



XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CB/GCR/22

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO -006

GRUPO DE ESTUDO DE COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA- GCR

DEFINIÇÕES DE PARÂMETROS DE NEGOCIAÇÃO PARA OPERAÇÕES DE SWAP E PRECIFICAÇÃO DE CONTRATOS CONTENDO CLÁUSULA DE FLEXIBILIDADE COM SUPORTE DE MODELO DE OTIMIZAÇÃO ESTOCÁSTICA E ANÁLISE DE RISCO VERSUS RETORNO

Luiz A. S. Camargo (*) Dorel S. Ramos Ewerton Guarnier Mateus H. Balan
DEP. DE ENGENHARIA DE ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICA,
ESCOLA POLITÉCNICA, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RESUMO

Este trabalho apresenta duas metodologias de análise e os resultados das aplicações em estudos de caso para a (i) operação swap de compra e venda de energia e (ii) precificação de cláusula de flexibilidade do volume de entrega dos contratos de energia, ambas sob a perspectiva de um agente gerador.

As metodologias para a resolução dos dois casos têm por alicerce um mesmo modelo de otimização estocástica com a métrica "Conditional Value-at-Risk" incorporada, permitindo a análise de risco e retorno considerando a aversão ao risco do agente à exposição ao mercado de curto prazo.

PALAVRAS-CHAVE

Contratos, Precificação, Swap, Flexibilidade, Risco.

1.0 - INTRODUÇÃO

No mercado de energia elétrica a atividade de comercialização, realizada através de transações de contratos de energia, é extremamente relevante para as empresas envolvidas, devido à geração de receita pelo lado do vendedor, e a garantia de suprimento e redução de custo pelo lado do consumidor.

A existência do ambiente de contratação livre (ACL) propicia a livre negociação das cláusulas contratuais que irão compor o contrato de compra e venda de energia, como, por exemplo, as cláusulas que regem as condições de entrega relativas ao volume, flexibilidade, sazonalidade, preço e prazo.

Nesta vertente, o recente aumento da participação de empresas no ACL resulta na perspectiva de crescimento do volume de contratos transacionados sob condições mais flexíveis e com a inclusão de cláusulas que afetam a alocação de riscos entre as partes, visando atender os interesses dos envolvidos.

Ocorre que para a devida alocação de riscos é necessário quantificá-los adequadamente, permitindo assim a incorporação de seu valor ao preço do contrato. E com este fim, os agentes enfrentam a complexidade de fazer esta precificação sob condições de incertezas, por exemplo, em relação ao preço de energia, geração e consumo, dentre outros.

Em face a tal complexidade e conjuntura setorial, origina-se a motivação deste artigo, qual seja, o desenvolvimento de duas metodologias distintas de análise de risco e retorno aplicadas à (i) operação swap de compra e venda de energia e (ii) precificação de cláusula de flexibilidade do volume de entrega dos contratos de energia, ambas sob a

(*) Dr. L. A. S. Camargo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Dep. de Engenharia de Energia e Automação Elétrica. Av. Prof. Almeida Prado s/nº, Cidade Universitária, CEP: 05508-900, São Paulo/SP, Brasil, luiz.steinle@usp.br / dorelram@usp.br

perspectiva de um gerador, que é um agente bastante exposto aos riscos de mercado, traduzidos como exposições involuntárias que impactam significativamente o caixa das empresas.

As metodologias desenvolvidas para a resolução dos dois casos têm por alicerce um mesmo modelo de otimização estocástica. Este modelo adota a métrica de risco “*Conditional Value-at-Risk*” (CVaR), que permite a análise de risco e retorno considerando a aversão ao risco do agente à exposição ao mercado de curto prazo, com impacto financeiro decorrente de incerteza na produção efetiva ou ainda na energia alocada, em se tratando de gerador hidrelétrico pertencente ao MRE – Mecanismo de Realocação de Energia, assim como incerteza no preço de liquidação das diferenças (PLD). O modelo de otimização é customizado para aplicação a cada um dos casos analisados.

Primeiro objeto de aplicação do modelo, as operações swap de contratação são realizadas para se estabelecer proteção a uma ou ambas as partes envolvidas, em períodos em que um dos agentes signatários prevê exposição ao mercado de curto prazo com eventual sobra de energia em outro período, enquanto o outro agente se encontra em situação contrária. Assim sendo, as operações de “swap” são caracterizadas como operações de “hedge” mútuo, fixando-se em contrato que as partes se comprometem a entregar uma à outra, em diferentes períodos, determinados volumes de energia, a preços também fixados via negociação bilateral.

A aplicação do modelo customizado permite definir o montante ótimo da “troca” de volumes de energia entre as partes, dados os condicionantes de preço de compra e venda, balanço contratual do gerador hidráulico, aversão ao risco do agente e projeções de PLD e geração no horizonte de análise, assim com a taxa de desconto que representa o horizonte temporal do dinheiro na avaliação.

O segundo objeto deste estudo visa aplicar o modelo de otimização à precificação de cláusula de flexibilidade em contratos de compra e venda de energia. Frequentemente utilizadas no mercado, essas cláusulas são relacionadas ao montante mensal a ser considerado quando da contabilização e liquidação do MCP.

A flexibilidade refere-se a uma margem em relação ao montante nominal do contrato, para mais ou para menos (“take máximo e take mínimo”, no jargão de mercado), que define então o volume que será efetivamente considerado para fins de execução do contrato. Normalmente, um cliente (comprador) solicita ao agente vendedor a inclusão desse tipo de cláusula de flexibilidade no contrato, a fim de se proteger contra oscilações em seu consumo de energia e preços de mercado, traduzindo-se em um fator de risco adicional no resultado do contrato, na ótica do agente vendedor.

Neste sentido, o trabalho apresenta o modelo de otimização e uma metodologia de aplicação, de modo a permitir definir a precificação do valor de flexibilidade incorporada ao contrato de venda de energia, de forma a se obter o preço justo para a negociação, incorporando o risco ao qual o agente gerador incorre quando o contrato contempla uma cláusula de flexibilidade desse tipo.

A precificação da flexibilidade é realizada, sob a régua da métrica de risco CVaR, considerando o pior caso para o gerador, ou seja, a situação em que o consumidor pode exercer opção de flexibilidade livremente, dentro dos limites estabelecidos, independentemente da medição de seu consumo, isto é, pode “especular” contra o agente vendedor.

2.0 - MODELO DE OTIMIZAÇÃO ESTOCÁSTICA

O estudo da tomada de decisão considerada ótima sob condições de incerteza se dá por meio da aplicação de técnicas de programação estocástica, conforme fundamenta Birge & Louveaux (1997). Esta técnica viabiliza a modelagem de problemas com variáveis randômicas e a obtenção de soluções racionais, de interesse para o investidor. Por esta razão, as metodologias desenvolvidas para a resolução dos dois casos objetos deste estudo têm por alicerce um mesmo modelo de otimização estocástica.

Esses tipos de modelos permitem a incorporação de métricas de risco, a fim de se obter soluções ótimas que ponderem a expectativa de resultado financeiro e o risco associado da operação, onde a aversão ao risco do agente torna-se um condicionante fundamental. Vide mais em Pflug & Römisch (2007) e Conejo et al (2010). Nos modelos de otimização deste estudo incorpora-se a métrica CVaR, conforme programação preconizada por Rockfellar & Uryasev (2000), que formularam esta métrica em programação de tal forma a permitir sua otimização linear.

O CVaR pode ser definido como o valor esperado (média) dos resultados menores que o alfa-quantil da distribuição dos resultados, isso é, do VaR (“*Value-at-Risk*”). Assim, se todos os cenários forem equiprováveis, o CVaR é computado como a média dos Alfa% piores cenários, onde Alfa é o nível de confiança adotado. No estudo realizado foi adotado um alfa de 5% como nível de confiança e, portanto, o CVaR representa a média dos 5% piores cenários de retornos anuais. Como neste caso trata-se de uma distribuição de retornos, ao maximizar o CVaR estar-se-á maximizando os retornos nos piores cenários e conseqüentemente minimizando o risco.

O modelo genérico, alicerce das metodologias, tem como objetivo auxiliar o agente gerador na definição de sua estratégia ótima de contratação, tendo como base a política de gerenciamento de risco adotada pela empresa e considerando os principais condicionantes para sua tomada de decisão, tais como: características dos contratos

candidatos (volume, preço, prazo e cláusula de flexibilidade), portfólio contratual existente ao longo do horizonte de planejamento, balanço energético e projeções de geração e PLD.

Em linhas gerais, o modelo busca definir a alocação ótima de energia nos contratos de venda pertencentes a um portfólio candidato, de forma a encontrar a solução que maximize a função convexa formada pela Receita Esperada e o CVaR, ponderados pelo nível de aversão ao risco do agente gerador.

O tipo de unidade geradora considerada neste estudo é a hidráulica, embora o modelo seja adaptável para analisar parques eólicos. As fontes de incerteza no modelo estão atreladas aos cenários futuros de PLD e de geração, que no caso de usinas hidráulicas, refere-se aos cenários de alocação de energia em razão das projeções de geração e Garantia Física do MRE.

A estrutura do modelo permite a inserção de contratos existentes ou futuros no portfólio da empresa, de forma a possibilitar a simulação da situação contratual do agente gerador, estando este sob as mais diversas configurações ao longo do horizonte de estudo, como por exemplo, a situação de total descontração ou a de múltiplos contratos expirando ao longo do tempo. Ademais, é possível definir a sazonalidade do volume de entrega de cada contrato, seja existente ou novo.

Os contratos passíveis de inserção nesse modelo apresentam as seguintes características: (i) preço fixo, entrega fixa; (ii) preço fixo, entrega pelo declarado (com cláusula de flexibilidade). Nos contratos candidatos, dos quais se busca obter os volumes ótimos, são pré-definidos os atributos de: preço, perfil de entrega e prazo (início/término).

A FIGURA 1 ilustra o conceito geral do modelo para o agente gerador; as informações de entrada são inseridas em planilha do MS-Excel, a programação realizada em linguagem “Mosel” e o modelo otimizado pelo programa computacional “Xpress”¹ da FICO. Para detalhamento matemático do modelo ver Camargo (2015).

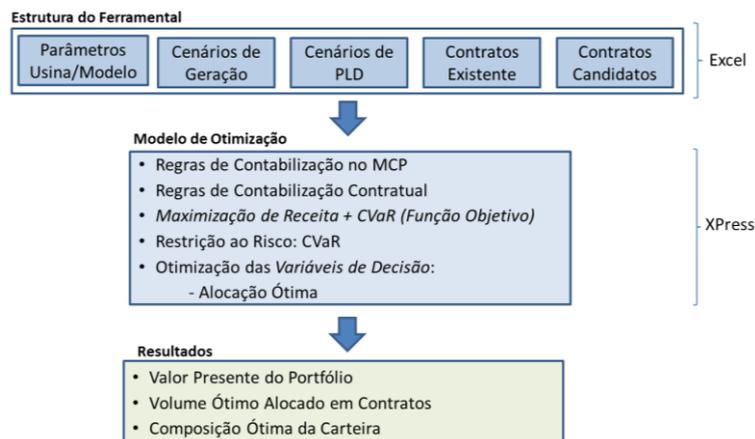


FIGURA 1 – Visão Geral do Modelo de Otimização

O modelo requer a definição dos seguintes dados de entrada: nível de confiança para o CVaR; nível da aversão ao risco (trade-off entre expectativa de receita e CVaR); cenarização da projeção de PLD e de geração; garantia física total do parque gerador; contratos existentes (volume, perfil de entrega, preço e prazo); contratos candidatos (perfil de entrega, preço, prazo e volume máximo).

Os cenários com as projeções de PLD e geração do sistema são oriundos do deck do Newave. O ‘fator MRE’ (ou GSF – “*Generation Scalling Factor*”) é calculado pela divisão entre a geração total do sistema (por cenário) e a projeção da expansão da garantia física (GF) total do sistema no horizonte, representado percentualmente o quanto a geração total do agente ficou acima (fator acima de 100%) ou abaixo (fator abaixo de 100%) da GF do sistema. A multiplicação do fator MRE pela garantia física da usina hidráulica (UHE ou PCH) participante do mecanismo determina o valor da alocação de energia dessa usina para o cenário em questão.

O lastro disponível para comercialização é limitado neste caso pela garantia física total do parque gerador, composto por uma ou mais usinas.

Com as informações de entrada configuradas, o modelo de otimização é processado, auferindo-se como saída os resultados financeiros (Expectativa de Receita e CVaR) da carteira e o volume ótimo alocado em cada contrato candidato selecionado.

¹ Conferir <www.fico.com>.

As usinas do portfólio seguem as regras usuais de comercialização quanto aos critérios sobre os montantes gerados e contratados e a contabilização das diferenças ao valor de PLD (exposição ao MCP).

3.0 - PRECIFICAÇÃO DE CONTRATOS COM CLÁUSULA DE FLEXIBILIDADE

O primeiro estudo de caso explora a aplicação do modelo de otimização para a precificação das cláusulas de flexibilidade do volume de entrega pertencentes a contratos de venda de energia, considerando: o preço do contrato com e sem flexibilidade; a exposição do agente gerador ao MCP em decorrência do exercício da cláusula de flexibilidade por parte do agente comprador; e o atendimento do critério de risco de referência (CVaR).

Geralmente, há no mercado dois principais tipos de contratos com cláusula de flexibilidade na entrega, a saber: flexibilidade pelo consumo medido ou pelo valor declarado pelo lado comprador. A cláusula de flexibilidade pelo consumo medido vincula o volume de entrega (pelo agente de venda) à medição do consumo (do agente detentor do contrato), dentro de uma “banda” pré-estabelecida (*Take Máximo* e *Take Mínimo*). A cláusula de flexibilidade pelo valor declarado vincula o volume de entrega (pelo agente de venda) ao montante declarado pelo agente comprador do contrato.

Cabe observar, por oportuno, que a opção de exercício da flexibilidade pelo valor declarado, independente do consumo físico do agente comprador, é sempre mais desfavorável para o agente gerador e por isso se optou em explorar essa premissa. Isto é, foca-se nos contratos com cláusula de flexibilidade pelo valor declarado, cuja entrega permite ao agente comprador a tomada de decisão em relação ao montante a ser ‘entregue’ de forma *ex-post* à publicação do PLD, condicionada às restrições contratuais de flexibilidade (mínima e máxima) em relação ao volume de entrega.

O exercício da cláusula de flexibilidade por parte do agente comprador impacta o retorno do contrato para o agente gerador (venda). Sendo assim, ao ser inserida em um contrato, essa cláusula deve ser adequadamente precificada; uma das formas de se precificar esse impacto (risco de exercício da cláusula) é comparar os resultados financeiros que o contrato produz quando este possui tal cláusula e quando não possui.

Neste estudo de caso, a regra do exercício da flexibilidade segue a premissa do agente comprador especulando contra o agente vendedor (gerador). Caso o PLD esteja em um patamar acima do preço do contrato, o agente comprador declara a flexibilidade máxima – já que poderá vender o excedente – em relação ao volume nominal, no MCP a um preço maior do que o de compra. Em situação oposta, se o PLD estiver menor que o preço do contrato, o agente comprador declara a flexibilidade mínima, comprando no MCP a diferença em relação ao volume nominal. Nessas condições, o agente comprador obterá ganhos, enquanto o agente vendedor terá seus ganhos comprometidos.

A rotina para a precificação da flexibilidade segue os seguintes passos:

1º Passo: Para um determinado contrato de venda sem cláusula de flexibilidade, aplica-se o modelo de otimização para a obtenção do volume ótimo a ser alocado (dado um montante máximo para tanto) e os correspondentes resultados financeiros (Expectativa de Receita e CVaR) em função de um certo nível de aversão ao risco;

2º Passo: No passo seguinte, configura-se novamente o modelo de otimização, mas agora considerando a opção pelo contrato com cláusula de flexibilidade, cujo volume nominal é equivalente ao volume ótimo do contrato sem cláusula de flexibilidade, obtido no 1º passo;

3º Passo: Roda-se o modelo de otimização alterando o preço do contrato com cláusula de flexibilidade realizando-se uma análise de sensibilidade até que se obtenha o resultado financeiro (ponderação do risco e retorno) equivalente ao auferido para o caso do contrato sem flexibilidade.

4º Passo: O valor da flexibilidade do contrato é obtido pela diferença entre o preço do contrato sem flexibilidade e o preço do contrato com flexibilidade.

3.1 Estudo de Caso - Precificação de Flexibilidade

Para ilustrar a precificação da flexibilidade em contratos de venda, admitem-se como premissas as projeções de PLD e GSF do *deck* oficial de janeiro de 2015 (ano caracterizado pelo baixo nível de geração hidrelétrica, ou seja, elevado GSF). Assume-se também que o agente possui uma garantia física equivalente de 100 MWm e que o contrato a ser precificado possui 4 anos de duração (2015-2018), cujo preço sem cláusula de flexibilidade é de 236,00 R\$/MWh. Os contratos a serem precificados possuem duas faixas de flexibilidade sobre o volume nominal, de 5% e 10%, para mais e para menos em relação ao montante nominal do contrato. O gerenciamento do risco é realizado através do CVaR contabilizado a cada semestre, com nível de confiança de 5%.

A FIGURA 2 ilustra o resultado da alocação ótima no contrato quadrienal para cada patamar de aversão ao risco (1º passo). Para efeito de organização dos resultados, trabalha-se com uma aversão ao risco de $\rho = 80\%$ (referência), representando uma empresa mais avessa ao risco, onde tem-se a indicação pela alocação de 85,57 MWh.

Os resultados financeiros para esse nível de aversão ao risco são de R\$ 745,91 milhões como Expectativa de Receita, R\$ 648,36 milhões como CVaR e de R\$ 667,87 milhões da Função Objetivo (20% da Expectativa de Receita e 80% do CVaR). Estes valores são utilizados como referência para a precificação da flexibilidade.

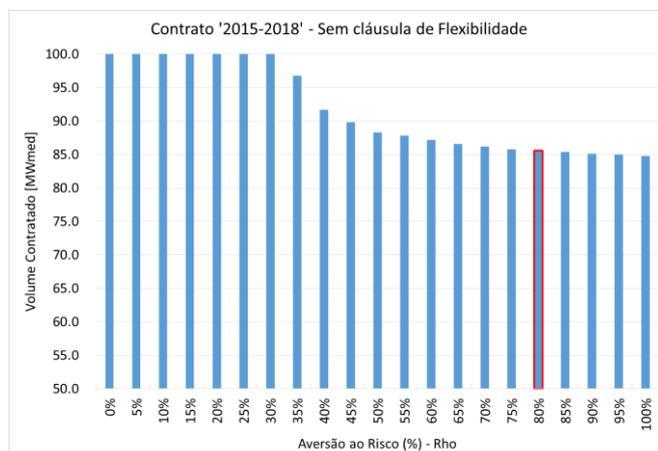


FIGURA 2 - Volume Alocado no Contrato '2015-2018' sem cláusula de flexibilidade

Na sequência da análise (2º Passo), configura-se o modelo com base no resultado obtido previamente, definindo o volume alocado no contrato com flexibilidade, e realiza-se a simulação para diversos patamares de preços (3º Passo).

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra os resultados obtidos para a cláusula de flexibilidade de 5%, enquanto a **Erro! Fonte de referência não encontrada.Erro! Fonte de referência não encontrada.**, para cláusula de 10%; as intersecções entre as retas dos resultados (3º Passo) e as de referências (1º Passo) indicam o preço onde o critério é atendido.

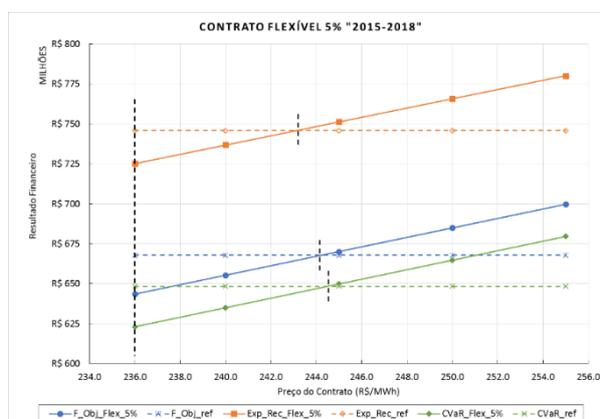


FIGURA 3 - Resultados - Flexibilidade 5%

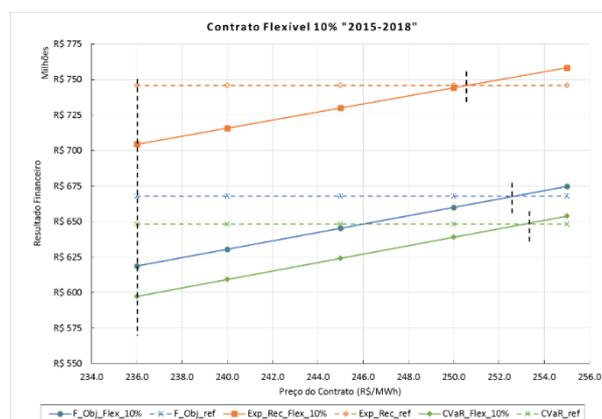


FIGURA 4 - Resultados – Flexibilidade 10%

Em ambos os casos, de flexibilidade de 5% e 10%, para o preço inicial de 236,00 R\$/MWh, observa-se que a inclusão da cláusula de flexibilidade resultaria em resultados financeiros (Expectativa de Receita, CVaR e Função Objetivo) menores do que aqueles obtidos quando o contrato não tinha cláusula de flexibilidade; fato este coerente com a percepção teórica discutida anteriormente.

Adotando o critério de referência de igualdade entre os resultados financeiros dos contratos com e sem flexibilidade, apresenta-se no quadro resumo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), os patamares de preços nos quais os critérios de igualdade são atendidos em cada caso, e calcula-se o preço da flexibilidade correspondente (4º Passo:).

Da precificação da flexibilidade dos contratos em análise percebe-se que para cada critério tem-se um preço distinto. Nota-se também que, quanto maior for a banda da flexibilidade, maior impacto na precificação, traduzido por uma maior elevação do preço para o contrato flexível com banda de variação mais larga.

Por exemplo, pelo critério da Função Objetivo ($\rho = 80\%$), o preço da flexibilidade aumenta de 8,23 para 16,66 R\$/MWh, em relação à flexibilidade de 5% para 10%, o que representa um acréscimo, respectivamente, de 3,37% e 7,06% no preço do contrato sem cláusula. Observe-se também que, ao aumentar a banda de flexibilidade em duas vezes, a precificação da flexibilidade não dobrou de valor, haja vista que essa variação não é linear.

Tabela 1 - Precificação da Flexibilidade dos Contratos [R\$/MWh]

Critério de Referência	Preço de Contrato			Preço de Flexibilidade	
	Flexibilidade			Flexibilidade	
	Sem	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
Exp. Receita	236,00	243,00	250,50	7,00	14,50
CVaR	236,00	244,50	253,50	8,50	17,50
F. Obj. ($\rho = 80\%$)	236,00	244,23	252,66	8,23	16,66

O melhor critério a ser adotado é uma decisão particular do agente, entretanto, julga-se como o mais adequado o critério com base na função objetivo, uma vez que ele pondera a expectativa de receita e o CVaR com base no nível de aversão ao risco do agente (no caso em tela, 80% para o CVaR e 20% de peso para a Expectativa de Receita).

3.2 Conclusões – Caso Precificação de Flexibilidade

Com base no estudo de caso apresentado, mostra-se que é possível aferir o valor ‘justo’ da flexibilidade com o auxílio da metodologia e do modelo de otimização desenvolvidos, permitindo assim que o agente vendedor possa definir sua estratégia comercial minimizando sua exposição ao risco do MCP, mas atendendo ao interesse do cliente (flexibilidade) e obtendo retornos financeiros, no mínimo, equivalentes àqueles que seriam obtidos por contratos sem cláusulas de flexibilidade.

Por fim, mostra-se também que, ao aumentar a banda de flexibilidade, o comportamento não é linear. Isto ocorre porque a distribuição de eventos desfavoráveis certamente não é uniforme em torno do valor de face do contrato.

4.0 - ANÁLISE DE OPERAÇÃO SWAP

Os contratos do tipo “swap” são definidos como contratos em que as partes se comprometem a entregar uma à outra, em diferentes períodos, determinados volumes de energia, com preços negociados. Dessa forma, as negociações do tipo swap permitem a um agente tipicamente vendedor mitigar riscos de exposição verificados em determinado período adquirindo energia de um agente com disponibilidade e fazendo o ressarcimento também em energia, em outro período, pautando-se pelo equilíbrio dos preços durante a vigência dos contratos de compra e venda.

Este estudo foca na análise desse tipo de operação, tendo como suporte a aplicação do modelo de otimização estocástica desenvolvido. Toma-se como premissa principal a situação de um agente gerador hidráulico que, por não desejar ficar sujeito a penalidade por falta de lastro e aos riscos de liquidação no MCP num determinado semestre, busca realizar uma operação “swap” entre o primeiro e segundo semestres do mesmo ano.

4.1 Estudo de Caso – Operação Swap

Nesse desenho, estuda-se a situação hipotética descrita nos próximos parágrafos:

- Uma determinada empresa geradora hidráulica encontra-se em situação de folga no primeiro semestre do ano em análise, ou seja, com volume alocado em contratos de venda no período menor do que sua garantia física, entretanto, com déficit de energia no segundo semestre do ano, isto é, com volume alocado em contratos de venda maior do que a garantia física.

- Portanto, pretende-se realizar uma operação casada de venda no primeiro semestre em “troca” da compra no segundo semestre, de tal forma que não haja violação à regra de lastro comercial e siga a premissa de que o volume de venda (1º Semestre) seja em igual monta ao volume de compra (2º Semestre).

A Tabela 2 representa o balanço contatual da empresa, com dados do volume alocado em contratos de venda no período e a garantia física correspondente. Assume-se o preço de 155,00 R\$/MWh para os contratos existentes e volume de 400,00 MWm.

Tabela 2 – Balanço Contratual

[MWm]	1º Sem	2º Sem
Garantia Física	550,00	350,00
Volume Contratado	400,00	400,00
Balanço	+150,00	-50,00

O balanço contratual apresentado na Tabela 2 permite concluir que no primeiro semestre o agente ficará com um percentual contratado entre 81,82%-100,00%, enquanto no segundo semestre entre 71,42%-100,00%, pois o mínimo volume a ser contratado na operação é de 50,00 MWh e no máximo 150,00 MWh, uma vez que a premissa adotada é de não alavancagem na operação em relação ao volume contratado versus a garantia física.

A FIGURA 5 apresenta as projeções de PLD e a FIGURA 6 as projeções do Fator MRE (GSF) utilizadas na análise com horizonte de planejamento de anual.

Observa-se no gráfico que o PLD médio tem tendência de leve diminuição, entretanto, os percentis 10% e 90%, indicam uma concentração de valores extremos durante o horizonte. Em relação ao Fator MRE, tem-se a tendência de maior alocação de energia (GSF) no primeiro semestre e forte queda no segundo semestre. Esse quadro impacta diretamente na operação do agente, pois o período de baixa alocação coincide com o período em que ele se encontra exposto ao MCP.

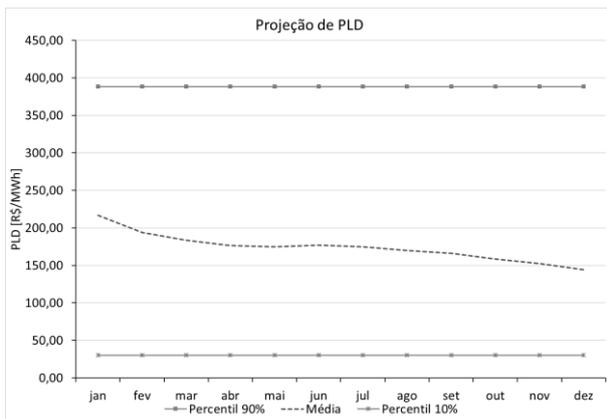


FIGURA 5 - Projeção de PLD para horizonte de estudo

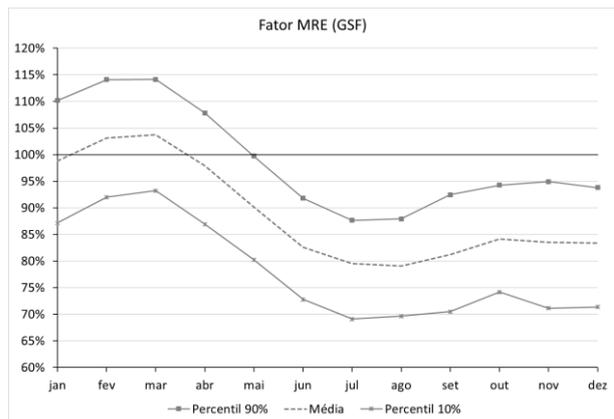


FIGURA 6 - Projeção de Fator MRE (GSF) para horizonte 2015

No estudo adota-se o CVaR a cada semestre, com nível de confiança de 5%, como política de gerenciamento de risco da operação 'swap', uma vez que se trabalha com compra e venda de contratos semestrais.

Com base nas premissas enunciadas, analisam-se duas situações de compra e venda. Na primeira, fixa-se o valor do contrato de compra e realiza-se uma sensibilidade no preço do contrato de venda, determinando o montante ótimo a ser celebrado na operação 'swap', em face ao nível de aversão ao risco do agente. Na segunda simulação, inverte-se a situação, fixa-se o valor de venda e sensibiliza-se o de compra.

A Erro! Fonte de referência não encontrada. representa o montante alocado na primeira análise, considerando a aversão ao risco do agente em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% e o preço de compra no 2º semestre fixo em 160,00 R\$/MWh.

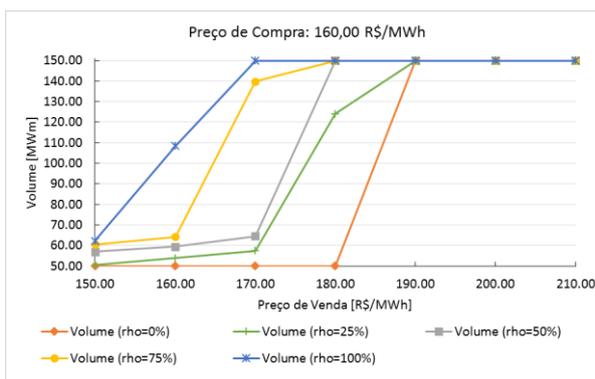


FIGURA 7 - Operação Swap: Sensibilidade ao Preço Venda x Volume Contratado

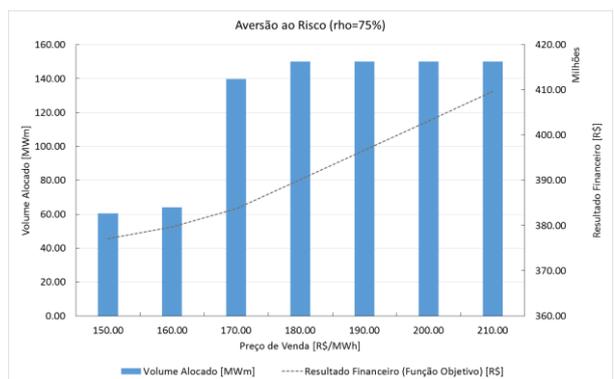


FIGURA 8 - Resultados Financeiros e Volume Alocado (rho=75%). Sensibilidade Preço de Venda

Nota-se que o nível de aversão ao risco e a variação do preço de venda influenciam na alocação ótima. Para situação de neutralidade ao risco (0%), até o preço de venda de 180,00 R\$/MWh indica-se contratar o mínimo (50 MWh) e para patamares de preço maiores, o máximo (150 MWh). Na situação oposta, aversão total ao risco (100%), indica-se alocar o volume máximo a partir do preço de venda de 170,00 R\$/MWh.

A decisão ótima de alocação dependerá dos preços de compra e venda e da aversão ao risco assumida. Dessa relação, têm-se os resultados financeiros que podem ser auferidos, já com base no controle do risco via CVaR.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam-se os resultados financeiros (função objetivo) e o volume alocado na análise de sensibilidade ao preço de venda, para o nível de aversão ao risco de 75%. Quanto menor o preço de venda, menor os retornos financeiros e menor o volume alocado.

De forma similar à primeira análise, na segunda buscou-se sensibilizar o preço de compra na situação em que o agente determina *ex-ante* o preço de venda na operação e negocia o preço de compra e, com base nessa informação, ajusta o volume ótimo a ser celebrado para cada situação, de forma a maximizar os resultados.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os resultados obtidos para cada nível de aversão ao risco e partindo-se da premissa do preço de venda ser fixo em 190,00 R\$/MWh. Neste caso, quanto maior a aversão ao risco, maior será o preço de compra onde deixa-se de indicar a contratação do limite máximo de 150 MWm. Por exemplo, para $\rho=75\%$, somente após o preço de compra de 180,00 R\$/MWh que se indica contratar menos do que o limite.

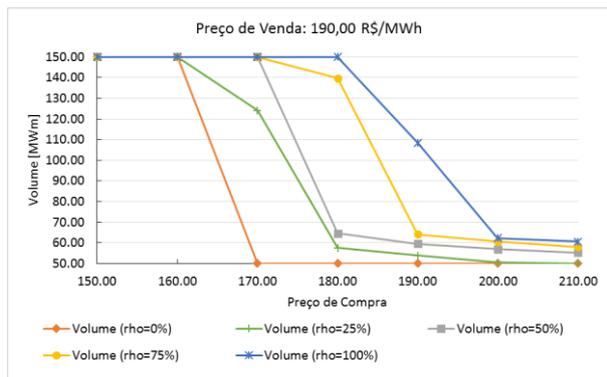


FIGURA 9 - Operação Swap: Sensibilidade ao Preço Compra x Volume Contratado

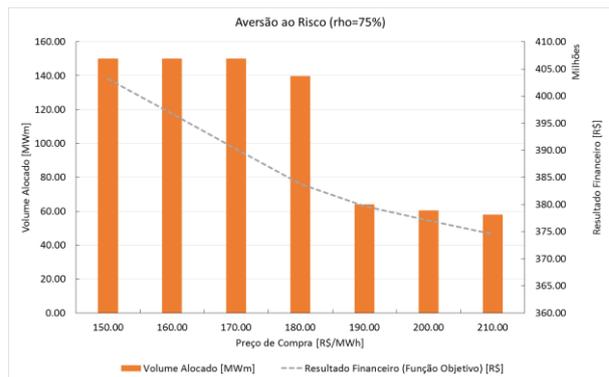


FIGURA 10 - Resultados Financeiros e Volume Alocado (rho=75%). Sensibilidade Preço de Compra

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam-se os resultados financeiros (função objetivo) e o volume alocado na análise de sensibilidade ao preço de compra, para o nível de aversão ao risco de 75%. Quanto maior o preço de compra, menor é a indicação para contratação e os resultados financeiros.

4.2 Conclusões – Caso Operação Swap

Embora no estudo de caso parta-se da premissa da situação em que há uma alteração no balanço contratual devido à redução no valor da garantia física da empresa, salienta-se que o modelo se aplica também para outras situações distintas, onde vislumbra-se uma iminente exposição involuntária ao MCP.

Em relação aos preços, como premissa para as análises realizadas fixam-se os preços de compra e venda e sensibiliza-se os preços dos contratos opostos (venda/compra). Entretanto, ressalta-se que outras análises de sensibilidade podem ser realizadas, como a definição da premissa de que os preços de compra e venda são iguais e buscam-se os volumes ótimos de compra e venda, ou então um caso em que tanto o preço quanto o volume de compra e venda são iguais e buscam-se os valores que maximizem o resultado de ambas as empresas. Porém, estas possibilidades não foram analisadas neste artigo por limitação de escopo.

Por fim, a modelagem desse tipo de operação 'swap', com suporte do modelo de otimização estocástica com métrica de risco CVaR incorporada, apresenta-se como um arranjo inédito e de alta potencialidade para operações reais.

De fato, oportuno salientar que tal modelo submeteu-se a testes de consistência em situação real de estudo aplicado para uma empresa geradora que realizou um leilão 'swap' em que o agente fixou o preço de venda e o preço teto de compra, sob a premissa de 1:1 na relação entre o volume de compra e o de venda. Nesse desenho, os resultados da aplicação do modelo subsidiaram os tomadores de decisão durante o processo negocial com as partes interessadas, atingindo resultados relevantes para a empresa, que mitigaram sua exposição involuntária ao MCP.

5.0 - CONCLUSÃO

As aplicações realizadas neste trabalho, utilizando-se das metodologias apresentadas, caracterizam de forma inequívoca a relevância e potencial da ferramenta desenvolvida, com importante contribuição ao processo de tomada de decisão dos agentes em situações reais de negociação de contratos.

Em relação ao caso de precificação da flexibilidade, mostra-se que é possível aferir o valor "justo" da flexibilidade

com o auxílio do modelo de otimização desenvolvido, permitindo assim que o agente vendedor possa definir sua estratégia comercial minimizando sua exposição ao risco do Mercado de Curto Prazo (MCP), atendendo ao interesse do cliente (flexibilidade) e obtendo retornos financeiros, no mínimo equivalentes àqueles que seriam obtidos por contratos sem cláusulas de flexibilidade.

Sobre a operação “swap”, salienta-se que se trata de um arranjo inédito e de alto potencial para operações reais, permitindo definir o volume ótimo a ser negociado, fixados os preços de compra e venda para a transação.

Um trabalho com apresentação de mais detalhes das metodologias, formulações e avanços está sob fase de desenvolvimento.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CAMARGO, L. A. S. *Estratégias de comercialização e investimento, com ênfase em energias renováveis, suportadas por modelos de otimização especializados para avaliação estocástica de risco x retorno*. 2015. 223p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dep. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, São Paulo, 2015.
- (2) ROCKFELLAR, R. T.; URYASEV, S. P. *Optimization of Conditional Value-at-Risk*. The Journal of Risk, p. 21-41, 2000.
- (3) PFLUG, G.; RÖMISCH, W. *Modeling Measuring and Managing Risk*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., p. 286, 2007.
- (4) CAMARGO, L. A. S.; GUARNIER, E.; RAMOS, D. S. Estratégia ótima de contratação para consumidores livres, com o “trade-off” entre contratação imediata e postergação de decisão, ponderando incertezas nos preços de curto prazo e na precificação de contratos bilaterais. In: XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE, 2015, Foz do Iguaçu / Paraná. Anais..., 2015.
- (5) CONEJO A. J.; CARRIÓN, M.; MORALES, J. *Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets*, International Series in Operations Research & Management Science 153. Springer Science + Business Media, 2010, p. 540.
- (6) BIRGE, J. R.; LOUVEAUX, F. *Introduction to Stochastic Programming*. Springer, New York, p. 420, 1997.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Luiz Armando Steinle Camargo

Doutor pelo Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica da Universidade de São Paulo - USP (2015), com estágio no Dep. of Industrial Economics and Technology Management - NTNU (2012-2013); Mestre em Engenharia de Infraestrutura pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA (2005) e Engenheiro Civil pela Universidade de São Paulo - USP (2002). Possui extensa experiência profissional de mais de 13 anos atuando em engenharia consultiva e gestão de projetos de grande porte nas áreas de Energia, Óleo & Gás. Desde 2010 atua como consultor na MRTS Consultoria e Engenharia Ltda nas áreas de: geração e energias renováveis, regulação do setor elétrico, estratégia empresarial, análise de risco, comercialização de energia e investimentos em geração, desenvolvimento de ferramentas para tomada de decisões complexas e modelagem institucional do setor elétrico.