

ISSN 1519-4612

Universidade Federal Fluminense

TEXTOS PARA DISCUSSÃO

UFF/ECONOMIA

Universidade Federal Fluminense

Faculdade de Economia

Rua Tiradentes, 17 – Ingá – Niterói (RJ)

Tel.: (0xx21) 2629-9699 Fax: (0xx21) 2629-9700

<http://www.proac.uff.br/econ/>

Editor: Luiz Fernando Cerqueira; lcer@uol.com.br; lfcerqueira@economia.uff.br.

**Leilões de Curto Prazo na
Indústria Brasileira de Gás
Natural**

Miguel Vazquez *

Michelle Hallack **

TD 315
Julho/2015

© * Professor Adjunto da Faculdade Economia/UFF. E-mail: miguel.vazquez.martinez@gmail.com.

** Professor Adjunto da Faculdade Economia/UFF. E-mail: michellehallack@gmail.com.

RESUMO

Mecanismos de leilão se aplicaram com sucesso em uma grande variedade de situações. Contudo, as necessidades próprias de cada desenho dependem fortemente do contexto em que o mecanismo de leilão é aplicado. Nesse sentido, o objetivo tradicional do uso dos leilões na indústria brasileira de gás natural foi a extração da renda na alocação dos blocos para exploração e produção. Este artigo propõe o uso de leilões para incrementar a eficiência da coordenação dos agentes da indústria na comercialização e transporte. Os leilões propostos neste artigo serviriam de apoio na formação de preço de curto prazo do gás natural, e na alocação eficiente dos serviços de transporte. Para tanto, apoiando-se na experiência internacional, se propõe o uso de leilões combinatórios que permitam a representação da interdependência entre o gás ‘molécula’ e os serviços de transporte necessários para a troca do gás.

PALAVRAS-CHAVE: Gás natural, Mercado secundário, Leilões combinatórios, Comercialização de último recurso.

ABSTRACT: Auction mechanisms have been successfully applied in a variety of situations. However, the specific needs of each design are heavily dependent on the context in which the auction mechanism is applied. In this sense, the traditional goal of auction design in the Brazilian natural gas industry was rent extraction in exploration and production activities. This paper, on the other hand, proposes the use of auctions to increase the efficiency of the coordination of gas trading and transport activities. This paper aims to design auctions that facilitate the short-term gas pricing and the efficient allocation of transport services. To that end, relying on international experience, we proposed the use of combinatorial auctions that allow representing the relationship between gas 'molecule' and the transport services required for gas trading.

KEY WORDS: Electricity auctions; Investment signals; Side payments; Integer decisions; Marginal cost.

JEL: D47; D44; L43; L51; L95

1. Introdução

O processo de construção de mecanismos de mercado em uma grande parte das indústrias previamente organizadas ao redor de monopólios verticalmente integrados se apoia significativamente no uso de leilões. No caso da indústria de gás natural, o uso tradicional dos leilões no Brasil está ligado à extração da renda associada aos recursos naturais. Contudo, existem um grande número de aplicações cujo foco principal não é a extração de renda e sim a eficiência na alocação de infraestruturas.

Muitas das principais características da indústria de gás natural se justificam pela complexidade associada à operação do sistema de transporte. O gás natural é caracterizado por um valor calorífico relativamente baixo por metro cúbico, o que torna mais barato o transporte sob pressão, utilizando grandes infraestruturas. Por isso, a arquitetura física de tais redes de transmissão definiu as especificidades dos ativos desta indústria, e esta, por sua vez, ajuda a definir o tipo de organização econômica que pode ser encontrado na indústria, (Hallack and Glachant 2010).

Os arranjos de mercado nas indústrias de gás natural estão caracterizados por quadros institucionais marcadamente diversos. Em uma primeira aproximação, poder-se-ia argumentar que, como as infraestruturas de transmissão diferem significativamente entre as diferentes indústrias, elas determinam o melhor quadro institucional. Contudo, embora seja verdade que a diversidade dos arcabouços institucionais observados esteja relacionada com a arquitetura das redes, eles não dependem apenas da arquitetura física do sistema de transmissão. Os arcabouços institucionais dependem fortemente dos mecanismos selecionados para a coordenação entre os agentes da indústria, (Hallack and Vazquez 2014).

2. O papel do mercado secundário

Nesta seção mostraremos o esquema básico da tomada de decisões na indústria brasileira de gás natural, com o intuito de identificar os seus elementos fundamentais desde a perspectiva deste artigo.

Historicamente elemento básico para a coordenação dos agentes na indústria do gás natural foi o contrato de longo prazo. No geral, produtores assinam contratos de longo prazo com distribuidores estaduais (5-10 anos). Nesses contratos, os produtores são responsáveis pelo transporte de gás até o ‘city gate’, o qual é o ponto de entrada nos sistemas de distribuição de gás natural. No esquema básico, os produtores, para poder transportar o gás até o ponto de entrega para os distribuidores, assinam contratos de transporte com os gasodutos, que receberiam uma tarifa como compensação pelo serviço de transporte até o ponto de entrega para as distribuidoras¹.

Desde essa perspectiva, a indústria se coordenaria através de contratos de longo prazo de suprimento de gás e de transporte. A especificidade de ativos em indústrias de gás e o uso de contratos de longo prazo têm sido amplamente discutidos na literatura: no contexto norte-americano, por exemplo, ver e (Makholm 2012), (Mulherin 1986), (Hubbard and Weiner 1991), e (Masten and Crocker 1985); no contexto europeu ver (Chevalier 2004) e (Correljé, Groenleer, and Veldman 2013); para América do Sul e outros sistemas ver (Victor, Jaffe, and Hayes 2006) e (Glachant and Hallack 2009). Ademais, o grau de desenvolvimento de tais infraestruturas afeta a especificidade do ativo real de redes de gás e as possíveis opções para arranjos de mercado e, portanto, esse esquema básico pode estar afetado por diferentes níveis de integração vertical. Por exemplo, na União Europeia antes da liberalização, era normal que os transportadores e os distribuidores de gás estivessem integrados verticalmente, e assinassem contratos de longo prazo com os produtores (e com alguns gasodutos de transporte), (Chevalier 2004). Já nos EUA, os gasodutos estavam frequentemente integrados com os produtores e assinavam contratos com os distribuidores. Em ambas as indústrias, os contratos de longo prazo foram as peças fundamentais para coordenar os investimentos². Em qualquer um dos casos levantando acima, as decisões de longo prazo tomadas precisam de mecanismos de ajuste. O fornecimento de gás e os padrões de demanda são voláteis, e os fluxos do sistema de gás devem ser balanceados em períodos mais próximos da

¹ Estes contratos podem ter cláusula de flexibilidade (do tipo take-or-pay, ship-or-pay, make-up) mais ou menos importantes, mas como contratos de longo prazo possuem rigidez inerente a sua função de divisão de risco.

² Nesta perspectiva, apesar de não ser o centro deste artigo, o uso de leilões também pode ser inserido na coordenação de investimentos em transporte de gás em um contexto de liberalização dos mercados e acesso às redes por um grande número de usuários.

utilização dos mesmos. Os carregadores vão enfrentar desequilíbrios frequentes no curto prazo, que devem ser solucionados por meio de combinações bastante complexas de acordos comerciais de gás e das alterações necessárias nos direitos de transmissão. Conseqüentemente, os mercados atacadistas são tipicamente associados com a definição de um lugar onde a entrega da mercadoria ocorre: o hub, (Vazquez, Hallack, and Glachant 2012).

3. Negociação secundária nos mercados de gás natural: Hubs físicos, virtuais e implícitos

Um hub é um lugar onde comércio atacadista de gás é facilitado pela conjunção de vários serviços de transmissão. Neles, uma quantidade significativa de vendas e compras de gás ocorrem, e vendedores e compradores também podem obter serviços de flexibilidade³. Estas transações aparecem em grande parte a fim de adaptar as carteiras dos carregadores no curto prazo. Eles podem ser considerados como operações secundárias, como a maioria das transações de gás é feita a longo prazo. Mas essas transações secundárias são centrais no funcionamento dos mercados de gás.

Uma primeira definição corresponde com o hub físico: uma junção de dutos onde os carregadores realizam as transações de curto prazo. Esse é o mecanismo de coordenação implantado no mercado de gás nos EUA, (Costello 2006), e está caracterizado por uma confiança considerável nos mecanismos de troca bilaterais. Isto implica uma dependência considerável na capacidade dos carregadores para renegociar seus contratos a curto prazo, (Makholm 2012) e (Ruff 2012).

Quando a especificidade do sistema se considera alta, é possível que a falta de contraparte que atenda as mesmas especificidades (volume, tempo e local) se considere um problema relevante. Este é o caso da União Europeia, que se inspirou na reforma do sistema da Grã Bretanha. A solução dada ao problema da renegociação foi o desenho do hub virtual. A característica principal do hub virtual é que os agentes usam uma representação simplificada da rede de transporte nas suas trocas de gás. Em outras

³ Esses centros têm sido muitas vezes vistos como um pré-requisito para forma os preços do gás através da concorrência gás-gás, no sentido de que eles são um elemento-chave para facilitar a coordenação dos sistemas de gás no curto prazo.

palavras, os agentes substituem a junção de dutos física por um conjunto de pontos de entrega regulados, com uma representação muito simplificada das características físicas da rede. Em concreto, nos sistemas de gás da UE se usa o esquema de entrada/saída, ver por exemplo (Hallack and Vazquez 2013) ou (Miriello and Polo 2014).

Sem entrar nos detalhes do sistema, a ideia mais importante do ponto de vista deste artigo é que, uma vez os agentes compram o direito de vender no sistema, a alocação de gás no curto prazo responde a um mecanismo de leilão. Um desenho alternativo, especialmente interessante no caso de sistemas pouco malhados (Austrália ou Brasil são exemplos desses sistemas) é o leilão implícito. O exemplo mais direto desta abordagem é o sistema de gás em Victoria (Austrália), onde o leilão inclui a alocação da rede de transporte, sem necessidade dos agentes comprarem o direito de entrada, (Ruff 2012). O sistema se desenhou para favorecer a eficiência na alocação dos recursos no curto prazo. Neste regime, o leilão aloca os serviços de rede de acordo com os preços da commodity, para que os usuários precisam apenas tomar decisões relativas ao comércio de gás, o que simplifica significativamente o processo de renegociação.

Para fins de ilustração, considere dois jogadores, A e B, que querem levar gás a C usando um gasoduto com capacidade para transportar apenas o valor equivalente a um dos volumes dos jogadores. No modelo de leilão implantado em Victoria, o gás transportado será a oferta mais barata pelo gás trocado no leilão. No modelo norte-americano, por outro lado, vai depender de quem comprou *ex-ante* o direito de transportar o seu gás. Se este direito é propriedade do jogador com a oferta mais cara, os jogadores podem negociar bilateralmente sobre o próprio gás (antes de entrar no gasoduto) ou negociar para trocar o direito de usar o gasoduto.

Se a renegociação for feita em um hub grande, esta renegociação *ex-post* dos direitos de acesso será normalmente eficiente, desde que o hub tenha liquidez suficiente. Caso de existir pouca liquidez, o que acontece frequentemente em sistemas pouco malhados, esta renegociação pode ter uma eficiência menor do que a alocação usando um leilão. A seguinte seção analisará, com as ideias desenvolvidas nesta seção, o desenho dos mecanismos de troca no sistema brasileiro.

4. As necessidades de mercados de ajuste no Brasil

Historicamente a construção de gasodutos foi baseada em contratos de longo prazo, visto que a construção, ampliação e operação dos trechos de gasodutos eram outorgadas por regime de autorização pela ANP, cuja iniciativa dependia da manifestação de interesse do mercado. Na prática, contudo estes contratos possuíam a Petrobras nas duas pontas do acordo: a principal (na prática única) carregadora e principal acionista das empresas transportadoras. Neste contexto, os contratos possuíam um caráter legal, mas a operação e as mudanças de fluxos de curto prazo necessárias as mudanças de demanda eram decididas de maneira interna as empresas da Petrobras. Neste contexto, a flexibilidade não depende da renegociação contratual.

A Lei do Gás (2009) introduziu um novo quadro institucional, ver por exemplo (Ferraro 2010). Neste, o transporte de gás natural passou do regime de autorização para concessão⁴. Neste novo regime definiu-se que caberia ao Ministério de Minas e Energia a realização de estudos de expansão da malha dutoviária, a proposição de novos trechos de gasoduto (ou ampliação dos já existentes) e a definição de diretrizes do processo de contratação de empresas de transporte. No novo contexto cabe a Agência Reguladora (ANP) a condução dos processos de licitação das atividades sob o regime de concessão, definição de tarifas máxima de transporte, condução de chamadas públicas para alocação de capacidade inicial, aprovação de contratos de transporte e tarifas cobradas pelas empresas concessionárias, bem como a fiscalização do cumprimento dos contratos.

4.1 Necessidade de mecanismos de leilão

O quadro institucional não estabelece que o contrato de longo prazo é a única forma de contratação, hipoteticamente o governo poderia construir capacidade ociosa para ser alocada ao longo do tempo. Na aplicação da regra, no entanto, no único gasoduto que cujas as regras de concessão estão sendo estabelecidas, o tamanho do gasoduto e os investimentos devem ser definidos por processo de licitação e contratos de longo prazo. Neste novo contexto, podemos entender que as decisões de investimento ainda são coordenadas ao redor de contratos de transporte de longo prazo, contudo segundo a

⁴ Continuam sob regime de autorização (i) os dutos já em operação, (ii) com autorização de construção já outorgadas e (iii) com processo de licenciamento ambiental iniciado na data de publicação da lei.

nova regra a empresa transportadora não poderá carregar seu próprio gás. Neste contexto cujo objetivo é basear o comércio do gás em contratos que incluem entre diferentes agentes, se espera que haja necessidade de mecanismos de ajuste no curto prazo.

Leilões para adaptação as condições de curto prazo já foram realizadas pela própria Petrobras há alguns anos. O espírito destes leilões de curto prazo era alocar o excesso de gás natural da empresa. Isto é, caso haja maior produção do que o previsto ou que os agentes que contratou o gás não o necessite no curto prazo. A lógica, portanto, é que se não existir excesso de gás o leilão não se celebraria. E em caso de excesso de gás é vendedora do gás (a Petrobras) e não o agente que contratou o gás (o demandante) que revende o gás. No que tange a relação com transporte, cabia a Petrobras e suas subsidiárias ao gerenciar os fluxos de gás.

No novo contexto em que se espera que haja diferentes carregadores o mecanismo interno da Petrobras não pode ser o único instrumento de adaptação. Caso contrário, isto será mais uma barreira a entrada e fonte de ineficiência para o sistema.

Em realidade, várias decisões estavam implicitamente tomadas nos leilões da Petrobras. Dentre eles, um dos pontos de maior relevância na justificativa de mecanismos de curto prazo está relacionado com o consumo de gás das termelétricas. A participação nos leilões estava reservada aos consumidores não termelétricos. Somado ao fato de que os leilões só aconteciam no caso de ter gás em excesso, a regra pode ser reinterpretada como a decisão do gás ser alocado primeiro para geração de eletricidade. Nessa mesma linha, o fato de não acontecer leilões em vários anos responde à lógica de não existir gás em excesso. Um raciocínio provável para essa decisão implícita é considerar a alternativa para o gás consumido pelas termelétricas, que na atualidade é o gás importado, consideravelmente mais caro do que o custo de oportunidade do consumidor não termelétrico. Sob essas hipóteses, a decisão é simples: visto que o custo de oportunidade das termelétricas é maior do que os custo de oportunidade do consumo não termelétrico, aloque-se o gás para o setor elétrico. Essas hipóteses, na atualidade, estão sob questão.

Levando em consideração as prováveis mudanças tanto no sistema de gás (e.g. GNL e estocagem) quanto no sistema elétrico (mudança no perfil de funcionamento das plantas termelétricas a gás), a complexidade da tomada de decisões de curto prazo pode aumentar.

Por exemplo, pode se admitir um caso em que exista a escolha entre usar o gás para termelétrica no primeiro mês do ano, estocar o gás para consumir o gás em março e comprar GNL spot, ou estocar o gás em previsão de uma ponta elétrica (potencialmente, o ano todo) e contratar GNL para o ano todo. A decisão não é mais uma decisão simples: depende da coordenação de várias potenciais fontes de suprimento de gás; depende da arbitragem entre preços internacionais de gás; e depende da coordenação na tomada de decisões entre o sistema elétrico e o sistema de gás. O mecanismo de leilão, nesse contexto, poderia facilitar a coordenação dos agentes na nova situação.

4.2 A troca operacional e o mecanismo de leilão

O sistema de gás natural brasileiro se caracteriza por o relativo escasso malhado da sua rede de gasodutos. Nesse sentido, segundo a regulação em desenvolvimento atualmente as necessidades de ajuste da capacidade de transporte deveria se coordena através da troca operacional. A troca operacional deve ser solicitada aos transportadores pelos carregadores interessados e regulada pela ANP. Este mecanismo seria um avanço pois diminuiria o número de transações dos agentes pois permitiria a troca dentro do sistema de transporte, (ANP 2015). Contudo, os mecanismos que se apoiam em renegociações entre agentes (usuários e operador da rede) são custosos e estão mais sujeitos a ações oportunistas por parte dos incumbentes.

Portanto, este artigo analisa o uso de leilões de curto prazo para coordenar as operações de ajuste dos portfólios dos agentes do mercado. No leilão estudado, os carregadores fazem ofertas em cada ponto da rede, tanto de compra como de venda de gás. A capacidade de transporte se aloca de acordo com os preços de gás em cada ponto da rede. Nesse sentido, o leilão é um leilão combinatório, de envelope selado.

As principais vantagens são:

- Formação de preço eficiente. Este ponto é de crescente importância no Brasil, onde as características da demanda de gás fazem com que a precificação da flexibilidade seja cada vez mais relevante
- Redução das barreiras ao acesso de terceiros à capacidade de transporte. A alocação implícita da capacidade evita aos agentes a necessidade de contratar no curto prazo
- Transparência e neutralidade. As ofertas podem ser compradas, e as regras do leilão fazem com que todos os agentes sejam tratados de igual forma
- Liquidez. Facilita o encontro entre possíveis compradores e vendedores. Por outro lado, permite uma melhor gestão dos riscos dos agentes envolvidos

Como se mostra em (Vazquez and Hallack 2013), o mecanismo de leilão objetiva alocar a flexibilidade do sistema de acordo com as preferências dos agentes da indústria. Esta flexibilidade está associada tanto aos gasodutos quanto ao resto de instalações do sistema, por exemplo estocagem de gás. A ideia será representar cada fonte de flexibilidade como possíveis injeções ou retiradas de gás do sistema.

5. Experiências internacionais

Existe uma grande quantidade de experiências relevantes com leilões de curto prazo na indústria de gás natural. Por um lado, alocação de direitos de acesso às redes é uma das atividades mais frequentemente associadas com leilões de curto prazo (ver, por exemplo, (Vazquez and Hallack 2013)). Neste breve repasso à literatura não vamos, no entanto, nos focar nos leilões de acesso à rede diretamente, mas nos leilões de alocação do gás ‘molécula’, embora no final da seção veremos que ambos os problemas não podem ser separados facilmente.

Do ponto de vista da precificação do gás no curto prazo, a Espanha implementou o programa de leilões de comercialização de energia de último recurso (CESUR, pelas siglas em espanhol de *Contratos de Energía para el Suministro de Último Recurso*, ver por exemplo (Milla and Rubia 2011)). O mecanismo se inscreve no contexto da determinação da tarifa regulada para o setor residencial (que se chamou de tarifa de último recurso). A ideia era determinar o preço do ‘gás molécula’ num leilão celebrado

com vários meses de antecipação. Nesse leilão, as distribuidoras de gás a cargo dos contratos de preço regulado (consumidores residenciais) eram obrigadas a comprar o gás necessário para suprir esses contratos regulados. O preço resultante do leilão seria repassado aos clientes finais no componente de energia dos seus contratos. O intuito principal deste mecanismo era a revelação de preço de gás no curto prazo. Para tanto, se confiou num mecanismo de leilão que permitisse obter um preço transparente e formado eficientemente. O contexto não distaria das necessidades do mercado de gás brasileiro.

Na mesma linha, Colômbia também confiou num mecanismo do leilão para apoiar a formação de preço de curto prazo. O mercado secundário de gás na Colômbia, antes da implantação dos leilões de curto prazo, estava formado essencialmente por acordos bilaterais, e esses acordos não pareciam suficientemente líquidos, (Cramton 2008). Com o intuito de facilitar a formação eficiente do preço de curto prazo do gás ‘molécula’, se discutiram vários mecanismos e finalmente se implementou um leilão diário para facilitar as transações de ajuste dos agentes. O objetivo deste mecanismo seria igual ao objetivo discutido neste artigo no contexto brasileiro.

Tanto no caso dos leilões de último recurso na Espanha, quanto os leilões da Colômbia, representam soluções que não se preocupam com a alocação dos serviços de transmissão pela rede de gasodutos. No entanto, a alocação da capacidade de transporte é abordada pelo sistema implantado na Austrália, (Ruff 2012). A ideia é utilizar um leilão baseado num mecanismo de alocação implícita dos serviços de rede. Num mecanismo de alocação implícita, os direitos de transmissão são dadas de acordo com a ordem de mérito estabelecida no mercado grossista do gás, de modo que os serviços de transmissão estão implicitamente incluídos no mercado do gás comercial. Mecanismos implícitos são já bem estabelecido no sector da electricidade, (Bohn, Caramanis, and Scheppe 1984). Na sequência se analisarão as necessidades da indústria brasileira de gás natural e as possíveis soluções para o desenho de leilões de curto prazo.

6. Desenho do leilão

A prática internacional mais frequente para alocar gás ‘molécula’ se baseia no uso de leilões sem representação dos serviços de transporte. Um raciocínio frequente usado para justificar essa escolha é que os serviços de transporte podem ser adquiridos no

longo prazo separadamente, e, portanto não é preciso incluir esses serviços no leilão de curto prazo. Contudo, supondo um leilão sem alocação do transporte, os compradores deveriam escolher entre duas opções: a) bem adquirir capacidade de transporte primeiro, e depois comprar o gás; ou b) adquirir gás primeiro e depois segurar a capacidade de transporte. Em ambos os casos, aparece um problema de “ovo-galinha” para o comprador, (Cramton 2008).

Em muitas das experiências internacionais, este problema é significativamente aliviado pela existência de um mercado secundário líquido (tanto de transporte quanto de gás ‘molécula’). No Brasil, devido às características da rede do sistema de transmissão, que é pouco malhado, e a forte presença da Petrobras no segmento de transporte, a aparição de um mercado secundário líquido é pouco provável. Nesse sentido, a alocação implícita da rede permite aumentar a eficiência e controlar o potencial exercício de poder de mercado no acesso ao transporte.

Portanto, a nossa proposta apoia-se na alocação conjunta dos serviços de rede e do gás molécula. Na seguinte subsecção discutiremos os possíveis desenhos disponíveis para esse tipo de leilão.

6.1 Desenho do leilão

Uma primeira possibilidade seria implantar o modelo de hub virtual, modelo obrigatório na atualidade nos países da União Europeia. A ideia básica atrás desse modelo é alocação de parte dos serviços de transporte implicitamente. Toda vez que os agentes possuem o direito de usar o sistema (i.e. que previamente adquirissem capacidade de entrada e saída) recebem junto um conjunto de serviços de transporte implícitos. Este modelo, embora esteja caracterizado pelo foco na criação de liquidez na troca de gás ‘molécula’, apresenta dificuldades na alocação dos serviços de transporte, ver por exemplo (Hallack and Vazquez 2013). Nesse ponto de vista, a aplicação ao sistema brasileiro requereria um estudo detalhado, toda vez que existem tanto potenciais vantagens quanto possíveis ineficiências na alocação dos serviços de rede.

Uma alternativa seria incluir produtos que representem a capacidade de transporte num leilão otimizado para gás ‘molécula’. Este tipo de leilão, maior parte das vezes, usa um

desenho de leilão iterativo, sendo o leilão tipo relógio (clock auction)⁵ a alternativa mais popular nos últimos anos (Cramton 2008). Exemplos deste tipo de leilão em mercados de energia se encontram na maioria de programas de *Gas Release* da Europa (programas de venda obrigatória de gás por parte dos incumbentes), assim como em leilões de venda a longo prazo de eletricidade (incluindo os leilões de eletricidade no Brasil). Contudo, todas essas experiências envolvem trocas de longo prazo, sob a hipótese da capacidade de transporte ser alocada mediante um outro mecanismo externo ao leilão. A inclusão de serviços de transporte neste tipo de leilão tornaria o mecanismo excessivamente complexo, pouco transparente, e potencialmente ineficiente.

A proposta deste artigo tem como objetivo garantir a utilização eficiente da rede no curto prazo. Nesta proposta, os agentes só precisam se preocupar com o mercado de *commodities*, sendo o mecanismo do leilão que aloca a capacidade de transporte de forma ótima. A nossa proposta se pode relacionar com a do modelo de mercado de gás de Victoria. (Ruff 2012) descreve o mecanismo de determinação dos resultados do leilão como um modelo de otimização dos fluxos de gás, que representa períodos de 24 horas. Ele leva em conta a capacidade do sistema de transmissão, a fim de determinar os resultados do fluxo ótimo de gás. Os preços de gás de curto prazo seriam os associados a esses fluxos ótimos de gás. Na sequência se descreve em mais detalhe a proposta para a indústria brasileira.

6.2 Definição dos produtos alocados no leilão

A alocação implícita de serviços de rede em relação aos preços do gás lhes permite evitar cálculos dos valores possíveis de serviços de rede. Os jogadores enviarão lances para injeções e retiradas de gás do sistema, especificando o período no tempo e a sua localização na rede. O leilão será baseado em um algoritmo que representa, de forma aproximada, a operação da rede, e decide a alocação dos serviços de rede de acordo com as ofertas dos jogadores. O algoritmo será uma otimização multi-período do fluxo de

⁵ Nestes mecanismos anunciam os preços em ordem monotônica (crescente ou decrescente) como se fosse um “relógio de preços”, enquanto os participantes fazem lances de quantidade desejada.

gás pela rede de transporte, levando em consideração injeções e retiradas de gás, a transmissão e a capacidade de armazenamento dos gasodutos (*line-pack*)⁶.

A com granularidade (por exemplo, se a injeção de gás se realiza diariamente, mensalmente, hora a hora, etc.) do leilão deve ser definida. No geral, quanto menor a granularidade, maiores serão as possibilidades de representação da variabilidade temporal dos fluxos de gás. Por outro lado, quanto menor a granularidade, maior a complexidade associada com o mecanismo. Por exemplo, um leilão que considere injeções horárias de gás, requererá um leilão cada dia (como acontece no sistema de gás de Victoria).

Nesse ponto de vista, uma granularidade mensal pode ser suficiente para o contexto atual brasileiro, visto que a demanda de gás para consumo termelétrico é menos variável que a dos sistemas com menos capacidade de reservatório hidrelétrico. A decisão final, no entanto, precisará de uma análise detalhada dos custos e benefícios associados a cada solução. Um leilão com representação mensal permitiria uma formação do preço de gás de curto prazo transparente e alocaria a capacidade de transporte associada.

Por tanto, no leilão proposto neste artigo, os carregadores apenas realizam lances com o preço do gás que será injetado e retirado de todos os pontos durante um determinado período, neste caso um mês. Com as ofertas, o algoritmo determina os fluxos através da rede e o *line-pack* a fim de minimizar as diferenças de preços entre os pontos em diferentes pontos no tempo. Os leilões acontecerão várias vezes no ano (por exemplo, quatro, uma vez por trimestre).

Em qualquer caso, os leilões de curto prazo devem ser inseridos em um conjunto mais amplo de mecanismos. Após do leilão, os jogadores poderão ainda renegociar os seus contratos. Em qualquer caso, os contratos provenientes do leilão serão firmes para garantir que os jogadores têm incentivos para ofertar verdadeiramente no leilão. Por outro lado, o mecanismo de leilão não irá alocar todos os serviços de rede, mas alguns deles serão geridos pelos transportadores. A lógica para isso é que há um papel

⁶ Outro tipo de estocagem, e.g. GNL ou armazenamento subterrâneo, podem ser incluídos no modelo se estão presentes no sistema.

essencial a desempenhar pelos transportadores, e algumas ferramentas devem ser deixadas sob sua responsabilidade para garantir a segurança do sistema.

Nesse contexto, o leilão alocará dois produtos básicos. Primeiro, se aloca um contrato comprometendo a injeção de gás em um ponto do sistema, com duração um mês. Segundo, um contrato comprometendo a retirada de gás em um ponto do sistema, com duração um mês. Nele se especifica:

- O ponto da injeção (e.g. Rio de Janeiro) ou o ponto de retirada (e.g. São Paulo)
- O mês de validade do contrato
- Quantidades de entrega ou retirada
- Possíveis cláusulas de flexibilidade (e.g. take-or-pay)
- Garantias e penalidades

Especialmente desde o ponto de vista do setor elétrico, a experiência colombiana mostra que a ausência de cláusulas de flexibilidade pode representar um custo elevado para as plantas termelétricas.

Enfim, cada jogador no leilão define uma curva, seja esta de oferta ou de demanda. Os agentes que oferecem gás formam uma curva especificando os preços mínimos pelos quais eles estão dispostos a vender uma determinada quantidade de gás. Os demandantes especificam o máximo preço que estão dispostos a pagar pelo gás. Por tanto, depois do processo de oferta, o leiloeiro tem uma curva agregada de oferta e uma curva agregada de demanda em cada nó do sistema. Se trata então de decidir as combinações de ofertas que resultam ganhadoras (leilão combinatório). Uma proposta para o algoritmo de determinação do resultado do leilão se descreve na sequência.

6.3 Definição do mecanismo do leilão

Nesta subsecção descreveremos um candidato a mecanismo para determinar os resultados do leilão. Quando a rede tem vários pontos (ligados por gasodutos), e injeções e retiradas em diferentes pontos no tempo são interdependentes (e.g. armazenamento no interior do gasoduto, *line-pack storage*), o leiloeiro precisa combinar

um complexo conjunto de lances. A principal dificuldade com esse tipo de leilão é a determinação de propostas vencedoras.

Considere, por exemplo, que o leiloeiro deve decidir a forma em que se efetiva a retirada de um megawatt no ponto i . As opções do leiloeiro são: (i) utilizar uma injeção de um megawatt no mesmo ponto; (ii) utilizar uma injeção de um megawatt de outro ponto da rede (e utilizar a capacidade de transmissão); ou (iii) usar um megawatt de gás armazenado no interior da rede. Para decidir entre essas três opções, o leiloeiro precisa de um algoritmo capaz de comparar os lances.

Formalmente, o leilão é composto por ofertas de injeção e retiradas ao longo de um determinado período, que é indexado por $t = 1, \dots, T$. Além disso, os carregadores são indexados por $k = 1, \dots, K$ e o sistema está formado por $i = 1, \dots, N$ pontos de entrada/saída. $I_t^{i,k}$ representa a quantidade de gás que o carregador k está disposto a injetar no nó i no período t . Os carregadores definem o preço no qual eles estão dispostos a injetar o gás na rede, $b_t^{i,k}$. Ou seja, no momento t , se o preço para injeções fosse $b_t^{i,k}$, o carregador k estaria disposto a injetar a quantidade $I_t^{i,k}$ no nó i . Equivalentemente, $W_t^{i,k}$ representa a quantidade de gás que o carregador k está disposto a retirar no nó i e no momento t . Transportadoras definem o preço no qual eles estão dispostos a retirar gás da rede, $c_t^{i,k}$.

A principal dificuldade associada com este tipo de leilão é que o leiloeiro não pode criar facilmente as curvas agregadas de injeção e retirada de gás, de modo que precisa de um algoritmo para comparar os lances em diferentes nós e períodos. O principal critério para o leiloeiro será maximizar o bem-estar social. Para tanto, o leiloeiro, uma vez recebidos os lances, construirá com eles uma "curva de custo de injeção" $B_t^i(I_t^i)$, e uma "curva de valor de retirada de gás" $C_t^i(W_t^i)$, para cada nó e ponto no tempo. Estas curvas são simplesmente a integral dos pares quantidade de preços acima definidos, ou seja, o preço de oferta para uma quantidade \bar{I}_t^i é a derivada da curva de custo de injeção em tal quantidade, $\left. \frac{\partial B_t^i(I_t^i)}{\partial I_t^i} \right|_{\bar{I}_t^i}$. A ideia é encontrar quantidades ótimas $I_t^{i,*}$ e $W_t^{i,*}$, e

assim, definir o preço π_t^i como o preço de compra para a última unidade utilizada para obter as quantidades ótimas, $\left. \frac{\partial B_t^i(I_t^i)}{\partial I_t^i} \right|_{I_t^{i*}}$.

O algoritmo utilizado para determinar os resultados do leilão será definido por um modelo simplificado da operação do sistema de gás. Nesse contexto, a função objetivo da otimização da alocação dos serviços de rede será maximizar o bem-estar social. Consideremos um sistema formado por $i = 1, \dots, N$ nós e $j = 1, \dots, M$ gasodutos. Definimos:

- Lances por injeções estão caracterizados por um vetor de quantidades

$$I_t = \begin{bmatrix} I_t^1 \\ \vdots \\ I_t^N \end{bmatrix} \text{ e os correspondentes preços de oferta } B_t(I_t) = \begin{bmatrix} B_t^1(I_t^1) \\ \vdots \\ B_t^N(I_t^N) \end{bmatrix}$$

- Lances por retirada de gás estão caracterizados por um vetor

$$W_t = \begin{bmatrix} W_t^1 \\ \vdots \\ W_t^N \end{bmatrix} \text{ e os preços de oferta correspondentes}$$

$$C_t(W_t) = \begin{bmatrix} C_t^1(W_t^1) \\ \vdots \\ C_t^N(W_t^N) \end{bmatrix}$$

- $f_t = \begin{bmatrix} f_t^1 \\ \vdots \\ f_t^M \end{bmatrix}$ é o vetor de fluxo através de cada gasoduto no período t

- $l_t = \begin{bmatrix} l_t^1 \\ \vdots \\ l_t^M \end{bmatrix}$ é o vetor de armazenamento no interior de cada gasoduto no período t

- \mathcal{M} é a matriz de incidência: o elemento \mathcal{M}_{ij} é 1 se o gasoduto j está saindo do nó i , -1 se o gasoduto está chegando no ponto, e zero em caso contrário

- \mathcal{F}_f é a matriz relacionando os fluxos pelos gasodutos e o diferencial de pressão

- \mathcal{F}_l é a matriz relacionando o armazenamento no interior de cada gasoduto e o diferencial de pressão

$$\bullet p_t = \begin{bmatrix} p_t^1 \\ \vdots \\ p_t^N \end{bmatrix} \text{ é o vetor de pressões em cada ponto da rede no período } t$$

A fim de determinar o resultado do leilão, o leiloeiro deve levar em conta as limitações do sistema. Contudo, as redes de gás são caracterizadas por equações não lineares. Se tais características físicas estão plenamente representadas, não haverá preço linear que represente um equilíbrio do leilão. Iremos considerar, assim, uma linearização do problema, de modo que tanto a capacidade de transporte e de armazenagem no interior dos dutos estão relacionados com as pressões através das funções lineares. Nesse ponto de vista, as restrições que vamos utilizar são:

O balanço de energia em cada nó

$$l_t = I_t - W_t + \mathcal{M}f_t + l_{t-1} \quad (1)$$

A definição de fluxo e armazenagem no interior dos dutos em termos das pressões nos nós

$$f_t = \mathcal{F}_f p_t \quad (2)$$

$$l_t = \mathcal{F}_l p_t \quad (3)$$

Os limites de pressão dos dutos

$$p_t^{min} \leq p_t \leq p_t^{max}. \quad (4)$$

Com a notação anterior, o bem-estar pode ser representado como $\sum_t (B_t(I_t) - C_t(W_t))$. Portanto, o algoritmo de determinação de resultados do leilão será:

$$\begin{aligned}
 & \max_{I_t, W_t, f_t, l_t, p_t} \quad \sum_t (B_t(I_t) - C_t(W_t)) \\
 \text{s. t.} \quad & l_t = I_t - W_t + \mathcal{M}f_t + l_{t-1} \quad : \mu_t^{price} \\
 & f_t = \mathcal{F}_f p_t \quad : \mu_t^F \\
 & l_t = \mathcal{F}_l p_t \quad : \mu_t^L \\
 & p_t^{min} \leq p_t \leq p_t^{max} \quad : \mu_t^{min}, \mu_t^{max}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Note-se que a formulação simplifica as leis que governam os fluxos através dos gasodutos, ver, por exemplo, Mokhatab et al. (2006) para representações detalhadas. A ideia é que o mecanismo de leilão não pretende representar em todos os detalhes os fluxos físicos, senão separar os serviços de rede necessários para o ajuste dos portfólios dos agentes das características técnicas complexas das redes de gás, que serão controlados pelos operadores dos gasodutos.

É importante analisar as condições de cassação do leilão para entender os seus resultados. Essas condições de cassação estão dadas pelas condições de otimalidade do algoritmo que determina a cassação. Portanto:

$$\text{Otimalidade } I_t : \quad \frac{\partial B_t(I_t)}{\partial I_t} = \mu_t^{price} \tag{6}$$

$$\text{Otimalidade } W_t : \quad \frac{\partial C_t(W_t)}{\partial W_t} = \mu_t^{price} \tag{7}$$

O preço do leilão π_t está definido pelo multiplicador de Lagrange μ_t^{price} , $\pi_t = \mu_t^{price}$. As duas equações anteriores simplesmente disseram que o preço é aquele que faz com que a utilidade marginal das injeções de gás no sistema seja igual à utilidade marginal das retiradas.

Ademais,

$$\text{Otimalidade } l_t : \quad \mu_{t+1}^{price} - \mu_t^{price} + \mu_t^L = 0 \tag{8}$$

$$\text{Otimidade } f_t : \quad \mathcal{M}^T \mu_t^{\text{price}} - \mu_t^F = 0 \quad (9)$$

Essas duas equações definem o valor da transmissão e do armazenamento no interior dos dutos ao longo de toda a rede. O primeiro valor é expresso por meio das diferenças de preços entre os nós da rede num certo período, e o segundo é expresso pela diferença de preço entre dois períodos consecutivos em cada nó da rede.

Nesse ponto de vista, o algoritmo de cassação objetiva decidir como determinar a correspondência entre os lances em diferentes nós de rede e diferentes períodos. Essas duas equações descrevem o procedimento para definir os valores para transmissão e armazenamento no interior dos dutos a fim de comparar esses lances.

A última condição de otimalidade em relação às variáveis primais é dada por

$$\text{Optimality } p_t : \quad \mathcal{F}_f^T \mu_t^F + \mathcal{F}_l^T \mu_t^L + (\mu_t^{\max} - \mu_t^{\min}) = 0 \quad (10)$$

Essa última condição define a relação entre a transmissão e o armazenamento no interior dos dutos. Ambos os serviços estão relacionados por meio do diferencial de pressão do gasoduto. Em outras palavras, a última condição de otimalidade representa o trade-off entre os serviços de transporte e de line-pack. A fim de resolver o programa matemático, são necessárias as seguintes equações adicionais:

$$\begin{aligned} l_t &= I_t - W_t + \mathcal{M}f_t + l_{t-1} \\ f_t &= \mathcal{F}_f p_t \\ l_t &= \mathcal{F}_l p_t \end{aligned} \quad (11)$$

e

$$\begin{aligned} p_t^{\min} - p_t &\perp \mu_t^{\min} \\ p_t - p_t^{\max} &\perp \mu_t^{\max} \end{aligned} \quad (12)$$

onde $A \perp B$ representa que A é complementar a B .

7. Conclusão

O artigo chama atenção para a necessidade de desenvolver mecanismos que facilitem a coordenação de curto prazo. A coordenação das indústrias de gás se apoia fortemente na contratação de longo prazo, fato que está motivado pela elevada especificidade dos ativos e a necessidade de garantia para os grandes montantes de investimentos. Os contratos de longo prazo, no entanto, podem sofrer de má-adaptação às mudanças nos fluxos de oferta e (principalmente) de demanda. Este problema se acentua quando se considera a demanda associada com o uso de plantas térmicas a gás para produzir eletricidade, visto que representa uma forte volatilidade no consumo, e portanto demanda flexibilidade do mercado de gás.

Os processos de adaptação dos contratos de longo prazo através de negociações secundárias bilaterais, principalmente em mercados incipientes, tendem a ser pouco eficientes, visto que a negociação secundária tende a ser pouco líquida e muito custosa. Na prática, há uma dificuldade em encontrar contrapartes para essa negociação secundária tanto no que diz respeito ao gás molécula quanto ao serviço de transporte. Atualmente, para diminuir os custos com o mercado secundário, há uma regra (ainda sendo regulamentada pela ANP) de troca operacional. Tal regra tem por objetivo diminuir os custos de renegociação com os gasodutos. Contudo, tal mecanismo, se baseado na renegociação, não é capaz de resolver o problema de iliquidez no mercado de gás de curto prazo.

Afim de lidar com este problema este artigo propõe o uso de mecanismos de leilão para aprimorar a coordenação de curto prazo na indústria brasileira de gás natural. Para tanto, se aproveita da experiência internacional para propor um mecanismo acorde com as necessidades do sistema brasileiro. Tal leilão casaria a demanda e oferta de gás de acordo com os preços dos agentes nos diferentes pontos do sistema levando em consideração as restrições de rede. Em qualquer caso, para a aplicação prática de um mecanismo com estas características será necessário aprofundar a análise, visando detalhar elementos de sua aplicação, como a frequência ótima, método de lance, etc., visto que o mecanismo deve se adequar às necessidades do sistema brasileiro.

Referências

- ANP. 2015. Revisão Da Resoluções Da ANP Números 27/2005 E 28/2005 E Regulamentação Da Troca Operacional de Gás Natural: Regulamentação Do Acesso de Terceiros a Gasodutos de Transporte. Nota técnica nº06/SCM/2015.: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Superintendência de Comercialização e Movimentação de Petróleo, seus Derivados e Gás Natural.
- Bohn, Roger E., Michael C. Caramanis, and Fred C. Schweppe. 1984. “Optimal Pricing in Electrical Networks over Space and Time.” *The Rand Journal of Economics*, 360–76.
- Chevalier, Jean-Marie. 2004. *Les Grandes Batailles de L'énergie : Petit Traité D'une Économie Violente*. Economics Papers from University Paris Dauphine 123456789/1266. Paris Dauphine University.
- Correljé, Aad, Martijn Groenleer, and Jasper Veldman. 2013. *Understanding Institutional Change : The Development of Institutions for the Regulation of Natural Gas Transportation Systems in the US and the EU*. EUI Working Paper.
- Costello, Ken. 2006. “Efforts to Harmonize Gas Pipeline Operations with the Demands of the Electricity Sector.” *The Electricity Journal* 19 (10): 7–26.
- Cramton, Peter. 2008. “Auctioning Long-Term Gas Contracts in Colombia.” Working Paper, University of Maryland.
- Ferraro, Marcelo Colomer. 2010. “Estruturas de Incentivo Ao Investimento Em Novos Gasodutos: Uma Análise Neo-Institucional Do Novo Arcabouço Regulatório Brasileiro.” Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Glachant, Jean-Michel, and Michelle Hallack. 2009. “Take-or-Pay Contract Robustness: A Three Step Story Told by the Brazil–Bolivia Gas Case?” *Energy Policy* 37 (2): 651–57.
- Hallack, Michelle, and Jean Michel Glachant. 2010. *The Gas Transportation Network as a “Lego” Game: How to Play with It?*. European University Institute (EUI), Robert Schuman Centre of Advanced Studies (RSCAS).
- Hallack, Michelle, and Miguel Vazquez. 2013. “European Union Regulation of Gas Transmission Services: Challenges in the Allocation of Network Resources through Entry/exit Schemes.” *Utilities Policy* 25 (June): 23–32.
- . 2014. “Who Decides the Rules for Network Use? A ‘common Pool’ analysis of Gas Network Regulation.” *Journal of Institutional Economics* 10 (3): 1–20.
- Hubbard, R. Glenn, and Robert J. Weiner. 1991. *Long-Term Contracting and Multiple-Price Systems*. National Bureau of Economic Research.
- Makholm, Jeff D. 2012. *The Political Economy of Pipelines: A Century of Comparative Institutional Development*. University of Chicago Press.
- Masten, Scott E., and Keith J. Crocker. 1985. “Efficient Adaptation in Long-Term Contracts: Take-or-Pay Provisions for Natural Gas.” *The American Economic Review*, 1083–93.
- Milla, Julián López, and Antonio Rubia. 2011. “Liquidez Del Mercado a Plazo Y Volatilidad de Precios Al Contado En El Mercado de Electricidad En España.” *Estudios de Economía Aplicada* 29 (2): 8–21.

- Miriello, Caterina, and Michele Polo. 2014. "The Development of Gas Hubs in Europe." Available at SSRN 2519608.
- Mulherin, J. Harold. 1986. "Complexity in Long-Term Contracts: An Analysis of Natural Gas Contractual Provisions." *Journal of Law, Economics, & Organization*, 105–17.
- Ruff, Larry E. 2012. "Rethinking Gas Markets and Capacity." *Economics of Energy and Environmental Policy* 1 (3).
- Vazquez, Miguel, and Michelle Hallack. 2013. "Need and Design of Short-Term Auctions in the EU Gas Markets." *Energy Policy* 63: 484–93.
- Vazquez, Miguel, Michelle Hallack, and Jean-Michel Glachant. 2012. "Building Gas Markets: US versus EU, Market versus Market Model." *European Energy Journal*, sec. 3.
- Victor, David G., Amy M. Jaffe, and Mark H. Hayes. 2006. *Natural Gas and Geopolitics: From 1970 to 2040*. Cambridge University Press.