de atratividade	Discrete({0.12,0.15,0.18},{0.33,0.33,0.33})
!F15	Vida útil (ano)	Discrete({14,15,16},{0.33,0.33,0.33})
!F16	FRC	Discrete({0.14339,0.14682,0.15087,0.16795,0.17102,0.17469,0.
!F18	Tarifa aplicada da Light	Discrete({137.08,54.14,108.01,71.07},{33.6,33.8,21.3,11.3})
!F19	Fc(%)=Fator de Carga	Logistic(77.49,1.22)
!M23	período em meses / B/Ce	Triang(4,6,12)
!M27	desconto mensal / B/Ce	Triang(7.72,(7.72+\$M\$25)/2,\$M\$25)
!C43	Potência Média CHUV	Triang(2200,3500,4400)
!E43	Minutos	Triang(5,10,20)
!C57	Potência Média GELAD	Triang(130,200,250)
!E57	Horas	Triang(9,10,12)
!C62	Potência Média FREEZER	Triang(150,200,300)
!E62	Horas	Triang(9,10,12)
!C68	Potência Média AR	Triang(1100,1300,1600)
!C81	Potência Média TV	Triang(50,60,70)
!Z89	Potência Média SOM	Triang(20,30,40)
!Z90	Potência Média FERRO	Triang(1000,1100,1150)
!Z91	Potência Média L. ROUPA	Triang(700,900,1000)
!Z92	Potência Média M.ONDAS	Triang(1300,1400,1500)

ANEXO 2

Custos Piloto		B/C	Benefícios		Custo Expansão	B/Ce
Controlador	137500.00 68750.00		Custo Marginal	92.01	Controlador	190
Outros	91087.31 45543.66		Ganho (kW)	0.34	Outros	9.5
	228587.31 114293.66		Postergação Investim	31.46		199.5
qtd de pontos	500 228.58731		(PI = GM*CMg)		qtd de pontos	4000
	39.23	0.80		31.46		34.2371
Desconto médio mês	7.7189159		Energia dispo	2.321	Desconto fixado	18.7668
Desconto anualizado	92.626991		(ED = GM*Fc*8760)		Período em meses	7
			Valor da ED (ED*Tar)		Desconto anualizado	137.623
	131.8559	1.92		221.41 252.87		171.86
						1.47

CMg=Custo Marginal de capacidade na ponta (kW.ano)= 92.01
 Horas no ano= 8760
 Taxa de atratividade (ou de desconto ou de juro)= 15%
 Vida útil (ano)= 15
 FRC=Fator de Recuperação de Capital (15%,15anos)= 0.17161444
 ED (MWh)=Energia Disponibilizada=GM*Fc*8760
 Tar (R\$/MWh)=Tarifa aplicada da Light 95.39524
 Fc(%)=Fator de Carga Médio Mensal 77.49
 PI (R\$)=Postergação de Investimento=GM*CMg
 GM (kW)=Ganho de Modulação de Demanda 0.34

desconto maximo = 257.31 - 34.14 = 218.63
 =beneficio -custo
 desconto varia de 7.72 ao maximo
 antes selecionar meses e dividir beneficio

periodo em meses 7
 desconto maximo total 218.63
 desconto máximo mensal 29.814
 desconto mínimo mensal 7.72
 desconto mensal 18.767
 desconto anualizado 137.62