

# 1

## Introdução

### 1.1

#### Contratação de Energia no Brasil

No Brasil os tipos de contrato mais conhecidos e difundidos são os contratos por quantidade e por disponibilidade.

Os contratos por quantidade são contratos bilaterais a termo (forward) em que o vendedor tem a obrigação de entregar um dado montante de energia, a um determinado preço, durante um horizonte pré-acordado. O contrato por quantidade é um instrumento meramente financeiro, e não obriga o vendedor a produzir fisicamente a energia contratada; podendo este recorrer ao mercado de curto prazo (mercado spot) para tanto adquirir a energia não produzida quanto para vender a produção excedente ao compromisso contratual, podendo representar um grande risco financeiro para o vendedor.

Já no contrato por disponibilidade, o vendedor não tem a obrigação de comprar no curto prazo, sendo apenas obrigado a entregar a sua energia disponível associada ao lastro contratado. Neste modelo de contratação, um gerador 100% contratado, que possui um lastro contratual igual à sua geração média esperada, deverá entregar 100% do seu montante produzido ao consumidor. O fato de gerar menos ou mais que o seu montante de contrato não implica em uma obrigação de compra e tampouco em uma possibilidade de venda no curto prazo. Neste caso, o consumidor é que fica com o risco de comprar o déficit de produção, mas também com o benefício da venda da produção excedente no mercado spot (curto prazo).

### 1.2

#### Leilões de Energia no Brasil

Os leilões de energia praticados no Ambiente de Contratação Regulado (ACR) são leilões de contratos em que a demanda das distribuidoras é agrupada em um único montante, que por sua vez é leiloada aos geradores em um esquema

de preço único decrescente<sup>1</sup>. Neste formato de leilão, o leiloeiro, que representa uma demanda (compradores) neutra ao risco<sup>2</sup>, define um preço de abertura e à medida que exista sobre oferta, decrementa o preço ao longo de sucessivas rodadas (nas quais os geradores realizam suas ofertas). As ofertas dos geradores devem revelar as suas disposições a contratar (curvas de oferta). Neste trabalho, os leilões com tais características serão denominados leilões dinâmicos, em função de revelar a disposição a contratar dos ofertantes de maneira dinâmica (iterativa).

Na maioria dos países em que há um mercado atacado spot de energia, como EUA, Espanha, Noruega, etc., a cada dia são licitados os MWh de cada hora do dia seguinte. Nestes leilões, tanto os consumidores quanto os geradores, podem realizar um número fixo de ofertas para cada hora do dia. Entretanto, diferentemente dos leilões dinâmicos que são utilizados no Brasil, nestes leilões, em sua grande maioria, as ofertas são de envelope fechado e devem ser realizadas de uma só vez. As ofertas, que em última análise se resumem aos pares de preço e quantidade, revelam as disposições a contratar tanto dos compradores como dos vendedores. Após a submissão de lances, as ofertas são processadas pelo leiloeiro e, seguindo algum critério (normalmente o de mínimo custo), são determinadas as ofertas aceitas. Este procedimento geralmente é realizado por um algoritmo que recebe todas as curvas de oferta, as processa e então retorna um resultado para cada ofertante. A este tipo de leilão, em que as ofertas são realizadas de uma só vez, onde o leiloeiro define o resultado tendo a informação completa com relação às curvas de oferta, chamaremos de leilão estático.

Neste trabalho, os dois formatos de leilão serão estudados e comparados sob a ótica de uma comercializadora que visa adquirir (comprar) contratos por disponibilidade a mínimo custo, provenientes das três fontes renováveis

---

<sup>1</sup> Nos leilões do ACR, geralmente existem duas fases, a primeira de preço único decrescente, a que o texto se refere, e uma segunda de preço discriminatório, não mencionada aqui.

<sup>2</sup> Nos leilões de contratos por disponibilidade, a ordenação do mérito dos empreendimentos é realizada pelo leiloeiro através do Índice de Custo e Benefício (ICB), que traduz o custo em R\$/MWh de lastro adquirido, o valor esperado das despesas que os compradores incorreram com cada fonte. Por se tratar de um valor esperado (média), o perfil de risco traduzidos por essa escolha é de neutralidade com relação ao risco.

(Biomassa, Eólica e PCH), para lastrear uma venda de contrato por quantidade no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

Esta operação casada concentra todo o risco de compra e venda sobre a comercializadora (compra por disponibilidade – sem garantia na entrega – e venda por quantidade – com obrigação de entrega).

Neste contexto, a compra do lastro, através dos leilões que serão estudados, deve ser realizada de maneira conjunta. Somente assim, a comercializadora poderá selecionar as quantidades de cada tipo de fonte de maneira a retirar o maior proveito da complementaridade entre elas, sem perder de vista o custo da contratação – dado pelas curvas de oferta dos geradores. Desta maneira, a comercializadora desempenhará o papel de demanda (consumidor), com um perfil de aversão ao risco, durante o processo licitatório (leilão) e realizará ofertas em três produtos simultâneos: contratos por disponibilidade de Biomassa, Eólica e PCH. O perfil de risco será traduzido por uma restrição de risco baseada no *Conditional Value at Risk* (CVaR) [41][40][47], que é o valor esperado nos piores cenários.

### 1.3

#### Revisão Bibliográfica

O uso de contratos de médio e longo prazo vem adquirindo um espaço cada vez mais relevante na maioria dos mercados elétricos. Eles são capazes de reduzir a volatilidade dos fluxos de caixa dos geradores [44], mitigar o exercício de poder de mercado em sistemas competitivos [10] e fornecer um sinal de preço para a expansão mais adequado que o preço spot (de curto prazo) [37].

Em [46] e [44] é mostrada a estratégia de oferta de geradores em leilões de contratos de longo prazo proposta através de um modelo de maximização de utilidade esperada. Nestes dois trabalhos, adotou-se uma forma linear por partes para a função utilidade dos agentes e uma metodologia de especificação destas utilidades, com base em parâmetros financeiros do dia-a-dia dos geradores. A metodologia se mostrou uma ferramenta capaz de simular a dinâmica de leilões do ACR, bem como avaliar possíveis distorções decorrentes das regras dos leilões.

O uso de energia proveniente de fontes alternativas tem como vantagem a complementaridade de gerações que existe entre elas. Motivados por este assunto,

vários estudos são realizados no Brasil e no mundo. Dentre os estudos que observam a complementaridade entre as fontes eólicas e hídricas, [49] analisa a produção de energia eólica na Dinamarca e sua complementaridade com o sistema hídrico da Suécia e Noruega; o objetivo da análise recai sobre o estudo da viabilidade de se garantir a oferta de energia elétrica nos meses considerados secos a partir destas fontes. Já em [42], é abordada a complementaridade entre as fontes eólica e hídrica no sistema elétrico brasileiro. Neste estudo, é mostrado que a vazão do rio São Francisco possui correlação negativa com a incidência de ventos no nordeste. Assim, este estudo analisa a estabilização sazonal da oferta de energia elétrica durante o ano ao fazer uso da complementaridade destas duas fontes.

Em [27], é analisado o ganho sinérgico obtido por um portfólio formado por PCH (participantes do Mecanismo de Realocação de Energia - MRE) e usinas à biomassa. Este ganho apresenta um efeito da sazonalização do lastro destas PCH, em função da complementaridade que estas apresentam com as usinas à biomassa.

Em [45] e [47], a complementaridade entre as fontes de cogeração movida a bagaço de cana-de-açúcar (Biomassa) e PCH é explorada por uma comercializadora através da compra de lastro por disponibilidade e venda no ACL por quantidade. Neste trabalho, ao invés de utilizar um funcional de utilidade esperada para definir o perfil de aversão ao risco do decisor (no caso a comercializadora), uma restrição de risco – Conditional Value-at-Risk (CVaR) – é utilizada para limitar as perdas financeiras a um certo nível de significância.

## 1.4

### **Objetivo e Contribuições**

Os objetivos desta dissertação são: (i) estender o modelo proposto em [47] para incorporar a fonte eólica como uma opção frente às duas fontes já consideradas (PCH e Biomassa), e (ii) analisar dois possíveis desenhos de leilão de compra de contratos por parte da comercializadora, com o intuito de maximizar o seu benefício ao extrair a informação da disposição a contratar dos geradores.

As contribuições para a literatura compreendidas neste trabalho podem ser divididas em dois campos. A primeira recai sobre o item (i) do objetivo, onde um modelo de comercialização ótima de energia proveniente de fontes renováveis

será proposto a partir do ganho sinérgico devido à complementaridade das três principais fontes alternativas existentes no Brasil, que ainda possui um grande potencial energético não explorado destas três fontes de energia. A segunda contribuição compreendida neste trabalho está na proposta de um modelo que, em última análise, determina a estratégia ótima de atuação de um consumidor (demanda) avesso ao risco em dois possíveis formatos de leilão multiproduto de contratos: dinâmico e estático de preço uniforme.

A segunda contribuição preenche o espaço vazio na literatura decorrente de modelos práticos para a atuação estratégica de demandas em leilões de contratos que no Brasil vêm se tornando uma realidade no ACL. E desta maneira, este proporciona um modelo para ser utilizado por consumidores que visem adquirir lastro de energia renovável no ACL e oferece uma relevante comparação entre dois formatos de leilão que, como será mostrado, podem levar a diferentes resultados em função da forte dependência entre os produtos leiloados.

## 1.5

### **Organização da Tese**

Antes de abordar os objetivos propostos, serão introduzidos os conceitos necessários para se contextualizar todo o ambiente deste trabalho. O capítulo 2 apresentará o Setor Elétrico Brasileiro; o capítulo 3, as fontes alternativas renováveis consideradas neste trabalho e no capítulo 4 suas complementaridades.

O capítulo 5 introduzirá o tema de decisão sob incerteza, pois todas as decisões tomadas pela comercializadora em suas transações de compra e venda sofrem a influência de incertezas tanto nos perfis de geração das fontes contratadas quanto nos preços de curto prazo. Neste capítulo serão também apresentados os conceitos necessários para a compreensão da medida de risco que será utilizada neste trabalho para controlar os riscos financeiros durante o processo de otimização.

No capítulo 6 serão apresentados os tipos de contratos utilizados atualmente no setor e que serão utilizados nesta dissertação. O capítulo 7 será destinado a apresentar a Teoria dos Leilões, onde serão descritos os diversos tipos, a utilização no mercado de energia brasileiro e, por fim, os modelos propostos neste trabalho.

O capítulo 8 apresentará o estudo de caso que utilizará dados realistas do sistema elétrico brasileiro nas simulações dos leilões apresentados no capítulo 7. Também serão apresentados resultados de uma análise de sensibilidade no perfil de risco da comercializadora de maneira a descrever o comportamento do modelo com relação a diferentes atitudes frente ao risco.