



**GRUPO IX  
GRUPO DE ESTUDOS DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS (GOP)**

**MODELOS DE ANÁLISE DE RISCOS:  
UMA NOVA CLASSE DE FERRAMENTAS**

**Leontina Pinto ★  
ENGENHO**

**Manuel Freitas**

**Acácio Ribeiro  
UFJF**

**Oscar Fernandez  
EPM**

**RESUMO**

Este trabalho discute a estrutura de preços de uma empresa considerando as incertezas associadas aos cenários futuros. A teoria econômica clássica é apresentada e estendida de modo a calcular os riscos de ganhos, perdas ou qualquer outro índice de qualidade de um negócio. Um caso exemplo ilustra a aplicação do modelo proposto ao cálculo do preço da energia elétrica, apontando suas principais vantagens.

**PALAVRAS-CHAVE:**

Mercados Desregulados, Análise de Riscos, Incertezas, Fuzzy Sets

**1.0 O DESAFIO DA TOMADA DE DECISÃO A LONGO PRAZO**

Muitos dos atuais desafios a serem vencidos pelo setor elétrico relacionam-se com a nova realidade: desregulamentação e competição. O desempenho de uma companhia é medido não só pela qualidade de seu produto (energia elétrica) mas pela qualidade de seus negócios: bons clientes, contratos lucrativos, baixos riscos.

O estabelecimento do preço da energia elétrica pode ser visto como um desafio até agora não enfrentado pelo setor. As incertezas de longo prazo - já enormes no modelo antigo - somam-se às de curto e médio prazo: a entrada (ou não) de novos concorrentes (por exemplo, o gás, os pequenos produtores), o cronograma de privatizações e as filosofias das novas empresas, o comportamento dos clientes e competidores - enfim, é necessário agora enfrentar o desconhecido, e vencê-lo.

**2.0 A ANÁLISE DE RISCOS**

Sabe-se que o estabelecimento do preço de energia elétrica é sempre associado a um risco:

- Um preço baixo pode levar a severos prejuízos, na ocorrência de cenários adversos onde os custos de produção são muito altos.
- Um preço alto pode levar a outro tipo de riscos, mortal para uma companhia: a perda do negócio.

Sabe-se que decisões conservativas costumam estar associadas a baixos lucros e riscos; o desejo de lucros mais altos normalmente implica na necessidade de tomar riscos maiores. O agente decisor deverá escolher a opção que melhor se enquadre nas filosofias e objetivos da empresa.

**3.0 UMA NOVA CLASSE DE FERRAMENTAS**

A nova realidade requer uma nova classe de modelos, capaz de responder a perguntas como:

- Qual o preço de oferta para garantir um risco máximo admissível X de prejuízos?
- Qual é o máximo preço que devo cobrar de modo a ganhar o negócio?

Sabe-se que os modelos tradicionais, projetados e desenvolvidos para sistemas centralizados, calculam a decisão que otimiza o valor esperado dos objetivos da empresa (mínimo custo, por exemplo). Esta filosofia leva, evidentemente, a prejuízos (se os cenários forem mais adversos) ou a lucros (se os cenários forem mais brandos). Desta forma, os riscos de custos maiores que o valor esperado são enormes (grosseiramente 50%), demasiados para uma empresa que se quer lucrativa.

Sempre haverá o argumento que, em média, lucros e perdas se compensam. Esta é a filosofia de uma empresa estatal que pode, em nome do ótimo para a sociedade, suportar anos de prejuízos em troca de futuras compensações (que podem nunca se realizar, uma vez que o cálculo foi feito sobre cenários hipotéticos). Uma empresa privada, ao contrário, não aceitaria um longo período "no vermelho" em troca da esperança (não garantida) de lucros futuros.

A outra opção tradicional é o mínimo arrependimento - basicamente a estratégia que leva a um risco mínimo de perdas. Sabe-se, porém, que esta estratégia (certamente mais segura) leva a preços muito mais altos (o "preço da segurança"). Novamente, uma empresa estatal pode tomar esta decisão se considerar conveniente arcar com este custo para garantir o suprimento à sociedade. Entretanto, uma companhia privada que tentasse repassar este custo a seus clientes poderia simplesmente perdê-los.

Novos problemas demandam novas soluções. Este trabalho apresenta uma nova ferramenta para a Análise de Riscos, capaz de auxiliar o agente de decisão a escolher a estratégia mais adequada a seus objetivos.

#### 4.0 A TEORIA ECONÔMICA CLÁSSICA

A referência [1] resume os fundamentos da Teoria Econômica Clássica do Equilíbrio de Mercado, mais aprofundada em [2-4]. De uma forma intuitiva, pode-se dizer que o preço de equilíbrio  $P^*$  associado a uma demanda  $D^*$  é atingido quando a curva de custos de produção  $c(D)$  intercepta a curva de disposição a pagar (ou utilidade)  $u(D)$  do consumidor.

É possível notar que, fora do equilíbrio, há um lucro sempre que a produção é menor que a demanda de equilíbrio e um prejuízo sempre que a oferta excede a demanda de equilíbrio. Este fato sugeriria, em princípio, um sinal interessante para o gerenciamento da demanda, sugerindo incentivos ou restrições de forma a direcioná-la para o equilíbrio.

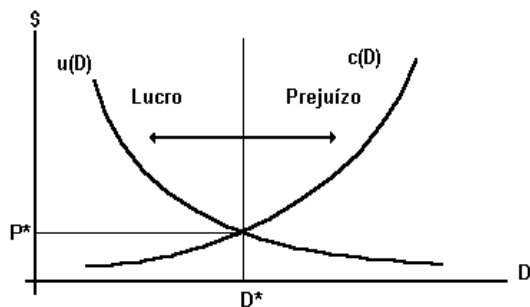


FIGURA 1: EQUILÍBRIO DE MERCADO

Entretanto, por mais atraente e intuitiva que seja, a aplicação desta teoria ao cálculo do preço da energia elétrica esbarra em uma dificuldade técnica: como construir curvas de custos e utilidades confiáveis, tantas são as incertezas envolvidas?

A próxima seção analisa este problema e propõe um modelo para a sua solução.

#### 5.0 O IMPACTO DAS INCERTEZAS

Sabe-se que a função de custos depende de fatores sujeitos a um enorme leque de incertezas, como a entrada de novos geradores, a expansão do sistema e as tecnologias utilizadas, hidrologias futuras, etc. O próprio programa de privatização deverá ter um impacto significativo no mercado e nos seus custos de produção.

Por outro lado, a função utilidade (a disposição a pagar) do consumidor é uma incógnita muitas vezes para o próprio cliente, que só recentemente foi iniciado no processo de negociações. Em muitos casos, o real valor da energia varia de acordo com fatores como índices econômicos, ingressos e salários, necessidades da indústria, etc., e sua previsão é sujeita a erros consideráveis.

#### 5.1 Impacto das Incertezas nos Custos de Produção

Este trabalho considera a impossibilidade de aplicar uma modelagem probabilística aos cenários futuros - seria absurdo, por exemplo, pedir ao planejador que calcule a probabilidade da entrada de um gerador a gás ou de uma vazão afluyente. Ao contrário, utiliza-se um modelo baseado em lógica fuzzy [5,6,7] para definir uma faixa de possibilidades associadas a um leque de possíveis cenários futuros.

Como resultado, a consideração das incertezas nos custos de produção transforma a curva  $c(D)$  em uma família de curvas que compõe a *região C de custos de produção* como ilustrado na Figura 2.

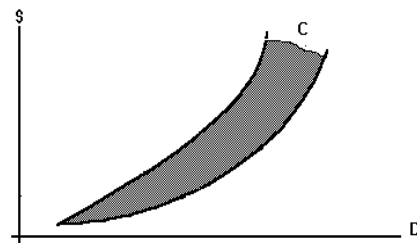


FIGURA 2: REGIÃO DE POSSIBILIDADES DE CUSTOS DE PRODUÇÃO

## 5.2 Impacto das incertezas na Função Utilidade

A mesma lógica fuzzy é aplicada para construir a região  $U$  de possibilidades da Utilidade do Consumidor, ilustrada na Figura 3

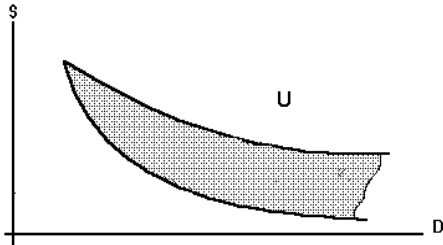


FIGURA 3: REGIÃO DE POSSIBILIDADES DA UTILIDADE

## 5.3 O Equilíbrio de Mercado

A superposição das duas regiões de possibilidades mostra que não existe mais um ponto de equilíbrio de mercado, mas uma região onde este equilíbrio pode estar, dependendo do cenário de custos e utilidades. Esta região, chamada a região  $E$  de possibilidades de equilíbrio, é ilustrada na Figura 4.

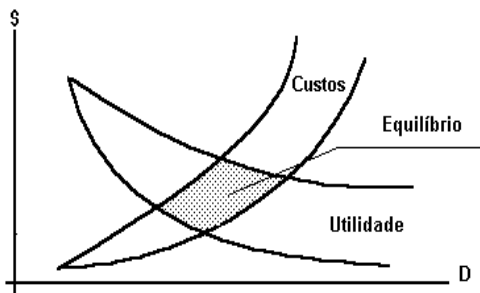


FIGURA 4: REGIÃO DE POSSIBILIDADES DE EQUILÍBRIO

## 6.0 O MODELO ECONÔMICO FUZZY

A utilização da lógica fuzzy no setor elétrico é hoje uma realidade [8], e têm-se mostrado mais eficientes e realistas [9,10] na representação de fenômenos onde a teoria probabilística normalmente falha: os de natureza não matemática, como o comportamento humano ou as leis da natureza, fundamentais para explicar as incertezas associadas, por exemplo, ao comportamento de competidores, consumidores ou mesmo aos preços de insumos e às vazões afluentes futuras.

Este trabalho é uma continuação das idéias discutidas em [1] e apresenta um modelo consolidado para a aplicação de fuzzy sets à definição da estrutura de preços de energia elétrica.

O modelo proposto associa a cada cenário de custos de produção e utilidade do consumidor as correspondentes possibilidades  $m_c$  or  $m_u$ . (conhecidas como função pertinência ou função pertinência na teoria fuzzy). A Figura 5 ilustra a função de possibilidades de custos associada à demanda  $D'$ . É importante notar que o modelo permite o tratamento de qualquer curva que represente corretamente a função: uma normal, uma triangular, uma retangular, etc.

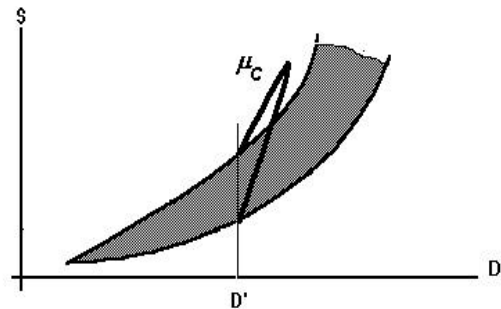


FIGURA 5 - FUNÇÃO POSSIBILIDADE  $m_c$

A possibilidade de um cenário futuro  $s'$  associado à ocorrência simultânea do custo  $c'$  e da utilidade  $d'$  é dada por

$$m_{s'} = m_{c'} + m_{u'} \quad (1)$$

## 7.0 A ANÁLISE DE RISCOS

A determinação da estrutura de preços de uma companhia é uma tarefa bastante complexa, e requer análises multidisciplinares de objetivos e filosofias nem sempre matematicamente rígidas. Este trabalho não pretende descrever detalhadamente o modelo completo desenvolvido, mas apresentar resumidamente seus princípios básicos.

Intuitivamente, pode-se dizer que o preço de oferta de um produto

Deve cobrir os custos da empresa

Deve ser suportável e, se possível, atraente ao consumidor

Este artigo utilizará estes dois princípios como a filosofia básica da construção da estrutura de preços da empresa. Evidentemente, é necessário reiterar que o cálculo realista do preço da energia elétrica deverá considerar todos os fatores envolvidos (qualidade de fornecimento, custos de investimentos e comercialização, taxas de retorno, atendimento ao cliente, filosofias de competição, consideração de mercados de curto prazo e futuros, prazos, garantias, apenas para citar alguns)

### 7.1 A Recuperação ds Custos de Suprimento

De maneira geral, é melhor perder um negócio que concretizá-lo de forma desvantajosa. É melhor não fechar um contrato que oferecer o produto a preços que gerem prejuízos. Assim, um primeiro patamar para o preço de oferta poderia ser a recuperação dos custos necessários para o fornecimento do produto (aí incluídos, se desejado, os investimentos e encargos).

A Figura 6 ilustra a análise do preço de oferta  $P'$  para um contrato de suprimento a uma demanda  $D'$ , cujo custo é representado (pelo modelo fuzzy) pela função  $m_c$ . É possível notar que a empresa terá lucro sempre que os custos forem menores que o preço de oferta e prejuízo nos outros cenários.

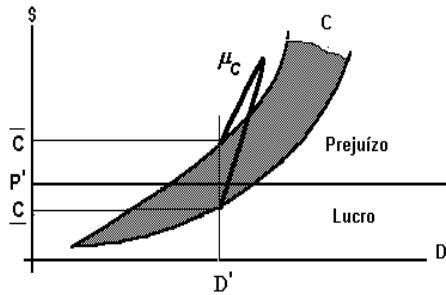


FIGURE 6 – PREÇO BASEADO EM CUSTOS

Um preço de oferta  $P'$  leva a um *risco de prejuízos* para a empresa  $f_p$  dado pela integral das possibilidades de que os custos sejam maiores que o preço pedido

$$f_p = \int_{P'}^{\bar{C}} m_c \quad (2)$$

O *prejuízo mais plausível*  $Pmp$  é dado pelo centróide da região de possíveis prejuízos

$$Pmp = \frac{\int_{P'}^{\bar{C}} (C - P') m_c}{\int_{P'}^{\bar{C}} m_c} \quad (3)$$

Analogamente, a *possibilidade de lucros*  $f_L$  é dada por

$$f_L = \int_{\underline{C}}^{P'} m_c \quad (4)$$

e o *lucro mais plausível*  $Lmp$  é calculado como

$$Lmp = \frac{\int_{\underline{C}}^{P'} (C - P') m_c}{\int_{\underline{C}}^{P'} m_c} \quad (5)$$

### 7.2 O Custo da Oportunidade

A maioria dos mercados jovens (inclusive o Brasil) não tem ainda uma experiência acumulada que permita uma negociação madura. Na América Latina, em geral, uma combinação de fatores, que incluem baixo custo de produção e a escassez de oferta, fazem com que a disposição do consumidor a pagar pelo produto seja normalmente muito maior que o seu preço efetivo. Os dados disponíveis mostram que, ao menos a curto prazo, a elasticidade da demanda é próxima a 1 - o que significa grosseiramente que o aumento do preço não reduziria o consumo. Este fato pode ser comprovado pelas diversas campanhas do governo para a redução do consumo e o combate ao desperdício.

Neste contexto, a teoria do equilíbrio do mercado perde um pouco o sentido, já que, para as demandas reais, as regiões de custos e utilidades não se interceptariam. Uma visão puramente econômica de negócios em mercados com este comportamento sugeriria a utilização do "custo de oportunidade", onde o supridor cobra não pelo seu custo mas pelo valor (utilidade, oportunidade) que este produto oferece ao consumidor.

A análise do custo de oportunidade assume que a utilidade para o consumidor é sempre maior que o custo de produção. Pode-se portanto prescindir da região de possibilidades de custos para centrar o estudo unicamente na de utilidades.

A Figura 7 apresenta a região  $U$  da utilidade de um mercado, onde as possibilidades de utilidade para a demanda  $D'$  são dadas pela função  $m_u$ .

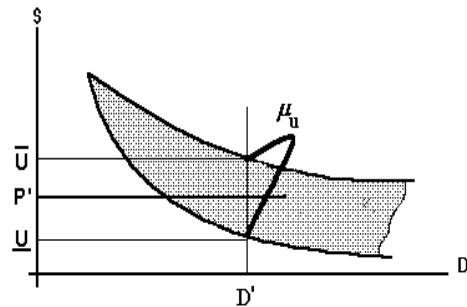


FIGURA 7: PREÇO BASEADO EM CUSTOS DE OPORTUNIDADE

A possibilidade de falha do negócio  $f_f$  exprime o risco de perda do cliente e é dada pela integral das possibilidades que a utilidade do consumidor seja menor que o preço de oferta  $P'$

$$f_f = \int_{\underline{U}}^{P'} m_u \quad (6)$$

Analogamente, a possibilidade de sucesso do negócio  $f_s$  é dada pela integral das possibilidades de que a utilidade para o consumidor seja maior que o preço de oferta

$$f_s = \int_{P^*}^{\bar{U}} m_u \quad (7)$$

### 7.3 Extensões Adicionais

As possibilidades de extensão do modelo básico são inúmeras, de acordo com as metas de cada empresa e suas filosofias de negócio. É possível, por exemplo, considerar o comportamento da concorrência, dos diversos agentes do mercado e dos órgãos reguladores.

Adicionalmente, o modelo fuzzy de Análise de Riscos apresentado está sendo utilizado como o módulo básico de cálculo para implementações mais sofisticadas, como a obtenção de portfólios de clientes, produtos, fornecedores e investimentos. Estima-se que, com o amadurecimento do mercado e identificação de novas necessidades, novas aplicações sejam desenvolvidas.

## 8.0 CASO ESTUDO

### 8.1 Considerações Iniciais

O mercado brasileiro é ainda muito recente e não dispúnhamos, quando da confecção deste artigo, para um caso-exemplo realista que permitisse uma análise confiável.

Analisaremos, assim, a aplicação do modelo ao mercado colombiano. Embora os dados apresentados sejam reais, alguns parâmetros-chave foram ligeiramente modificados ou omitidos, de forma que os resultados apresentados não reflitam os custos ou as filosofias de negócio das empresas. Desta forma, preserva-se a confidencialidade das companhias sem perder de vista a análise realista do estudo.

Ainda para preservar informações confidenciais, não são apresentadas as incertezas associadas a custos de combustíveis, comportamento do consumidor e aspectos legais. O estudo apresenta basicamente dados de incertezas associadas a demandas e hidrologias futuras.

### 8.2 O Sistema Estudado

O sistema em estudo é composto por cinco usinas hidráulicas (capacidade total instalada de 1500 MW) e uma térmica (com capacidade instalada de 250 MW). Os custos de investimentos e comercialização, embora possam ser trivialmente tratados pelo modelo, foram omitidos.

São considerados nove possíveis cenários de demanda, de acordo aos possíveis contratos a serem negociados pela empresa, com função de pertinência retangular (o que significa que cada cenário tem igual possibilidade)

TABELA 1 – POSSÍVEIS CENÁRIOS DE DEMANDA

Cenário	Demanda (GWh)
1	510
2	612
3	734
4	807
5	888
6	933
7	979
8	1028
9	1080

São ainda considerados nove possíveis cenários hidrológicos. A Figura 8 apresenta a região de possibilidades de custos em função da demanda atendida

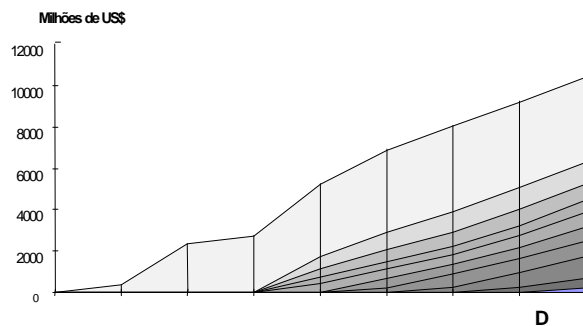


FIGURA 8 - REGIÃO DE POSSIBILIDADES DE CUSTOS

### 8.3 O Cálculo do Preço de um Contrato

Analisaremos aqui o preço de oferta para um contrato de suprimento de 10 000 GWh. O valor esperado do custo de atendimento de é, grosseiramente, US\$ 1800 milhões. O modelo centralizado - e as ferramentas para ele projetadas - tenderiam a tomar este preço, ou o custo marginal associado, como o justo para remunerar a empresa.

A Análise de Risco, ilustrada na Figura 9, fornece informações mais completas e resultados bastante diferentes. Sabe-se que o risco teórico de prejuízo associado ao custo esperado de suprimento é 50% - muito alto para qualquer empresa. Supondo-se que, de acordo com os critérios da companhia, o risco máximo admissível é igual a 0.05 (5%), o modelo proposto calcula o novo preço de oferta: US\$ 4000 milhões - em outras palavras, mais que o dobro do preço anterior.

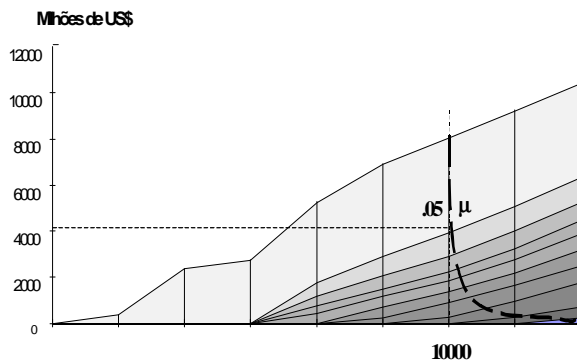


FIGURA 9 - ANÁLISE DE RISCOS

É interessante discutir o dilema do agente tomador de decisão. Por um lado, um preço tão alto pode fazer com que um concorrente faça uma oferta melhor e ganhe o cliente. Por outro lado, de nada vale tomar o contrato se isto implica em prejuízos. É necessária uma análise criteriosa, à luz de vários indicadores (ganho do cliente, imagem da companhia, riscos, etc.) e buscar a decisão mais adequada aos objetivos da empresa.

## 9.0 CONCLUSÕES

Este trabalho discute a adequação das ferramentas tradicionais, projetadas para o antigo ambiente centralizado, à nova realidade do setor. Em nossa opinião, novos problemas pedem novas ferramentas, adequadas às características da realidade que se deseja representar e ao problema que se deseja resolver.

Apresentamos então uma nova classe de ferramentas, mais adequadas à nova realidade: a Análise de Riscos, capaz de analisar futuros cenários e representá-los corretamente: sem a utilização de probabilidades artificiais e sem lançar mão de históricos inexistentes ou pouco confiáveis. O modelo proposto é baseado na aplicação das modernas técnicas de fuzzy sets à teoria econômica clássica, e a ferramenta resultante pode ser vista como um instrumento eficiente, robusto e confiável no auxílio à tomada de decisões não só nas áreas de planejamento e operação como também na gerência, negociação e avaliação técnico-econômica de contratos e investimentos.

O caso-exemplo apresentado ilustra não só a aplicação do modelo proposto a um sistema real como também a comparação dos resultados obtidos com os conseguidos através dos modelos tradicionais.

## 10.0 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Como comentado anteriormente, o modelo proposto está, neste momento, sendo utilizado como módulo central de outros modelos para a gestão de portfólios de clientes, produtos, negócios e investimentos.

Pretende-se ainda utilizá-lo dentro de uma plataforma para a comercialização, integrando-o com os módulos de previsão de vazões [11], preços e demandas.

## 11.0 REFERÊNCIAS

- [1] PINTO, L; PIMENTA, A.; RIBEIRO, A., "A Comercialização da Energia Elétrica: O Ponto de Vista do Consumidor, da Empresa e do Produtor Independente", *XIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE)* (1997)
- [2] MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M.; GREEN, "Microeconomic Theory", Oxford, *Oxford University Press* (1995)
- [3] SHER, W.; PINOLA, R., "Modern Micro-Economic Theory", *North-Holland - New York*, (1986)
- [4] VARIAN, H.R., "Microeconomic Analysis". *W. W. Norton & Company- New York* (1992)
- [5] ZADEH, L.A., "Fuzzy Sets", *Information and Control* 8, (1965)
- [6] BUCKLEY, J.J. "Multiobjective Possibilistic Linear Programming", *Fuzzy Sets and Systems*, 35 (1990)
- [7] ZIMMERMANN, H.J, *Fuzzy Set Theory - and its Applications*, *Kluwer Academic Publishers Boston, Dordrecht, Lancaster* (1996)
- [8] CIPRIANO, A (editor); *Anais das II Jornadas Iberoamericanas de Informatica en Sistemas Eléctricos*, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia (1997)
- [9] PINTO, L., "Fuzzy Control of Electrical Systems", *V Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning (SEPOPE)*, pp.567-572 (1996)
- [10] FERNANDEZ, O.; PINTO, L.; "Evaluación de Proyectos en Mercados Competitivos", a ser apresentado no *ANDESCON'99*, Isla Margarita, (1999)
- [11] SZCZUPAK, J.; FLORES, R.; "Modelagem de Vazões Sujeitas ao Niño", a ser apresentado no *ANDESCON'99*, Isla Margarita, (1999)