

SENDI 2004
XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Modelagem para a Otimização do Planejamento Energético de Empresas Distribuidoras de Energia sob o enfoque do Novo Modelo do Setor Elétrico

F. R. Zanfelice
CPFL Companhia Paulista de Força e Luz
fabio@cpfl.com.br

P. S. F. Barbosa
Professor Titular -FEC-UNICAMP
franco@fec.unicamp.br

Palavras-chave: contratação de energia, otimização, leilões

RESUMO

A indústria de energia elétrica brasileira passou por um processo de liberalização de seu mercado iniciado em meados da década de 90 e, atualmente, está sob um novo processo de reestruturação regulatória.

A reestruturação do modelo está centrada na minimização do risco de déficit de suprimento, através do estímulo da oferta, e modicidade tarifária. Para tanto, cria um ambiente regulado favorável ao investimento privado na geração através da garantia da venda da energia via leilões .

Esta nova formatação restringe as opções de aquisição de energia das Distribuidoras, obrigando-as a contratar a totalidade de seu requisito neste novo ambiente regulado e imputando penalidades nos casos em que a necessidade de contratação for superior ao planejado. Este novo conceito de mercado exigirá destas empresas, além do refinamento da metodologia de previsão de mercado e carga, a busca de novas estratégias de contratação em consonância com a nova regulamentação.

Neste trabalho, apresenta-se a proposta de metodologia a qual possui como princípio determinar a alocação das quantidades contratadas e as metas de contratação de energia a menor custo possível explorando as flexibilidades dos contratos diante das oportunidades de ganho em função do preço de curto prazo.

1. INTRODUÇÃO

Em 1998 [1], foi instituída no Setor Elétrico Brasileiro a livre contratação de energia elétrica através de operações de compra e venda de energia entre os agentes de mercado. A partir deste momento, foi delegada ao agente da classe consumo, distribuidor ou consumidor livre, a opção pelo seu supridor de energia bem como as negociações de preço e suprimento constantes dos contratos bilaterais.

A restrição imposta pela Legislação então vigente recaía apenas sobre o percentual de contratação de longo prazo das Distribuidoras que não poderia ser inferior a 85% de seu requisito.

O advento da crise de suprimento de energia elétrica em 2001, culminou em uma série de questionamentos quanto ao processo de contratação de energia vigente e sua regulação levando a revisão dos limites mínimos de contratação de longo prazo e a forma na qual seriam estabelecidos os contratos de aquisição de energia pelas Distribuidoras.

Como resultado, do total da energia destinada ao atendimento de consumidores finais, 95% deve estar coberta por geração própria ou contratos de compra de energia com prazo mínimo de duração de 6 meses e, para toda a negociação bilateral de venda de energia, passou a ser necessária a apresentação de lastro de longo prazo [2] [3].

Além disso, foi restringida a aquisição de energia pelas Distribuidoras a Licitações promovidas periodicamente pelo Mercado Atacadista de Energia – MAE. [4]

Em 2003, o Governo Federal, através do Ministério de Minas e Energia – MME, lança o Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico tendo como foco principal a criação de uma estrutura e marco regulatório que possam atrair o investimento privado, a fim de garantir a expansão da oferta e do transporte necessárias, aliada a busca pela modicidade tarifária.

Dessa forma, a fim de criar condições favoráveis para atrair os investimentos, o Novo Modelo segmenta, do ponto de vista de comercialização de energia, o Setor Elétrico em dois ambientes, o primeiro, denominado Ambiente de Contratação Regulada – ACR, abrange todo o consumo cativo e o segundo, chamado Ambiente de Contratação Livre – ACL, representa a parcela do consumo dos Consumidores Livres.

A fim de atender a premissa da modicidade tarifária, a forma de contratação de energia no ACR é basicamente através de leilões regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL¹. Portanto, as Distribuidoras devem garantir o atendimento a totalidade de seu requisito e a única forma é mediante contratação regulada.

As opções de contratação definidas pela legislação são as seguintes [5]:

- 1) Leilões de Energia Existente: são leilões de energia de empreendimentos existentes com início de entrega no ano seguinte ao da licitação com período de suprimento de 3 a 15 anos;
- 2) Leilão de Energia Nova (3 anos): são leilões com início de suprimento de 3 anos após a licitação, com período de suprimento de 15 a 35 anos, destinados a novos projetos de geração. Nessa modalidade serão licitados os empreendimentos para a construção e os eleitos serão os que oferecerem o menor preço pela energia produzida;
- 3) Leilão de Energia Nova (5 anos): são leilões também destinados a novos projetos de geração mas com início de suprimento de 5 anos após a licitação e período de suprimento de 15 a 35 anos;
- 4) Leilão de Ajuste: são leilões com prazo máximo de 2 anos e quantidade de até 5% do requisito da Distribuidora destinados a dar cobertura a eventuais desvios em relação ao mercado projetado.

¹ Salvo a opção de contratação de geração distribuída constante do § 8º do Art 2º da Lei nº 10.848.

A figura 1 apresenta esquematicamente as opções de contratação da Distribuidora em um determinado ano.

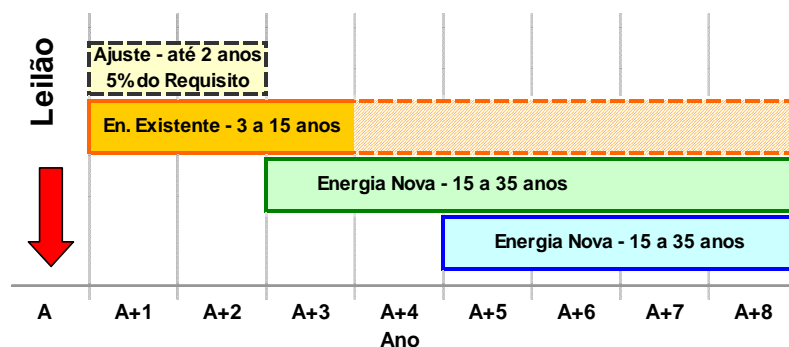


Figura 1 – Representação esquemática das opções de contratação das Distribuidoras no ACR

Dessa forma, cabe às Distribuidoras, bem como os Consumidores Livres ou qualquer outro agente que atenda a consumidores finais, informar suas necessidades para atendimento total seus requisitos e ao Governo homologar as quantidades de energia a serem licitadas.

Portanto, de um lado, a decisão da quantidade de energia a ser contratada é responsabilidade do agente que atende o consumidor final e, de outro, são oferecidas várias opções de contratação.

Evidentemente, o livre arbítrio dado aos agentes de consumo de optar por como e quando contratar não é nenhuma inovação uma vez que no passado recente as regras para a livre contratação eram menos restritas que a nova forma apresentada. Além disso, a regulamentação sugere que as necessidades de contratação sejam informadas antecipadamente para um horizonte de 5 anos impondo penalidade ao agente caso a realização do requisito seja superior ao planejado. No entanto, não podem ser relegados os mecanismos de ajuste propostos.

O presente trabalho não possui o intuito de discutir a forma de contratação apresentada pelo Novo Modelo mas sim apresentar soluções em consonância com a nova regulamentação.

Dessa forma, é apresentada uma proposta de metodologia para a otimização do planejamento energético das empresas distribuidoras sob o enfoque da nova estrutura do Setor Elétrico e com a finalidade de obter a alocação ótima das quantidades contratadas e as opções de leilões e respectivas quantidades de energia que minimizam a despesa total de compra de energia.

2. DESCRIÇÃO DO MODELO

A metodologia proposta tem o objetivo principal a alocação ótima das quantidades de energia de contratos existentes e a definição das opções de leilões e quantidades relacionadas que minimizam a despesa total de compra de energia de empresas distribuidoras ou grupo de empresas em um horizonte definido. Para tanto é baseada nos seguintes princípios:

Implementação das regras de mercado: são representadas todas as Regras de Mercado [6] pertinentes a contratação de energia, como por exemplo, sazonalização e modulação de Contratos Iniciais e Itaipu, bem como as penalidades por insuficiência de lastro de contratação;

Leilões de Compra de Energia: são modeladas todas as opções de leilões, limites e prazos segundo a legislação vigente;

Discretização dos resultados mensal por patamar: os resultados são discretizados mensalmente por patamar a fim de que possam ser exploradas todas as flexibilidades de sazonalização e modulação constante dos contratos.

Além disso, a metodologia prevê a simulação de mais de uma empresa, quer seja outra Distribuidora, Comercializadora ou Geradora, a fim de obter o ponto ótimo global de Grupos Empresariais que possuam mais de uma empresa operando no Setor Elétrico.

A formulação do modelo é descrita a seguir:

Função Objetivo:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^y \sum_{j=1}^{12} \frac{1}{(1+\beta)^\alpha} \left(\sum_{n=1}^w Pe_{j,i}^n \cdot \left(\sum_{p=1}^3 E_{j,i,p}^n \right) + \sum_{c=1}^x \left(Te_{CI_{j,i}}^c \cdot \sum_{p=1}^3 E_{CI_{j,i,p}}^c + Td_{CI_{j,i}}^c \cdot D_{CI_{j,i}}^c \right) + \left(T_{IT_{j,i}} \cdot D_{IT_{j,i}} \right) - \sum_{m=1}^z Pe_{j,i}^m \cdot \left(\sum_{p=1}^3 E_{j,i,p}^m \right) + Pe_{CP_{j,i}} \cdot \left(\sum_{p=1}^3 E_{CP_{j,i,p}} \right) + Pe_{LP_{j,i}} \cdot \left(\sum_{p=1}^3 E_{LP_{j,i,p}} \right) + \sum_{p=1}^3 \left(PMAE_{j,i,p} \cdot \left(CMAE_{j,i,p} - VMAE_{j,i,p} \right) \right) + \sum_{p=1}^3 \left(PEN_{j,i,p} \cdot SOBRA_{j,i,p} \right) \right) \quad (1)$$

Onde:

j: mês;

i: ano;

p: patamar de carga;

y: número de anos do horizonte de simulação;

n: contrato bilateral de compra de energia adquirido de empresas de partes não relacionadas, empresas de partes relacionadas não simuladas e opções de leilões de compra de energia;

c: Contrato Inicial;

m: contrato de compra de energia adquirido de empresas de partes relacionadas e simuladas;

Pe_{j,i}ⁿ: Preço de energia do contrato bilateral entre partes não relacionadas n no mês j, do ano i ;

E_{j,i,p}ⁿ: Quantidade de energia do contrato n no patamar p, do mês j, do ano i;

Te_{CI_{j,i}}^c: Tarifa de energia do contrato inicial c no mês j, do ano i;

E_{CI_{j,i,p}}^c: Quantidade de energia do contrato inicial c no patamar p, do mês j, do ano i;

Td_{CI_{j,i}}^c: Tarifa de demanda do contrato inicial c no mês j, do ano i;

D_{CI_{j,i,p}}^c: Quantidade de demanda do contrato inicial c no mês j, do ano i.

Td_{IT_{j,i}}: Tarifa de demanda de Itaipu, em R\$/Kw, no mês j, do ano i;

D_{IT_{j,i}}: Demanda associada ao contrato de Itaipu no mês j, do ano i;

Pe_{j,i}^m: Preço de energia do contrato entre partes relacionadas m no mês j, do ano i;

E_{j,i,p}^m: Quantidade de energia do contrato m (partes relacionadas) no patamar p, do mês j, do ano i;

Pe_{CP_{j,i}}: Preço de energia para compra de contratos de curto prazo no mês j, do ano i;

E_{CP_{j,i,p}}: Necessidade de compra de energia de contratos de curto prazo no patamar p, do mês j, do ano i;

Pe_{LP_{j,i}}: Preço de energia para compra de contratos de longo prazo no mês j, do ano i;

E_{LP_{j,i,p}}: Necessidade de compra de energia de contratos de longo prazo no patamar p, do mês j, do ano i;

PMAE_{j,i,p}: Preço MAE no patamar p, do mês j, do ano i;

CMAE_{j,i,p}: Compra de energia no MAE no patamar p, do mês j, do ano i;

VMAE_{j,i,p}: Venda de energia no MAE no patamar p, do mês j, do ano i;

PEN_{j,i,p}: Penalidade aplicada a sobra de energia no patamar p, do mês j, do ano i;

SOBRA_{j,i,p}: Sobra de energia no patamar p, do mês j, do ano i;

β: Taxa de desconto mensal;

α: Período expresso em número de meses

A função objetivo (1) pode ser formulada como uma simples minimização da despesa total de compra de energia de uma distribuidora como também o ponto ótimo de comercialização de um Grupo de empresas que possuem relacionamentos comerciais entre si. Dessa forma, a finalidade principal da metodologia proposta é reduzir ao máximo a despesa referente a contratos de partes não relacionadas e potencializar os ganhos internos do grupo explorando as flexibilidades dos contratos e os ganhos possíveis no MAE através da alocação de sobras de energia nos patamares de maior preço em detrimento de déficits em patamares de menor preço.

As variáveis E_{CP} e E_{LP} estão associadas às necessidades de compra de curto prazo e longo, respectivamente, e estão relacionadas às restrições de lastro de contratação apresentadas nas seções subsequentes.

1.1. Descrição das restrições

As principais restrições do modelo são definidas a seguir:

- Atendimento a Demanda;
- Restrições de insuficiência de lastro de contratação e insuficiência de lastro de venda;
- Quantidade anual de contratos;
- Limites de Sazonalização;
- Limites de Modulação;
- Relacionamento dos Leilões de Compra.

Restrição de Atendimento a Demanda

A restrição de atendimento a demanda garante que o requisito mensal, composto pela carga própria e contratos de venda, seja plenamente atendido e é dada pela seguinte equação:

$$\sum_{p=1}^3 \left(\sum_{n=1}^w E_{j,i,p}^n + \sum_{c=1}^x E_{CI,j,i,p}^c + E_{IT,j,i,p} + \sum_{m=1}^z E_{j,i,p}^m + E_{CP,j,i,p} + \right) = \sum_{p=1}^3 \left(\sum_{b=1}^v CV_{j,i,p}^b \right) \quad \text{para } j=1 \text{ a } 12, i = 1 \text{ a } y \quad (2)$$

Onde:

E_{IT,j,i,p}: é a parcela da energia vinculada a quota parte de Itaipu alocada no patamar p, do mês j no ano i;

CP_{j,i,p}: é Carga Própria da Empresa referida ao centro de gravidade no patamar p no mês j do ano i;

CV_{j,i,p}^b: é a quantidade de energia do contrato de venda b no patamar p, do mês j, do ano i;

v = é o número de contratos de venda de energia.

A variável SOBRA garante o fechamento do balanço da empresa sendo que na função objetivo esta variável está associada a um valor de penalidade que garante que não sejam alocadas quantidades de energia superiores aquelas necessárias para o pleno atendimento de seu requisito.

Restrição de insuficiência de lastro para atendimento ao consumidor final e contratos de venda

Estas restrições traduzem as regras e limites adotados para a aquisição de respaldo de contratação para o atendimento a consumidores finais e contratos de venda de energia constantes das Resoluções ANEEL nº 91/03 e 352/03. Portanto, a seguir, são apresentadas as restrições de lastro de contratação de longo e curto prazos.

Restrição de cobertura mínima de atendimento do consumo final

$$\sum_{p=1}^3 \left(\sum_{n=1}^g E_{j,i,p}^n + E_{LP_{j,i,p}} \right) - LIM_{Cons} \cdot \sum_{p=1}^3 (CP_{j,i,p}) \geq 0 \quad \text{para } j = 1 \text{ a } 12, i = 1 \text{ a } y \quad (3)$$

Restrição de cobertura mínima para contratos de venda

$$\sum_{p=1}^3 \left(\sum_{n=1}^r E_{j,i,p}^n + E_{LP_{j,i,p}} + E_{CP_{j,i,p}} \right) - LIM_{Cons} \cdot \sum_{p=1}^3 (CP_{j,i,p}) - LIM_{Cont} \cdot \sum_{p=1}^3 \left(\sum_{b=1}^v CV_{j,i,p}^b \right) \geq 0 \quad \text{para } j = 1 \text{ a } 12, i = 1 \text{ a } y \quad (4)$$

Onde:

g: número de contratos bilaterais de compra de energia com duração superior a seis meses;

r: número de contratos bilaterais de compra de energia com qualquer duração;

LIM_{Cons}: Limite mínimo de cobertura de consumo, definido pela ANEEL;

LIM_{Cont}: Limite mínimo de cobertura contratual, definido pela ANEEL.

Conforme já mencionado, as Distribuidoras deverão garantir o atendimento a totalidade de seu mercado mediante contratação de energia no ACR sob penalidade de descumprimento desta determinação, portanto, não é possível a aquisição de energia no MAE, através contratos de curto prazo ou qualquer outra forma não regulada. Dessa forma, as restrições supra citadas perderão seu efeito para estas empresas.

No entanto, para os demais agentes de mercado, apesar de também ser necessária a apresentação de lastro para todas as suas operações, há a possibilidade de compra de energia no ACL a preços de mercado.

Sendo assim, para efeito deste artigo, é mantida a formulação genérica mencionada, mas, para adequação a nova legislação, são atribuídos às variáveis LIM_{cons} e LIM_{cont} o percentual mínimo de 100%. Com relação aos preços de energia de curto e longo prazos Pe_{CP} e Pe_{LP}, respectivamente, no caso das Distribuidoras, associa-se a estas variáveis o valor correspondente ao Valor Normativo – VN, para os demais agentes atribui-se valores de mercado.

Restrição de Quantidade Anual

Esta restrição garante, para cada contrato, que a soma das parcelas mensais, por patamar, seja igual a quantidade anual contratada.

$$\sum_{j=1}^{12} \sum_{p=1}^3 E_{j,i,p}^x = Qa_i^x \quad \text{para } i = b \text{ a } z \quad (5)$$

Onde:

Qa_i^x: é a quantidade anual do contrato x para o ano i;

b: ano do início do suprimento do contrato;

z: ano de término do suprimento do contrato;

Restrição de Sazonalização

A restrição de sazonalização limita as quantidades mensais aos limites contratuais estabelecidos para alocação mensal da energia contratada. Em função dos diferentes tipos de contratos e limites são adotadas restrições específicas como, por exemplo, Contratos Iniciais, que possuem como limite a demanda contratada, ou outros contratos bilaterais que determinam uma faixa permitida para a sazonalização definida por percentuais máximo e mínimo da quantidade anual contratada. A representação genérica da restrição é dada pela equação (6).

$$\underline{LSaz}_j \leq \sum_{p=1}^3 E_{j,i,p}^x \leq \overline{LSaz}_j \quad \text{para } j = 1 \text{ a } 12, i = b \text{ a } z \quad (6)$$

Restrição de Modulação

A restrição de modulação limita a alocação da energia por patamar aos limites contratuais estabelecidos para modulação do contrato. Analogamente a restrição de sazonalização, as restrições de modulação possuem modelagem específica dependendo do contrato. Além disso, são contemplados tratamentos diferenciados para contratos como Itaipu e Contratos Iniciais que possuem procedimentos de modulação definidos pelas Regras do MAE. A representação genérica da restrição é dada pela equação (7).

$$\underline{LMod}_p \leq E_{j,i,p}^x \leq \overline{LMod}_p \quad \text{para } p = 1 \text{ a } 3, j = 1 \text{ a } 12, i = b \text{ a } z \quad (7)$$

Modelagem dos Leilões de Compra

Todos os leilões de compra são contemplados na modelagem como opções de compra da Distribuidora, portanto, estão representados na função objetivo como qualquer outro contrato, mas possuem restrições específicas para que seja possível a identificação de uma combinação de contratos que mais se adeque às necessidades da Distribuidora ao menor custo. O grande problema observado na formulação dos leilões reside no fato de que a legislação não determinou períodos de suprimento bem definidos e sim, prazos mínimos e máximos como, por exemplo, ocorre com o leilão de energia existente, que pode ter sua vigência definida de 3 a 15 anos, ou os de energia nova, que podem ter duração entre 15 a 35 anos. A princípio a consideração destas características levaria a introdução de restrições não lineares ao sistema.

Outro aspecto relevante são os preços adotados. É evidente que em um mesmo processo de licitação o preço de um contrato de 15 anos pode não ser o mesmo de um contrato com período de suprimento de 25 ou 35 anos.

Dessa forma, a solução encontrada para a representação correta dos leilões foi a discretização de cada um dos leilões em opções de compra com períodos de suprimento definidos. Como exemplo, o leilão de energia existente para um determinado ano, que possui vigência mínima de 3 anos e máxima de 15 anos, é representado como 13 opções de compra com período de suprimento definidos conforme ilustra a figura 2.

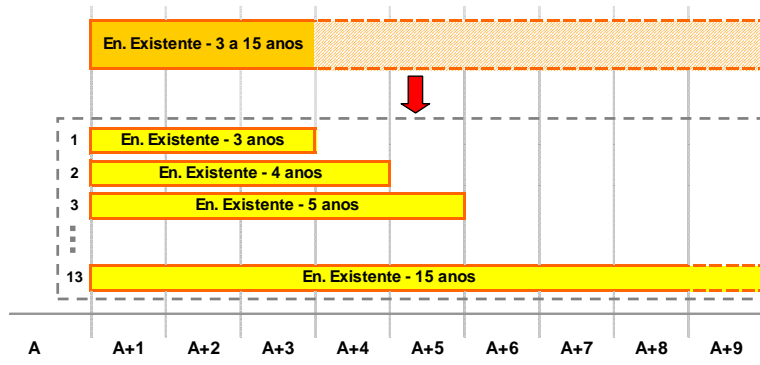


Figura 2 – Discretização dos Leilões de compra

São adicionadas restrições ao modelo a fim de que sejam respeitados o mesmo valor e continuidade das quantidades contratadas durante o período de suprimento, bem como os limites de modulação e sazonalização conforme demonstrado a seguir:

$$\sum_{j=1}^{12} E_{j,i,p}^L - \sum_{j=1}^{12} E_{j,i+1,p}^L = 0 \quad \text{para } i = d \text{ a } s-1 \quad (8)$$

$$Nh_i \cdot \sum_{p=1}^3 E_{j,i,p}^L - LSMin_j \cdot Nh_j \cdot \sum_{j=1}^{12} E_{j,i,p}^L \geq 0 \quad \text{para } j = 1 \text{ a } 12, i = d \text{ a } s \quad (9)$$

$$Nh_i \cdot \sum_{p=1}^3 E_{j,i,p}^L - LSMax_j \cdot Nh_j \cdot \sum_{j=1}^{12} E_{j,i,p}^L \leq 0 \quad \text{para } j = 1 \text{ a } 12, i = d \text{ a } s \quad (10)$$

$$Nh_j \cdot E_{j,i,p}^L - LMMin_j \cdot Nh_p \cdot \sum_{p=1}^3 E_{j,i+1,p}^L \geq 0 \quad \text{para } p = 1 \text{ a } 3, j = 1 \text{ a } 12, i = d \text{ a } s \quad (11)$$

$$Nh_j \cdot E_{j,i,p}^L - LMMax_j \cdot Nh_p \cdot \sum_{p=1}^3 E_{j,i+1,p}^L \leq 0 \quad \text{para } p = 1 \text{ a } 3, j = 1 \text{ a } 12, i = d \text{ a } s \quad (12)$$

Onde:

d: representa o ano de início de suprimento do Leilão L;

s: representa o último ano do período de suprimento do Leilão L;

LSMin_j: representa o limite mínimo de sazonalização dado em % do valor anual contratado dividido pelo número de horas do ano;

LSMax_j: representa o limite máximo de sazonalização dado em % do valor anual contratado dividido pelo número de horas do ano;

LMMin_j: representa o limite mínimo de modulação dado em % do valor mensal contratado dividido pelo número de horas do mês;

LMMax_j: representa o limite máximo de modulação dado em % do valor mensal contratado dividido pelo número de horas do mês;

Nh: representa o número de horas do patamar, mês ou ano;

A equação (8) garante que as quantidades anuais da opção selecionada sejam iguais durante a vigência do contrato. As inequações (9) a (12) mantêm a alocação das quantidades mensais e por patamar dentro dos limites pré-estabelecidos independentemente da quantidade anual contratada. Esta formulação oferece ao modelo, total flexibilidade para que sejam atribuídas quaisquer quantidades a qualquer opção de leilão.

3. ESTUDO DE CASO

A utilização do modelo requer o levantamento prévio de algumas informações essenciais como o requisito a ser atendido, sua projeção ao longo do período de simulação em base mensal por patamar; os contratos existentes, seus respectivos preços e flexibilidades de sazonalização e modulação; as características dos leilões e, por fim, a evolução do cenário macroeconômico para o ajuste dos preços.

Neste estudo de caso é considerada uma empresa Distribuidora com um requisito anual de aproximadamente 37.000 GWh. O recurso contratado é apresentado na tabela 1. Com relação aos preços adotados, para Itaipu, são baseados em um cenário da evolução da taxa de câmbio sendo a tarifa, em US\$/kW, mantida constante por todo o período. Já para os contratos iniciais, como para os contratos bilaterais, adotam-se preços selecionados a partir das notas técnicas das diversas revisões tarifárias [7], conforme demonstrado na tabela 2. As principais características contratuais são apresentadas na tabela 3. A Figura 3 apresenta o balanço energético da Distribuidora identificando as necessidades futuras de contratação para um crescimento do requisito de 3% ao ano.

Tabela 1 – Informações da Quantidade de Energia Contratada e Flexibilidade dos Contratos

	Quantidades Contratadas (GWh)									
	2.005	2.006	2.007	2.008	2.009	2.010	2011	2012	2013	2012 a 2015
Itaipu	12.115	12.115	12.115	12.149	12.115	12.115	12.115	12.115	12.115	12.115
Contratos Iniciais	7.337									
A	2.407									
B	2.729									
C	718									
D	922									
E	561									
Bilaterais	19.436	15.700	15.700	14.440	14.400	12.114	4.572	2.292		
F	6.858	9.144	9.144	9.169	9.144	6.858	4572	2.292		
G	3.942	5.256	5.256	5.270	5.256	5.256				
H	1.299	1.299	1.299	0	0	0				
Recurso Total	31.552	27.815	27.815	26.588	26.516	24.230	16.688	14.441	12.115	31.552

Tabela 2 – Preços dos contratos adotados

	Preços e Tarifas dos Contratos		
	Tarifas		Preços Energia
	Energia	Demanda	
	R\$/MWh	R\$/kW	R\$/MWh
Contratos Iniciais			
A	65,87	5,09	
B	66,44	5,14	
C	66,21	5,12	
D	65,81	5,09	
E	39,24	13,98	
Bilaterais			
F			109,94
G			126,11
H			74,41

Tabela 3 – Principais características dos contratos existentes

Flexibilidades		
Limites de Sazonalização		
	Mínimo	Máximo
Itaipu	Sazonalização pré-definida	
Contratos Inicias	-	Demanda Contratada
Bilaterais	85% da Quantidade anual	115% da Quantidade anual
Limites de Modulação		
	Mínimo	Máximo
Itaipu	-	Demanda Contratada
Contratos Inicias	-	Demanda Contratada
Bilaterais	50% da Quantidade mensal	150% da Quantidade mensal

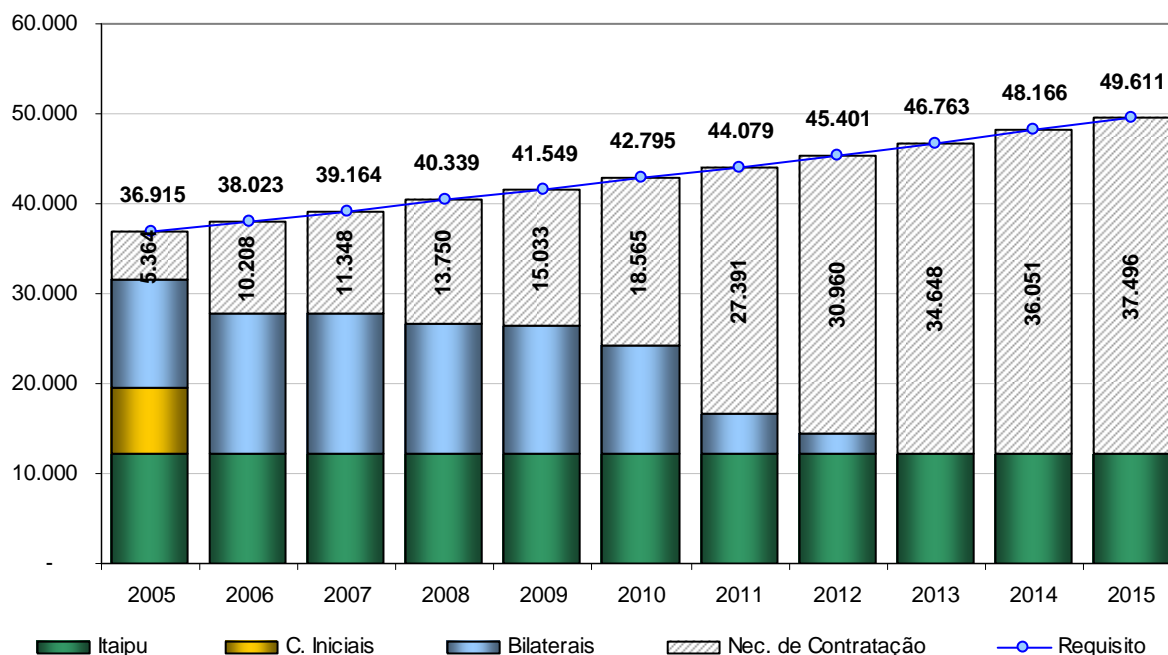


Figura 3 – Balanço Energético da Distribuidora e identificação da necessidade de contratação

Para as opções de leilões adota-se flexibilidades, prazos mínimos e máximos conforme definido na tabela 4. Para os leilões de ajuste, a legislação vigente permite a opção de compra que pode ter prazo máximo de 2 anos sendo que a quantidade contratada não pode ser superior a 5% do requisito anual da Distribuidora. Não é definido um prazo mínimo de suprimento para os leilões de ajuste, contudo, admitindo-se que o prazo mínimo seja de 1 mês, a flexibilidade do contrato permite ao modelo a

aquisição em um dado mês de até 60% (5% multiplicado por 12 meses) do requisito mensal. Neste aspecto, associando esta flexibilidade a dimensão do requisito da Distribuidora, a opção pelo ajuste pode ser inviável dado que não haverá oferta no curto prazo para a necessidade de uma quantidade tão expressiva de energia.

Para sanar esta possível infactibilidade a opção de ajuste é limitada a 1% do requisito anual.

Com relação aos preços, parte-se da premissa que são constantes durante o período de suprimento mas devem refletir os preços de mercado, principalmente em função das projeções para os próximos três ou quatro anos, onde os preços estão abaixo do custo marginal de expansão, reflexo da sobre oferta de energia esperada para este período.

Dessa forma, é construída uma curva de mercado, apresentada na tabela 5, com o intuito de subsidiar a construção dos preços dos leilões. Observa-se que é assumido um crescimento gradativo do preço a partir do primeiro ano até o sexto ano onde espera-se que o preço de mercado seja equivalente ao custo marginal de expansão. Neste estudo de caso, adota-se que custo marginal de expansão seja equivalente a US\$ 35/MWh para uma taxa de câmbio de R\$ 3,00/US\$.

A partir desta curva, são calculados os preços dos leilões ponderando os preços de cada ano pelo prazo de vigência do contrato considerando a data de início e final do suprimento. Tomando como exemplo, uma opção de leilão de energia existente com início em janeiro de 2005 e término em dezembro de 2007 possui como preço o valor de R\$ 65,00/MWh assumindo que a quantidade de energia é mantida constante durante o período de suprimento.

Tabela 4 Premissas adotadas para a flexibilidade e duração dos contratos dos Leilões

	Início	Vigência (Anos)		Quantidade Máxima Anual (% Req. Anual)
		Mínima	Máxima	
Leilão de Ajuste	A+1	0	2	1%
Leilão de Energia Existente	A+1	3	15	-
Leilão de Energia Nova (3 anos)	A+3	15	35	-
Leilão de En. Nova (5 anos)	A+5	15	35	-

Nota: A é o ano da realização dos Leilões

	Limites de Sazonalização (% da Quantidade Anual)		Limites de Modulação (% da Quantidade Mensal)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Leilão de Ajuste	-	-	50	150
Leilão de Energia Existente	85	115	50	150
Leilão de Energia Nova (3 anos)	85	115	50	150
Leilão de Energia Nova (5 anos)	85	115	50	150

Tabela 5 – Curva de Mercado projetada para o horizonte de simulação

Curva de Mercado (R\$/MWh)

Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Preço	60,00	65,00	70,00	80,00	95,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00

4. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os dados extraídos a partir da simulação do caso ilustrativo. Isto permitirá a avaliação da melhor estratégia de aquisição de energia no ACR através dos leilões bem como sua viabilidade. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

A Figura 4 traz o balanço energético anual resultante, destacando os blocos de energia adquiridos nos leilões de ajuste (LAJ), leilões de energia existente (LEX) e leilões de energia nova com entrega a partir do 3º ano da licitação (LEN 3a) e a partir do 5º da licitação (LEN 5a.). Ressalta-se que em nenhum ano foi observada a alocação de sobras de energia ou aquisição de energia em contratos de longo prazo (CTs LP) ou compra de energia através de contratos de curto prazo (CTs CP) para o atendimento a demanda.

Como pode ser observado, a necessidade da Distribuidora é atendida nos primeiros anos através da única opção de contratação que é a energia existente. Contudo, no longo prazo, há a predominância de contratos lastreados principalmente por novos projetos com entrada em operação a partir do 5º ano da licitação. Esta estratégia de contratação pode ser melhor definida através das informações contidas na tabela 5.

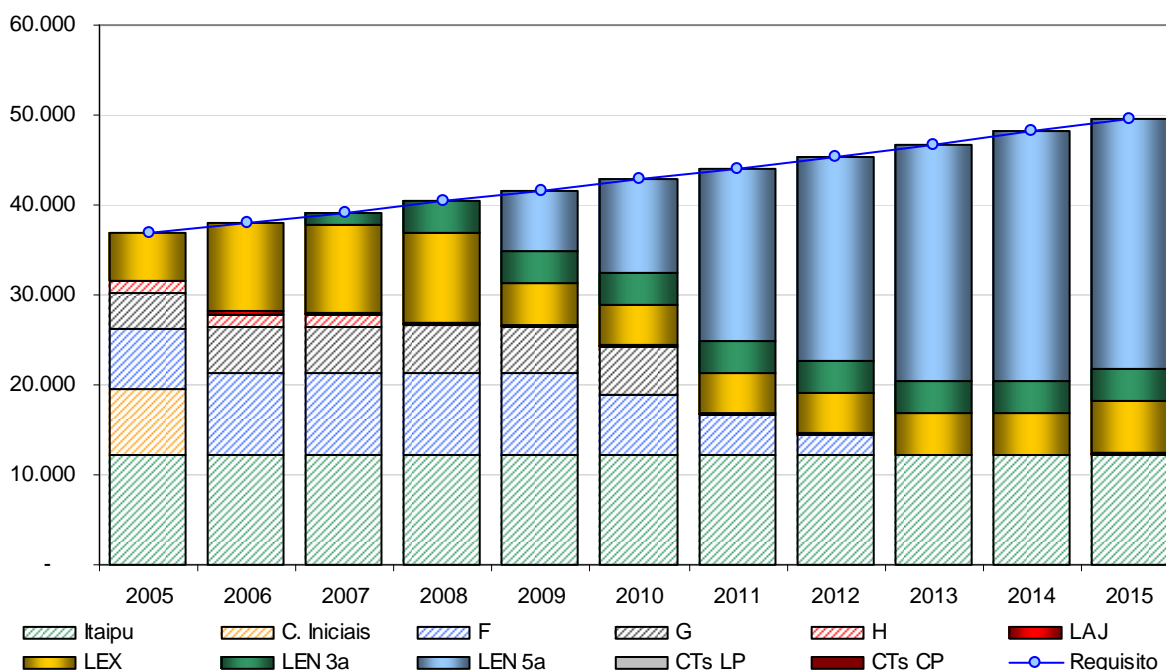


Figura 4 – Balanço energético anual da distribuidora para o horizonte de simulação

Examinando os resultados apresentados pela tabela 5, constata-se que a opção pelos leilões de ajuste está presente em todos os anos. Quanto aos leilões de energia existente e de energia nova (LN3) podemos concluir que foram selecionados apenas nos dois primeiros anos devido ao fato de serem as únicas opções de atendimento. Além disso, observa-se que há uma contratação de energia neste período que pode ser atribuída aos preços dos contratos que se encontram baixos quando comparados aos preços dos contratos dos demais anos. A partir de 2009, em seu primeiro ano, os contratos de energia nova com início a partir do 5º ano da licitação já iniciam com uma quantidade de energia associada significativa.

Tabela 5 – Opções de leilões, preço médio e energia associada aos leilões selecionados

Leilão	Ano A	P. Médio (R\$/MWh)	Energia (GWh)											
			2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
LAJ (05-06)	2004	62,5		179										
LEX (05-07)	2004	80,4	5.364	5.364	5.364	5.364	4.548	4.548	4.548	4.548	4.548	4.548	4.548	4.548
LEN 3a (07-15)	2004	97,2			1.320	1.320	1.320	1.320	1.320	1.320	1.320	1.320	1.320	1.320
LEN 5a (09-15)	2004	103,6					6.763	6.763	6.763	6.763	6.763	6.763	6.763	6.763
LAJ (06-07)	2005	67,5		179	179									
LEX (06-08)	2005	85,8		4.485	4.485	4.485								
LEN 3a (08-15)	2005	100,6				2.222	2.222	2.222	2.222	2.222	2.222	2.222	2.222	2.222
LEN 5a (10-15)	2005	105,0						3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533
LAJ (07-08)	2006	75,0				179								
LEX (07-09)	2006	91,7												
LEN 3a (09-15)	2006	103,6												
LEN 5a (11-15)	2006	105,0							8.826	8.826	8.826	8.826	8.826	8.826
LAJ (08-09)	2007	87,5				179	179							
LEX (08-10)	2007	97,9												
LEN 3a (10-15)	2007	105,0												
LEN 5a (12-15)	2007	105,0								3.569	3.569	3.569	3.569	3.569
LAJ (09-10)	2008	100,0						179						
LEX (09-11)	2008	102,8												
LEN 3a (11-15)	2008	105,0												
LEN 5a (13-15)	2008	105,0									3.688	3.688	3.688	3.688
LAJ (10-11)	2009	105,0							179					
LEX (10-12)	2009	105,0												
LEN 3a (12-15)	2009	105,0												
LEN 5a (14-15)	2009	105,0										1.403	1.403	1.403
LAJ (11-12)	2010	105,0								179				
LEX (11-13)	2010	105,0												
LEN 3a (13-15)	2010	105,0												
LEN 5a (15-15)	2010	105,0												
LAJ (12-13)	2011	105,0									179			
LEX (12-14)	2011	105,0												
LEN 3a (14-15)	2011	105,0												
LAJ (13-14)	2012	105,0										179		
LEX (13-15)	2012	105,0												
LEN 3a (15-15)	2012	105,0												
LAJ (14-15)	2013	105,0												179
LEX (14-15)	2013	105,0												
LAJ (15-15)	2014	105,0												179
LEX (15-15)	2014	105,0												1.266

Quanto a discretização mensal, a Figura 5 demonstra que o modelo apresenta uma distribuição de contratos totalmente aderente ao requisito da Distribuidora mantendo as quantidades alocadas dentro dos limites estabelecidos no contrato.

Quanto ao balanço entre os patamares de carga, observa-se, através do Figura 6, que não houve exposição ao MAE em nenhum momento. Entretanto, constata-se que, em todo período simulado, há uma compra no patamar de carga leve e, conseqüentemente uma liquidação da mesma quantidade de energia nos patamares de carga pesada e média. Esta opção representa um ganho de receita que representa 0,2% do total da despesa de energia ou, neste caso um VPL de R\$ 45 milhões de reais no período a uma taxa de desconto de 8% ao ano.

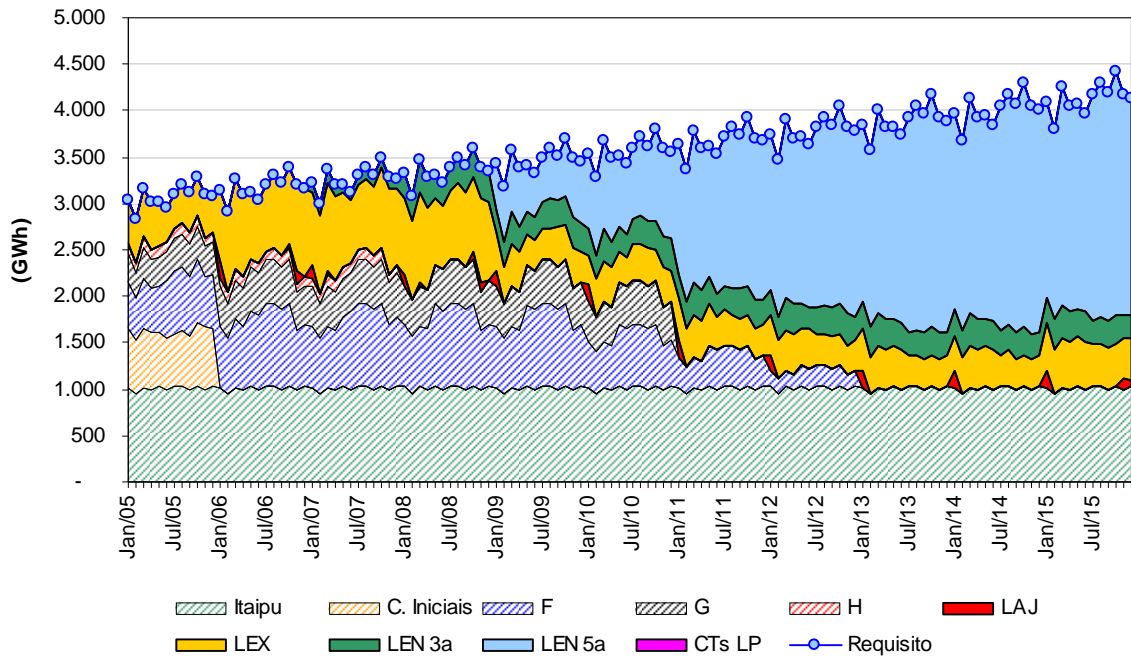


Figura 5 – Balanço energético mensal da Distribuidora para o horizonte de simulação

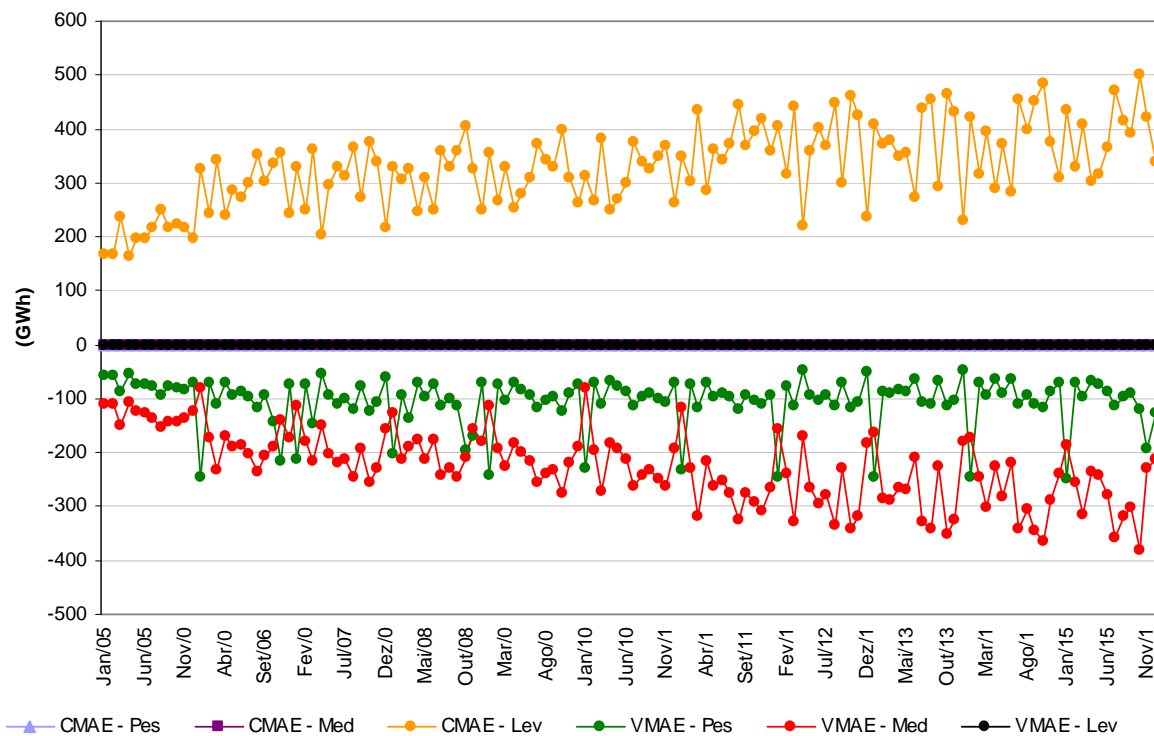


Figura 6 – Compra e Venda no MAE durante o período de simulação

5. CONCLUSÃO

Certamente, o Novo Modelo submete as Distribuidoras a novos riscos e possíveis oportunidades no âmbito da comercialização de energia. Os resultados demonstram que a metodologia proposta atinge seu objetivo no sentido de propor uma estratégia de contratação de energia, mitigar os riscos e explorar as oportunidades. Cabe ressaltar que a formulação é determinística e, da forma como foi apresentada, não considera possíveis variações do requisito a ser atendido ou preços dos leilões. No

entanto, o efeito das incertezas poderá ser introduzido através de análise de sensibilidade sobre parâmetros essenciais do modelo ou através de técnica de geração de cenários combinando os diversos fatores de risco.

Outros aspectos importantes serem mencionados sobre o modelo, é a possibilidade de extensão para simulação de várias empresas ou grupo de empresas simultaneamente e a automação do procedimento de sazonalização de contratos cuja complexidade tende a aumentar em função da quantidade crescente de contratos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BRASIL. Lei nº 9648 – de 27 de maio de 1998. Autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação das Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências.

[2] ANEEL, Resolução nº 91 de 27 de fevereiro de 2003.

[3] ANEEL, Resolução nº 352 de 22 de julho de 2003.

[4] BRASIL. Decreto nº 4562 – de 31 de dezembro de 2002. Estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica; para tarifação e preço de energia elétrica; dispõe sobre compra de energia elétrica das concessionárias de serviço público de distribuição; valores normativos; estabelece a redução do número de submercados; diretrizes para revisão da metodologia de cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão - TUST e dá outras providências.

[5] BRASIL. Lei nº 10.848 – de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica

[6] Regras do MAE. Disponível em: < <http://www.mae.org.br> >

[7] LINDO SYSTEMS INC., Chicago. LINGO - The modeling language and optimizer: User's Guide. Chicago, 2003, 513p.

[8] LINDO SYSTEMS INC., Chicago. Optimization Modeling with LINGO. Chicago, 2003, 561p.