

Simulador de estratégias de participação em leilões de energia para geradores

Ewerton Guarnier, Wagner M. G. Silva, Marcelo Ap. Pelegrini¹, Francisco A. Neto, Roberto Guena², Soraia T. Quicu³

Resumo – Este artigo trata dos resultados do projeto “Simulador de estratégias de participação em leilões de energia para geradores aplicando teoria dos jogos”, que consistiu no desenvolvimento de uma metodologia e respectiva implementação computacional, para a simulação de leilões de energia organizados pela CCEE com a participação de jogadores reais e jogadores virtuais, representando as geradoras de energia. Neste artigo são apresentadas a metodologia desenvolvida e os resultados da implementação, com foco em leilões de energia existente.

Palavras-chave: leilões de energia elétrica, análise de portfólio, aversão ao risco, método de análise hierárquica.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do P&D n° 0387-008/2007 “Simulador de estratégias de participação em leilões de energia para geradores aplicando teoria dos jogos” que foi finalizado 2010, tendo como entidade contratante a Duke Energy e como entidades executoras a Sinapsis Inovação em Energia, a Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) e a Fundação Instituto de Pesquisa Econômicas (FIPE).

O atual modelo do setor elétrico brasileiro entrou em vigor em 2004. Este modelo adotou como pilares a garantia do fornecimento de energia, a universalização do acesso e a modicidade tarifária. Tendo como referência este último pilar, o governo continuou com a competição nos segmentos de geração e comercialização, herança do modelo RESEB, e aplicou o novo ideal de contratação eficiente de energia para as distribuidoras de energia elétrica.

Os leilões de energia elétrica foram criados especificamente para o propósito da contratação eficiente de energia, com vistas a ter ganho de escala de oferta e diminuição dos riscos de contrato, pois estes eram realizados com um “pool” de distribuidoras.

As geradoras, por sua vez, ficaram com as seguintes opções de venda de energia:

- Ambiente de contratação regulada (ACR): Venda de energia para as distribuidoras por intermédio de leilões organizados pela CCEE.
- Ambiente de contratação livre (ACL): Venda de energia para os consumidores livres com contratos livremente negociados bilateralmente entre os vendedores e os compradores.
- Mercado de curto prazo (MCP): Liquidação de sua energia não contratada, valorada ao Preço de Liquidação de Diferenças (PLD).

As opções citadas (ACR, ACL, MCP) compõem o portfólio de contratos das geradoras, que estabelecem o percentual de participação de cada opção de acordo com suas preferências e possibilidades oferecidas pelo mercado.

Um dos propósitos deste estudo foi de apresentar uma nova metodologia para definição das estratégias de vendedores participantes dos leilões de energia elétrica. A metodologia para definição da atuação destes proponentes no leilão foi baseada em ferramentas que são amplamente utilizadas nos mercados financeiros, como a teoria de carteiras desenvolvida por Markowitz [1], o modelo CAPM (Capital Asset Model Price) desenvolvido por William Sharpe [2] e o conceito de aversão ao risco de investidores [3].

A composição do portfólio de contratos das geradoras depende do apetite ao risco de seus acionistas. O ideal de retorno médio e de risco do portfólio não é comum para todas as geradoras, este conceito pode ser notado na prática com a análise do perfil de contratação das mesmas. Enquanto para algumas geradoras é interessante ter uma carteira de contratos sem riscos e com retorno moderado, para outras o ideal é ter um portfólio de contratos com maior rentabilidade e risco.

No modelo desenvolvido, o conceito de risco foi traduzido em um coeficiente de aversão ao risco. Para a definição deste coeficiente foi utilizado o método de análise hierárquica (MAH) criado por Thomas L. Saaty entre 1971 e 1978 [6]. Para tanto, foram estudadas as características das empresas de geração que são influentes na tomada de risco.

Os estudos realizados e a metodologia desenvolvida culminou na implementação de um sistema computacional de simulação de leilões com a participação de jogadores virtuais que representam as geradoras de energia elétrica existentes.

Os próximos tópicos deste artigo detalham as etapas estudadas para o desenvolvimento das metodologias e apresentam o sistema computacional.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

¹E. Guarnier, W. G. M. Silva e M. A. Pelegrini trabalham na FDTE (e-mail: ewerton.guarnier@sinapsisenergia.com, wagner.marcelino@gmail.com, marcelo.pelegrini@sinapsisenergia.com).

²F. A. Neto e R. Guena trabalham na FIPE (e-mail: fanuatti@usp.br, robguena@usp.br).

³S. T. Quicu trabalha na Duke Energy (e-mail: stquicu@duke-energy.com).

II. LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES DE MERCADO

Nesta etapa foi realizado um levantamento geral de informações que se encontram em diferentes fontes, como a ANEEL, a CCEE e as notas técnicas das revisões tarifárias e reajustes periódicos das distribuidoras de energia elétrica.

O levantamento resultou na criação de um banco de dados de comercialização de energia, com informações dos agentes de geração que serviram como base para a definição das estratégias dos jogadores nos leilões. O banco de dados será apresentado nos subitens a seguir.

A. Leilões de energia

Os resultados dos leilões de energia são publicados pela CCEE, com a energia negociada pelas geradoras e pelas distribuidoras e com os preços ofertados. A reunião destas informações foi realizada em tabelas e disponibilizada para visualização a partir de formulários, como o apresentado na figura 1.

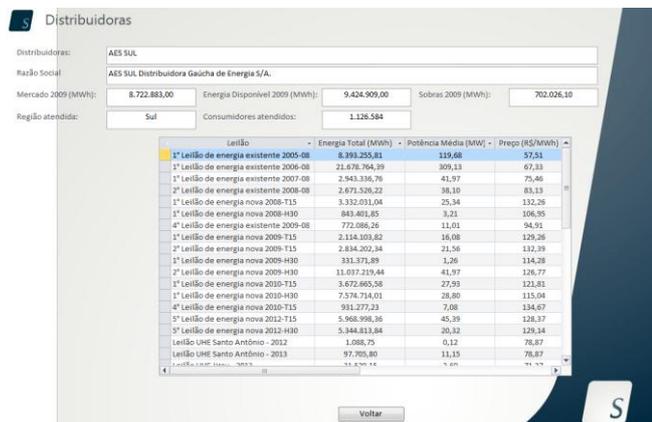


Figura 1. Distribuidoras em leilões

Os preços apresentados na figura acima se encontram na data base do mês de realização do leilão, mas no próprio sistema se encontram os IPCAs, tanto dos leilões quanto dos contratos bilaterais, para a atualização de preços.

Para os contratos de disponibilidade, os preços considerados no banco de dados são os respectivos ICBs ofertados dos empreendimentos comercializados. As receitas fixas dos empreendimentos também estão armazenadas no banco de dados, tanto para as geradoras (receita fixa total do empreendimento) quanto para as distribuidoras (parcela da receita fixa destinada a distribuidora contratante).

B. Contratos

Os contratos firmados entre as geradoras e os compradores nem sempre são disponibilizados publicamente. Os contratos realizados no ACL são registrados na CCEE, mas as informações não são divulgadas, assim como os contratos bilaterais firmados entre as geradoras e as distribuidoras antes de 2004. Algumas informações sobre este último, como preço e quantidade, podem ser encontradas nas revisões e reajustes tarifários das distribuidoras.

Estes dados, juntamente com os dados de contratos obtidos nos leilões de energia foram armazenados nas tabelas e

disponibilizados em formulários como o apresentado na figura 2.

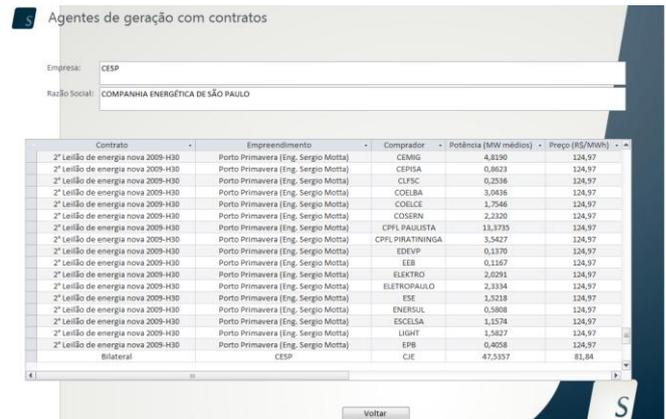


Figura 2. Contratos das geradoras

C. Demanda

Após o cadastro dos contratos com os geradores, dos contratos de ITAIPU e PROINFA e do mercado das distribuidoras, foi possível realizar cenários de projeção de demanda para cada distribuidora, admitindo-se um crescimento de mercado e a contabilização dos contratos existentes, inclusive com a entrada em operação de novas usinas advindas de contratos realizados em leilões de energia nova.

D. Descontratação

A energia descontratada dos agentes de geração e dos agentes de distribuição através dos leilões de energia pode ser obtida no banco de dados. O formulário a seguir apresenta a descontratação anual total de energia dividida por tipo de leilão (existente, nova termo e nova hidro).

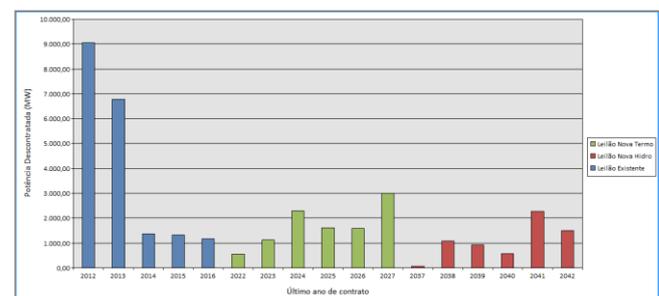


Figura 3. Formulário Descontratação

E. Resultados

A CCEE divulga mensalmente informações dos agentes cadastrados em relatórios de contabilização individual. Estes relatórios se mostraram muito úteis para a definição das estratégias dos jogadores, disponibilizando informações de cada agente como: Geração mensal, energia assegurada mensal, montante vendido mensalmente em contratos, montante comprado mensalmente em contratos, energia comercializada mensalmente no MRE, entre outros. Estes dados foram reunidos no banco de dados e disponibilizados em formulários como o apresentado a seguir.

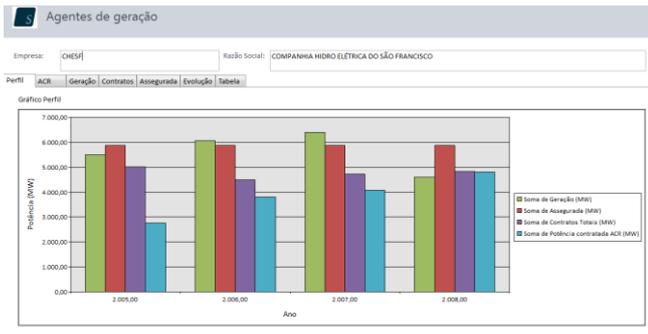


Figura 4. Resultados - Perfil

III. ESTRATÉGIA DE ATUAÇÃO DE GERADORAS EM LEILÕES DE ENERGIA

A metodologia elaborada para definição das estratégias de atuação nos leilões de energia existente foi baseada na teoria de seleção de carteiras desenvolvida por Harry Markowitz e no modelo CAPM desenvolvido por William Sharpe. Estas teorias são amplamente utilizadas no mercado financeiro e serão adaptadas de maneira a permitir a construção da curva de atuação dos jogadores contendo volumes a serem ofertados para cada preço de lance do leilão.

A. Teoria de Seleção de Carteiras

A teoria de seleção de carteiras é utilizada para cenários com escolhas envolvendo incertezas relativas aos retornos de ativos financeiros. Os resultados esperados, de acordo com a composição de cada carteira, são obtidos através das médias, variâncias e covariâncias dos ativos, ou seja, a proporção dos recursos distribuídos entre os diversos ativos determinam uma expectativa de retorno e seu respectivo desvio.

Os parâmetros necessários para a análise são: 1) Valor Médio (ou Esperado) do retorno de cada ativo da carteira, a partir dos quais o retorno esperado da carteira será calculado; 2) Dispersão do retorno esperado de cada ativo; e 3) relação (Correlação) entre as dispersões dos ativos pertencentes à carteira.

O Valor Médio do retorno de uma carteira de ativos é obtido através da ponderação dos retornos individuais, que podem ser conseguidos por dados históricos. A dispersão do retorno real em torno do valor esperado pode ser mensurada através da Variância (σ^2), ou do Desvio-Padrão (σ), dos valores que deram origem aos retornos de cada ativo. A covariância mensura a relação entre os retornos dos ativos, em outras palavras, identifica se as variações seguem a mesma tendência, se seguem tendências contrárias ou se não têm relação entre elas.

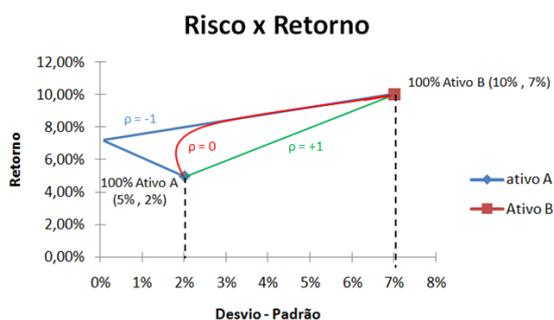


Figura 5. Espaço Risco x Retorno

A figura 5 resume as curvas de possibilidades de carteira de acordo com o coeficiente de correlação.

B. Aplicação aos leilões de energia

A hipótese para a utilização da teoria de carteiras na definição da atuação dos vendedores de energia elétrica em leilões é de que a empresa tenta criar um portfólio de contratos de venda, composto por contratos no Ambiente de Contratação Regulada e contratos no Ambiente de Contratação Livre. O percentual de cada um dos dois tipos de contrato no portfólio da companhia é influenciado por diversos parâmetros, entre eles o preço esperado da energia para os mercados, a dispersão desta previsão, as características da empresa em relação ao risco, entre outros.

A tomada de decisão em relação à composição do portfólio de contratos de venda das empresas geradoras pode ser comparada à escolha dos ativos financeiros para composição de uma carteira de um investidor. Reservadas as especificidades dos ativos e dos respectivos mercados, ambos pretendem escolher o conjunto de ativos que ofereçam a melhor opção considerando seu perfil de atuação e suas expectativas. Desta forma, a metodologia apresentada a seguir considera o tomador de decisões no momento do leilão como um investidor compondo sua carteira de investimentos, que de acordo com os preços dos lances e expectativas de preços para o mercado livre determina quanto de energia ofertar.

A utilização da teoria de carteiras para definição do perfil de atuação dos proponentes nos leilões de energia elétrica será feita considerando a modelagem para composição de 2 (dois) ativos, um representado um ativo (ou carteira de ativos) do mercado livre – ACL e outro representado um ativo do mercado regulado – ACR.

O ativo mercado livre será definido por um valor esperado de preço e uma dispersão (Desvio-Padrão) para este valor.

O preço utilizado para o mercado livre deve refletir as expectativas da empresa em relação a este mercado no período de duração do contrato no leilão, levando em conta suas projeções de demanda, preço, características dos contratos, entre outros parâmetros. Necessitando desta forma um estudo mais aprofundado para definição deste preço, visto que ele não representa simplesmente o preço praticado no mercado livre no momento do leilão.

O ativo mercado cativo tem características marcantes relacionadas ao seu preço e ao risco deste preço. O preço deste ativo será variável, pois será determinado pelo preço de lance do leilão. Assim, ele é iniciado pelo preço de abertura do leilão e vai decrescendo até o fechamento da primeira etapa. O risco deste preço é nulo, visto que a efetivação da venda no momento do leilão vincula os vendedores e compradores a cumprirem o contrato.

Portanto, o ativo mercado cativo tem preço variável e risco zero, desta forma, a cada lance o vendedor se encontra em uma nova situação estratégica, com um preço para o mercado cativo, que é livre de risco, e uma expectativa de preço para o mercado livre, que pode ou não se concretizar no futuro. A escolha do vendedor no momento do leilão de não vender a energia para deixar para o mercado livre só reserva a energia para venda posterior, no entanto, ainda

existe o risco da venda não se concretizar, ou de ser realizada com preço abaixo das expectativas da empresa.

A venda de energia no mercado de curto-prazo, que é a liquidação financeira da energia que não está comprometida em contratos, não está sendo representada neste modelo, mas poderia ser considerada como mais um ativo com risco e retorno, levando em conta os possíveis cenários do PLD durante o horizonte de contratação do ativo negociado no leilão.

A partir da caracterização dos ativos feita acima, é possível produzir um gráfico de Desvio- Padrão e Preço para os dois ativos na composição do portfólio de contrato do vendedor.

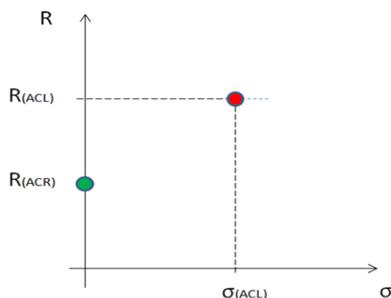


Figura 6. Espaço Risco x Retorno para o leilão

Desta forma, as possibilidades de composição de portfólio, com seus respectivos retornos médios e desvios, são representadas por uma reta saindo do Ativo Mercado Cativo até o Ativo Mercado Livre no Espaço Risco (σ) x Retorno (R), como ilustra a figura a seguir.

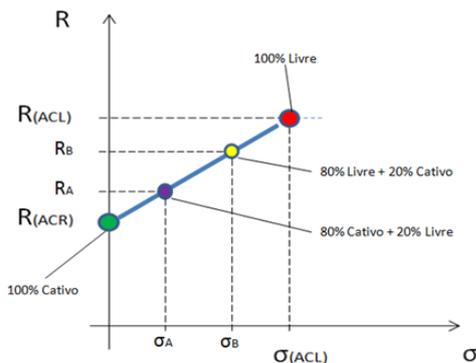


Figura 7. Possibilidades de carteira para o leilão

C. Escolha do portfólio ótimo

A metodologia desenvolvida para escolha ótima de portfólio necessita, além das possibilidades de carteiras apresentadas nas seções anteriores, da propensão/aversão ao risco da empresa. Esta propensão/aversão ao risco pode ser definida de diversas formas, tais como o Método de Análise Hierárquica, estudo de atuação pretérita da empresa, ou até mesmo pela definição baseada na experiência dos tomadores de decisão.

Neste momento, introduzimos os conceitos de Utilidade e Curvas de indiferença. Resumidamente, a Utilidade traduz em um valor numérico a satisfação atribuída à empresa na obtenção de uma “cesta” com determinados retorno e risco. Por sua vez, a curva de indiferença é o espaço geométrico

das cestas que fornecem à empresa a mesma utilidade, ou seja, a mesma satisfação.

Existem algumas possibilidades de funções para descrever as curvas de indiferença [3]. Para o caso dos vendedores de energia elétrica serão utilizadas funções quadráticas do tipo:

$$U(X, Y) = BY + AY^2 + AX^2 = k \quad (1)$$

Manipulando a equação temos a circunferência com centro e raio como segue:

$$(X_c, Y_c) = \left(0, -\frac{B}{2A}\right) \quad (2)$$

$$r = \sqrt{\frac{k}{A} + \frac{B^2}{4A^2}} \quad (3)$$

A figura 8 ilustra algumas curvas de indiferença no espaço Risco x Retorno de acordo com o valor de k (utilidade).

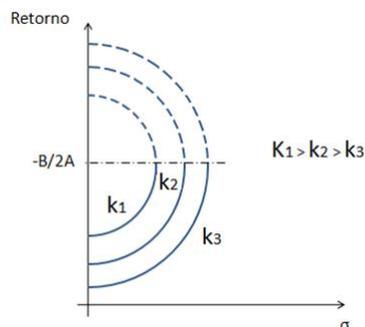


Figura 8. Curvas de indiferença no espaço Risco x Retorno

Na figura 8 são representadas 3 curvas de indiferença para 3 diferentes utilidades (K1, K2 e K3). A curva referente à K1 apresenta a maior utilidade para o investidor, seguido de K2 e K3. No momento da escolha da carteira, o investidor deverá optar por aquelas que lhe proporcionem maior utilidade/satisfação (K1).

Com os conceitos de Utilidade e Curva de indiferença esclarecidos, é possível apresentar o método para a construção da curva de atuação dos vendedores nos leilões de energia elétrica.

As possibilidades de composição de portfólio com contratos de venda de energia no ambiente regulado e no ambiente livre serão descritas por retas partindo do ativo sem risco (mercado cativo) para o ativo com risco (mercado livre). Esta reta será renovada a cada novo preço de lance do leilão, conforme ilustra a figura 9.

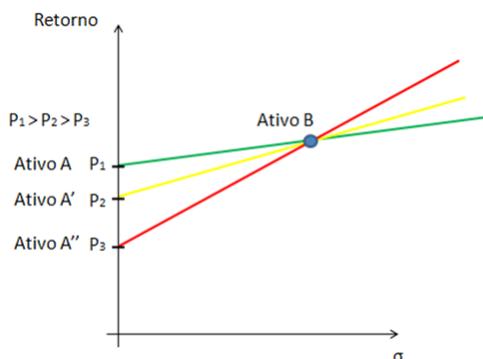


Figura 9. Retas de Possibilidades para sucessivas rodadas do Leilão

Os ativos A, A' e A'' da figura 9 representam os preços das sucessivas rodadas do leilão e o ativo B representa a expectativa de preços do ACL.

Assim, com as sucessivas rodadas do leilão, o preço da energia no mercado cativo vai diminuindo, apresentando ao vendedor uma nova possibilidade de composição de seu portfólio. A partir do coeficiente de propensão ao risco do vendedor e suas respectivas curvas de indiferença, é possível identificar qual é a melhor configuração entre mercado cativo e livre para um dado conjunto de possibilidades.

A figura 10 apresenta dois vendedores, com seus coeficientes de propensão ao risco (α_1 e α_2) e uma única reta de possibilidades de formação de carteira. Fica evidente que a melhor composição para cada um dos proponentes é distinta, mesmo estando diante das mesmas possibilidades de portfólio. Nesta mesma figura, α_1 representa o gerador com menor propensão ao risco e α_2 representa o gerador com maior propensão ao risco. Como os coeficientes de propensão ao risco se encontram no eixo de retorno, estes se apresentam a unidade do retorno, R\$/MWh.

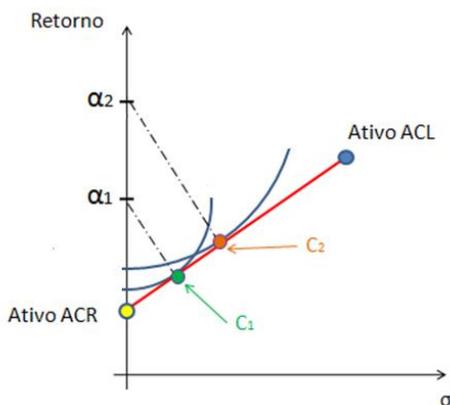


Figura 10. Carteiras para distintos coeficientes de propensão ao risco

As melhores carteiras para cada gerador serão aquelas que maximizem a sua satisfação, ou seja, que maximizem sua utilidade. Isto acontece quando a curva de indiferença que representa esta máxima utilidade tangencia a reta de possibilidade de carteiras. Todas as outras possibilidades de carteiras apresentadas para o gerador irão representar necessariamente em uma diminuição de sua utilidade.

As melhores carteiras, denominadas C_1 e C_2 , têm composições distintas, como era esperado. O vendedor com menor coeficiente de propensão ao risco (α_1) prefere um portfólio com maior volume vendido no mercado regulado C_1 , já o vendedor com maior coeficiente de propensão ao risco (α_2) prefere um portfólio com uma participação maior dos volumes vendidos para o mercado livre C_2 .

Considerando agora apenas um vendedor, com as diversas possibilidades apresentadas na sucessão de rodadas do leilão. A figura a seguir ilustrará como a composição do portfólio é modificada com a mudança do preço de lance.

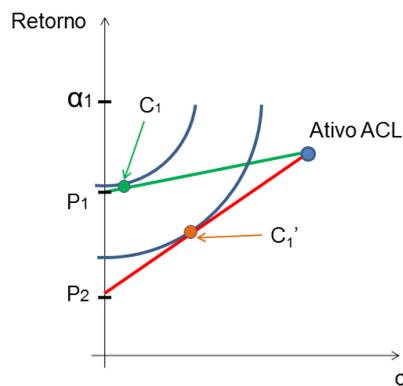


Figura 11. Carteiras para retas de possibilidades distintas

A figura mostra que quanto maior o preço da energia no leilão, mais energia o vendedor vai ofertar no mesmo. Com o decréscimo no preço de P_1 para P_2 , o vendedor prefere alocar mais volume no mercado livre, que pode dar um retorno maior, mesmo acarretando em maior risco.

Analisando-se a figura 12 pode-se fazer o equacionamento da escolha de melhor portfólio para o proponente com coeficiente α , o resultado está apresentado na equação 4.

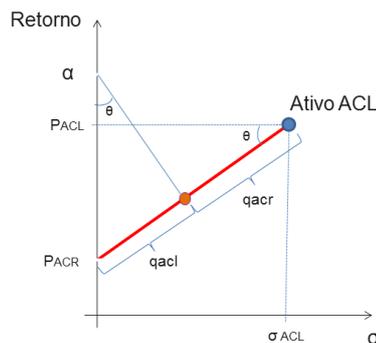


Figura 12 – Equacionamento da escolha de melhor portfólio

$$Q_{ACR} = Q_{TOTAL} * \left(1 - \frac{(P_{ACL} - P_{ACR}) * (\alpha - P_{ACR})}{(P_{ACL} - P_{ACR})^2 + \sigma_{ACL}^2}\right) \quad (4)$$

Onde:

QACR: Quantidade ofertada pelo proponente ao preço de lance PACR

QTOTAL: Quantidade total de lotes disponível para o proponente no leilão

PACL: Expectativa do preço médio de contratação no ambiente de comercialização livre (ACL) durante o período de contrato do leilão.

PACR: Preço de lance no leilão.

α : Coeficiente de propensão ao risco do proponente.

σ_{ACL} : Risco do preço no ambiente de contratação livre.

Desta forma, é possível construir uma curva de Preço x Oferta para cada proponente, onde é possível visualizar a quantidade a ser ofertada pelo vendedor de acordo com o preço de lance do leilão.

A figura 13 ilustra a estratégia de venda de 5 proponentes, na escolha de seu portfólio, com diferentes coeficientes de propensão ao risco (70; 85; 100; 115 e 130), com $P_{ACL}=130$; $\sigma_{ACL} = 13$; $Q_{TOTAL} = 600$.

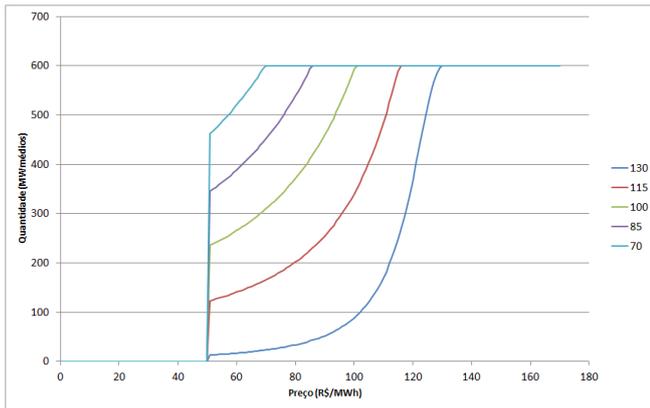


Figura 13. Equacionamento da escolha de melhor portfólio

Em alguns casos os valores obtidos apresentam significado teórico, mas que não se refletem na prática. Alguns limites foram impostos ao equacionamento para contornar isto, são eles:

- $Q_{ACR} \leq Q_{TOTAL}$: O proponente não pode ofertar no leilão mais do que a sua quantidade disponível para o mesmo;

- Se $P_{ACR} > P_{ACL} \rightarrow Q_{ACR} = Q_{TOTAL}$: Se o preço de lance do leilão for maior que a expectativa média de preço no ACL o proponente deve ofertar todos os seus lotes. Esta restrição chega a ser intuitiva, pois se o proponente tem 2 possibilidades de investimento e uma delas tem retorno maior e risco menor, ele formará 100% de seu portfólio com esta opção.

- $Q_{ACR} \geq 0$: O proponente não pode ofertar valores negativos no leilão.

- Se $P_{ACR} < CUSTO \rightarrow Q_{ACR} = 0$: O proponente não deve ofertar lotes no leilão se o preço de lance estiver menor que os seus custos.

- $Q_{TOTAL} = Q_{ACR} + Q_{ACL}$: A geradora comercializa toda a sua energia no contrato, sendo nulo o montante comercializado no Mercado de Curto Prazo.

Onde,

Q_{ACL} : Lotes comercializados no mercado livre.

$CUSTO$: Representa os custos com Manutenção e Operação das usinas do proponente e os custos de financiamento do investimento

O preço ofertado por cada proponente na rodada discriminatória é realizado de acordo com sua aversão/propensão ao risco. A figura 14 ilustra este comportamento.

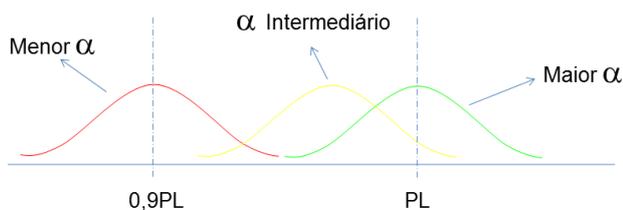


Figura 14. Preço de Lance na rodada discriminatória

Os jogadores com maior propensão ao risco (maior α) tendem a diminuir menos o preço e os jogadores com menor propensão, por sua vez, tendem a diminuir mais. A definição da oferta é feita de forma probabilística em torno de distri-

buições normais, mas sempre limitadas ao preço de lance da última rodada válida da etapa discriminatória (PL) e em 90% deste valor.

D. Desempenho

O desempenho proveniente da atuação dos jogadores nos leilões de energia elétrica e conseqüente formação da sua carteira de contratos é de complexa mensuração, visto que o resultado absoluto não transmite inequivocamente a satisfação do jogador, sendo necessária neste caso uma ponderação entre retorno esperado e o risco assumido com o referido portfólio de acordo com a sua propensão ao risco.

A teoria apresentada nos subitens acima expressa a formação de um portfólio ótimo, ou seja, um portfólio que maximiza a utilidade do proponente. As curvas de indiferença representam pontos no gráfico de risco e retorno com a mesma utilidade para o jogador α . A figura a seguir ilustra as curvas de indiferença deste jogador e a procura da curva de maior utilidade (amarela).

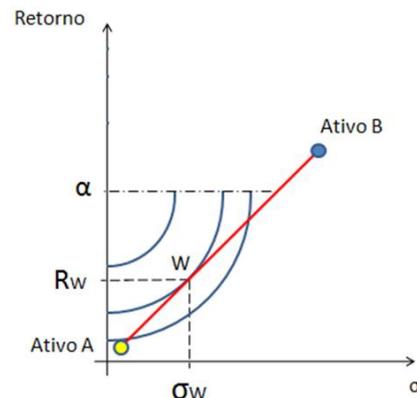


Figura 15. Curvas de indiferença

O conceito de equivalente seguro do investidor é utilizado para obtenção do retorno de uma carteira sem risco que proporcionaria ao jogador a mesma utilidade da carteira com risco composta após a sua participação no leilão. A figura a seguir ilustra este conceito.

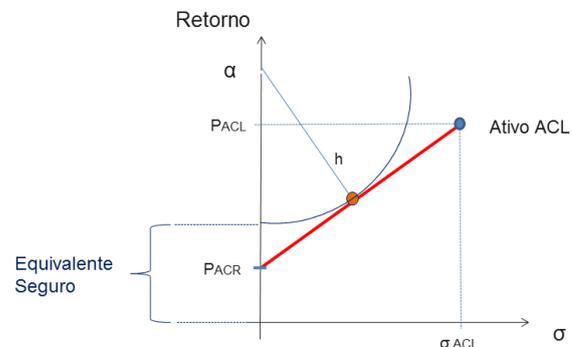


Figura 16. Equivalente seguro

A função de maior utilidade para uma reta de possibilidade de carteira também se traduz em um máximo equivalente seguro. Os proponentes que não ofertam a quantidade otimizada terão uma menor utilidade e conseqüentemente um menor equivalente seguro. Este conceito está ilustrado na figura 17.

O desempenho do jogador é medido através da proximidade de seu equivalente seguro com o equivalente seguro ótimo. As fórmulas (5), (6), (7) e (8) são utilizadas para o cálculo deste desempenho.

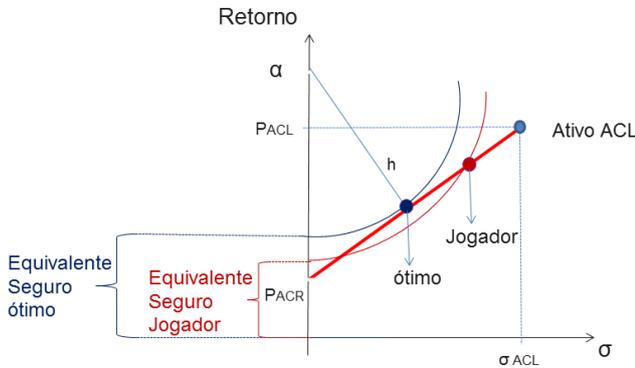


Figura 17. Equivalente seguro do jogador

$$s = 1 - \frac{Q_{ACR}}{Q_{Total}} \quad (5)$$

$$h_{jogador} = \sqrt{(\alpha - s_{jogador} * Pacl - (1 - s_{jogador}) * Pacr)^2 + (s_{jogador} * \sigma)^2} \quad (6)$$

$$Equivalente\ Seguro = \alpha - h \quad (7)$$

$$Desempenho = \frac{Equivalente\ Seguro_{jogador}}{Equivalente\ Seguro_{ótimo}} * 1000 \quad (8)$$

Onde:

s: representa o percentual da energia que será destinada ao ACL.

h: representa a utilidade do jogador, como apresentado na figura 16.

O desempenho do jogador é uma variável adimensional e, multiplicada por 1000 apresenta a relação da carteira do mesmo com a ótima em unidades por mil.

IV. MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA APLICADO NA DEFINIÇÃO DA PROPENSÃO AO RISCO DOS AGENTES DE GERAÇÃO

O método de análise hierárquica (MAH) é uma técnica gerencial de apoio à decisão criada por Thomas L. Saaty entre 1971 e 1978. A sua aplicação é muito variada, passando entre estudo de transportes, análise de terrorismo até distribuição de recursos conforme prioridade para questões de governo.

A teoria sugere que o método tem uma similaridade com o funcionamento da mente humana. Ao nos depararmos com problemas de grande magnitude, a nossa mente divide este problema em inúmeras partes com maior facilidade de julgamento, compara paritariamente estas partes e agrega os resultados até ter um julgamento do todo. Quando o número de partes é demasiado grande para se fazer comparações, a mente humana agrupa elementos com características semelhantes. O modelo inclui e mede todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, para ser realista. Esta estratificação do problema é denominada como uma hierarquia.

Duas técnicas são utilizadas na análise hierárquica, o planejamento para frente ocorre quando se deseja estudar a influência que uma decisão vinda de um nível hierárquico superior tem nos níveis mais baixos e o planejamento para trás em que se deseja saber a influência que uma alteração realizada em algum nível hierárquico inferior tem no nível hierárquico superior.

Os conceitos presentes em cada nível hierárquico e o objetivo da análise devem ser bem desenvolvidos, de forma que as pessoas que participarem dos julgamentos tenham uma ideia clara de cada item. O processo de feedback e de discussão é de extrema importância para o afinamento dos resultados. Mesmo que as pessoas apresentem opiniões diferentes, estas podem mudar de posição quando se deparam com argumentos convincentes de pessoas mais “capazes” naquele item em discussão.

A comparação entre os elementos de um mesmo nível hierárquico é feita de forma paritária, definindo a prioridade de cada elemento em relação ao todo.

A inconsistência nas comparações algumas vezes é notada na aplicação do método. Em uma experiência realizada comparando-se 3 objetos, A, B e C, uma pessoa pode definir, fazendo a pesagem com as 2 mãos, que o objeto A é mais pesado que o objeto B, que o objeto B é mais pesado que o objeto C e que o C é mais pesado que o A. Este tipo de inconsistência pode ser identificado pelo método. Na realização de julgamentos com inúmeras pessoas, se poucas apresentarem inconsistência em seus resultados, estas podem ser eliminadas da resolução do problema, mas se muitas apresentarem inconsistência de forma que o resultado final possa ser influenciado, é necessário que seja feita outra avaliação com a discussão prévia dos conceitos.

As comparações paritárias são realizadas utilizando-se escalas de superioridade. O autor afirma que a nossa habilidade para fazer distinções quantitativas é bem representada por cinco atributos: igual, fraco, forte, muito forte e absoluto. Quando uma precisão maior for necessária podemos utilizar atributos adjacentes totalizando 9 escalas de comparação.

A. Método aplicado à modelagem de jogadores

A estratégia dos geradores de energia (jogadores) nos leilões de energia existente pode ser representada por uma curva de Quantidade X Preço. Esta curva relaciona a quantidade de lotes (1MWmédio) que o agente venderá quando o lance do leilão estiver naquele preço. A figura 13 ilustra a estratégia de um jogador.

O perfil de um jogador pode ser traçado utilizando-se de ações realizadas no passado. O método de análise hierárquica é útil nesta situação, pois podemos estratificar o perfil de cada jogador.

A estrutura hierárquica do perfil de cada gerador de energia elétrica é ilustrada na figura 18. Esta árvore hierárquica foi definida em conjunto por toda a equipe participante do projeto.



Figura 18. Árvore hierárquica

É fundamental nessa etapa que 2 conceitos sejam claramente estabelecidos:

- O objetivo do método, ou o 1º nível da estrutura hierárquica;
- A definição de cada nível da estrutura.

O objetivo da aplicação do método é definir quais geradores se comportam mais agressivamente nos leilões de energia existente. O ambiente de contratação regulada é considerado como uma carteira sem risco para o gerador de energia. Os jogadores que tiverem menor propensão ao risco serão aqueles que se comportarão mais agressivamente nos leilões, ofertando o máximo de energia disponível pelo menor preço, desde que este não seja inferior aos seus custos.

Dois extremos de jogadores podem ser identificados com a utilização do conceito de propensão ao risco. O jogador com menor propensão ao risco será aquele que oferta toda a sua energia, independente do preço do lance, desde que não seja inferior aos seus custos, e o jogador com maior propensão ao risco será aquele que decide não ofertar nada de sua energia quando há uma pequena variação do preço do lance em relação ao ativo com risco ($P_{max} = PACL$). O valor P_{max} da figura 19 representa a expectativa de preços do ACL ($PACL$), sendo que qualquer jogador, independente de sua aversão ao risco, irá optar por alocar toda a sua energia no ACR quando o preço de lance estiver acima deste valor, pois o ativo ACR é livre de risco.

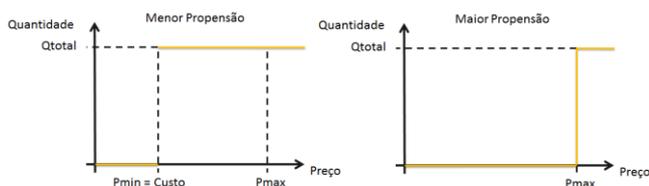


Figura 19. Estratégias extremas

A propensão ao risco de uma geradora de energia elétrica pode ser influenciada por suas características estruturais e conjunturais. A estrutura de uma geradora aponta suas características intrínsecas e a conjuntura aponta as características inerentes ao momento do leilão.

O 3º e último nível da estrutura é composto pelas variáveis que serão quantificadas. Dentre as características estruturais (E) temos:

- Propriedades do capital (E1): Considera a origem do capital da geradora. Classificadas como estatais e privadas de acordo com a estrutura societária da empresa e do poder de decisão.
- Porte da empresa (E2): Considera o tamanho da empresa de acordo com sua garantia física. A garantia física de uma empresa representa o montante de energia que pode ser comprometido com contratos de energia.

- Custo de geração (E3): O custo de geração será verificado a partir do portfólio de usinas da empresa, considerando as características específicas referentes à origem da fonte (térmica ou hidráulica) que influenciam diretamente no custo da produção.

Dentre as características conjunturais (C) temos:

- Preço dos contratos vencendo (C1): Representa o ganho que a geradora tinha com os contratos que venceram.
- Portfólio ACR/ACL (C2): Define o perfil de contratação da empresa. Geradoras com maior quantidade de energia contratada no ACR têm menor propensão ao risco.
- Volume dos contratos vencendo (C3): O volume da energia da geradora que está no final do contrato, em percentuais da energia total da geradora. Representa a fatia da receita da geradora proveniente de contratos que estão se encerrando.

As escalas de comparação estão apresentadas na tabela I.

Número	Descrição
1	Mesma importância
3	Importância pequena de uma sobre a outra
5	Importância grande ou essencial
7	Importância muito grande ou demonstrada
9	Importância absoluta
2,4,6,8	Valores intermediários

As comparações paritárias são feitas para cada nível hierárquico e para cada subconjunto do nível, desta forma tem-se 7 comparações. As primeiras comparações são realizadas no 3º nível hierárquico, assim a pessoa que estiver realizando as comparações tem uma melhor idéia do que se tratam os conjuntos do 2º nível antes de fazer a comparação. A tabela II apresentada a lista de comparações paritárias. Cada linha da tabela representa uma comparação paritária, sendo que o número 1 significa que as variáveis são igualmente importantes na definição da propensão ao risco do agente. Por exemplo, a 1ª linha faz a comparação entre propriedade do capital e o porte da empresa. Se o indivíduo acha que a propriedade do capital tem uma importância grande (tabela I) em relação ao porte da empresa, ele deverá assinalar o valor 5 do lado de E1.

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E1	8	9	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E2	7	6	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7
C1	6	5	4	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
C1	5	4	3	8	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5
C2	4	3	2	7	6	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4
E	3	2	1	6	5	4	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3

As matrizes recíprocas de comparação para cada pessoa são ilustradas na tabela III. O valor de cada comparação paritária é inserido nesta tabela, sendo que se E1 tem importância 6 em relação à E2, E2 tem importância 1/6 em relação

à E1. Leia-se na tabela, a variável da linha tem importância X em relação à variável da coluna.

Tabela III. Matrizes Recíprocas

E			C				
	E1	E2	E3		C1	C2	C3
E1	1	6	4	C1	1	9	6
E2	1/6	1	3	C2	1/9	1	1/4
E3	1/4	1/3	1	C3	1/6	4	1

Aversão		E	C
E		1	4
C		1/4	1

O valor numérico 3 da 2ª linha da 3ª coluna da matriz E sinaliza que, para o indivíduo que fez a comparação, o porte da empresa (E2) é levemente mais importante que o custo de geração (E3) para a definição da propensão ao risco do agente de geração. Este exemplo é apenas ilustrativo, sendo que o resultado da aplicação será apresentado no próximo subitem.

O MAH utiliza da discussão das propriedades influentes no objetivo da análise pelos participantes do julgamento para se chegar a um consenso, mas quando se trata de pessoas experientes e altamente conhecedoras do assunto em discussão o método utiliza-se de julgamentos individuais. As matrizes finais constam da média geométrica do julgamento dos participantes.

As prioridades finais para as variáveis são dadas pelo autovetor referente ao maior autovalor da matriz de julgamentos. Toda a análise matemática e as provas dos passos utilizados se encontram em [6]. O autovetor das três matrizes exemplificadas acima são apresentados a seguir:

Tabela IV. Autovetores

E		C	
E1	0,701	C1	0,721
E2	0,193	C2	0,21
E3	0,106	C3	0,069

Aversão		E	C
E		0,8	
C			0,2

Estes vetores definem os pesos que cada variável tem na propensão ao risco do agente de geração.

B. Definição dos pesos

O método foi aplicado com 11 profissionais da área com amplo conhecimento sobre o assunto. A aplicação foi precedida de uma apresentação do método, com a elucidação dos parâmetros a serem analisados, para que todos os participantes tivessem clareza no momento das comparações. Os resultados desta aplicação se encontram na figura a seguir.



Figura 20. Árvore hierárquica - Resultados

Os resultados mostram um grande equilíbrio entre os aspectos estruturais (44,75%) e conjunturais (55,25%) na tomada de risco dos agentes, com uma leve vantagem para o último.

Dentre os aspectos estruturais, a propriedade do capital apresentou larga vantagem em relação aos demais parâmetros com 59,41% de participação, seguido pelo custo da geração com 24,18% e pelo Porte da Empresa com 24,18%, e dentre os aspectos conjunturais o portfólio de contratos teve o maior peso com 41,14%, seguido pelo volume dos contratos vencendo com 31,84% e pelo preço dos contratos vencendo com 27,02%.

A votação do grupo apresentou grande grau de consistência, não havendo necessidade de uma nova avaliação.

C. Definição do coeficiente de propensão ao risco dos agentes de geração

A aplicação do MAH para a definição da propensão ao risco, após a definição dos pesos de cada variável, deve ser feita individualmente para cada agente de geração utilizando-se da técnica de planejamento para trás. A tabela 6 mostra como foi realizada esta análise.

Tabela V. Quantificação das variáveis

Variável	Valor
Propriedade do capital	1 para empresas estatais e 0 para empresas privadas
Porte da empresa	1 para a empresa com maior garantia física. As outras empresas serão classificadas linearmente entre 1 e 0 de acordo com a sua garantia física.
Custo de geração	1 para a empresa com 100% de seu portfólio constituído de usinas hidrelétricas e 0 para empresas com 100% de seu portfólio constituído de usinas termelétricas, os outros agentes serão avaliados linearmente de acordo com a potência instalada das hidrelétricas em seu portfólio e da potência instalada das térmicas.
Preço dos contratos vencendo	1 para a empresa que tiver o menor preço médio de contratos vencendo e 0 para a empresa que tiver o maior preço de contrato vencendo, as empresas que não tiverem contratos vencendo terão valor 0
Portfólio ACR/ACL	1 para a empresa que tem 100% de seus contratos realizados no ACR e 0 para a empresa que tem 100% de seus contratos no ACL

Volume dos contratos vencendo	1 para a empresa que tiver 100% de sua garantia física sendo descontratada e 0 para a empresa que não tem energia sendo descontratada
-------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Como pode ser notado na tabela acima, as geradoras com maior propensão ao risco obterão os menores valores e as com menor propensão ao risco obterão os maiores valores. Portanto, nesta análise utilizamos o conceito de aversão ao risco, sendo este o inverso de propensão ao risco, definindo que os agentes com maiores valores terão maior aversão ao risco e conseqüentemente menor propensão.

As informações dos agentes de geração coletadas e armazenadas no banco de dados apresentado no item II foram utilizadas nesta etapa para o cálculo da aversão ao risco destes agentes.

Um exemplo prático será apresentado resumidamente a seguir com 5 agentes de geração de energia elétrica.

Os dados apresentados neste artigo foram obtidos a partir de fontes públicas e procuram respeitar o sigilo industrial das empresas a que se referem. São apresentados como ilustração de sistemas reais e não devem servir para análise de investimentos e risco. Nenhum dos dados apresentados foi fornecido por qualquer uma das empresas citadas nem advém de consultas às empresas ou qualquer outra fonte.

Primeiramente quantificaremos cada uma das variáveis estruturais dos agentes de geração.

Após definir o valor de todas as variáveis estruturais podemos calcular o perfil dos 5 agentes de geração referente a este conjunto.

Tabela VI. Aspecto estrutural

Agente	Propor.	Porte	Custo	Estrutural
CESP	1	0,763	1	0,961
CHESF	1	0,785	0,943	0,951
DUKE	0	0,201	1	0,275
FURNAS	1	1	0,853	0,964
TRACTEBEL	0	0,56	0,704	0,262
PESO	0,594	0,164	0,242	0,448

A mesma análise pode ser feita para o conjunto de variáveis conjunturais. Utilizaremos como exemplo de conjuntura um leilão sendo realizado em 2012, para início de fornecimento em 2013. Os contratos que vencem neste ano são aqueles realizados no 1º leilão de energia existente no produto 2005-08.

Após definir o valor de todas as variáveis conjunturais podemos calcular o perfil dos 5 agentes de geração referente a este conjunto.

Tabela VII. Aspecto conjuntural

Agente	Preço	Portfólio	Volume	Conjunt.
CESP	0	0,584	0,204	0,305
CHESF	0,898	0,996	0,621	0,849
DUKE	0,204	0,529	0,207	0,338
FURNAS	0,112	0,925	0,599	0,601
TRACTEBEL	0	0,244	0	0,100
PESO	0,270	0,411	0,318	0,552

A aversão ao risco de cada agente é composta pelo conjunto de variáveis estruturais e pelo conjunto conjuntural, a união de todos estes fatores culmina na solução procurada, apresentada na tabela a seguir.

Tabela VIII. Aversão ao risco final dos agentes de geração

Agente	Aversão estrutural	Aversão conjuntural	Aversão ao risco
CESP	0,961	0,305	0,599
CHESF	0,951	0,849	0,895
DUKE	0,275	0,338	0,310
FURNAS	0,964	0,601	0,763
TRACTEBEL	0,262	0,100	0,173
PESO	0,4475	0,5525	1

O peso da aversão ao risco na tabela VIII é unitário pois é a variável de interesse e, portanto é única em seu nível hierárquico.

Os resultados apresentados na tabela 5 mostram que o agente de geração “CHESF” tem o maior valor de aversão ao risco e o agente “TRACTEBEL” tem o menor valor de aversão ao risco. A análise é feita inversamente se levarmos em conta a propensão ao risco dos agentes.

V. SIMULADOR DE LEILÕES

A partir da metodologia desenvolvida no projeto apresentada nos itens anteriores, foi criada uma ferramenta computacional de simulação de leilões de energia com a participação de jogadores reais e jogadores virtuais.

A. Administrador

O simulador foi desenvolvido para o treinamento da sistemática do leilão, baseando-se no modelo utilizado pela CCEE. Um “administrador” faz o papel do organizador do leilão, correspondente à CCEE, e do regulador, correspondente à ANEEL. A figura a seguir apresenta a tela inicial do administrador do leilão.

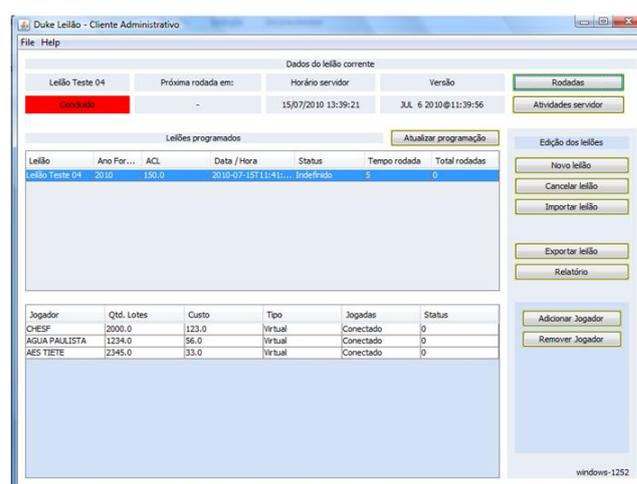


Figura 21. Tela inicial – Administrador

Nesta tela estão dispostas todas as opções que tem o administrador do leilão. O botão “Novo Leilão” abre a tela de cadastro de leilões apresentada a seguir:



Figura 22. Tela de dados do leilão – Administrador

As informações de preço, desvio no ACL e ano de início de fornecimento requeridas nesta tela são necessárias para a definição da estratégia de oferta dos jogadores virtuais.

Após o cadastro do leilão, o administrador insere os jogadores que participaram da simulação através do botão “Adicionar jogador” da tela inicial.

Duas opções são apresentadas: inserção de um jogador real ou inserção de um jogador virtual. A figura 23 apresenta a tela da 2ª opção. Para o jogador real, o administrador cadastra o seu identificador e senha para o acesso do usuário, o máximo de lotes que este usuário poderá ofertar e a empresa que ele estará representando.



Figura 23. Inserção de jogador virtual – Administrador

Para o jogador virtual, o administrador escolhe o agente de geração que ele quer cadastrar no leilão e o número de lotes disponíveis, e o software calcula os coeficientes de propensão ao risco deste agente através de uma consulta ao banco de dados.

A seguir são apresentados alguns botões da tela inicial do administrador (figura 21) e as suas funcionalidades.

- Rodadas: Apresenta ao administrador o histórico de oferta dos jogadores nas rodadas durante a realização do leilão.
- Atividades servidor: Apresenta o histórico de atividades realizadas pelo servidor.
- Cancelar leilão: Cancela o leilão antes de seu início
- Importar leilão: Importa todas as informações de um leilão realizado anteriormente, desde os parâmetros de cadastro do leilão até o cadastro dos participantes.
- Exportar leilão: Exporta as informações cadastradas no leilão para que sejam utilizadas posteriormente.
- Remover jogador: Exclui um jogador cadastrado no leilão.

O botão relatórios apresenta os resultados do leilão. Estes resultados serão mostrados posteriormente neste artigo.

B. Usuário

Os usuários acessam o servidor, onde está o serviço do simulador de leilões, através da tela inicial apresentada na figura 24.

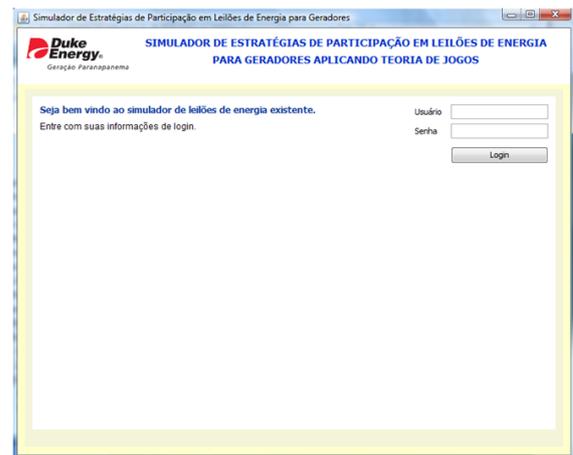


Figura 24. Tela inicial – Usuário

Os dados de entrada, usuário e senha, são fornecidos pelo administrador do leilão antes do início da simulação. Ao fazer o Login, o usuário acessa o ambiente de simulação, confirma os dados de seus empreendimentos e entra no ambiente de negociação, apresentado na figura 25.



Figura 25. Ambiente de negociação – Usuário

É nesta tela que o usuário faz as ofertas de quantidade nas rodadas uniformes e de preço na rodada discriminatória.

C. Relatórios

O simulador disponibiliza ao administrador 4 tipos de relatórios;

- Resumo: Apresenta o resumo dos dados cadastrais do leilão e dos jogadores participantes.

Duke Energy
Geração Paranaíba

Leilão Apresentação
Desempenho dos jogadores

Resumo do leilão

Data: 2010-09-10T14:39:00.000-03:00	Demanda: 5000,00	Ano de entrega: 2013
Tempo entre jogadas: 15	Demanda Referência: 5400,00	Preço ACL: 130,0
Total de jogadas: 5	Fator de referência: 1,20	Desvio Preço ACL: 13,0
	Decremento: 10,00	FDEMPQ: 0,1
		PDEMPQ: 1,3

Jogadores

CESP Quantidade ofertada: 800,0

Parâmetros

K1: 0,777411	Z1: 0,5838462	Propriedade Capital: 0,5941	Volume Descontratado: 0,3184	Alpha: 0,7308721
K2: 1,0	Z2: 1,0	Porte Empresa: 0,1641	Preço Contratado: 0,2702	Alpha corrigido: 118,9883
K3: 1,0	Z3: 0,1007582	Custo Geração: 0,2418	Perfil Contratado: 0,4114	

CHESF Quantidade ofertada: 2500,0

Parâmetros

K1: 1,0	Z1: 0,99579144	Propriedade Capital: 0,5941	Volume Descontratado: 0,3184	Alpha: 0,84013365
K2: 1,0	Z2: 0,85008055	Porte Empresa: 0,1641	Preço Contratado: 0,2702	Alpha corrigido: 107,62811
K3: 0,9695044	Z3: 0,24470291	Custo Geração: 0,2418	Perfil Contratado: 0,4114	

ELETRONORTE Quantidade ofertada: 672,0

Parâmetros

K1: 0,8225	Z1: 0,53393966	Propriedade Capital: 0,5941	Volume Descontratado: 0,3184	Alpha: 0,7045232
K2: 1,0	Z2: 0,90177137	Porte Empresa: 0,1641	Preço Contratado: 0,2702	Alpha corrigido: 121,72959
K3: 1,0	Z3: 0,079997145	Custo Geração: 0,2418	Perfil Contratado: 0,4114	

Figura 26. Relatório - Resumo

- Gráficos: Apresenta a evolução da oferta dos jogadores com o decréscimo do preço nas rodadas uniformes, o preço ofertado por cada jogador na rodada discriminatória e quantidade negociada.

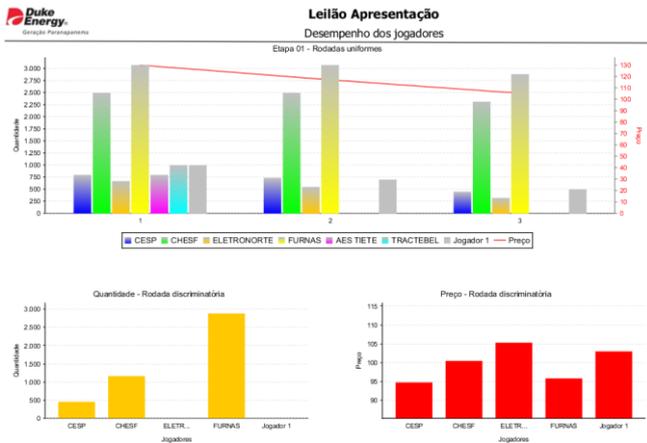


Figura 27. Relatório - Gráficos

- Jogadas: Apresenta as informações disponibilizadas no relatório “Gráfico” em formato de texto.

Duke Energy
Geração Paranaíba

Leilão Apresentação
Evolução das Jogadas

Rodada uniforme

Jogada 1

Jogador	Lance	Data / Hora do lance	Demanda Ref	Preço
CESP	800	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
CHESF	2500	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
ELETRONORTE	672	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
FURNAS	3076	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
AES TIETE	800	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
TRACTEBEL	1000	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
Jogador 1	1000	2010-09-10T14:39:04.000-03:00	5400,00	130,00

Jogada 2

Jogador	Lance	Data / Hora do lance	Demanda Ref	Preço
CESP	739	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
CHESF	2500	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
ELETRONORTE	550	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
FURNAS	3076	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
AES TIETE	0	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
TRACTEBEL	0	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
Jogador 1	700	2010-09-10T14:39:19.000-03:00	5400,00	117,00

Jogada 3

Jogador	Lance	Data / Hora do lance	Demanda Ref	Preço
CESP	453	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
CHESF	2316	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
ELETRONORTE	322	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
FURNAS	2887	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
AES TIETE	0	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
TRACTEBEL	0	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
Jogador 1	500	2010-09-10T14:39:38.000-03:00	5400,00	105,30

Figura 28. Relatório - Jogadas

- Desempenho: Apresenta o desempenho dos jogadores ao final do leilão.

Duke Energy
Geração Paranaíba

Leilão Apresentação
Desempenho dos jogadores

Jogador	Comportamento	Ofertado	Vendido	Preço	Desempenho
AES TIETE	AES TIETE	0	0	117,00	1000
CESP	CESP	453	453	94,77	980
CHESF	CHESF	2316	1160	100,48	921
ELETRONORTE	ELETRONORTE	322	0	105,30	932
FURNAS	FURNAS	2887	2887	95,84	949
Jogador 1	DUKE PARANAPAN	500	0	103,00	1000
TRACTEBEL	TRACTEBEL	0	0	117,00	1000

Figura 29. Relatório – Desempenho

O jogador real (Jogador 1) também tem seu desempenho avaliado a partir do equivalente seguro do jogador (8). Sendo que a estratégia ótima é aquela que maximiza a utilidade do gerador que ele está simulando o comportamento.

VI. CONCLUSÕES

O projeto proporcionou o desenvolvimento de metodologias para a definição da estratégia de participação de geradoras em leilões de energia e culminou no desenvolvimento de um software de simulação.

A metodologia desenvolvida em torno na análise de carteira e do conceito de aversão ao risco dos geradores pode ser utilizada por agentes de geração para a definição de sua estratégia de participação em leilões. Esta metodologia atendeu às expectativas iniciais e se mostrou bastante promissora para a realização de futuros estudos como: avaliação de diversos ativos representando contratos no ACL e no ACR no horizonte de contratação do leilão que está sendo realizado; aplicação da metodologia a leilões multi-produtos; aplicação da metodologia a leilões de disponibilidade; aplicação da metodologia a leilões de energia nova; avaliação da propensão ao risco das geradoras a partir de sua atual carteira de contratos, taxa interna de retorno, perfil dos acionista; etc.

O software implementado permite que a concessionária faça treinamentos de leilões de energia com as equipes designadas para esta atividade e possibilita a definição de estratégias de participação em leilões reais de acordo com cenários previamente determinados.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M ARKOWITZ, H. Portfolio Selection. Journal of Finance (USA) 7 (March 1952).
- [2] Sharpe, W. F. Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. Journal of Finance, 19 (3), 425-442 (1964)
- [3] DANTHINE, J.-P.; DONALDSON, J. Intermediate Financial Theory. 2ª ed. Elsevier, 2005.pp. 876-880. Disponível: <http://www.halcyon.com/pub/journals/21ps03-vidmar>
- [4] ROSS, S.; JAFFE, J.; WESTERFIELD, R. Administração Financeira – Corporate Finance. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- [5] ELTON, E. et al. Moderna Teoria de Carteiras e Análise de Investimentos. Tradução Antonio Zoratto Sanvicente. São Paulo: Atlas, 2004.
- [6] SAATY, Thomas. Método de Análise Hierárquica, Makron Books do Brasil Editora Ltda. e Editora McGraw-Hill do Brasil, Rio de Janeiro: 1991.