

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

OTIMIZAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DESCONTRATAÇÃO DAS DISTRIBUIDORAS NO MECANISMO DE VENDA DE EXCEDENTES - MVE: UMA ABORDAGEM SOB INCERTEZA

MATEUS ALVES CAVALIERE(1);SERGIO GRANVILLE(2);ÁLVARO DE LIMA VEIGA FILHO(3);RODRIGO GELLI CAVALCANTI(2)
PSR(1);PSR SOLUCOES E CONSULTORIA EM ENERGIA LTDA.
(2);PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO(3)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para suportar a atuação das distribuidoras nos processamentos do Mecanismo de Venda de Excedentes utilizando o conceito de otimização sob incerteza. Para endereçar esse problema foi desenvolvido um modelo de otimização capaz de, a partir de um perfil de aversão ao risco e de distribuições de probabilidade de preços, indicar se e como a distribuidora deveria vender contratos nos diferentes processamentos de MVE ao longo do ano visando um resultado financeiro melhor do que o que seria conseguido sem a venda de contratos (apenas com a liquidação do excesso à PLD).

PALAVRAS-CHAVE: Otimização sob Incerteza; Distribuidora de energia; Comercialização de energia; Mecanismo de Venda de Excedentes

1.0 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, as distribuidoras de energia elétrica são responsáveis por fornecer dois tipos de serviço aos consumidores: i) serviço fio – associado a distribuição física de energia; ii) comercialização – realizar a compra de contratos para suprimento energético de sua carga. A compra de contratos é feita basicamente nos leilões centralizados, organizados pelo Governo. Para suprir seu crescimento de carga, as distribuidoras contratam nos Leilões de Energia Nova, cujos contratos têm início de suprimento 3 ou mais anos à frente. No entanto, projetar a demanda de energia para vários anos à frente é muito desafiador, pois o consumo de energia é muito dependente da taxa de crescimento da economia, programas e incentivos do Governo, da possibilidade de surgimento de uma nova solução/tecnologia (geração solar distribuída) e da migração de consumidores cativos para o mercado livre.

Embora as distribuidoras possam repassar os custos do excedente contratual de até 5% nas tarifas de energia, esse limite tem se mostrado insuficiente desde que a última crise econômica no Brasil (2015) derrubou as expectativas de crescimento do consumo, deixando as distribuidoras com um superávit de contrato enorme, conforme mostrado na Figura 1. Essa situação tornou-se um problema para as distribuidoras, uma vez que esses contratos são liquidados no mercado spot, ao Preço de Liquidação das Diferenças – PLD, de natureza bastante volátil e gerando incerteza nos fluxos de caixa das empresas.

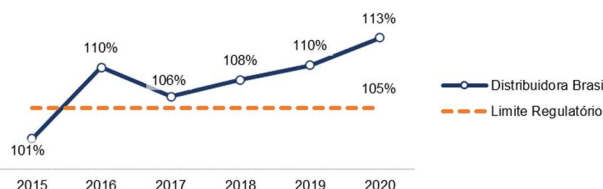


FIGURA 1 – Relação entre os montantes de contratos de compra de energia e a carga verificada em cada ano da Distribuidora Brasil (Fonte: CCEE)

Neste contexto, a Aneel, a agência reguladora, criou-se o Mecanismo de Venda de Excedentes – MVE. Trata-se de um mecanismo competitivo centralizado em que as distribuidoras oferecem quantidades e preços para vender contratos para o mercado livre. É um importante instrumento regulatório para gerenciamento do portfólio das distribuidoras no qual as empresas podem reduzir suas sobrecontratação e exposição ao mercado spot. A utilização deste mecanismo, junto aos outros existentes, tem sido de fundamental importância nos últimos anos para as distribuidoras ficarem mais próximas ao limite regulatório de sobrecontratação estabelecido em lei (ver Figura 2).

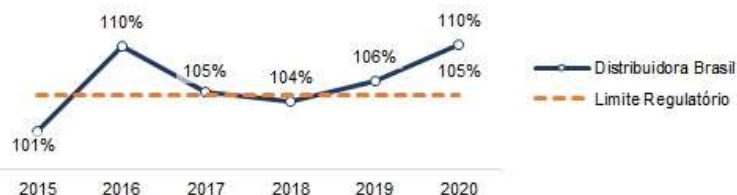


FIGURA 2 – Sobrecontratação após descontratação via mecanismos de gerenciamento de portfólio

No entanto, devido ao atual desenho regulatório, a participação da distribuidora no MVE pode imputar riscos, em termos de preço e volume, a própria concessionária. Assim, este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para otimizar a estratégia das distribuidoras nos processamentos de MVE utilizando o conceito de Decisão sob Incerteza. Em outras palavras, o modelo indicará uma estratégia de venda de contratos no MVE, considerando o perfil de aversão ao risco do agente, avaliando os diferentes custos de oportunidade existentes neste processo de tomada de decisão.

2.0 MECANISMO DE VENDA DE EXCEDENTES

A Lei 13.360, em seu Art. 6º, criou a base legal para que as distribuidoras pudessem negociar contratos de venda de energia elétrica com consumidores livres, comercializadoras e geradores, lastreados no excesso de energia por elas contratado para atendimento a totalidade de seu mercado. Em 2018, a Aneel, regulamentou esta matéria ao criar, por meio da Resolução Normativa 824/2018, o Mecanismo de Venda de Excedentes. Desde a publicação deste normativo, uma série de aprimoramentos foram feitos pela Aneel, resultando na regulamentação vigente dada pelo texto da Resolução Normativa 904/2020.

2.1 Produtos negociados e limites regulatórios para venda no MVE

A regulação prevê a possibilidade de venda dos excedentes contratuais das distribuidoras nos processamentos do MVE em produtos que se distinguem pelo tipo de energia, duração do contrato e tipo de preço. A energia associada ao contrato comercializado no MVE pode ser Convencional ou Especial, ambas não incentivadas, i.e., seu comprador não tem direito ao desconto na tarifa de transporte da energia. Além disto, os contratos negociados no MVE possuem duas possibilidades de preço: i) Preço Fixo; e ii) PLD + *spread*. As duas modalidades são complementares e juntas podem compor um portfólio interessante para o agente vendedor, ao garantir um resultado na partida, na venda no produto preço fixo, e um *hedge* contra o PLD, na venda no produto preço variável.

Por fim, a regulação prevê que os produtos negociados no Mecanismo de Venda de Excedentes podem ter diversas durações, padronizadas pela REN 904/2020. No entanto, até o momento só foram processados os produtos trimestral, semestral e anual, uma vez que os demais foram criados recentemente pela REN 904/2020 e aguardam ainda maior detalhamento de sua implementação. As negociações destes produtos ocorrem sempre conforme o calendário ilustrado na Figura 3. Destaca-se que pelo descasamento temporal dos processamentos e pela sobreposição de alguns produtos, a decisão de venda de um contrato deve levar em consideração o custo de oportunidade da venda futura.

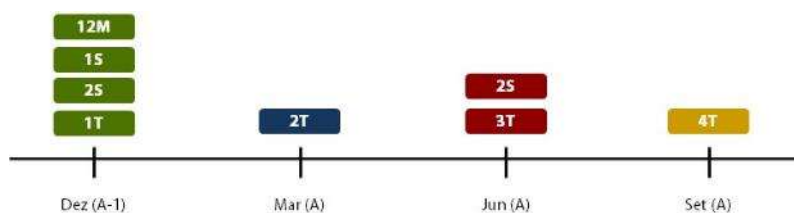


FIGURA 3 – Calendário de processamento do MVE

A REN 904/2020 determina, em seu Art. 10, que a participação das distribuidoras no MVE tem caráter voluntário e, portanto, as distribuidoras são livres para determinar a sua estratégia de atuação neste mecanismo. Entretanto, de forma a evitar estratégias temerárias que possam comprometer a função primária da distribuidora, que é a de garantir a contratação de energia para o atendimento ao seu mercado, este mesmo artigo limita, em sua alínea III, os montantes totais passíveis de declaração por parte da distribuidora.

Assim, o agente de distribuição poderá ofertar no máximo 15% da carga auferida no ano anterior, abatidas eventuais vendas já realizadas para o ano do processamento. Nos produtos Mensal e Trimestral o montante total é limitado

ainda a 1/4 do limite global. Já a venda de produtos de energia especial fica limitada ao volume total de energia com essa característica no portfólio contratual da distribuidora.

2.3 Apuração dos efeitos da venda no MVE

A Aneel, quando da época da regulamentação da matéria, além de impor os limites de venda nos processamentos de forma a evitar estratégias danosas ao consumidor cativo, impôs também uma sistemática de apuração dos efeitos da venda no MVE que protege o consumidor cativo. De acordo com a REN 904/2020⁽⁴⁾ a apuração é realizada da seguinte forma:

- Os efeitos financeiros decorrentes da venda da parcela da sobrecontratação acima dos limites regulatórios, sejam positivos ou negativos, devem ser integralmente alocados a distribuidora;
- Os efeitos financeiros decorrentes da venda da parcela de energia dentro dos limites regulatórios de sobrecontratação serão alocados da seguinte forma:
 - i. Caso haja um benefício financeiro na venda, isto é $P_{MVE} \geq PLD$, o lucro da operação é repartido igualmente entre a distribuidora e os consumidores cativos;
 - ii. Caso haja um prejuízo financeiro decorrente da venda, isto é $P_{MVE} \leq PLD$ ele será integralmente alocado a distribuidora.

Por fim, como existem produtos com diferentes características e que expõem a distribuidora e o consumidor a diferentes riscos, determinou-se que, para fins de apuração dos efeitos financeiros da venda no MVE, os produtos negociados deverão ser empilhados na seguinte ordem: i) tipo de preço (preço fixo / PLD + *spread*); ii) duração do contrato; iii) ordem cronológica de negociação; iv) tipo de energia (especial / convencional)

3.0 METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a formulação matemática proposta para otimizar, sob a ótica do risco-retorno, a atuação de distribuidoras nos Mecanismos de Venda de Excedentes, considerando as incertezas inerentes ao processo de decisão. Como será detalhado mais a frente, o modelo foi formulado como um problema de Programação Inteira Mista (PIM) para conseguir emular de forma precisa as particularidades desse mecanismo impostas pela regulação vigente.

3.1 Representação do perfil de aversão ao risco

O preço *spot* é um dos custos de oportunidade das distribuidoras para liquidação no mercado *spot* do seu excedente de contratos. Além disso, este é também um dos principais *inputs* utilizados pelo mercado e pela metodologia proposta em (5) para precificar os contratos *forward*, outro custo de oportunidade observado pelas distribuidoras ao vender seus excedentes contratuais no MVE.

Devido as características da matriz energética brasileira, o preço *spot*, calculado por meio de um modelo computacional, é uma variável muito volátil por ser altamente dependentes das perspectivas das afluências futuras. Sendo assim, espera-se que cada agente se comportará de uma maneira distinta diante dessa incerteza, afetando significativamente a sua disposição a vender. Portanto, o perfil de aversão ao risco do agente torna-se uma variável fundamental para determinação da sua atuação nos MVEs visando a maximização do seu resultado financeiro sob a ótica do risco-retorno.

De forma a emular essa variabilidade nos preços, usualmente são simulados despachos com diversos cenários hidrológicos equiprováveis, de forma a se obter uma distribuição de probabilidade desta variável e, portanto, da receita do agente, sendo possível agora aplicar uma estatística, que nesse caso será uma medida de risco, em cima desse espectro.

Na formulação que será apresentada a seguir, optou-se pela utilização do *Conditional Value at Risk* (CVaR) como medida de risco e a combinação convexa entre o valor esperado e o CVaR como forma de representar a aversão ao risco do agente.

3.2 Variáveis de entrada do problema de otimização

O modelo proposto neste trabalho conta com um conjunto de variáveis de entrada de diferentes naturezas, alguns regulatórios, outros de mercado, sumarizados na Tabela 1.

As variáveis Q_t^P e D_t formam o balanço energético da distribuidora, ambos assumidos aqui com conhecidos *ex-ante*, e que será utilizado pela CCEE no mês t para contabilização da liquidação no mercado *spot*. Essa liquidação será calculada considerando a realização do preço *spot* $\pi_{s,t}$, que será projetado considerando a regulação vigente.

As variáveis $Carga_{Reg}$, $Sobra_{Inv}$ e Exp_{Inv} junto a soma de Q_t^P ao longo do ano serão utilizadas para auferir os volumes de sobrecontratação ou exposição que devem ser alocados a distribuidora, conforme descrito no Submódulo

4.3 do PRORET. Caso esse volume seja diferente de zero, deve-se considerar ainda que a distribuidora ressarcirá o consumidor, em montante proporcional a esse volume, ao preço médio de compra da energia do portfólio $P_{t,s}^{MIX1}$. As variáveis Q_{MVE}^{MAX} , Q_{ESP}^{MAX} e Q_{TRI}^{MAX} representam os limites volumétricos de máxima quantidade de energia disponível para venda impostos pela regulação.

As variáveis $P_{k,s}$ indicam o preço de equilíbrio projetado, utilizando a metodologia detalhada em (1), para o contrato k negociado no MVE considerando a realização dos cenários hidrológicos. As variáveis $\Gamma_{s,t,k}$ indicam se, à luz da regulação vigente, para o contrato k , no mês t e no cenário s deveria haver o compartilhamento de ganhos da operação com o consumidor. Portanto, ela é calculada da seguinte forma

$$\Gamma_{s,t,k} = \begin{cases} 0, & \text{se } P_{k,s} > \pi_{s,t} \\ 0,5, & \text{caso contrário} \end{cases}, \quad \forall s \in S, t \in T, k \in K$$

TABELA 1 – Variáveis de entrada do problema de otimização

Variável	Descrição
K	Conjunto de contratos para venda no MVE
K_{ESP}	Conjunto de contratos de energia especial
K_{TRI}	Conjunto de contratos com duração de três meses
S	Conjunto de cenários hidrológicos simulados
p_s	Probabilidade associada ao cenário s
T	Conjunto de meses simulados (neste trabalho 1... 12)
Q_t^P	Quantidade de energia contratada no mês t
D_t	Carga da distribuidora no mês t
$\pi_{t,s}$	Preço <i>spot</i> do submercado da distribuidora no mês t do cenário hidrológico s
$P_{t,s}^{MIX}$	Preço médio de compra do portfólio da distribuidora no mês t no cenário hidrológico s
$Carga_{Reg}$	Carga regulatória da distribuidora
$Sobra_{Inv}$	Volume de sobrecontratação considerado involuntário a distribuidora
Exp_{Inv}	Volume de exposição considerado involuntário a distribuidora
Q_{MVE}^{MAX}	Máximo volume disponível para venda no MVE
Q_{ESP}^{MAX}	Máximo volume disponível para venda de energia especial no MVE
Q_{TRI}^{MAX}	Máximo volume de energia disponível para venda em produtos trimestrais
$P_{k,s}$	Preço do contrato k no cenário hidrológico s
$\Gamma_{s,t,k}$	Variável que indica se há ou não compartilhamento dos ganhos resultantes da negociação
$Sazo_{t,k}$	Fator de sazonalização do contrato k para o mês t
α	Intervalo de confiança
λ	Parâmetro de aversão ao risco

3.3 Formulação matemática do problema de otimização

De maneira a tornar a formulação mais clara e compreensível, a Tabela 2 apresenta um breve descritivo das variáveis de decisão e variáveis auxiliares utilizadas na modelagem do problema.

TABELA 2 - Variáveis de decisão e auxiliares do problema de otimização

Variável	Tipo	Descrição
Q_k^{MVE}	≥ 0	Variável de decisão para o volume vendido no MVE no contrato k
Rev_s^{Discos}	<i>free</i>	Receita alocada a distribuidora no cenário s após ajuste para repasse do resultado financeiro
$A_{s,t}^{FinExpSob}$	<i>free</i>	Ajuste do repasse dos custos de sobrecontratação de energia, exposição ao mercado de curto prazo e dos resultados no MVE, para o cenário s no mês t
$A_{s,t}^{Sobre}$	<i>free</i>	Ajuste da sobrecontratação de energia relativo à parcela voluntária para o cenário s no mês t
$A_{s,t}^{Expo}$	<i>free</i>	Ajuste da exposição no mercado de curto prazo relativo à parcela voluntária, no ano civil, para o cenário s no mês t
$A_{s,t}^{MveDisco}$	<i>free</i>	Ajuste da sobrecontratação de energia relativo à parcela voluntária nos montantes do MVE para o cenário s no mês t
$A_{s,t}^{MveCons}$	<i>free</i>	Ajuste relativo à parcela de energia no MVE até o limite da sobrecontratação no ano civil para o cenário s no mês t
$A_{s,t}^{MveComp}$	<i>free</i>	Ajuste referente ao compartilhamento do lucro resultante da venda de energia no MVE para o cenário s no mês t
$ucvar_s$	≤ 0	Variável auxiliar para cálculo do CVaR da receita
$bcvar$	<i>free</i>	VaR da receita da distribuidora
$Q_{t,k}^{Mve}$	≥ 0	Quantidade alocada ao mês t do contrato k do MVE
$Q_t^{AjSobre}$	≥ 0	Volume de excedente de energia, alocada a distribuidora, vendido no MCP no mês t

¹ O preço médio será calculado considerando o custo com o risco hidrológico decorrente da contratação da distribuidora, conforme disposto na Nota Técnica 73/20199 - ANEEL

Q_t^{AjExpo}	≥ 0	Volume da falta de energia, alocada a distribuidora, comprado no MCP no mês t
$Q_{t,k}^{MveDisco}$	≥ 0	Volume de energia do contrato k para o mês t vendido no MVE e alocado exclusivamente a distribuidora
$Q_{t,k}^{MveComp}$	≥ 0	Volume de energia do contrato k no mês t vendido no MVE que há compartilhamento entre distribuidora e consumidor
$x_{t,k}, y_{t,k}, z_{t,k}, w_t, a_t, b_t, c_t$	$\in \{0,1\}$	Variáveis binárias utilizadas para alocação entre distribuidora e consumidor da energia vendida no MVE

A formulação do problema de otimização é apresentada a seguir.

$$\max_{Q_k^{MVE}} (1 - \lambda) \cdot E[Rev_s^{Disco}] + \lambda \cdot CVaR[Rev_s^{Disco}] \quad (3.1)$$

s.a.

$$Rev_s^{Disco} = \sum_{t \in T} A_{s,t}^{FinExpSob} \quad \forall s \in S \quad (3.2a)$$

$$E[Rev_s^{Disco}] = \sum_{s \in S} p_s \cdot Rev_s^{Disco} \quad (3.2b)$$

$$CVaR[Rev_s^{Disco}] = bcvar + \sum_{s \in S} \frac{p_s}{(1-\alpha)} \cdot ucvar_s \quad (3.2c)$$

$$ucvar_s + bcvar \leq Rev_s^{Disco} \quad \forall s \in S \quad (3.2d)$$

$$ucvar_s \leq 0 \quad \forall s \in S \quad (3.2e)$$

$$A_{s,t}^{FinExpSob} = A_{s,t}^{Sobre} - A_{s,t}^{Expo} + A_{s,t}^{MveDisco} + A_{s,t}^{MveCons} - A_{s,t}^{MveComp} \quad \forall s \in S, t \in T \quad (3.3a)$$

$$A_{s,t}^{Sobre} = Q_{s,t}^{AjSobre} \cdot (\pi_{s,t} - p_{s,t}^{MIX}) \quad \forall s \in S, t \in T \quad (3.3b)$$

$$A_{s,t}^{Expo} = Q_{s,t}^{AjExpo} \cdot \max(0; \pi_{s,t} - VR) \quad \forall s \in S, t \in T \quad (3.3c)$$

$$A_{s,t}^{MveDisco} = \sum_{k \in K} Q_{t,k}^{MveDisco} \cdot (p_{s,t,k} - p_{s,t}^{MIX}) \quad \forall s \in S, t \in T \quad (3.3d)$$

$$A_{s,t}^{MveCons} = \sum_{k \in K} Q_{t,k}^{MveComp} \cdot (p_{s,t,k} - \pi_{s,t}) \quad \forall s \in S, t \in T \quad (3.3e)$$

$$A_{s,t}^{MveCons} = \sum_{k \in K} \Gamma_{s,t,k} \cdot Q_{t,k}^{MveComp} \cdot (p_{s,t,k} - \pi_{s,t}) \quad \forall s \in S, t \in T \quad (3.3f)$$

$$Q_{t,k}^{MVE} = Q_k^{MVE} \cdot Sazo_{t,k} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (3.4a)$$

$$Q_t^{AjSobre} = SobreD_t - \sum_{k \in K} Q_{t,k}^{MVE} \quad \forall t \in T \quad (3.4b)$$

$$Q_t^{AjExpo} = ExpD_t \quad \forall t \in T \quad (3.4c)$$

$$Q_{t,k}^{MVE} = Q_{t,k}^{MveDisco} + Q_{t,k}^{MveComp} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (3.4d)$$

$$\sum_{k \in K} Q_{t,k}^{MveDisco} \leq SobreD_t \quad \forall t \in T \quad (3.5a)$$

$$SobreD_t \cdot w_t \leq \sum_{k \in K} Q_{t,k}^{MveDisco} \quad \forall t \in T \quad (3.5b)$$

$$Q_{t,k}^{MveDisco} \leq y_{t,k} \cdot Q_{t,k}^{MVE} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (3.5c)$$

$$Q_{t,k}^{MveComp} \leq x_{t,k} \cdot Q_{t,k}^{MVE} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (3.5d)$$

$$x_{t,k} + y_{t,k} = 1 + z_{t,k} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (3.6a)$$

$$\sum_{k \in K} z_{t,k} \leq w_t \quad \forall t \in T \quad (3.6b)$$

$$y_{t,k} \leq 1 - \sum_{i=1 \dots k-1} z_{t,i} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (3.6c)$$

$$y_{t,k+1} \leq y_{t,k} \quad \forall k \in 1 \dots K-1, t \in T \quad (3.6d)$$

$$x_{t,k} \leq x_{t,k+1} \quad \forall k \in 1 \dots K-1, t \in T \quad (3.6e)$$

$$SobreD_t \leq a_t \cdot BigM \quad \forall t \in T \quad (3.7a)$$

$$\sum_{k \in K} Q_{t,k}^{MVE} - SobreD_t \leq b_t \cdot BigM \quad \forall t \in T \quad (3.7b)$$

$$SobreD_t - \sum_{k \in K} Q_{t,k}^{MVE} \leq c_t \cdot BigM \quad \forall t \in T \quad (3.7c)$$

$$a_t + b_t + c_t \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (3.7d)$$

$$a_t + b_t + c_t \leq 2 \quad \forall t \in T \quad (3.7e)$$

$$a_t + b_t \leq w_t + 1 \quad \forall t \in T \quad (3.7f)$$

$$w_t \leq a_t \quad \forall t \in T \quad (3.7g)$$

$$w_t \leq b_t \quad \forall t \in T \quad (3.7h)$$

$$\sum_{k \in K} Q_k^{MVE} \leq Q_{MVE}^{MAX} \quad (3.8a)$$

$$\sum_{k \in K_{ESP}} Q_k^{MVE} \leq Q_{ESP}^{MAX} \quad (3.8b)$$

$$\sum_{k \in K_{TRI}} Q_k^{MVE} \leq Q_{TRI}^{MAX} \quad (3.8c)$$

A função objetivo da modelagem proposta, equação (3.1), é composta pela combinação convexa entre o valor esperado e o CVaR α da receita da distribuidora, conforme já detalhado anteriormente.

As equações apresentadas em (3.2) são utilizadas para calcular as medidas de risco utilizadas na função objetivo do problema de otimização. Destaca-se que as equações (3.2c) - (3.2e) são a representação linear do CVaR α . Por fim, ressalta-se que apesar da generalização apresentada na formulação no que diz respeito a probabilidade de ocorrência de cada um dos cenários p_s , no Estudo de Caso que será apresentado, estes cenários serão considerados equiprováveis.

As equações apresentadas em (3.3) representam a receita auferida pela distribuidora ao final da apuração dos ajustes financeiros dos repasses dos custos de sobrecontratação de energia, exposição ao mercado de curto prazo e dos resultados do MVE, conforme a regulação vigente.

Já as equações apresentadas em (3.4) são utilizadas para estimar o volume de energia que será utilizado para calcular os efeitos financeiros, conforme as equações (3.3). Note que para fins de formulação a quantidade de energia vendida no MVE referente ao contrato k alocada ao mês t ($Q_{t,k}^{MVE}$) pode ser decomposta em duas parcelas, conforme a equação (3.4d): i) aquela alocada exclusivamente a distribuidora ($Q_{t,k}^{MveDisco}$); e ii) aquela cujos efeitos financeiros, se positivos, são repartidos com o consumidor ($Q_{t,k}^{MveComp}$). Destaca-se ainda que só haverá um efeito associado a liquidação da energia no mercado de curto prazo alocado a distribuidora ($Q_t^{AjSobre}$), caso a energia exposta ao MCP no mês t no balanço energético original ($SobreD_t$) supere o volume vendido em contratos no MVE alocados ao mês t ($\sum Q_{t,k}^{MVE}$).

As equações apresentadas em (3.5) – (3.7) são responsáveis por realizar a alocação dos volumes entre: i) integralmente alocados a distribuidora; e ii) compartilhado com os consumidores, conforme determina a regulação.

Por fim as restrições descritas nas equações (3.8) limitam a otimização da venda dos volumes no MVE aos limites impostos pela regulação vigente, conforme detalhado anteriormente.

4.0 ESTUDO DE CASO

De forma a validar a metodologia apresentada na seção anterior, será apresentado um Estudo de Caso no qual foi avaliado o comportamento do modelo ao se considerar diferentes parâmetros de aversão ao risco do agente:

- Caso 1: Agente neutro ao risco ($\lambda = 0$);
- Caso 2: Agente avesso ao risco ($\lambda = 0,5$);
- Caso 3: Agente muito avesso ao risco ($\lambda = 1$).

Os resultados das estratégias obtidas com o modelo foram comparados ao caso em que a distribuidora não participa de nenhum processamento ao longo do ano, referenciado neste trabalho como *Status quo*.

4.1 Premissas

A otimização da estratégia de atuação de uma distribuidora no Mecanismo de Venda de Excedentes requer a avaliação prévia das perspectivas para os custos de oportunidade aos quais o agente estará exposto, dentre eles destacam-se o preço *spot*, o preço médio de compra de energia e o preço da energia negociada no Mercado Livre, assim como para o balanço energético da distribuidora.

4.1.1 Preço *spot*

O preço *spot* no Setor Elétrico Brasileiro é um subproduto de um modelo computacional de otimização, chamado NEWAVE, que visa otimizar a operação do sistema elétrico baseando-se em custos auditados das usinas. Para a simulação da otimização do despacho de curto/médio prazo, optou-se neste trabalho por utilizar o modelo SDDP (*Stochastic Dual Dynamic Programming*), que conta com a mesma metodologia implementada no NEWAVE, porém possui uma capacidade de representação dos elementos do sistema mais detalhada, como por exemplo a individualização das usinas hidroelétricas.

Assim, as simulações de preço *spot* foram realizadas considerando a base do deck do Programa Mensal de Operação de agosto de 2021 com algumas pequenas modificações, destacadas a seguir: i) atraso no cronograma de algumas usinas de acordo com indicadores da Aneel; ii) redução nas vazões futuras de forma a atingir uma média nos cenários sorteados iguais a média observada nos últimos 5 anos (aproximadamente 80% da média de longo termo – MLT); utilização das curvas de referência, em acordo com a NT-ONS-DPL 0021/2021.

De forma a expurgar os efeitos conjunturais associados a hidrologia, utilizou-se o ano de 2025 como ano de referência para o Estudo de Caso. De forma a facilitar as avaliações do Estudo de Caso, a Figura 4 apresenta algumas estatísticas para a projeção do PLD no Sudeste, submercado da distribuidora, no período de vigência dos produtos

candidatos do MVE, onde S e T denotam semestre e trimestre, respectivamente. Observa-se um preço *spot* médio com pouca variação entre os períodos dos produtos, mas com bastante dispersão, especialmente no 1T.

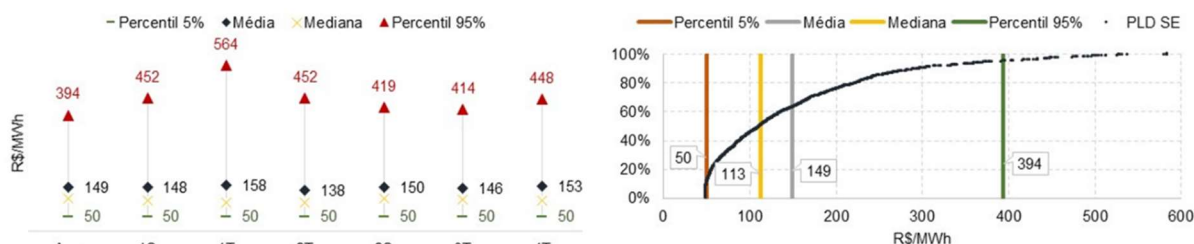


FIGURA 4 – Projeção do PLD para o submercado Sudeste

4.1.2 Preço de equilíbrio

A metodologia para projeção da curva *forward*, detalhada em (5), será utilizada para estimar os preços dos contratos com preço fixo e energia convencional (CONV-PF). Para os demais contratos, serão utilizados os dados históricos das negociações dos processamentos de MVE já ocorridos, sumarizados na Tabela 3^{2,3}.

Tabela 3 – Premissa de preço para os demais produtos do MVE

Produto	Energia	Preço	Valor
ESP-PLD	Especial	PLD + <i>spread</i>	PLD + 0,5 R\$/MWh
CONV-PLD	Convencional	PLD + <i>spread</i>	PLD + 4,5 R\$/MWh
ESP-PF	Especial	Preço Fixo	CONV-PF + 4,5 R\$/MWh

Assim, a partir dos resultados obtidos na simulação do despacho hidrotérmico foi possível estimar os preços de contratos *forward* para diferentes durações de contratos CONV-PF⁴, conforme mostrado na Figura 5. Como as simulações que foram realizadas nos Estudos de Caso consideram que a estratégia é traçada no momento da realização do primeiro processamento de MVE do ano - quando são negociados os produtos anual, 1º semestre, 2º semestre⁵ e 1º trimestre - a precificação destes contratos não apresenta nenhuma volatilidade. Para os demais produtos, a volatilidade observada está relacionada à incerteza referente às condições do sistema quando os contratos são negociados. A consideração deste ponto é fundamental no momento da definição da estratégia, como será mostrado em algumas sensibilidade.



FIGURA 5: Preço de equilíbrio para o produto CONV-PF

4.1.3 Informações da Distribuidora

Com o intuito de não inserir novas incertezas ao Estudo de Caso, utilizou-se uma configuração estática dos volumes de contratos e carga da distribuidora. Assim, foram utilizados os dados de volume de contratos e carga auferidos no ano de 2019 para a CEB, mostrados na Figura 6. A utilização do ano de 2019 como referência para a configuração estática da carga se justifica por ser o último ano civil completo em que não houve qualquer efeito no consumo de energia elétrica decorrente a pandemia do Covid-19. Sob o ponto de vista contratual, ao se assumir uma configuração estática do portfólio, mitiga-se o erro da projeção de qualquer nova contratação da companhia até 2025. Assim, para fins do Estudo de Caso, a seguinte configuração de portfólio foi assumida.

² Os contratos de energia especial têm um maior valor comercial uma vez que ainda existe uma reserva de mercado que obriga determinados consumidores a contratar energia deste tipo. Assim, o mercado usualmente soma um valor à curva dos contratos de energia convencional.

³ Para os contratos ESP-PF assumiu-se a adição de um *spread* ao valor projetado para o CONV-PF igual a diferença histórica entre ESP-PLD e CONV-PLD.

⁴ Considerou-se o submercado Sudeste como ponto de entrega virtual do contrato.

⁵ Este produto é negociado duas vezes dentro de um ano civil e, portanto, para fins de simulação foram considerados os dois contratos como candidatos. Assim, o preço para o processamento de dezembro, indicado por 2S*.



FIGURA 6: Balanço de contratos e carga da CEB e mix de contratos em 2019

Partindo-se do portfólio de contratos da CEB em 2019 e dos resultados obtidos na simulação da operação do sistema, calculou-se o PMIX da distribuidora, considerando as parcelas referentes ao risco hidrológico. Para tal, utilizou-se o software TSB⁶ para emular as liquidações na CCEE, de acordo com as regras de comercialização vigentes, e assim se obter o custo associado ao risco hidrológico de alguns contratos da distribuidora. Ressalta-se que estes custos dependem da geração das usinas contratadas no portfólio e do preço *spot* do submercado de entrega da energia. Assim, o cálculo do risco hidrológico foi realizado para cada um dos cenários simulados no SDDP, garantindo, portanto, a coerência nos dados de entrada para avaliação da estratégia da distribuidora.



FIGURA 7: Projeção do PMIX da distribuidora

Por fim, estimou-se, com base nos dados divulgados pela CCEE, os limites volumétricos para venda no MVE, à luz da regulação vigente, apresentados na Tabela 4.

Limite	Volume (MWm)
Global	116,74 MWm
Produtos trimestrais	29,19 MWm
Produtos de Energia Especial	41,8 MWm

4.1.4 Demais premissas

Para as simulações considerou-se que a distribuidora não possui nenhum volume de sobrecontratação involuntária e nem de exposição involuntária. Quanto a carga regulatória, utilizada para determinar o limite regulatório de sobrecontratação da distribuidora, considerou-se o valor divulgado pela Aneel no processo tarifário de 2020: 755,77 MWm.

Considerou-se ainda que a estratégia seria desenhada no processamento que ocorre em dezembro do ano A-1 e, que, portanto, a distribuidora teria a disposição as opções de contratação ilustradas na Figura 3.

4.2 Resultados

A estratégia ótima obtida em cada um dos casos é apresentada na Tabela 5.

TABELA 5 – Estratégias ótimas para diferentes níveis de aversão ao risco do agente

Processamento	Produto	Preço Médio	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Dez (A-1)	Esp. – Preço Fixo – Anual	174,50 R\$/MWh	-	12,6 MWm	-
Dez (A-1)	Esp. – Preço Fixo – 2S	172,50 R\$/MWh	-	-	25,0 MWm
Dez (A-1)	Esp. – Preço Fixo – 1T	184,50 R\$/MWh	45,0 MWm	118,4 MWm	118,4 MWm
Dez (A-1)	Conv. – Preço Fixo – Anual	170,00 R\$/MWh	-	73,2 MWm	-
Dez (A-1)	Conv. – Preço Fixo – 2S	168,00 R\$/MWh	-	-	103,3 MWm
Dez (A-1)	Conv. – Preço Fixo – 1T	180,00 R\$/MWh	-	7,0 MWm	92,8 MWm
Jun (A)	Esp. – Preço Fixo – 2S	172,50 R\$/MWh	60,9 MWm	-	-
Jun (A)	Conv. – Preço Fixo – 2S	168,00 R\$/MWh	139,9 MWm	-	-

⁶ Software desenvolvido pela PSR que emula as regras de comercialização da CCEE.

Set (A)	Conv. – Preço Fixo – 4T	172,00 R\$/MWh	17,6 MWm	-	-
---------	-------------------------	----------------	----------	---	---

A partir dos resultados é possível observar que quanto mais avesso ao risco for o vendedor (a distribuidora), maior o volume de energia vendido no processamento corrente. Este efeito fica claro quando são comparados os casos extremos, caso 1 e 3. Enquanto no primeiro a decisão ótima é um mix de venda em diversos processamentos, no segundo a indicação é para fechar todo o montante elegível para venda no processamento vigente, evitando o risco de flutuação nos preços de equilíbrio.

É possível notar ainda que apesar da solução ótima dos casos 2 e 3 ser a antecipação da venda do excedente no processamento vigente, a estratégia difere nos volumes negociados em cada um dos produtos. Essa diferença ocorre pelo fato de o agente no caso 3 ser mais avesso ao risco. Nesse caso, ele renuncia ao retorno esperado em favor de aumentar o CVaR do seu resultado financeiro. Esta conclusão é facilmente notada quando observamos as distribuições acumuladas dos resultados financeiros da distribuidora e suas estatísticas, para cada um dos casos, conforme mostrado na Figura 8 e na Tabela 6.

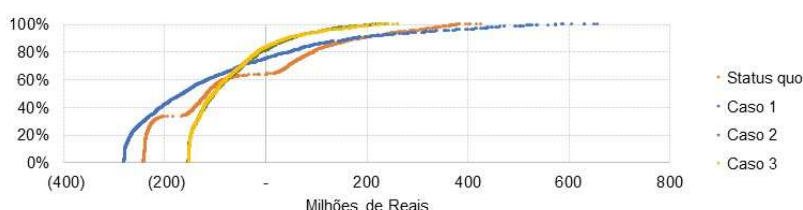


FIGURA 8 – Função distribuição acumulada do resultado financeiro da distribuidora

TABELA 6 – Estatísticas do resultado financeiro da distribuidora

	Status quo	Caso 1	Caso 2	Caso 3
VaR 5%	-277,6 MM R\$	-238,7 MM R\$	-150,4 MM R\$	-149,7 MM R\$
CVaR 5%	-278,0 MM R\$	-239,5 MM R\$	-150,8 MM R\$	-150,0 MM R\$
Valor esperado	-92,6 MM R\$	-57,7 MM R\$	-68,8 MM R\$	-70,3 MM R\$

Conforme esperado, quanto mais avesso ao risco o agente, maior o CVaR do resultado financeiro. Neste caso, a redução do risco acarretou uma consequente redução do retorno esperado. No entanto, em todos os casos é possível observar uma melhora significativa do resultado financeiro em relação ao *Status quo*.

5.0 CONCLUSÃO

Diante de todo o exposto neste trabalho, é notável a importância dos mecanismos de gerenciamento de portfólio das distribuidoras, especialmente em um contexto de mudanças regulatórias, que tendem a flexibilizar cada vez mais os limites para acesso ao Mercado Livre, e de novas tecnologias que empoderam energeticamente o consumidor, como por exemplo os recursos energéticos distribuídos. Portanto, um modelo que se propõe a desenhar estratégias de atuação no Mecanismo de Venda de Excedentes, importante vaso comunicante entre o Mercado Regulado e Livre, se mostra de fundamental importância para os agentes distribuidores.

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia que visa otimizar essa estratégia, sob a ótica do risco-retorno, sem deixar de considerar os aspectos regulatórios que permeiam esta importante ferramenta de gerenciamento do portfólio. Além disto, a metodologia proposta permite que seja considerada a aversão ao risco do agente, elemento fundamental para representação do perfil do agente tomador de decisão.

A partir das simulações apresentadas no Estudo de Caso é possível concluir que o modelo consegue avaliar de forma coerente os diferentes custos de oportunidade para a distribuidora ao indicar estratégias de venda de energia no Mecanismo de Venda de Excedentes aderentes ao perfil de aversão ao risco do agente.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) CAVALIERE, M. A.; GRANVILLE, S.; OLIVEIRA, G. C. ; PEREIRA, M. V. F.. A forward electricity contract price projection: A market equilibrium approach, 2019 - <<https://arxiv.org/abs/1904.04225>>.

DADOS BIOGRÁFICOS



Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Potência pela UFRJ. Entre 2014 e 2015, cursou Sistemas de Energia na Hochschule Ruhr West, Alemanha. Ingressou na PSR em 2015 e desde então vem atuando em (i) estudos tarifários e de precificação de energia nos ambientes de contratação regulada e livre; (ii) estudos de avaliação de estratégias para suprimento de energia de consumidores; (iii) avaliações econômico-financeiras de empresas de geração, distribuição e transmissão; e (iv) assessoria regulatória.

(2) **SERGIO GRANVILLE**
Ingressou na PSR em 2000. Atualmente é Diretor Técnico, e coordena a pesquisa e desenvolvimento de ferramentas analíticas avançadas baseadas em otimização não linear e estocástica, teoria dos jogos / equilíbrio econômico e “data analytics” aplicadas à simulação de mercados de energia elétrica, planejamento da expansão de sistemas de transmissão e modelos integrados economia-energia. Tem graduação e MSc em Matemática Aplicada pela PUC-Rio, e Ph.D. em Otimização pela Universidade de Stanford.

(3) **ÁLVARO DE LIMA VEIGA FILHO**
Prof. Álvaro VEIGA is an electrical engineer with PhD Degree from Telecom ParisTech (Paris, France). He is currently an Associate Professor at the Department of Electrical Engineering at PUC-Rio (Brazil). His research interests include statistical/data modeling, stochastic optimization, machine learning, quantitative finance, and risk management. He has been actively working on consulting projects in statistical modeling, data analysis, and quantitative risk analysis for public and private companies in sectors like energy, telecommunication, insurance/pension, and marketing.

(4) **RODRIGO GELLI CAVALCANTI**
Graduado e mestre em Engenharia Elétrica pela PUC-Rio. Ingressou na PSR em 2006, onde vem coordenando equipes e trabalhos em (i) projeções de tarifas, encargos e bandeiras tarifárias, (ii) projeções de preços de energia no mercado livre (iii) estimativa da demanda de energia nos leilões regulados, (iv) avaliação do balanço comercial nos mercados livre convencional e incentivado, (v) penetração de geração distribuída e seus impactos, (vi) estratégias de suprimento de energia elétrica e migração para o mercado livre, (vii) valoração de ativos de geração e distribuição de energia; (viii) regras de mercado e (ix) quantificação de impactos regulatórios nos agentes.