



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

AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA AFERIR A DIFUSÃO DO RISCO DE DEFAULT FINANCEIRO DE CONTRAPARTE E INVESTIGAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS NA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MERCADO BRASILEIRO: UMA DISCUSSÃO NECESSÁRIA.

PEDRO SOUZA ROSA(1);LUIZ ARMANDO STEINLE CAMARGO(1);DOREL SOARES RAMOS(3);DANIEL SOUSA BARRA(2);ROBERTO CASTRO(1);MARTIN MELO DIAS(1);VITOR HUGO LAZZARESCHI(4); RAFAEL JASPER FELTRIN(2);MATEUS HENRIQUE BALAN(1);RAFAEL PERESSONI FARACO(2);IANCA DA SILVEIRA DE OLIVEIRA(3);LUIZ MACAHYBA(3);ERNANI TEIXEIRA TORRES FILHO(3) MRTS CONSULTORIA(1);NAVARRA TECH(2); FDTE(3); RIO PARANAPANEMA ENERGIA(4)

RESUMO

O risco de default financeiro no mercado de energia é fator de preocupação e o tema segurança de mercado se destaca na atual agenda do setor. Este artigo apresenta um modelo computacional capaz de emular o comportamento dos agentes e medir parâmetros como grau de alavancagem e exposição dos agentes e o risco sistêmico avaliado do ponto de vista de uma entidade centralizadora. Estudo de caso hipotético ilustra o potencial do modelo em contribuir para que as discussões teóricas e conceituais sobre o tema passem a ser suportadas por avaliações quantitativas, permitindo-se avaliar os aprimoramentos nos atuais mecanismos de segurança

PALAVRAS-CHAVE: Energia Elétrica, Segurança de Mercado, Transações Bilaterais, Risco, Comercialização

1.0 INTRODUÇÃO

Há elevado consenso entre os especialistas de que os mecanismos de comercialização de energia elétrica nacional necessitam de aprimoramentos que melhorem a estabilidade e proteção aos seus participantes. O desenvolvimento do mercado brasileiro caracteriza-se pelo crescimento no número de agentes, da oferta e do consumo, demandando ambiente organizado capaz de suprir as bases comerciais, contábeis, legais e regulatórias para viabilizar transações comerciais entre os agentes, respeitando-se a aderência com o desenho de mercado da energia elétrica nacional.

No modelo de mercado atual, o risco é traduzido pela possibilidade de não cumprimento das obrigações financeiras contraídas pelos agentes em decorrência das suas operações comerciais. Este fato pode provocar um efeito cascata, por exemplo, quando o agente que não registrou devidamente um contrato de compra de energia seja obrigado a pagar seu consumo medido ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), que pode ser muito maior do que o preço do contrato não registrado. Neste caso, além de sujeitar-se às penalidades cabíveis pela falta de lastro, a inadimplência do agente pode afetar toda a cadeia de transações, inclusive participantes que sequer tenham transacionado diretamente com a contraparte inadimplente com suas obrigações financeiras. Em suma, o risco bilateral pode propagar-se ao mercado e quanto maior for o número de contrapartes envolvidas maior será a “velocidade” dessa propagação de efeitos.

As discussões sobre ações a serem tomadas com vistas à melhora da segurança de mercado foram elevadas a um patamar de maior urgência após janeiro de 2019, quando a variação do preço previsto no curto prazo (PLD) representou um impacto significativo ao mercado, levando ao default de agentes. Naquela ocasião, a CCEE apresentou três painéis no I Fórum de Debates – Segurança de Mercado para discussão de medidas que visavam elevar os critérios de segurança, iniciando-se um ciclo mais intenso de debates sobre as necessidades de melhorias nos regramentos. Resultados destas ações se consolidaram nas notas técnicas emitidas pela CCEE [1], [2], [3] e [4].

É nesse contexto que se insere a iniciativa do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) “*Análise de Difusão de Risco de Default Financeiro de Contraparte e Investigação de Medidas Mitigadoras na Comercialização Descentralizada de Energia Elétrica no Mercado Brasileiro – Projeto Segurança de Mercado*”, que tem a CTG Brasil como proponente, a MRTS, a Navarra Tech e a FDTE como executoras e a CCEE em cooperação técnico-científica.

Neste artigo apresenta-se a metodologia proposta de avaliação de risco do mercado que está sendo desenvolvida no âmbito deste referido P&D, destacando-se que o projeto está em andamento e que para sua conclusão, serão implementados aprimoramentos no modelo. Entretanto, os primeiros resultados obtidos se mostram consistentes e suportam a publicação deste trabalho,

especialmente com o intuito de, com o debate público sobre o tema, obter-se subsídios para os próximos desenvolvimentos metodológicos e de modelagem para a conclusão do projeto.

1.0 MODELAGEM DA DINÂMICA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Representar a dinâmica de comercialização de energia elétrica no mercado é uma tarefa complexa, na qual há necessidade de se trabalhar com informações incompletas, comportamentos dos agentes e conjunturas do setor, dentre outras especificidades deste ambiente.

Assumindo-se esses desafios, o presente trabalho apresenta um modelo computacional capaz de emular a dinâmica do mercado quanto às vertentes de negociação bilateral entre os agentes, a aferição dos riscos bilaterais associados e a contabilização dos resultados pela aplicação das regras de comercialização. Como respostas a serem oferecidas pelo modelo citam-se: (i) a possibilidade de inclusão de regramentos específicos (aporte de garantias, restrições de alavancagem etc.) para emulação da dinâmica do mercado com base em propostas de alterações no atual sistema de garantias; e (ii) a capacidade de aferição de riscos bilaterais e risco global de mercado, tanto sob visões individuais dos agentes quanto da entidade central do monitoramento do mercado.

O alicerce do modelo proposto consiste na metodologia de modelo baseado em agentes (*Agent-Based Model*). Um modelo de agentes é uma simulação computacional caracterizada pela interação entre agentes (entidades autônomas representativas, cada um com suas características e perfil de comportamento). Segundo [5], esse tipo de modelagem é ideal para estudar a dinâmica de sistemas complexos adaptativos, sendo aderente aos ambientes de mercados financeiros e, em particular, com ambientes de nicho como o mercado de energia brasileiro.

O modelo de simulação de mercado e de análise de risco proposto neste trabalho compõe-se de três camadas integradas entre si, subdivididas em três simuladores computacionais de: negócios, riscos bilaterais e contabilização.

A primeira das camadas, denominada “Simulador de Negócios”, é desenvolvida a partir da identificação de padrões comportamentais dos agentes de mercado e das possibilidades negociais na relação bilateral entre os diversos agentes com diferentes perfis. Observa-se que as contratações bilaterais reais dos agentes não são de total conhecimento público e, portanto, a modelagem dos negócios não se baseia em informações completas e reais do mercado, mas em situações hipotéticas emuladas a partir dos perfis típicos dos agentes modelados.

As camadas seguintes são a de “Avaliação de Risco Bilaterais”, na qual se calcula diversas variáveis, como o grau de alavancagem, exposições e o risco individual dos agentes e do sistema, e a camada de “Contabilização” no âmbito da CCEE, onde são reproduzidas as principais regras de contabilização. Nestas camadas, observa-se a evolução temporal do risco do sistema desde períodos de avaliação anteriores até o momento da liquidação na CCEE, a partir da geração de cenários estocásticos de curvas forward de preços para o mercado de energia.

Com base nesta estrutura é possível, por exemplo, aferir os riscos para a comercialização bilateral, emular possíveis defaults de agentes e a necessidade de aporte de margem de garantia para os agentes afetados. Portanto, torna-se possível validar a otimização de garantias a serem exigidas dos agentes, necessárias para minimizar o risco sistêmico, sem onerar excessivamente as operações e preservar a liquidez do mercado.

2.0 VISÃO GERAL DO MODELO

O fluxograma da Figura 1 representa a visão geral do modelo e a integração dos três módulos de simulação que o compõe (Negócios, Riscos Bilaterais e Contabilização), provendo-se uma estrutura que permite emular a dinâmica de negociação no mercado de energia elétrica.

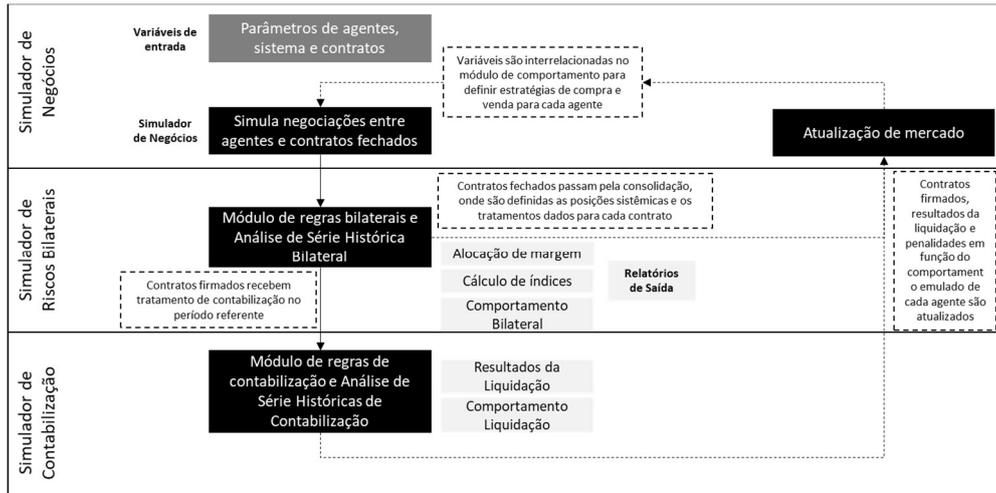


Figura 1 - Visão Geral do Modelo de Simulação de Mercado (Fonte: elaboração própria).

2.1 SIMULADOR DE NEGÓCIOS

O Simulador de Negócios consiste em um modelo de agentes criado para simular transações bilaterais entre os diversos tipos de empresas que participam no mercado de energia. Os resultados desta etapa são os contratos potencialmente fechados entre os agentes que serão utilizados nos cálculos estatísticos de risco e de avaliação das métricas sugeridas para aumentar a segurança do mercado.

O Simulador possui uma vertente temporal, onde cada período representa um dia composto por duas etapas de negociações, nas quais cotações são enviadas e recebidas pelos diversos agentes. O objetivo dos agentes é fechar contratos seguindo seu próprio racional. Como não se dispõe das informações completas sobre as relações bilaterais, o modelo proposto neste projeto emula essas relações a partir da tipificação do comportamento dos diversos agentes, de acordo com porte, frequências de transação e outros parâmetros de agentes reais do mercado.

O desafio de gerar uma série histórica sintética que incorpore características semelhantes ao esperado na realidade, conhecendo somente o ponto de partida e o ponto final desse processo, se torna extremamente complexo devido não só as alterações externas que afetam o sistema, como mudanças meteorológicas e de regulamentação, como também alterações endógenas nos comportamentos dos agentes, cujas negociações são mantidas em sigilo. Em uma modelagem de agentes, portanto, o sistema que se deseja modelar é simulado utilizando-se um conjunto de entidades autônomas representativas que interagem entre si e com o ambiente comercial, seguindo regras determinadas, sendo essas interações reproduzidas via simulações computacionais.

Esta camada do Simulador de Negócios divide-se em três módulos interrelacionados:

- i. O Módulo de Comportamento, responsável por receber os dados iniciais da simulação, das premissas configuradas e por calcular as necessidades de compra, venda, capacidade de geração e energia consumida para cada agente, sendo a base para que estes executem suas próprias estratégias, em função de suas características individuais.
- ii. O Módulo de Emulação de Negócios, que recebe as informações de mercado, contendo informações sobre o conjunto de agentes e suas estratégias, e representa o “dia a dia” do mercado de energia. Neste caso, em um determinado período (ex. dia, semana, mês), os agentes interagem através de envio de cotações para negócios que serão fechados quando volumes e preços entre compradores e vendedores se conectam.
- iii. O Módulo de Atualização de Mercado, cuja principal função é rearranjar os dados de entrada em função da dinâmica do mercado em cada período. Nesta fase, os negócios fechados são enviados para os módulos subsequentes, que através de métricas, definem quais contratos foram firmados, quais dos contratos firmados foram registrados, quais agentes foram desligados ou sofreram falência.

Com essas informações, os dados de entrada são atualizados e fornecidos novamente ao “Módulo de Comportamento”, para que um novo período de simulação se inicie, emulando-se a operação cíclica da dinâmica da comercialização. Note-se que este módulo emula a situação real de mercado em que nem todos os contratos firmados são antecipadamente registrados na CCEE. Esses contratos não registrados são conhecidos como “contratos de gaveta” pelos agentes do setor elétrico e neste trabalho são considerados na avaliação dos riscos.

O modelo de agentes utilizado no Simulador de Negócios consiste em uma entidade organizadora, responsável por coordenar o processo e agregar os dados dos agentes e das diversas entidades que buscam representar os agentes do mercado. Sua premissa inicial é tentar simular um sistema de RFQs (*Request for Quotes*), onde as contrapartes enviam, umas às outras, propostas de

negociações e respondem às propostas recebidas com as quais possuem interesse em negociar, com base em critérios financeiros e restrições impostas (ex. grau de alavancagem).

Existem diversos desafios na criação desse modelo. Dado que ele se baseia na tentativa de replicar o comportamento dos agentes reais de mercado, é essencial entender profundamente como esses agentes se comportam e como tomam suas decisões. No entanto, muitos dos dados necessários para esse fim não estão disponíveis, tornando-se necessário simplificar o comportamento, além de estimar diversas variáveis importantes.

O resultado do modelo é uma série histórica, cujo objetivo é replicar, da melhor maneira possível, os comportamentos que se espera caso todos os dados de transações bilaterais entre os agentes fossem conhecidos (disponibilizados publicamente). Essa camada se tornaria desnecessária caso esses dados passassem a ser publicamente conhecidos, podendo-se, então, utilizar os dados reais ao invés de se utilizar esses dados gerados por emulação.

As decisões dos agentes são tomadas com base em análise de expectativas de ganhos ou perdas em função da situação vigente dos parâmetros indicados como regras de comportamento no mercado e da curva de preços futuros que melhor representa o preço justo da energia sob o ponto de vista individual do agente.

As decisões são implementadas através de uma árvore de decisão que leva em conta a possibilidade do agente melhorar sua posição no mercado, em função de seu perfil e de suas expectativas de resultados futuros, considerando as posições atuais e as expectativas de preço individuais dos agentes, observando-se que cada agente tem uma expectativa diferente do preço futuro e é essa a motivação para compradores e vendedores fecharem um contrato. Na árvore de decisão, a cada “ramo”, o agente observa seus indicadores atuais de exposição, alavancagem, balanceamento e porte para definir uma margem de segurança em relação ao preço considerado justo, fechando ou não, um contrato ofertado. Caso esses indicadores estejam longe do “ideal”, o modelo penaliza (aumenta a margem exigida) as operações que pioram esses indicadores e bonifica (diminui a margem exigida) as operações que trazem esses indicadores para mais próximos dos valores “ideais”.

O preço justo para fechamento de um contrato, é obtido acrescentando-se as penalidades e reduzindo-se as bonificações da curva de preços futuros observada pelo agente, definindo-se, assim, se haverá ou não a contratação, à medida que para que seja realizado um contrato, é necessário que se disponha de oferta de contratos com preço coerente com o preço justo identificado pelo agente.

2.2 SIMULADOR DE RISCOS BILATERAIS

A Simulador de Riscos Bilaterais é responsável por calcular métricas de monitoramento, determinar a necessidade de margem para manutenção dos contratos firmados e aplicar metodologias para quantificar os riscos de contraparte e os riscos sistêmicos (o que permitiria, por exemplo, a chamada de margem para atuação no mercado, mitigando o risco de inadimplência dos agentes). Dessa forma, essa etapa do modelo permite quantificar o risco do sistema e compará-lo com o custo financeiro total, se a chamada de margem acontecesse. Esta, no entanto, não é uma prática regulamentada no modelo de mercado vigente, mas permitiria a chamada de margem coerente com o nível de risco que cada agente individualmente acarreta ao mercado como um todo.

O simulador também permite identificar os comportamentos mais arriscados e que podem, portanto, agregar mais risco ao mercado. Ao emular a dinâmica de garantias financeiras entre os agentes, contemplando desde políticas simples empregadas atualmente, como o registro contra pagamento, até possibilidades mais complexas, como a existência de um agente garantidor central, é possível estabelecer a evolução dinâmica das negociações bilaterais entre os agentes, desde um dado período inicial de análise até o momento de liquidação dos contratos, conforme elaborada pela CCEE. Com isso, pode-se simular possíveis riscos dos chamados “contratos de gaveta”, assim denominados por não serem de conhecimento prévio das instituições setoriais.

Neste módulo de simulação também são mensurados os resultados financeiros das operações realizadas pelos agentes, a margem exigida para os contratos firmados e o cálculo dos riscos de exposição associados a essas posições resultantes do simulador de negócios. Observa-se que na modelagem adotada existe uma diferenciação entre o que se denomina “negócios” e o que se considera “contratos”.

Ao representar a dinâmica de alocação de margem, o módulo avalia se um determinado agente consegue alocar a margem necessária para transformar um “negócio” em um “contrato” ou então, se um contrato já existente foi “quebrado” por falta de ajuste na margem. Como resultado, o modelo envia relatórios periódicos para o “Módulo de Atualização de Mercado” e, no período que ocorrer a contabilização, para o “Módulo de Regras de Contabilização”.

Os riscos bilaterais são medidos sob o prisma da visão dos agentes, denominada de “visão própria”, e sob o prisma do mercado, denominado “visão a mercado”, que inclui a CCEE e as relações bilaterais emuladas pelo modelo computacional no módulo de contratação bilateral. Sob a ótica dos agentes, utiliza-se como base de cálculo a curva *forward* de preços estimada pelos próprios agentes (curvas individuais que representam suas expectativas) e no caso do centralizador do mercado, uma curva *forward* cenarizada que traduz a precificação de negócios de curto a longo prazo na visão da entidade de monitoramento do mercado. A avaliação considera a situação de contratação de todos os agentes a partir do mês do período de negociação até o final do horizonte definido no estudo. Com a estruturação proposta para diferenciar o período de fechamento das negociações e a vigência dos contratos (e respectivas contabilizações) torna-se possível acompanhar período a período, o comportamento dos agentes e as alterações oriundas de eventuais mudanças no contexto da simulação, como por exemplo, mudança das curvas *forward* dos agentes e a curva *forward* de mercado, utilizadas para os cálculos das margens e exposições financeiras.

O Valor do Risco Sistemico – VRS, representa a soma das exposições financeiras de todos os comercializadores ao preço *forward* de referência, independentemente da posição comprado ou vendido, no horizonte de cálculo. Desta forma, o risco sistemico é sensível à curva *forward* de referência, e pode mudar tão frequentemente (diário) e intensamente como as projeções que ocorrem no mercado, alterando as condições iniciais de um período de negociação a outro.

2.3 SIMULADOR DE CONTABILIZAÇÃO

O Simulador de Contabilização tem como objetivo realizar o processo de Liquidação das Diferenças conforme as regras aplicadas pela CCEE, com o registro dos contratos, a compatibilização da medição (entrega física) e alocação de margem, elaborada posteriormente à efetivação do consumo.

A dinâmica atual de alocação de margem na CCEE parte do pressuposto de que os agentes com exposição contratual negativa devem aportar garantias financeiras assegurando o pagamento da energia no mercado de curto prazo. Essa camada do modelo funciona de maneira análoga à camada de contratação bilateral, sendo que ao ser iniciada, as informações dos contratos firmados são enviadas ao “Módulo de Regras de Contabilização”. Inicialmente, o módulo inclui o cálculo de aporte de garantias mensalmente com regra similar à atual. Também se considera, no modelo desenvolvido, a flexibilidade na implementação de novas regras para que se possa avaliar, comparativamente, as várias opções de alocações de margem, bem como o controle de risco sistemico no âmbito da CCEE (objeto de estudos futuros, no transcorrer das próximas etapas do citado projeto de P&D).

A implementação do Simulador de Contabilização visando reproduzir as regras atuais é parte essencial do processo de desenvolvimento deste modelo, sendo que o “Relatório de Resultados da Liquidação” é a principal ferramenta de validação para quantificar a qualidade do modelo desenvolvido e principalmente avaliar as premissas aplicadas.

3.0 ESTUDO DE CASO

Neste item apresenta-se um estudo de caso que ilustra o potencial de aplicação do modelo descrito. Em particular, explora-se a relação entre os dois submódulos: Simulador de Negócios e Simulador do Risco Bilateral. As configurações assumidas como premissas para o estudo de caso visam proporcionar condições para que sejam abordados aspectos inerentes à segurança de mercado.

Para fins ilustrativos e de suporte às discussões, considera-se um ambiente negocial hipotético e didático, composto por 6 comercializadores típicos, todos com patrimônio líquido de R\$ 1 milhão e um volume operacional de 100 MWm. O volume operacional retrata o volume máximo em energia que um agente pode negociar dentro do portfólio, portanto, o limite máximo de contratos de compra ou de venda é de 100 MWm. Objetiva-se, portanto, limitar o volume de negociações pela energia e analisar comportamentos associados ao tamanho ou porte do comercializador. O horizonte de cálculo dos indicadores para esse estudo é de 6 meses à frente, incluindo o mês do período de negociação. O horizonte global do estudo é de 5 anos.

O racional proposto incentiva a interação entre todos os 6 comercializadores, sem contratação inicial, para que as regras propostas os incentivem a adotarem posição de mercado a partir de suas visões individuais de preço.

Assume-se que as negociações são realizadas em quantidades fixas de 5 MWm e alocados nos seguintes tipos de produtos candidatos, com vigências iniciadas a partir da data de sua concretização: 5 produtos mensais (M0, M1, M2, M3, M4), 3 trimestrais (Q1, Q2 e Q3), 2 semestrais (S1, S2) e 2 anuais (A1, A2).

O modelo está associado com a visão das curvas forwards, que têm o objetivo de diferenciar as visões de futuro de cada agente a partir de uma curva de referência fornecida como dado de entrada. Para este estudo, a curva *forward* de referência utilizada é da projeção de preço realizado pela CCEE, através dos informes InfoPLD **Erro! Fonte de referência não encontrada.** de cada mês.

Um dos aspectos principais do modelo é emular o comportamento da contratação dos agentes, relacionado com o quanto um agente pode realizar sucessivos contratos e aumentar o nível de contratação apenas observando o aspecto da proposta de contratação em si. Partindo da visão própria, baseado em sua curva *forward* individual, o comercializador atua em função do preço que ele aposta que irá acontecer.

A margem¹ de ganho inicial esperada pelo comercializador indica a propensão do agente fechar negócio, ou seja, se o comercializador tem uma margem inicial de 10% e ele prevê que o preço de um produto, por exemplo, mensal, será de R\$ 100/MWh, o preço justo será de R\$ 90 /MWh e ele fechará negócio para ofertas de compra até esse valor. O preço justo para compra, portanto, torna-se um limite superior.

Para o caso da venda, o preço justo será de R\$ 110/MWh, funcionando por sua vez, como um limite inferior. Portanto, o aspecto da margem inicial afeta seu comportamento em relação aos demais comercializadores, pois pode se esperar maior número de negociações de compra ou de venda a depender do viés de preço justo observado pelo comercializador que toma a decisão.

Como descrito anteriormente, os mecanismos de penalidades atuam na margem final adotada para realização de negócios. Uma vez transgredida uma condição sujeita a penalidades, ela acrescenta um percentual na margem a ser considerada ao fechamento de uma proposta, reduzindo ainda mais a possibilidade de concretização, ou seja, se a penalidade de exposição for de 30%, e ela for transgredida, a margem considerada, no mesmo caso exposto anteriormente, seria de 40% e, conseqüentemente, o preço justo

¹ O termo “margem” neste contexto refere-se a um mecanismo interno de cada agente, para quantificação de tomada de decisão (margem no sentido de lucro do contrato) e não em um sistema de margens no sentido de garantias financeiras.

para compra seria R\$ 60/MWh e para venda R\$ 140/MWh, diminuindo a chances de novas contratações, mas não impedindo o negócio, caso exista uma oportunidade. Portanto, o mecanismo de penalidades indica se o preço de uma proposta é favorável ou não, mesmo que exista uma transgressão pontual.

Dentre a gama de parâmetros discutidos anteriormente, decidiu-se utilizar os seguintes: penalidades de alavancagem, exposição e volume, conforme explica-se a seguir.

Penalidade de Alavancagem: dado uma proposta de contratação, verifica-se se a efetivação do contrato implica em piora da situação financeira do comercializador. Em caso afirmativo, aplica-se penalidade sobre a margem requerida para eventual aceitação da proposta. Para tanto, se calcula a alavancagem atual para compra ou venda e o impacto que a proposta proporciona. Duas condições são consideradas: se a alavancagem já se encontra fora do limite e se o novo impacto piora a alavancagem atual. A penalidade é aplicada se ambas as condições são atendidas. Adota-se esta abordagem ao invés de se observar a alavancagem resultante da proposta porque, caso o comercializador esteja em situação de alavancagem fora dos parâmetros, independentemente de sua vontade, por conta por exemplo, da alteração da curva *forward* de referência de um período de negociação para outro, o modelo só decidiria por propostas que invertessem sua situação, descartando propostas que contribuiriam para a redução de sua nova alavancagem indesejada. Dessa maneira, o modelo considerará propostas que atenuem alavancagens já transgredidas, mesmo que não se consiga consumir a reversão em uma única proposta e um único período de negociação. Como premissa, adota-se o valor de 60% a ser aplicado como penalização.

Penalidade de Volume: A finalidade desta penalidade é manter um agente dentro de um padrão de negociação em conformidade ao seu tamanho financeiro. Neste ponto, observa-se que o conceito aplicado nesta versão do modelo está associado ao porte global do agente, que é “controlado” pelo volume máximo nas operações por produto. No algoritmo da árvore de decisão assume-se um incentivo caso o comercializador permaneça numa faixa de volume associada ao porte do agente. Caso fique inferior a essa faixa, aplica-se uma penalidade de 30% e caso fique acima, aplica-se o dobro deste valor.

Limite de Penalização: A finalidade deste limite é ajustar o grau de importância para cada penalidade que se deve considerar, correspondendo ao limite das somas das demais penalidades. No estudo de casos em questão, assume-se o valor de 50% para a penalidade de excesso de alavancagem, para dificultar, sem impedir, que propostas que aumentem a alavancagem sejam aceitas pelos agentes. Neste estudo de caso, na hipótese de transgressão da penalidade de alavancagem representar 60%, na avaliação de uma proposta, ela por si só já é rejeitada por que ultrapassa o limite de 50%.

Para este estudo de caso, não consideramos a penalidade de exposição, uma vez que o objetivo é verificar se as regras de comportamento naturalmente controlam o nível de exposição, ou seja, se o controle da exposição ao curto prazo é uma consequência da atuação das regras.

Para ilustrar o comportamento dos agentes, são consideradas 6 curvas distintas, uma para cada tipo de comercializador, que representam a visão destes agentes no horizonte de análises (vieses de Alta, Baixa e Neutra) e são geradas a partir de um preço de diferença (delta) fixo de R\$ 53,41/MWh, $(PLD_{MAX} - PLD_{MIN})/10$ e um ruído de R\$ 25,00/MWh. Para as curvas forwards com viés de alta soma-se o delta preço e para as curvas com viés de baixa, subtrai-se este valor. Em todos os casos aplica-se o ruído adicionalmente às operações descritas. As duas últimas curvas representam a visão neutra de dois agentes, em que se aplica o ruído em torno do preço de referência fornecido, baseado na inversa de uma distribuição normal de média zero, e um desvio padrão de R\$ 25/MWh. Neste caso, trata-se da mesma curva e a diferença está em suas condições iniciais de simulação quanto à margem inicial. A ideia de gerar tais diferenças reside em representar visões distintas entre os comercializadores para, assim, estimular as negociações entre eles.

A Tabela 1 apresenta as características fixas dos comercializadores em relação aos atributos de Volume Máximo, Margem Inicial, tipo de Curva *Forward* (visão), Patrimônio Líquido (PL) e Grau de Alavancagem permitida.

Tabela 1 – Características dos Comercializadores

Agente	Volume Máximo (MWm)	Margem Inicial	Visão Forward	Patrimônio Líquido (R\$)	Alavancagem Máxima (x PL)	
					Caso 1	Caso 2
Trader - 1	100	15%	Alta-1	1 milhão	2	10
Trader - 2	100	15%	Baixa-1	1 milhão	2	10
Trader - 3	100	15%	Alta-2	1 milhão	2	10
Trader - 4	100	15%	Baixa-2	1 milhão	2	10
Trader - 5	100	15%	Neutra-1	1 milhão	2	10
Trader - 6	100	15%	Neutra-2	1 milhão	2	10

Conforme observa-se na tabela, a diferenciação entre os comercializadores está na projeção da curva *forward* (viés de cada agente) e na alavancagem máxima atribuída a cada um deles, conforme define-se em quatro casos:

- *Caso 1: Caso base em que todos os agentes possuem alavancagem máxima de 2, ou seja, só é permitido R\$ 2 milhões em contratos de compra ou de venda (2 x PL). Este caso é bem conservador, uma vez que as penalidades são altas (30%), mas contam com um espaço grande de negociações, e o porte de 100 MWm permite um volume alto de contratos.*
- *Caso 2: Caso com todos os agentes com alavancagem máxima de 10 vezes o seu PL. A ideia desta condição é verificar o quanto ela impacta no volume de negociações, no risco sistêmico e na rotatividade de contratações, já que os comercializadores têm mais liberdade de alavancagem.*

Os principais resultados da aplicação do modelo com base nas condições impostas são apresentados a seguir.

3.1 RESULTADOS

As curvas *forwards* do sistema são representadas pelas projeções da CCEE (Figura 2) enquanto na Figura 3 são representadas as visões individuais dos comercializadores em relação aos preços futuros. A curva *forward* com preços mais elevados representa os comercializadores com vieses de alta nos preços, em relação a *forward* de referência, portanto, espera-se que estes comercializadores realizem volume maior de compras do que os demais, pois o preço limite para uma compra acompanha a expectativa alta, de modo que esses comercializadores têm mais chances de fechar contratos com preços mais baixos.

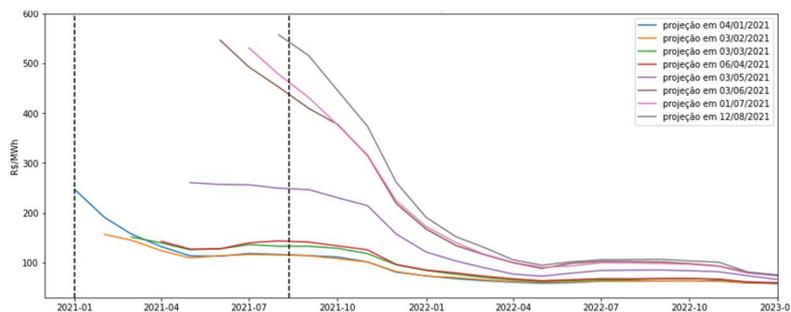


Figura 2 - Projeção de preços CCEE.

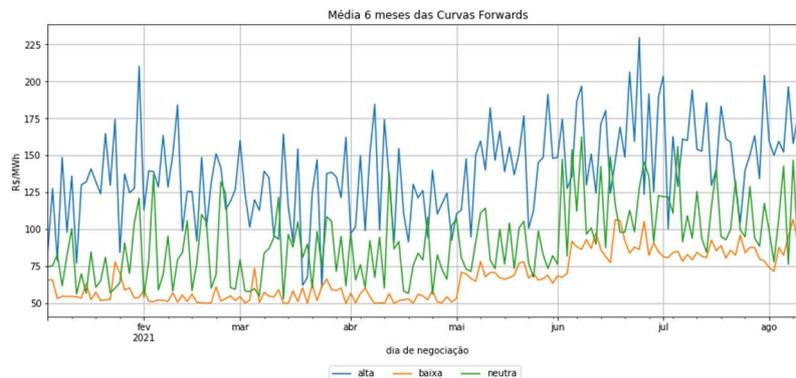


Figura 3. Curvas Forwards – vieses de alta, baixa e neutra.

Como os comercializadores partem de uma condição inicial neutra, ou seja, exposição zero e sem contratos, espera-se uma fase inicial de intensa contratação até que se atinja um ponto de equilíbrio condizente com os parâmetros de risco adotados. Após essa fase inicial, observa-se variação da exposição e risco sistêmico. Vale ressaltar que o valor do Risco Sistêmico tem relação com o porte dos agentes, como são considerados 6 agentes de patrimônio de R\$ 1 milhão, tem-se um mercado de R\$ 6 milhões, contudo os agentes estão “habilitados” a ter um porte global de 600 MWm, em um horizonte de 6 meses, o que dá um Risco Sistêmico teto de R\$ 1,5 bilhões, se todos estiverem expostos 100 MWm ao PLD máximo. Portanto o risco sistêmico refletirá as exposições intencionais para se observar o comportamento dos agentes, que será entre de R\$ 2 milhões a R\$ 14 milhões.

Nos casos avaliados, os comercializadores 1 e 3 (vieses de alta) têm tendência de estarem comprados, pois como preveem preços maiores o preço de compra deles são mais altos que os demais comercializadores, aumentando a chances de haver propostas com preços menores que o seu limite superior para aquisição de contratos. Nos casos dos agentes com vieses de baixa, comercializadores 2 e 4, o preço de venda acompanha seu referencial de preço justo e, como o preço de venda é um limite inferior, um comercializador tem mais chances de fechar contratos de venda. Para os comercializadores de viés neutro, estes tendem a ter um volume de contratação de compra e venda maiores, portanto um porte maior em relação aos demais comercializadores, mesmo porque não foi configurada uma penalidade forte para este aspecto. No que se refere a alavancagem máxima entre os dois casos, no caso 1, a alavancagem é de apenas 2 vezes o Patrimônio Líquido – PL e no caso 2, são 10 vezes o PL. Portanto espera-se uma maior quantidade de negócios ao longo da simulação, inclusive a aquisição de contratos de longo prazo, uma que contratos mais longos representam um volume financeiro maior, conforme ilustrado na Figura 4.

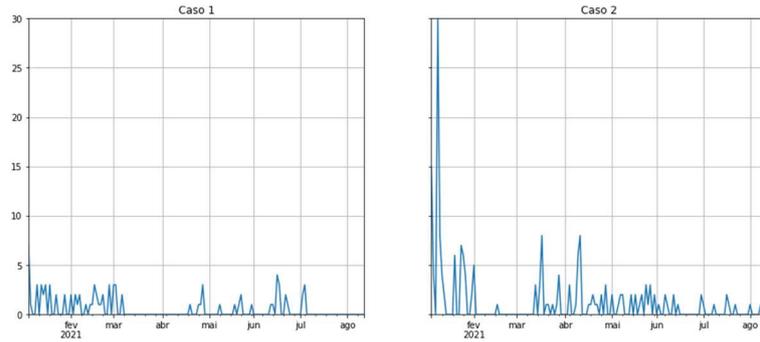


Figura 4 – Número de Negociações Realizadas

A Posição Energética Total – PET, representa a exposição em energia dos comercializadores no horizonte de cálculo, adotado como 6 meses. Este indicador representa uma consequência do controle de alavancagem desejado. Os *Traders* 1 e 3 de viés de alta tendem a ficar comprados, os *Traders* 2 e 4, apresentam a tendência de ficarem vendidos, pelo menos nos primeiros meses de simulação onde não houve variação de preço significativo, alterando de posição em maio, quando há uma mudança da tendência de preço, e os *Traders* 5 e 6 de viés neutro cumprem o papel de suprir de negociações entre os comercializadores de visões mais extremas.

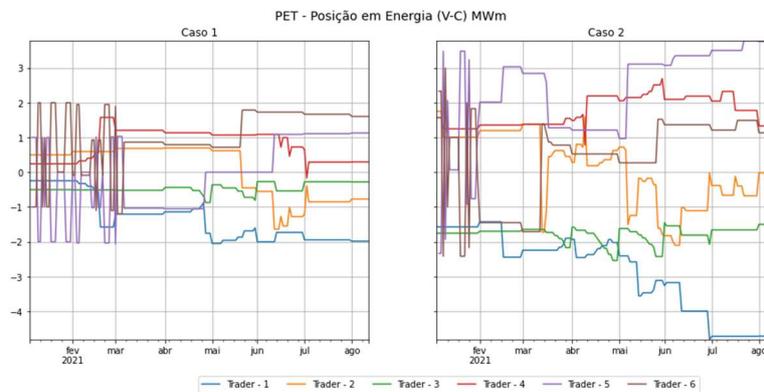


Figura 5 - Posição em energia [MWh].

O controle da alavancagem confirma a política proposta com a parametrização, conforme Figura 6. A diferença com relação a alavancagem máxima indicada em cada caso, é por conta de oferta tão boas que atendem à exigência, incluindo seus respectivos adicionais na margem. Este aspecto pode ser observado também a partir de maio onde há um aumento de preços e estas oportunidades são aproveitadas.

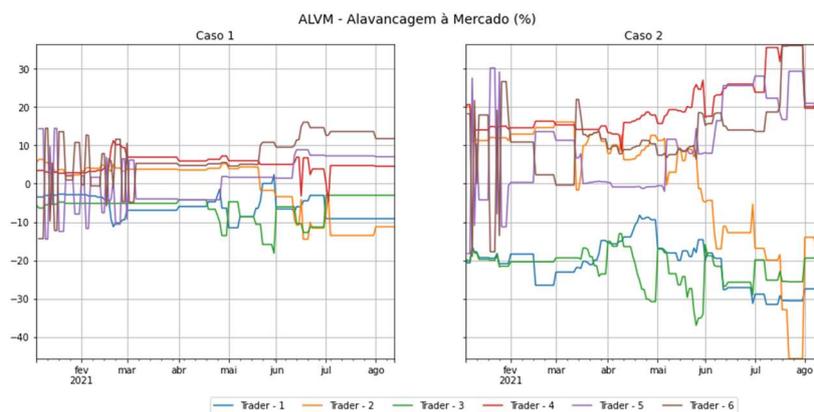


Figura 6 - Alavancagem à preço de referência forward

O aumento da alavancagem e da exposição reflete no aumento significativo do Valor em Risco Sistêmico – VRS (Figura 7), que representa a valorização das exposições financeiras no horizonte de cálculo em relação a *forward* de referência. No caso 1, como a alavancagem máxima é a restrição mais importante, ela controla o nível de exposição entre os agentes, mesmo que nesse primeiro estágio atual de desenvolvimento do modelo, aceitem-se exposições controladas, em estágios futuros de desenvolvimento, será considerado um sistema de benefícios que incentive o comercializador a reduzir suas exposições e/ou

alavancagens. Para o caso 2, observa-se o comportamento esperado dos agentes com maior liberdade de alavancagem e a consequente elevação dos riscos sistêmicos.

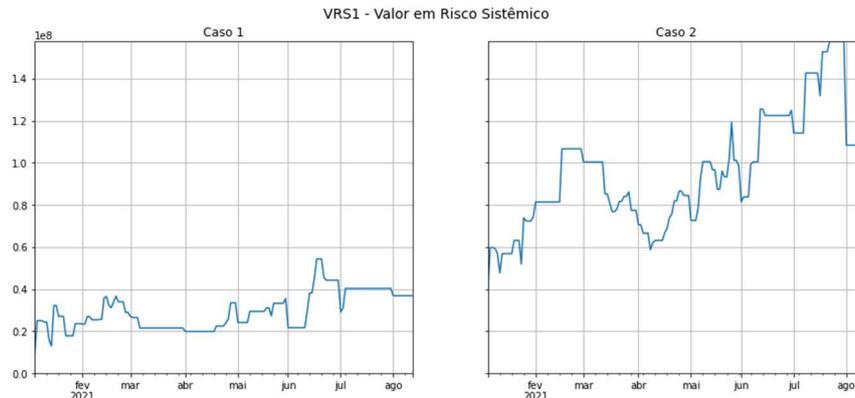


Figura 7 - Valor em Risco Sistêmico

A estratégia de penalidade mostra seu potencial na medida que reflete o comportamento do risco sistêmico. Enquanto no caso 1, todos os agentes possuem com alavancagem máxima controlada (2xPL), as penalidades seguram o ímpeto de negociação, mantendo o risco estável. Contudo, após a primeira fase, quando há uma alteração brusca de preço, não se impede uma contratação oportunista elevando subitamente o risco sistêmico. No caso 2, como todos os comercializadores tinham espaço para negociar e o fizeram antecipadamente, de maneira a minimizar o impacto na mudança de preços ocorrido em maio, não aconteceu o sobressalto no risco sistêmico. Do ponto de vista de comportamento dos agentes, os parâmetros de alavancagem máxima permitida, margem inicial, e viés da visão de um agente podem ser usados para conter os comportamentos mais agressivos e criar incentivos para reverter a situação em que o agente se encontra.

4.0 CONCLUSÃO

O atual modelo do setor elétrico brasileiro e possíveis melhorias em seu funcionamento vem sendo objeto de diversas discussões entre agentes e instituições do setor, em específico, temos a temática de segurança de mercado.

As ações em curso neste tema se caracterizam por proposições conceituais e fundamentalistas e, para suportá-las, carece-se de iniciativas que busquem emular quantitativamente o comportamento dos agentes e as regras sob as quais ocorrem as transações comerciais, sendo este um desafio complexo e robusto.

Com objetivo em contribuir com esta lacuna, este trabalho apresenta um modelo computacional que emula a dinâmica de mercado e permite a avaliação do risco sistêmico. Para tal fim, o modelo é composto por três submódulos integrados de simulação (Negócios, Risco Bilateral e Contabilização).

Como aplicação ilustrativa do modelo em um caso hipotético, evidencia-se seu potencial para medir importantes parâmetros, como grau de alavancagem e exposição, bem como o risco do pondo de vista de uma entidade centralizadora. Como consequência dos desenvolvimentos, provê-se um modelo capaz de emular os regramentos de mercado e testar hipóteses de seus aprimoramentos, contribuindo para que as discussões ora teóricas e conceituais passem a ser suportadas por avaliação quantitativas. O modelo apresentado sumariamente neste trabalho representa uma versão piloto e aprimoramentos estão em curso.

5.0 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rio Paranapanema Energia S.A (CTG Brasil) como proponente do Projeto de P&D “Análise de difusão do risco de default financeiro de contraparte e investigação de medidas mitigadoras na comercialização descentralizada de energia elétrica no mercado brasileiro” (2020-2022 e à CCEE pela cooperação técnico-científica, junto as executoras MRTS Consultoria, Navarra Tech, e FDTE.

6.0 REFERENCIAS

- [1] CCEE. Nota Técnica 1: “Segurança de Mercado – CCEE: Critérios de Entrada, Manutenção e Saída do mercado” (NT CCEE-0062/2020). 2020. Disponível em: https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_657210. Acesso em: 01/08/2021.
- [2] CCEE. Nota Técnica 2: “Proposta de metodologia de garantia financeira MVE” (NT CCEE - 0055/2020). 2020. Disponível em: https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_657227. Acesso em: 01/08/2021.
- [3] CCEE. Nota Técnica 3: “Segurança de Mercado – CCEE” (NT CCEE - 0086/2020). 2020. Disponível em: https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_659333. Acesso em: 01/08/2021.
- [4] CCEE. Nota Técnica 4: “Evolução do Monitoramento – Substitutivo da NT nº 86/2020” (NT CCEE04925/2021). 2021. Disponível em: https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_665895. Acesso em: 01/08/2021.
- [5] MACAL, Charles; NORTH, Michael. Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. Em: Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014. IEEE, 2014. p. 6-20.

[6] CCEE. InfoPLD. 2021. Disponível em: < https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_666013>. Acesso em: 05/08/2021.

DADOS BIOGRÁFICOS



Pedro Souza Rosa. Mestre pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2004), possui graduação em Eng. Civil pela Poli/UFBa (1996). Mais de 20 anos em desenvolvimento de sistema para área de energia com atuação na CSPE (Arcesp), ENERQ, EDP e Odebrecht. Expertise em regras de comercialização de energia, desenvolvimento de estudos para planejamento energético. Otimização de portfólio, Leilões, gerenciamento de agentes D, G e C, informações estratégicas, avaliação de risco no ambiente livre e regulado, balanços e provisionamentos contábeis. Desde 2018 atua como consultor na MRTS, desenvolvendo modelagens para projetos de P&D com foco em análise de risco, regulação, precificação, inteligência de mercado e energia renovável.