São José dos Campos - SP
LV SBPO
LV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
São José dos Campos, SP - 6 a 9 de novembro de 2023

Proposta de mecanismo para a contratação simultânea de produtos lastro e produtos energia em leilão multiproduto

Rafael Benchimol Klausner*, Joaquim Dias Garcia, Gabriel Rocha de Almeida Cunha****
*Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
Rua Marquês de São Vicente, 225. Rio de Janeiro – RJ, Brasil
**PSR Consulting Analytics
Praia de Botafogo 370. Rio de Janeiro – RJ, Brasil
{rafabench, joaquim, gabriel}@psr-inc.com

RESUMO

O presente trabalho apresenta explorações inovadoras ligadas a dois pilares fundamentais do setor elétrico brasileiro: (i) a separação lastro-energia, em particular trazendo a distinção fundamental de que o produto lastro seria contratado de forma centralizada e o produto energia de forma descentralizada; e (ii) a realização de leilões de energia como mecanismos facilitadores para a negociação de contratos de longo prazo e viabilização da expansão do sistema. A partir destes elementos fundamentais, é apresentada uma proposta de implementação de um leilão iterativo multiproduto para a comercialização simultânea de lastro e de energia.
PALAVRAS CHAVE. Teoria de Leilões; Separação Lastro-Energia; Precificação de Lastro

Tópicos: ADM – Apoio à Decisão Multicritério, OC – Otimização Combinatória, SIM – Simulação

ABSTRACT

This work introduces innovative concepts connected to two essential pillars of the Brazilian Electricity sector: (i) the separation of capacity and energy, specifically emphasizing the distinction that capacity would be centrally contracted while energy would be decentralized; and (ii) the use of energy auctions as supportive mechanism for negotiating long-term contracts and the promotion of the system expansion. Following these fundamental elements, a proposal is presented for implementation of an iterative multiproduct auction to simultaneously trade capacity and energy.
KEYWORDS. Auction Theory; Capacity-Energy Separation; Capacity Pricing

Paper topics: ADM – Multicriteria Decision Support; OC – Combinatorial Optimization; SIM – Simulation

1. Introdução

O setor elétrico brasileiro desde 2004 tem utilizado os leilões de energia como um mecanismo de viabilizar a expansão do sistema. O modelo do setor elétrico vigente é respaldado pelo princípio do lastro, que pode ser definido por: (i) toda demanda elétrica precisa estar "lastreada" por contratos de compra de energia, e (ii) todo contrato de venda de energia precisa estar "lastreado" por "certificados" que refletem a capacidade de geração firme de um ativo físico durante cenários adversos do sistema. Nota-se que no modelo implementado em 2004 os contratos de "lastro" que respaldam estas duas regras fundamentais eram equivalentes aos contratos de energia. Entretanto, desde 2017, vem ganhando força no setor elétrico brasileiro a lógica da separação lastro-energia. Esta separação permitiria que fossem consideradas características mais ricas das fontes de geração no que diz respeito à representação da segurança de suprimento.

Este trabalho apresenta uma formulação explícita de uma proposta para o funcionamento do mecanismo, envolvendo em particular: (i) um algoritmo para a realização do leilão de forma iterativa, (ii) um problema de otimização que é solucionado a cada iteração do leilão e (iii) um procedimento para a determinação dos preços e contratos que seriam firmados como resultado do leilão, satisfazendo às preferências de todos os agentes compradores e vendedores envolvidos no

https://proceedings.science/p/175089?lang=pt-br

leilão. Demonstra-se que as escolhas propostas são de fato consistentes, e apresenta-se um exemplo de estudo de caso.

2. Metodologia do leilão

Temos três tipos de participante no leilão (além do leiloeiro que coordena o procedimento): agentes vendedores descentralizados, agentes compradores de energia descentralizados, representados respectivamente pelos índices b e d, e o agente comprador de lastro centralizado. Além disso, temos entre os produtos comercializados no leilão: (i) produtos lastro w – em particular o lastro de potência e o lastro de energia; (ii) produtos energia m – em particular um para cada região do país.

Nota-se que, mesmo sem a introdução das regras de segurança de suprimento que dão valor ao produto lastro, há uma motivação puramente financeira para que agentes busquem contratos de energia que é a proteção contra a volatilidade dos preços de curto prazo. Já o produto lastro é contratado de forma centralizada – uma entidade técnica faria uma análise custo-benefício para os produtos de lastro de modo a representar uma curva de demanda que refletisse a disposição a pagar da sociedade por um aumento na segurança de suprimento correspondente à contratação desses produtos.

O leilão proposto possui etapas bem definidas, mostrado no fluxograma a seguir:

Cadastramento: são disponibilizadas informações, pelos agentes vendedores b, acerca dos *ativos* a serem comprometidos neste leilão (representados pelo índice a).

Oferta de compra: o agente comprador de lastro centralizado e os agentes compradores de energia d declaram as suas ofertas de compra para cada produto m – estas ofertas não poderão ser atualizadas ao longo do leilão. Com isso, inicia-se a primeira rodada do leilão iterativo.

Divulgação dos preços da rodada: são divulgados os preços dos produtos lastro $\hat{p}_w^L$ e energia $\hat{p}_m^E$.

Submissão de ofertas: agentes vendedores b podem submeter ofertas de venda j. Todas as ofertas submetidas em todas as rodadas anteriores permanecem válidas na rodada atual.

Problema de Otimização: Resolve-se o problema de otimização descrito a seguir. Em seguida, verifica-se se algum dos critérios de parada foi atingido: caso negativo, os preços são atualizados e retorna-se à etapa de divulgação e, em caso positivo, prossegue-se para a etapa de finalização.

Finalização: É solucionado um problema auxiliar para garantir que nenhum agente recebe menos do que o representado pelas ofertas submetidas no leilão.

3. Problema de Otimização

O problema do leilão pode ser descrito por:

$$\text{maximizar} \sum_{w} U_w^L(L_w^D) + \sum_{d,m} U_{dm}^E(E_{dm}^D) - \sum_{j} x_j R_j - \sum_{j} x_j E_{jm}^E P_{jm}^E$$

$$\sum_{a,j} x_j A_{aj} L_{aw} \geq L_w^D \ : \ \pi_w^W \ , \quad \text{para cada produto lastro } w$$

$$\sum_{j} x_j E_{jm}^E = \sum_{d} E_{dm}^D \ : \ \pi_m^D \ , \quad \text{para cada produto energia } m$$

$$\sum_{j} x_j A_{aj} \leq 1 \quad \text{para todo } a$$

O problema auxiliar, com as variáveis do modelo anterior fixas na solução ótima, é:

$$\min_{r_b \geq 0, p_m} \sum_{b} r_b + \eta \sum_{m} (p_m)^2$$

$$s.t. \ \sum_{m} x_j E_{jm}^E p_m + r_b \geq \sum_{j \in b} x_j \left(E_{jm}^E P_{jm}^E + R_j \right) \quad \forall b$$

$$\sum_{m} E_{dm}^D p_m \leq U_{dm}^E \left(E_{dm}^D \right) \quad \forall d$$

Onde as variáveis e parâmetros são definidos pela seguinte tabela:

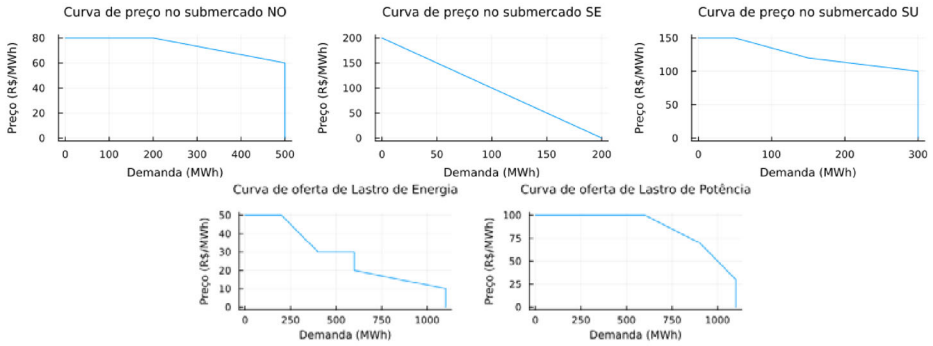
Elemento	Descrição	Unidade	Tipo	Dimensões
U_w^L	Utilidade do Lastro	\$/h	Parâmetro	w
U_{dm}^E	Utilidade de Energia	\$/h	Parâmetro	d, m
P_{jm}^E	Preço por oferta de Energia	\$/MWh	Parâmetro	j, m
E_{jm}^E	Demanda por oferta de Energia	MW	Parâmetro	d, m
L_{aw}	Demanda por lastro	MW	Parâmetro	a, w
A_{aj}	Relação ativo-oferta	N/A (binário)	Parâmetro	a, j
R_j	Receita requerida de Lastro	\$/h	Parâmetro	j
η	Peso de desempate	N/A	Parâmetro	-
E_{dm}^D	Energia demandada	MW	Variável	d, m
L_w^D	Lastro demandado	MW	Variável	w
x_j	Aceite de oferta de venda	N/A (binário)	Variável	j
p_m	Preço do produto energia	\$/MWh	Variável	m
r_b	Receita por lastro do vendedor	\$/h	Variável	b
π_w^W	Preço marginal de Lastro	\$/MWh	Dual	w
π_m^D	Preço marginal de Energia	\$/MWh	Dual	m

Estes problemas de otimização descritos foram implementados na linguagem Julia usando o pacote de otimização JuMP e solucionados com o solver Xpress.

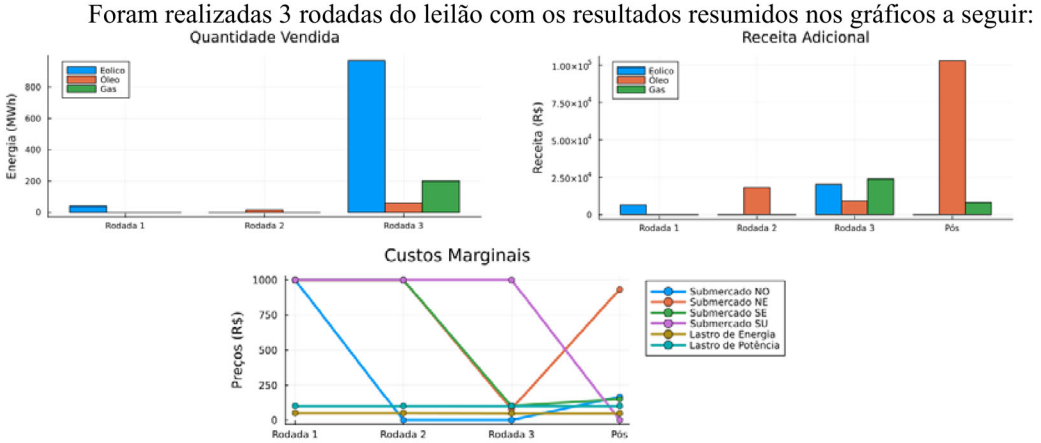
4. Estudo de caso

Foi realizado o leilão com 3 agentes vendedores com os 5 ativos: O Agente eólico possui dois ativos iguais (1,2) com 100 MW de potência instalada e 50 MW de Lastro de Energia. O Agente a Óleo, também possui dois ativos iguais (3,4) com 100 MW de potência instalada e 90 MW de Lastro de Potência. O Agente a Gás possui um ativo (5) com 200 MW de potência instalada, 120 MW de Lastro de Energia e 180 MW de Lastro de Potência.

Para as distribuidoras, as distribuidoras 1 a 3 compram a 1000 R$/MWh até 100 MWh de demanda e a distribuidora 4 compra a 1000 R$/MWh até 10 MWh de demanda. As distribuidoras 1 a 4 estão localizadas, respectivamente, nos submercados SE, SU, NE e NO. A distribuidora 5 possui ofertas sensíveis a preço e pode comprar lastro e potência representado pelas curvas a seguir:



Foram realizadas 3 rodadas do leilão com os resultados resumidos nos gráficos a seguir:



É possível perceber a dinâmica dos participantes ao longo do leilão. Nas primeiras rodadas, poucas ofertas economicamente atrativas são efetuadas, o que leva a uma subcontratação dos recursos. Na terceira rodada, esse perfil se altera com todos os compradores vendendo algum ativo disponível. Além disso, é importante frisar o problema auxiliar trouxe mudança para as receitas adicionais e custos marginais, corrigindo possíveis distorções promovidas.

5. Referências

Palacios-Huerta, I., Parkes, D. C., e Steinberg, R. (2021). Combinatorial Auctions in Practice. In SSRN Electronic Journal. Elsevier BV.

Tolmasquim, M. T., de Barros Correia, T., Addas Porto, N. e Kruger, W., Electricity market design and renewable energy auctions: The case of Brazil, (2021). Energy Policy.

Cramton, P., Shoham, Y. e Steinberg, R., (2006), Combinatorial Auctions, The MIT Press.

N. Fukuta e T. Ito, (2011) Toward Combinatorial Auction-based Better Electric Power Allocation on Sustainable Electric Power Systems, IEEE 13th Conference on Commerce and Enterprise Computing.