

Protocolo de Leilões Simultâneos com Escalonamento: Aplicação ao Problema de Planejamento de Movimentações de Derivados de Petróleo

Roni F. Banaszewski¹

Kelvin E. Nogueira¹

Jean M. Simão¹

Lucia V. Arruda¹

Cesar A. Tacla¹

Resumo: Em cadeias de suprimento da indústria de petróleo, atender a demanda e manter um nível de estoque adequado para várias classes de derivados de petróleo é uma questão crucial. Basicamente, este tipo de cadeia é composta por vários elementos, como bases produtoras, bases consumidoras e terminais intermediários, os quais estão conectados por meio de uma malha de transportes multimodais para prover a movimentação de produtos entre as bases. Estes elementos devem cooperar para alcançar uma solução factível com um baixo tempo de processamento. Para atingir tal objetivo, este artigo apresenta um protocolo de leilões multiagentes para negociações simultâneas com um elemento escalonador. Este protocolo foi aplicado à cadeia supracitada, comportando-se eficientemente ao retornar uma solução factível em um baixo tempo de processamento.

Abstract: *In supply chains of the petroleum industry, fulfill demand and maintain an adequate inventory level for multiple classes of petroleum products is a crucial issue. Basically, this kind of chain consists of several elements like producer bases, consumer bases and terminals that are linked by*

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Av. Sete de Setembro, 3165 – CEP 80230-901 – Curitiba - PR - Brasil
{ronifabio, kelvin.elton}@gmail.com, {jeansimao, lvrarruda, tacla}@utfpr.edu.br

means of a multi-modal transport network to provide the transference of products among the bases. These elements must cooperate to achieve a feasible solution with a low processing time. To achieve this goal, this paper presents a multi-agent auction protocol for simultaneous negotiations with a scheduler element. This protocol was applied to the aforementioned supply chain, behaving efficiently to return a feasible solution in a low processing time.

1 Introdução

A cadeia de suprimentos da indústria brasileira de petróleo é composta por refinarias, mercados consumidores, terminais para armazenamento intermediário e modais de transportes, tais como oleodutos, navios, caminhões e trens. O planejamento da transferência de derivados de petróleo nesta rede multimodal é um problema complexo e atualmente é realizado manualmente pelos profissionais com base em suas experiências devido à falta de um sistema computacional que apresente uma solução para este problema. Basicamente, o problema envolve a negociação de recursos disponíveis, tais como derivados de petróleo, tanques e modais de transporte entre os diferentes locais envolvidos.

Na literatura, alguns problemas semelhantes, porém mais voltados para o planejamento de redes com um único tipo de modal de transporte, têm sido tratados por diferentes abordagens, com predominância da programação matemática [1],[2],[3],[4]. Estes trabalhos ilustram a difícil tarefa de modelar grandes problemas por meio deste método. Geralmente, tais trabalhos consideram apenas um curto horizonte de planejamento ou apenas uma parte do problema original, tal como uma parte da rede, gerando limitações importantes nos modelos desenvolvidos.

Devido às características do problema em estudo, o qual envolve toda a rede brasileira de transporte de produtos de petróleo e apresenta perfil de negociação entre as diferentes entidades envolvidas, surge o interesse da experimentação do paradigma de agentes de software para resolver o problema. Este paradigma tem sido aplicado a problemas de diferentes contextos, até mesmo em problemas de gerenciamento de cadeias de suprimentos devido à sua correspondência natural com a realidade onde os elementos são distribuídos. Além disso, em problemas que envolvem a competição por recursos, mecanismos de negociação entre agentes com base em leilões podem apresentar grandes vantagens de aplicação.

Neste artigo, os leilões são utilizados como um mecanismo de cooperação entre os agentes para que estes atinjam seus objetivos, ou seja, manter um nível de estoque adequado de cada produto por meio da movimentação entre locais com um baixo custo de transporte. Mais precisamente, este artigo propõe um novo protocolo para a execução de leilões baseado no protocolo Contract-Net [5]. O protocolo proposto permite a execução de leilões de forma simultânea com o auxílio de um mecanismo de escalonamento para evitar problemas de acesso concorrente a recursos compartilhados e ordenar o fechamento dos leilões de acordo

com os valores de lances dos participantes vencedores. Este protocolo evita realizar uma quantidade demasiada de combinações, uma vez que a solução desejada refere-se a um resultado factível com um baixo tempo computacional na ordem de segundos a alguns poucos minutos. Tal requisito torna a busca da solução muito difícil devido ao escopo do problema que aborda toda a malha multimodal brasileira. Para analisar o comportamento deste protocolo, este artigo apresenta a modelagem para o problema de planejamento em questão e apresenta os resultados de um experimento com o modelo sobre um cenário de planejamento real.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: a seção 2 descreve as particularidades do problema. A Seção 3 descreve a fundamentação teórica embasada na definição de agentes, de protocolo de leilões e trabalhos relacionados. A seção 4 descreve o novo protocolo e a modelagem para o problema em questão. A seção 5 apresenta os resultados do estudo de caso e finalmente, a seção 6 apresenta a conclusão.

2 Visão Conceitual do Problema

O problema de planejamento de transporte de derivados de petróleo na rede multimodal brasileira é altamente complexo devido à quantidade de elementos e as restrições de estocagem e movimentação. É praticamente impossível construir uma solução computável que atenda plenamente todos os detalhes dessa rede [6]. Desta forma, a abstração é fundamental para se alcançar uma solução. No problema abordado neste artigo, alguns detalhes de planejamento em nível operacional foram omitidos, sendo assim, tal problema refere-se ao planejamento em nível tático.

Basicamente, o problema consiste na alocação da capacidade de rotas para atender a demanda do mercado em um horizonte de planejamento de três meses com custo de transporte minimizado, respeitando as capacidades dos modais de transporte e os limites de estoques em produtores e consumidores. Os produtores não devem produzir mais do que as suas capacidades de estoque locais e os consumidores não podem ficar sem produtos.

Neste artigo, os produtores e consumidores são genericamente chamados de bases e cada mês de planejamento é considerado como um período de planejamento. Desta forma, cada base apresenta um estoque inicial no início do horizonte e um valor de balanço para cada produto em cada período de planejamento. O valor de balanço consiste na soma do volume de produção e consumo de um dado produto. Estes valores podem ser positivos, negativos ou nulos para cada período, podendo diferir de um período para outro, ou seja, um produtor pode produzir com sobras em um período e demandar produtos nos demais.

Para armazenar este volume, cada base apresenta faixas de estoque operacional e físico constituídas de limites máximos e mínimos que devem ser respeitadas. Mais precisamente, estas faixas são dadas por agrupamento de produtos e também podem variar de um período para outro, sendo que os produtos devem compartilhar o dado espaço em cada

período. Assim, as movimentações de produtos devem ser executadas com precisão de modo que cada base mantenha diariamente dentro da faixa operacional o estoque de cada produto e também a soma dos estoques destes produtos que compõem tal agrupamento.

Estas bases são conectadas por rotas registradas. As rotas são compostas por um ou mais segmentos que representam os meios de transporte. Esses segmentos não são necessariamente do mesmo tipo. Por exemplo, uma rota composta por dois segmentos pode vincular uma refinaria a um terminal através de dutos e um terminal a um ponto de consumo por meio de navios. Cada rota suporta um dado conjunto de produtos e define um volume mínimo aceitável para transporte. Entre duas bases, pode haver zero ou mais rotas registradas e diferentes rotas podem compartilhar os mesmos segmentos. Consequentemente, as capacidades destes segmentos são também compartilhadas. No planejamento em nível tático não há preocupação com a ordem de escalonamento dos produtos nos segmentos. Desta forma, apenas leva-se em consideração as capacidades dos segmentos em cada período.

3 Fundamentação Teórica

Esta seção é organizada em três subseções. A subseção 3.1 define brevemente agentes de software. A subseção 3.2 descreve sucintamente os protocolos de leilões, com ênfase no protocolo Contract-Net e por fim, a subseção 3.3 cita alguns trabalhos da literatura com propostas de resolução de problemas similares ao abordado neste artigo.

3.1 Agentes de Software

De acordo com [7], um agente consiste em uma entidade computacional situada em um ambiente, capaz de executar ações de forma flexível e autônoma a fim de alcançar os objetivos estabelecidos no momento de sua concepção. Segundo [8], um agente pode estar situado num ambiente real (ex. representando robôs) ou virtual (ex. em um simulador), percebe mudanças no ambiente por meio de sensores e age sobre o ambiente de acordo com as mudanças percebidas. A interação entre os agentes formam uma única entidade social, ou seja, um sistema multiagentes (SMA). Em um SMA, os agentes assumem papéis, objetivos e interagem entre si a fim de contribuir para a resolução de um problema [9].

Devido à forma em que os agentes são organizados e pela interação existente entre as partes desta organização, um SMA pode ser analogamente comparado a uma cadeia de suprimentos. Segundo [10], uma cadeia de suprimentos pode ser vista como uma sociedade de agentes autônomos, enquanto um sistema de cadeia de suprimento pode ser visto como um SMA, onde os membros da cadeia de suprimentos são representados por diferentes agentes.

Esta analogia também pode ser estendida para as propriedades descritivas dos agentes, tal como a autonomia, reatividade, proatividade e habilidade social. Mais precisamente, um membro de uma cadeia de suprimentos apresenta autonomia suficiente para tomar decisões, percepção e reação às mudanças no ambiente em que está situado,

iniciativa para a realização de ações e necessidade de interação com os demais membros da cadeia para troca de dados e materiais [11].

Desta forma, uma abordagem por SMA se apresenta bastante adequada para problemas de Gerenciamento de Cadeias de Suprimento, do inglês Supply Chain Management (SCM). Ademais, como os problemas de SCM geralmente apresentam características distribuídas e descentralizadas, a própria modelagem do problema sob a forma de um SMA já é satisfatória, uma vez que permite modularizar e particionar naturalmente o espaço do problema [12].

3.2 Protocolos de Negociação

O Contract-Net foi proposto por Reid G. Smith em 1980 como um protocolo de negociação inspirado no mecanismo de leilões [5]. O Contract-Net é bastante utilizado para a resolução distribuída de problemas por meio da atribuição de subproblemas ou tarefas para agentes com capacidades para resolvê-los e também como uma espécie de leilão para a atribuição de recursos ou itens para agentes interessados.

Basicamente, o protocolo Contract-Net propõe dois papéis principais no processo de interação: o papel do leiloeiro e o papel dos participantes de um leilão. Um agente pode assumir qualquer dos dois papéis durante a execução do protocolo. Porém, estes papéis podem exercer responsabilidades um pouco distintas de acordo com o problema no qual o protocolo é aplicado. Quando o protocolo é aplicado na resolução distribuída de problemas, os agentes leiloeiros são responsáveis por monitorar a execução de tarefas e processar os resultados de suas execuções, enquanto que os participantes são responsáveis pela execução das tarefas. Por sua vez, quando o protocolo é aplicado para o problema de atribuição de recursos, os leiloeiros ofertam os recursos e os participantes oferecem lances para a aquisição de tais recursos. A interação entre estes papéis ocorre por meio de trocas de mensagens com primitivas de comunicação de acordo com a Figura 1.

De acordo com a figura, o comportamento do protocolo de leilão tem início quando um leiloeiro envia um anúncio para os participantes com informações sobre os produtos. Nos termos estabelecidos pelo protocolo, este anúncio é chamado de CALL-FOR-PROPOSAL (CFP). Ao receber um CFP, cada participante envia ao leiloeiro uma mensagem de PROPOSAL contendo o seu lance. Se o participante decidir não participar do leilão, ele envia ao leiloeiro uma mensagem de REFUSE. O leiloeiro espera por um prazo fixo ou o tempo necessário para receber todas as propostas dos participantes. Se o prazo expirar, o leiloeiro apenas considera as propostas recebidas até o momento e começa o processamento para definir o(s) vencedor(es). O leiloeiro envia uma mensagem de ACCEPT-PROPOSAL para o(s) vencedor(es) e REJECT-PROPOSAL para os demais participantes. Um participante vencedor recebe o ACCEPT-PROPOSAL e retorna uma mensagem de INFORM para confirmar a negociação. No caso em que o vencedor decide desistir da negociação, ele envia uma mensagem de FAILURE ao leiloeiro. Finalmente, o leiloeiro encerra o leilão.

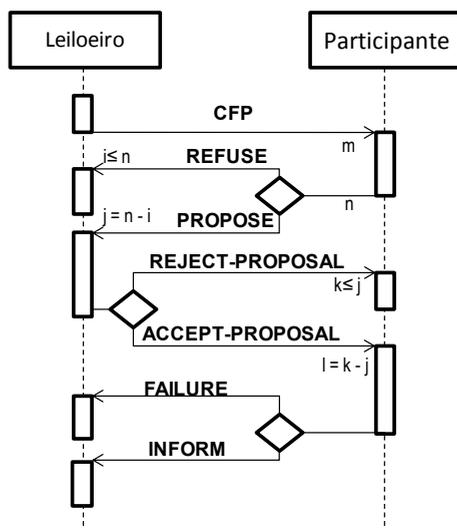


Figura 1. Protocolo Contract-Net [13]

Apesar da grande popularidade do protocolo Contract-Net, este ainda apresenta algumas limitações em termos de eficiência e mesmo de qualidade de solução quando aplicado a problemas complexos [5],[14],[15]. Exemplos destes problemas são aqueles em que múltiplos itens de produtos são oferecidos para venda, principalmente quando estes produtos são heterogêneos [16]. Ademais, o problema também se agrava quando múltiplos itens de diferentes produtos devem ser vendidos por diferentes agentes leiloeiros, por exemplo, devido à distribuição física destes produtos. Estes cenários são cada vez mais comuns principalmente com o advento dos leilões online, onde um participante tem a oportunidade de participar de vários leilões ao mesmo tempo para adquirir o produto desejado pelo menor preço. Porém, nestes cenários, sobre as diretrizes do Contract-Net, um participante não atua de forma eficiente e adequada, uma vez que este sequencia a sua participação nos múltiplos leilões, decidindo por participar em apenas um ou em um subconjunto destes.

Em leilões de múltiplos itens, pode ocorrer de um participante estar interessado na aquisição de apenas um produto de um dado tipo ou um conjunto de produtos complementares, onde a obtenção de todo o conjunto gera o real benefício da compra. Por exemplo, quando um participante vence um leilão para um dado volume de um produto e não consegue alocar capacidade nas rotas para movimentação ou mesmo espaço para armazenamento em tanques, esta negociação não gera um grande benefício ao participante, uma vez que os referidos recursos deveriam ser adquiridos conjuntamente. Nestes casos, o ideal seria permitir a submissão de lances para todo um conjunto de itens. Os leilões que permitem tal tipo de lance são chamados de leilões combinatoriais [17]. No entanto, este tipo de leilão pode ser inviável na prática devido a grande quantidade de combinações que podem

vir a ser necessárias para encontrar um conjunto de lances sem conflitos e que retorne o maior benefício aos envolvidos. Ademais, a determinação do vencedor é realizada por um único membro centralizador [17].

Outra maneira de leiloar múltiplos itens é por meio de leilões sequenciais e simultâneos. Estas abordagens foram bastante estudadas na área de economia e teoria dos jogos, resultando em algumas comparações práticas que apresentam algumas vantagens e desvantagens de ambos [18],[19],[20]. Em trabalhos anteriores sobre o problema em questão, foi demonstrado que uma abordagem de leilões simultâneos apresenta resultados mais satisfatórios do que uma abordagem de leilões sequenciais [21],[22].

De forma sucinta, em uma abordagem de leilões sequencias, os itens são leiloados em uma série de leilões, ou seja, cada leilão ocorre um após o outro. O maior problema neste tipo de leilão refere-se à visão local de um participante, pois muitas vezes este não tem conhecimento sobre o que será ofertado nos próximos leilões e os preços que serão praticados naqueles. Neste tipo de leilão, o participante não possui, no momento de concepção do lance, toda a informação necessária para comprar o produto sem margem a um arrependimento posterior, uma vez que um participante pode se sair melhor em um leilão do que em outro quando os produtos são substituíveis. Quando os produtos são complementares, o problema pode ser ainda maior, uma vez que cada leilão oferece apenas um item por vez. Desta forma, o benefício da compra de um item vai depender do sucesso da compra de outro item complementar em um próximo leilão. Esse problema é conhecido como o problema de exposição ao risco [23].

Na abordagem simultânea, múltiplos itens podem ser ofertados simultaneamente em múltiplos leilões. Na literatura, há algumas propostas de versões simultâneas do Contract-Net [15],[24],[25],[26]. Considerando as particularidades do problema em questão, a versão que mais merece destaque é a extensão proposta por [24]. Este protocolo altera a forma tradicional de comunicação entre os agentes por meio da substituição das primitivas de comunicação. Nesta, as mensagens PROPOSE, ACCEPT e REJECT são substituídas pelas mensagens: PRE-BID, PRE-ACCEPT, PRE-REJECT, DEFINITIVE-BID, DEFINITIVE-ACCEPT, DEFINITIVE-REJECT. Estas mensagens dividem o protocolo em duas fases: uma fase em que as alocações são provisórias, permitindo desistências e mudanças de alocações, e outra fase em que as alocações são definitivamente persistidas [24].

No entanto, devido às alocações provisórias e consequentes desistências de acordos, este protocolo pode não apresentar bom desempenho em relação ao tempo de processamento na resolução de problemas complexos, tal como o abordado. Para atender tal requisito, as negociações devem ocorrer de forma menos combinatória ou interativa e permitir que os elementos envolvidos tomem decisões mais acertadas para evitar a necessidade de um futuro cancelamento de negociações. Ademais, esta forma complementar de negociação pode ser inviável computacionalmente quando as negociações ocorrem entre um grande número de agentes, podendo ocorrer frequentemente o problema de interbloqueio de recursos (i.e.

deadlock), ou seja, quando um participante vence apenas parte dos leilões necessários para realizar uma operação.

No protocolo proposto neste artigo, o fechamento de acordos ocorre sequencialmente em conformidade com as prioridades dos envolvidos para a alocação de tais recursos. A sequencialização é realizada pelo agente Gerente e não demanda um leilão particular para cada recurso em compartilhamento, o que reduz consideravelmente a complexidade computacional do modelo. Assim, o protocolo proposto contribui para a redução do número de leilões e consequentemente para a redução do tempo de execução do sistema.

3.3 Trabalhos Similares

Atualmente, o problema de planejamento tático de transferências de derivados de petróleo em território brasileiro é resolvido de forma manual pelos especialistas. No entanto, na literatura, há vários trabalhos que propõem a automatização do processo de planejamento em nível tático e operacional. Muitos destes trabalhos apresentam soluções que atendem ambos os níveis de planejamento [1], [27] e outros trabalhos se detêm a apresentar soluções somente para o planejamento operacional, por este demandar um maior grau de detalhamento [2],[28]. Geralmente, estes trabalhos apresentam uma abrangência topológica limitada devido à complexidade do problema. Normalmente, estes trabalhos abordam apenas uma única sub-região brasileira ou mesmo parte desta formada por um ou poucos dutos.

Na literatura, os problemas de planejamento são comumente resolvíveis por meio de abordagens exatas ou então por meio de abordagens aproximativas, havendo trabalhos que propõem a junção das duas abordagens em situações de ineficiência dos métodos exatos [1]. As abordagens exatas mais utilizadas para a resolução deste tipo de problema são os baseados em programação matemática, programação dinâmica e programação lógica por restrições (CLP) [1],[29]. Por sua vez, as abordagens aproximativas mais utilizadas referem-se aos métodos heurísticos ou meta-heurísticos, com destaque às estratégias gulosas e algoritmos evolutivos (ex. algoritmos genéticos, otimização por enxame de partículas), respectivamente [30], [31].

No entanto, estas abordagens apresentam a inconveniência de apresentarem natureza centralizada. Esta característica dificulta uma participação mais efetiva no processo global de planejamento pelos responsáveis pelas operações em cada base. Como as bases são naturalmente distribuídas e mudanças ou imprevistos ocorrem com certa frequência, uma solução centralizada impede que tais correções sejam imediatamente e autonomamente consideradas.

Ademais, com a flexibilização do setor petrolífero (i.e. que permite o acesso à malha multimodal brasileira a terceiros), caso futuramente a concorrência neste setor seja mais significativa do que nos dias atuais, o processo de planejamento passaria a ser ainda mais complexo ao demandar planos que sejam compatíveis entre as empresas. Desta forma, um processo centralizado seria futuramente inviável, demandando novas abordagens para solução, pois haveria a necessidade de respeitar o sigilo das informações logísticas dos

interessados na utilização da malha, sendo que estas informações nem sempre estariam disponíveis de forma centralizada para a tomada de decisão [32]. Neste sentido, soluções de planejamento descentralizadas são desejáveis para atender esta eminente necessidade.

Na literatura, há ainda poucas propostas baseadas em soluções descentralizadas para a resolução de problemas na área de petróleo. Atualmente, as soluções propostas são baseadas em algoritmos de Satisfação de Restrições Distribuída com Otimização [32], [33] e algumas outras no Contract-Net convencional [34], [35], sendo que esta última é insuficiente para tratar satisfatoriamente do problema em questão.

Estas soluções não se propõem a resolver o mesmo problema abordado neste artigo. Com base no que foi revisado na literatura pelos autores, não há trabalho que consista exatamente ao problema em questão. Este fato é comum em problemas do mundo real, pois cada modelador pode apresentar percepções e vontades distintas em relação à realidade e com isso, levar a diferenças, mesmo que pontuais, nos modelos do problema. Ademais, o problema real abordado apresenta abrangência nacional e multimodal que aumenta significativamente a sua complexidade.

4 Modelagem do Problema

Esta seção apresenta a modelagem do problema em questão com uso do protocolo proposto. Devido à complexidade da malha multimodal brasileira, a prática utilizada para viabilizar a busca por uma solução satisfatória em tempo hábil foi o desmembramento e organização da malha em uma hierarquia de dois níveis: o Nível inter-região e o nível intrarregião. No nível inter-região, a malha brasileira é desmembrada em 16 regiões e o exterior. Estas regiões são tratadas como bases com balanços e limites próprios. No nível intrarregião, estão representadas as bases propriamente ditas (i.e. refinarias, terminais e pontos de consumo).

Com esta estrutura, cada nível pode ser tratado como um problema menor de planejamento e os mesmos métodos de solução, tal como a programação matemática, podem ser aplicados sem alterações em qualquer nível. Desta forma, a resolução de todo o problema ocorre primeiramente resolvendo o nível inter-região e depois o intrarregião, considerando as movimentações realizadas no nível anterior.

No protocolo proposto, os leilões ocorrem simultaneamente em cada período para todos os produtos. As rodadas simultâneas ocorrem sequencialmente em relação aos períodos, ou seja, um período por vez. Neste protocolo, o papel de leiloeiro pode ser realizado tanto por bases produtoras (com balanço positivo) ou consumidoras (balanço negativo) com o objetivo de escoar produtos para bases com as quais estão conectadas por rotas registradas. O papel de participante também pode ser executado tanto por produtores e consumidores de um dado produto, no entanto, apenas na intenção de adquirir produtos. As bases são modeladas como agentes, dependendo do período de planejamento, uma base pode

ser produtora, consumidora ou exercer os dois papéis simultaneamente para um mesmo produto ou produtos diferentes.

Há também os agentes que representam os segmentos das rotas e o agente Gerente, o qual é responsável por controlar o sistema, realizando tarefas como inicialização/finalização dos agentes e escalonamento dos leilões. O protocolo de leilão proposto é executado em quatro fases: (i) inicialização dos agentes, (ii) ordenação dos leilões, (iii) realização dos leilões, e (iv) finalização dos agentes.

4.1 Inicialização

Na fase de inicialização, o Gerente cria e inicializa os agentes com seus respectivos dados de entrada. Na sequência, cada agente base calcula o seu estoque de cada produto para cada dia no horizonte distribuindo os balanços linearmente pelos dias dos períodos. Neste artigo, o estoque diário no horizonte é chamado de curva de estoque. A curva de estoque também contabiliza o estoque inicial do respectivo produto.

Da mesma forma, os limites operacionais e físicos de cada agrupamento são definidos para cada dia. No entanto, quando um agrupamento contém mais de um produto, os produtos devem compartilhar estes limites. A prática adotada neste caso refere-se à definição de limites particulares a cada tipo de produto de um agrupamento. Os limites máximos de cada produto seriam estabelecidos dinamicamente para corresponder exatamente à curva de estoque, quando possível, enquanto os limites mínimos seriam definidos de forma definitiva na inicialização. O espaço não utilizado seria disponibilizado em uma estrutura global aos produtos, no contexto do agente, para ser requisitado à medida que mais espaço venha ser necessário. Assim, cada produto teria a sua própria curva de estoque e seus próprios limites operacionais e físicos.

Após a inicialização dos dados, cada agente base deve analisar a curva de estoque de cada produto e decidir se é possível escoar algum volume para o período corrente, ou seja, o primeiro período. A base decide escoar um produto apenas quando a curva deste se encontra acima do mínimo operacional em todos os dias do período corrente. Geralmente, as bases com balanço positivo de um produto realizam os leilões, mesmo quando a curva de estoque está dentro da faixa operacional, uma vez que uma possível aquisição dos produtos deste leiloeiro pode ser mais vantajosa para algum participante em termos de custo de movimentação. Por outro lado, uma base não pode ter sua faixa operacional extrapolada e deve ter preferência no escoamento. No entanto, a própria forma como o valor do lance é calculado leva em consideração este fator.

Outrossim, mesmo que a base tenha balanço negativo do produto para o período, ela pode se candidatar a leiloeiro para escoar a quantia “excedente” do período (i.e. a diferença entre o estoque inicial e o balanço). Esta decisão é importante, pois pode haver consumidores que demandam tal produto e não apresentam oportunidades de adquiri-lo com outras bases.

Porém, uma base com balanço negativo de um produto apenas se candidata a leiloeiro quando verifica que tem rota para recebimento do mesmo produto em períodos posteriores.

Quando uma base não deseja se candidatar a leiloeira no período corrente para um dado produto, ela pode definir um período posterior desejável. Desta forma, após definir os períodos para escoamento para cada produto, a base se candidata a leiloeiro para cada um dos produtos com o agente Gerente. O Gerente aceita apenas a candidatura a um período por vez de uma base para um mesmo produto.

4.2 Ordenação

Na segunda fase, o agente Gerente recebe todas as mensagens dos candidatos a leiloeiros e as classifica em ordem crescente de período. O Gerente seleciona todos os candidatos e produtos referentes a um mesmo período e notifica tais bases para que iniciem os leilões. Esta fase ocorre repetidamente durante a execução do sistema, uma vez que as rodadas de leilões ocorrem por período.

Desta forma, quando o Gerente verifica que todos os leilões do período corrente estão finalizados, ele seleciona os candidatos e produtos do período seguinte, se houver. O Gerente sempre recebe candidaturas para qualquer período, tal como as recebidas na fase de inicialização e de leiloeiros que escoaram todo o volume ou que não receberam lances para o produto oferecido no período corrente e por isto decidiram se candidatar a um novo período.

4.3 Execução

Nesta fase, múltiplas bases podem realizar leilões simultaneamente para diferentes tipos de produtos. Uma mesma base pode realizar mais de um leilão simultaneamente, um para cada tipo de produto. O protocolo apresentado neste artigo define o agente Gerente como um elemento de decisão durante a execução dos leilões. Assim, quando um leiloeiro define o lance vencedor (apenas é selecionado um lance vencedor por leilão) ele solicita uma permissão ao Gerente para enviar o ACCEPT-PROPOSAL. O Gerente determina a ordem na qual os leiloeiros enviam as mensagens de ACCEPT-PROPOSAL, sendo que apenas uma é enviada por vez, ou seja, apenas um leilão é finalizado por vez. A Figura 2 apresenta as interações entre os agentes neste protocolo.

4.3.1 Concepção do CFP

Basicamente, um leiloeiro envia um anúncio (CFP) para as bases conectadas a ele. Este anúncio contém informações sobre o produto, período corrente, dia em que a curva de estoque passa acima do limite operacional máximo e físico máximo até o último dia do período corrente, quando passar, e o volume diário passível de escoamento.

O volume ofertado no anúncio engloba todos os dias desde o primeiro dia do horizonte de planejamento até o último dia do período corrente. Desta forma, cabe ao participante escolher o dia de saída para o montante desejável do produto levando em conta o tempo de movimentação pela rota escolhida e o espaço disponível para armazenamento do montante. No entanto, como as rodadas de leilões ocorrem por período, o participante apenas pode requisitar uma quantia que dê para receber até o último dia do período corrente, uma vez que a resolução é incremental em relação aos períodos.

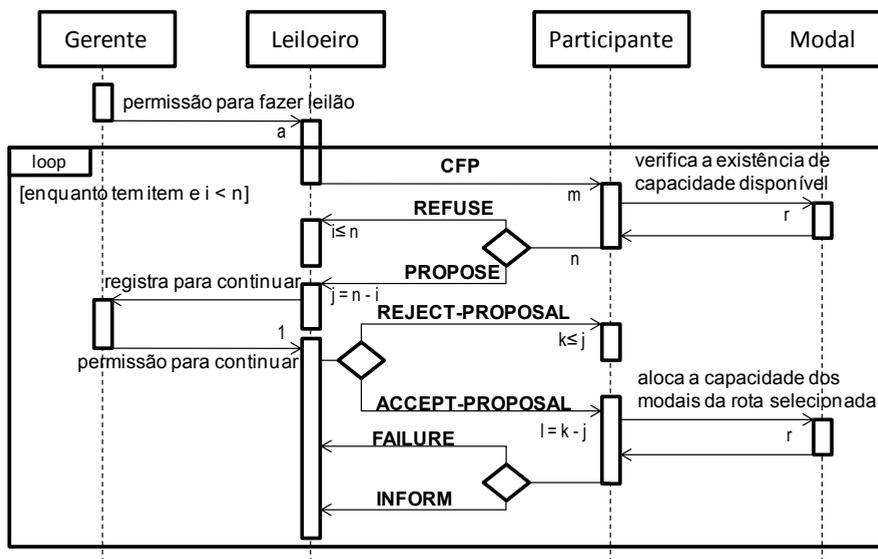


Figura 2. Fase de execução do protocolo proposto

No entanto, esta forma incremental de resolução não impede que movimentações interperíodos venham ocorrer, mesmo havendo prioridade para movimentações intraperíodos. Por exemplo, se o período corrente for o segundo período, o anúncio conterá a quantidade do segundo período e também a quantidade não escoada no primeiro período. Esta redundância é intencional para permitir que participantes que enviaram um REFUSE para o leiloeiro no primeiro período por não terem capacidades disponíveis em rotas, espaço para armazenamento ou mesmo por causa do tempo muito longo de transporte, possam calcular um lance considerando os recursos do período corrente. Assim, pode naturalmente ocorrer de um montante ser escoado no primeiro período e chegar ao destino apenas no segundo período.

Basicamente, um anúncio contém duas listas/vetores de volume diários. O primeiro é calculado para cada dia de escoamento por meio da diferença da curva de estoque para o limite mínimo operacional e de forma semelhante, o segundo é calculado pela diferença da curva de estoque para o limite mínimo físico. No entanto, para calcular o volume disponível para escoamento em um dia, usa-se o montante disponível no final do dia anterior ou estoque

inicial quando for o primeiro dia, ou seja, não considera a produção do dia em questão, uma vez que o volume pode estar em produção porque não se pode prever qual o momento do dia que o produto será escoado. Também, não oferece qualquer volume para o dia em que a curva de estoque se encontra acima do limite físico máximo, uma vez que seria uma situação irreal por não haver espaço suficiente para armazenamento em tal dia. Assim, à medida que o volume é escoado em dias precedentes ao dia de extrapolação, a curva de estoque é reduzida para os dias posteriores e assim poderá retardar o dia de extrapolação do limite físico. A Figura 3 apresenta os atributos principais de um anúncio (à esquerda) referente à curva de estoque de estoque (à direita) calculado para um período fictício de sete dias.

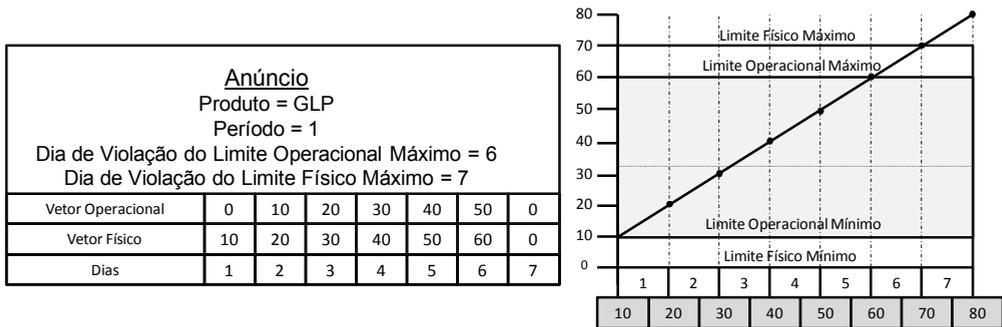


Figura 3. Representação do anúncio em relação à curva de estoque da tancagem.

O uso de dois vetores é importante para garantir que as bases se mantenham dentro da faixa de estoque desejável. Geralmente, apenas o primeiro vetor é utilizado pelos participantes para o cálculo do lance. Porém, quando um participante tem a curva de estoque de um produto abaixo do mínimo físico em um dado dia (ou em um intervalo de dias) e não consegue calcular a entrega para este dia ou algum dia anterior por falta de produtos no primeiro vetor para o intervalo de dia desejável ou porque o volume é menor do que mínimo exigido pelas rotas, o participante faz uso do segundo vetor. Este vetor oferece o volume entre os limites mínimos para saída em dias mais prévios do leiloeiro.

Neste caso, uma possível movimentação poderia manter ambas as bases ainda na faixa, mesmo que um deles ou os dois fiquem na faixa física. No entanto, como será visto adiante, o lance terá seu valor penalizado, o que afetará o escalonamento do leiloeiro para envio do ACCEPT-PROPOSAL, e desta forma a movimentação apenas irá ocorrer se a base participante não conseguir o volume desejado com outro leiloeiro que esteja com um estoque mais alto e por isso com maior prioridade. Mesmo que esta movimentação ocorra e o leiloeiro venha ficar abaixo do mínimo operacional, é preferível que o participante esteja na faixa operacional do que o leiloeiro, porque geralmente o leiloeiro apresenta uma curva crescente de produção.

De forma semelhante, em relação ao compartilhamento do espaço ocioso dos tanques pelos produtos, é preferível que um produto com curva de estoque crescente utilize tal espaço

do que outro com curva decrescente. Esta preferência ocorre para evitar que a curva de estoque do produto extrapole o máximo físico, levando à necessidade de paralisação temporária das atividades da respectiva base produtora. Neste sentido, antes da realização de um leilão, a base verifica se a curva de estoque do produto objeto de leilão extrapola os limites máximos em algum dia no período corrente. Em caso afirmativo, a base tenta aumentar os limites particulares do dado produto fazendo uso do espaço ocioso, se houver. Quando houver, tal espaço ocioso provavelmente foi liberado por outro produto escoado.

4.3.2 Concepção do Lance

Cada base que apresenta rota para aquisição de produtos recebe pelo menos um CFP. Se uma base está conectada a mais de um leiloeiro, então ele participa de todos os leilões simultaneamente. Para cada CFP recebido, a base participante deve preparar um lance. Este lance pode ser um PROPOSE ou um REFUSE. Um participante pode mandar um REFUSE nas seguintes situações: (a) quando a sua curva de estoque se encontra em um nível (i.e. acima do operacional máximo, na faixa operacional, abaixo do operacional mínimo, abaixo do físico mínimo) acima ou igual à curva de estoque do leiloeiro; (b) quando o volume oferecido no anúncio é menor do que o volume mínimo de todas as rotas com o leiloeiro; (c) quando o volume não tem como chegar ao participante até o final do período corrente; (d) quando não há espaço para armazenamento nos tanques nos dias até o final do período corrente; (e) quando não há capacidade nos modais nos dias até o final do período corrente; (f) quando identificado um possível loop de negociações. Um loop ocorre quando uma base A atua como leiloeira escoando um volume em um determinado período para uma base B e depois atua como participante de um leilão de B adquirindo outro volume do mesmo produto no mesmo período. Um loop também ocorre entre mais de duas bases.

Caso as situações acima não ocorram, o participante começa a preparação do lance. Primeiramente, ele calcula o volume desejável para aquisição. A definição do volume inicial não envolve um volume absurdamente alto e desnecessário, isto é feito intencionalmente para manter equilíbrio de estoque entre os participantes ao dar oportunidade para que todos obtenham um dado volume para manter seus níveis de estoque. Porém, nem sempre este volume será aquele requisitado no lance devido a vários refinamentos posteriores. Este volume depende muito da situação (de urgência) das curvas de estoque do leiloeiro e do próprio participante. No caso do leiloeiro, é considerada uma situação de urgência quando alguns pontos de sua curva de estoque extrapolam o limite máximo operacional ou físico. No caso do participante, a situação de urgência ocorre quando o limite mínimo operacional ou físico é extrapolado.

Quando a curva do leiloeiro está em urgência e a curva do participante se encontra na faixa operacional, o participante calcula um volume inicial referente a um dado número de dias configurável de consumo (três dias por padrão). O mesmo ocorre quando ambas as curvas se encontram inteiramente na faixa operacional. Quando o participante está em urgência, não importando o estado do leiloeiro, o volume inicial refere-se à diferença entre o

mínimo operacional e o ponto mais baixo da curva no intervalo do primeiro dia do horizonte até o último dia do período corrente. Esta heurística objetiva conseguir o montante para manter a curva de estoque pelo menos igual ao mínimo operacional no final do período.

Após a definição do volume inicial, o participante verifica a capacidade disponível de armazenamento em sua estrutura compartilhada de espaços ociosos para tentar aumentar os limites máximos particulares nos dias possíveis de recebimento. Na verdade, o participante apenas reserva a capacidade diária necessária, se houver, em outra estrutura compartilhada chamada de estrutura de reserva, uma vez que não se tem certeza que o lance será bem sucedido. Há uma estrutura de reserva para cada agrupamento e este é de uso comum apenas aos produtos do agrupamento que estão em negociação para recebimento, ou seja, para os quais a base está exercendo o papel de participante em leilões. Esta estrutura de reserva guarda a capacidade suficiente para armazenar o maior volume entre os lances enviados para leilões em andamento, uma vez que a obtenção de um volume do dado produto de qualquer leiloeiro pode levar à satisfação da base para aquele produto no intervalo de dias em negociação. Em relação à estrutura de espaços ociosos, esta é compartilhada por produtos de um dado agrupamento para os quais a base exerce os papéis de participante ou leiloeiro, sendo que o papel de leiloeiro tem maior prioridade na alocação de tal espaço.

Em seguida, o participante deve determinar a melhor rota para receber o tipo de produto. As rotas já se encontram ordenadas por menor custo. Desta forma, outras rotas somente serão avaliadas quando a rota de menor custo: (a) não tiver capacidade disponível, (b) o volume ofertado for menor do que o seu volume mínimo e (c) quando a chegada prevista do volume no participante ocorrer após o seu dia de extrapolação do mínimo operacional. As rotas são avaliadas uma por vez até encontrar uma que entregue os produtos antes do dia de extrapolação do mínimo operacional. Se esta rota não for encontrada, a rota com menor custo entre as que entregam com atraso será selecionada.

Na avaliação de uma rota, o participante seleciona o dia de saída do leiloeiro conforme os vetores de anúncio enviados no CFP de forma que o dia previsto de chegada ocorra em dias em que tenha espaço para armazenamento e preferencialmente em dias anteriores ao dia de extrapolação do mínimo operacional, quando ocorrer. Em rotas constituídas por dutos, o cálculo do tempo de trânsito de um dado volume considera as suas vazões e volumes, a movimentação paralela pelos dutos e os tempos de espera do volume em pulmões quando as vazões de segmentos adjacentes são diferentes. Em rotas constituídas por navios, o tempo de movimentação já é conhecido e a capacidade é considerada infinita, uma vez a capacidade da frota atual e de terceiros é mais do que suficiente para realizar as movimentações necessárias.

Com posse destas informações, o participante calcula o valor do lance pela junção de três variáveis:

a) Grau de urgência para movimentação (GUM): esta medida tenta priorizar os consumidores com menores oportunidades para receber os produtos. Quanto menor a

quantidade de um produto que um consumidor pode adquirir com seus produtores (considerando o volume oferecido e a capacidade das rotas para movimentação) em uma rodada de leilão simultâneo, maior é o GUM para receber este tipo de produto. Esta heurística ajuda a prevenir que segmentos compartilhados sejam ocupados por movimentações de bases que apresentam maiores opções para recebimento. Todos os participantes de leilões que representam o mesmo produto de uma base terão sempre o mesmo GUM;

b) Grau de urgência do nível de estoque (GUE): este valor prioriza participantes que estão com a curva de estoque mais baixa. Maior será o GUE quanto menor for o nível de estoque;

c) Custo da rota selecionada: Este valor auxilia na definição de qual leiloeiro uma base consumidora movimentará o volume necessário de um produto. Esta heurística prioriza as movimentações de menor custo dentre as movimentações possíveis entre os leiloeiros.

4.3.3 Definição do Lance Vencedor

Ao receber os lances dos participantes, cada leiloeiro normaliza os valores de graus de urgência para movimentação e os custos de transporte (CT) para uma escala linear. As normalizações do GUM (nGUM) e CT (nCT) são calculadas conforme a equação (1) e (2), dividindo-se o GUM ou CT de um lance particular respectivamente pela soma de valores de GUM ou CT de todos os lances recebidos na rodada.

$$nGUM = GUM / \sum_{n=1}^n GUM_n \quad (1)$$

$$nCT = CT / \sum_{n=1}^n CT_n \quad (2)$$

A fim de determinar o vencedor, o leiloeiro classifica os lances de todos os participantes de acordo com a equação (3), onde nGUM, nGUE e nCT são respectivamente ponderados por wGUM, wGUE e wCT. O nGUE é enviado pelo participante para ser usado como um adicional na escolha do lance vencedor. O participante que obtiver o maior valor de lance é o vencedor.

$$\text{lance} = nGUM * wGUM + (1 - nCT) * wCT + nGUE * wGUE \quad (3)$$

4.3.4 Escalonamento no Gerente

No entanto, após determinar o participante vencedor, os leiloeiros não enviam imediatamente a mensagem de ACCEPT-PROPOSAL para o vencedor. Primeiramente, os

leiloeiros pedem autorização ao Gerente para o envio do ACCEPT-PROPOSAL. O Gerente libera uma autorização por vez para os leiloeiros, levando em conta primeiramente o GUM e em caso de empate o custo de transporte de seus lances vencedores, ambos sem normalização. Esta sequência de mensagens de ACCEPT-PROPOSAL é importante para priorizar os transportes de produtos para bases com maior grau de urgência e para evitar inconsistências na alocação final de capacidade em segmentos de transporte compartilhados.

Ainda, como as alocações ocorrem na mesma rodada, o GUM dos participantes pode mudar devido à ocupação de segmentos compartilhados (apenas quando o segmento for um duto). Desta forma, cada segmento que recebe uma alocação persistente notifica todas as bases participantes que apresentam rotas que o contem. Após o recebimento das notificações, as bases atualizam seus GUM e notificam os seus respectivos leiloeiros com uma mensagem de atualização de lance. Após a atualização do lance vencedor, o leiloeiro atualiza a sua prioridade com o Gerente para enviar o ACCEPT-PROPOSAL. Esta prática é eficiente, uma vez que as atualizações são enviadas apenas quando os segmentos compartilhados são alocados persistentemente.

Portanto, existem dois pontos importantes nesta fase de execução: (a) o lance para determinar o vencedor de cada leilão e (b) o escalonamento dos leiloeiros para o envio do ACCEPT-PROPOSAL. A ordem do envio de mensagens de ACCEPT-PROPOSAL é bastante importante, uma vez que os participantes geralmente pedem apenas a quantidade de produtos necessária para atingir certo nível de estoque. Se um leiloeiro tem o envio do ACCEPT-PROPOSAL adiado, pode ocorrer do participante vencedor não querer mais o volume para o qual deu o lance e desta forma, desistir do leilão porque pode ter adquirido o produto com outro leiloeiro.

4.3.5 Fechamento de um leilão

Quando um participante recebe um ACCEPT-PROPOSAL, ele verifica se ainda deseja o volume para o qual enviou o lance, se a rota selecionada ainda apresenta a capacidade para movimentação ou se ainda há espaço ocioso para aumentar os seus limites máximos para armazenar a quantia solicitada. Se as verificações forem realizadas com sucesso, ele envia uma mensagem de INFORM ao leiloeiro, caso contrário, envia uma mensagem de FAILURE. Antes de enviar uma mensagem de INFORM, este deve persistir a alocação dos produtos com os segmentos que compõem a rota selecionada e atualizar a sua curva de estoque para os dias de recebimento do volume.

No entanto, quando um participante atualiza a curva de estoque do produto, ele verifica se tem quantidade suficiente para realizar um leilão, pois pode haver outras bases que podem estar precisando do produto e não tiveram oportunidade de adquirir com nenhuma outra base. Ao realizar o leilão, a base participante/leiloeiro recebe os lances e registra para envio do ACCEPT-PROPOSAL no Gerente com uma prioridade baixa, pois

pode ocorrer das bases participantes manter rotas com outras bases produtoras e desta forma, estas teriam preferência de escoamento.

Quando o leiloeiro recebe uma mensagem de INFORM ele também atualiza a sua curva de estoque. Nesta atualização, certamente a curva de estoque irá abaixar, resultando em ociosidade de espaço em alguns dias. Desta forma, o espaço ocioso é disponibilizado na estrutura de dados compartilhada para uso dos demais produtos do agrupamento, se houver.

Ao liberar espaço, os participantes (que representam os demais produtos deste agrupamento) que não enviaram um PROPOSAL no período corrente por falta de espaço para armazenamento, podem então recalcular seus lances. Se o leilão a receber o novo lance ainda estiver em aberto à espera da autorização do Gerente, o participante simplesmente envia o lance ao leiloeiro. Se o leilão já estiver terminado no período corrente, o participante solicita que o leiloeiro realize novamente o leilão, uma vez que o leiloeiro pode ter incrementado de período por não ter recebido nenhum PROPOSAL. Desta forma, o participante ao ser notificado da liberação de espaço, pode concorrer normalmente ao volume desejado mesmo no período corrente.

Após a liberação de espaço e atualização da curva de estoque, o leiloeiro verifica se ainda apresenta um volume suficiente para ser escoado no período corrente. Se esta verificação for confirmada, ele realiza outro leilão. Este leilão não ocorre simultaneamente com qualquer outro. No entanto, este leilão segue o mesmo processo dos leilões simultâneos, incluindo a intervenção do Gerente para enviar o ACCEPT-PROPOSAL. Desta forma, o leiloeiro tem a oportunidade de disputar a preferência dos consumidores com outros leiloeiros para tentar escoar o volume remanescente no período.

4.4 Finalização dos Leilões

Quando um leiloeiro recebe apenas mensagens de REFUSE, ele considera que os participantes estão satisfeitos para o tipo de produto e que não há mais possibilidade de movimentação para eles para o período corrente. Quando isso ocorre, o leiloeiro seleciona um novo período para se candidatar a leiloeiro e informa ao Gerente. No entanto, pode ocorrer de um leiloeiro não desejar mais se candidatar a nenhum período. Desta forma, quando o Gerente não tiver mais pedidos pendentes para envio de ACCEPT-PROPOSAL e não houver mais leiloeiros candidatos para fazer leilão para qualquer produto em qualquer período, a fase de finalização é executada. Nesta fase, o Gerente envia mensagens a todos os agentes para que estes finalizem suas execuções.

5 Estudo de Caso

A modelagem apresentada foi experimentada em um cenário referente à malha brasileira com dados aproximativos dos reais devido à dificuldade para a aquisição destes dados. Estes dados foram obtidos diretamente da empresa Petrobras, mas devido a

complexidades da malha e mesmo inexistência de algumas informações mais particulares, os dados faltantes estão sendo temporariamente considerados como aproximativos (ex. calculados com referência aos valores de estoque) ou default. Como exemplo, as bases no cenário de estudo apenas apresentam um limite máximo e mínimo, sendo o mínimo sempre igual a zero e os limites operacionais e físicos contendo os mesmos valores. Quando não há a informação sobre os limites máximos de estoque, considera-se o limite como sendo três vezes maior do que o estoque inicial do respectivo agrupamento de produtos na base. Também, em outro exemplo, ainda não há a informação sobre o volume mínimo de movimentação por algumas rotas, havendo a necessidade de fazer uso de um valor default (i.e. 5000 m³).

Este cenário aborda o planejamento de movimentação de múltiplos produtos na malha de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) para um horizonte de três períodos (de um mês cada). Esta malha suporta a movimentação de três tipos de produtos: o GLP, PROPANO e BUTANO. O cenário consiste no nível inter-região de planejamento, o qual é composto por 16 bases representativas de regiões brasileiras. Estas regiões podem realizar importações e exportações de produtos com o exterior, quando for necessário.

Estas bases/regiões são conectadas por meio de 72 rotas. Neste cenário, cada rota é formada por apenas um segmento não compartilhado. Em cenários do nível intrarregião, as rotas são compostas por mais de um segmento, podendo estes segmentos ser compartilhados por diferentes rotas e representarem diferentes tipos de modais de transporte. Porém, ainda não há dados suficientes para gerar experimentos neste nível.

As 72 rotas do cenário corrente são apresentadas na Tabela 1. Esta tabela representa as relações entre as regiões para recebimento e escoamento dos produtos que constituem o agrupamento de GLP. Ademais, como se pode perceber na tabela, além das rotas entre as regiões brasileiras, também há rotas com o exterior (sigla EX) para atividades de importação (recebimento) ou exportação (escoamento). No entanto, com os dados atuais, apenas as regiões de Pernambuco (PE) e Rio de Janeiro (RJ) são designadas para servir como pontos de importação e exportação, devendo as demais regiões negociar indiretamente com o exterior através destas. Porém, as movimentações com o exterior apresentam custo mais elevado do que movimentações internas.

Tabela 1. Rotas registradas

		RECEBIMENTO																
		BA	RG	PR	RJ	SP	RS	RM	PA	MA	LB	RC	PB	PE	AL	SE	ES	EX
ESCOAMENTO	BA	---	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
	RG		---															
	PR	X		---	X		X	X						X				
	RJ	X		X	---	X	X		X	X	X			X			X	X
	SP	X	X		X	---								X				
	RS	X		X	X		---	X		X	X			X				
	RM	X		X			X	---	X	X	X			X				
	PA	X			X			X	---					X				
	MA	X			X		X	X		---				X				
	LB	X			X		X	X				---	X		X			
	RC											X	---					

	PB																	
	PE	X		X	X	X	X	X	X	X	X					X		X
	AL														---	X		
	SE													X	X	---		
	ES			X														---
	EX			X										X				---

Mesmo que o cenário de experimento não contemple toda a malha multimodal brasileira, mas apenas o nível inter-regiões, este ainda é bastante complexo para o objetivo de cada base alcançar um nível adequado de estoque para cada produto. Apesar desta complexidade, o protocolo proposto e a modelagem apresentada apresentaram bons resultados no experimento realizado sobre o corrente cenário. Neste experimento, todas as bases/regiões mantiveram suas curvas de estoque dentro das faixas limitantes de estoque em todos os períodos, tal como é apresentado na Tabela 2.

Nessa tabela, para cada base e período os pontos da curva de estoque inicial (i.e. antes da execução do planejamento) e final (i.e. após a execução do planejamento) do produto GLP no último dia de cada período. Os dados dos produtos PROPANO e BUTANO não são apresentados na tabela porque suas movimentações pela malha brasileira não são tão significantes em volume como o GLP, uma vez que estes apresentam maiores demandas apenas quando misturados para compor o GLP. De qualquer forma, apresenta-se na tabela a soma das curvas dos três produtos do agrupamento no último dia de cada período e os limites máximos do agrupamento em cada período, podendo tais limites variar entre os períodos devido a horas de manutenção planejadas. Com estes dados, pode-se verificar que a soma das curvas de estoque dos produtos respeitam a capacidade máxima da tancagem de cada base em cada período, sendo tal capacidade compartilhada entre os produtos do agrupamento.

Tabela 2. Volumes iniciais e finais por período para todas as bases do cenário de estudo

Período	Base	Estoque Inicial	Estoque Final	Soma	Limite Máximo	Base	Estoque Inicial	Estoque Final	Soma	Limite Máximo
1º	BA	44993	5844	10755	65720	MA	-9583	417	417	3200
2º		81739	1612	11523	65720		-19685	315	315	4429
3º		102721	7594	58005	65250		-28485	1515	1515	4429
1º	RG	12186	12186	12186	20000	LB	-36525	3475	3475	4148
2º		19495	19495	19495	20000		-74360	640	640	4148
3º		9168	9168	9168	20000		-111607	3393	3393	4148
1º	PR	-6189	13811	19995	37445	RC	-306	416	416	4300
2º		-27046	12954	27056	39545		-88	328	328	4300
3º		-47083	2917	20019	39545		-1371	757	757	4300
1º	RJ	11020	30574	34128	61583	PB	0	0	0	2234
2º		26073	40627	44403	61583		0	0	0	2234
3º		34541	48887	56663	61583		0	0	0	2234
1º	SP	4921	79921	81437	158399	PE	-36714	7043	9543	14258
2º		-20084	94916	100782	158399		-89723	4598	6598	14258
3º		-39690	75310	81176	158399		-134323	4998	6998	14258
1º	RS	-19815	10744	14744	19776	AL	10985	730	730	41205
2º		-34931	10501	16501	19776		23516	2835	2835	41205
3º		-54195	14645	16645	17500		38496	1568	1568	41205
1º	RM	33571	3042	20042	28500	SE	-12152	870	870	5200
2º		64527	3688	22688	28500		-21746	105	105	5200
3º		94846	9007	28007	28500		-35446	1587	1587	5200
1º	PA	-31411	3589	3589	5613	ES	-3654	1346	3846	7650
2º		-67046	2954	2954	5613		-9138	5862	6862	7650

3°	-101046	3954	3954	5613	-21738	3262	4262	7650
----	---------	------	------	------	--------	------	------	------

Como se pode observar na Tabela 2, entre as regiões do presente cenário, a região de São Paulo (SP) apresenta a maior demanda por período do produto GLP. Em menor intensidade, SP também é demandante de PROPANO e BUTANO. Desta forma, as curvas de estoques destes três produtos e a soma destas referentes a tal região são mostradas com maiores detalhes na Figura 4. Nesta figura, as linhas duplas superiores representam o limite máximo e a linha contínua inferior representa o limite mínimo.

Nesta representação, SP manteve as curvas de estoque de cada produto e também a soma destas dentro da faixa limitante em todo o horizonte de planejamento. Com isso, SP conseguiu ter a sua demanda atendida em todo o horizonte e obter um nível adequado de estoque ao final de cada período. Mais precisamente, SP obteve o seu estoque totalmente por meio de movimentações originadas em outras regiões, principalmente Bahia e Rio de Janeiro.

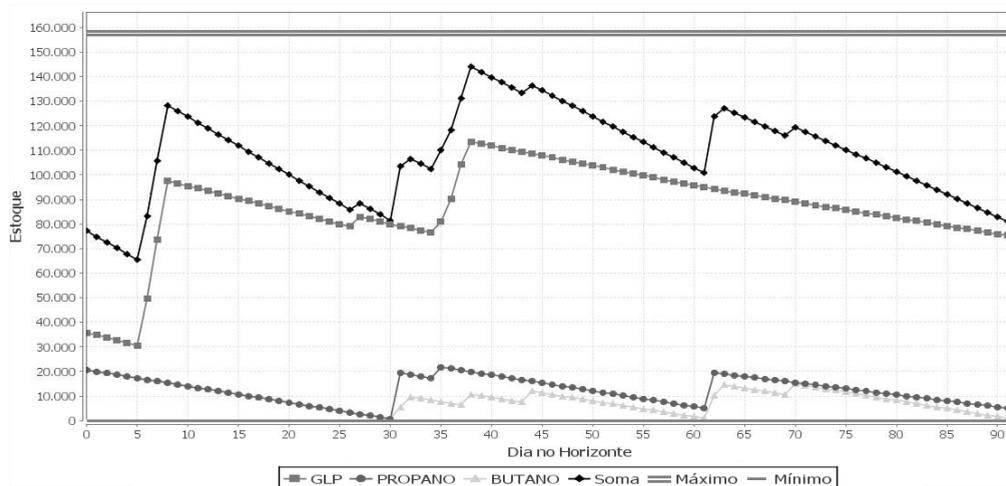


Figura 4. Curvas de estoque referentes ao agrupamento de GLP da região de São Paulo

Em uma análise final, apesar de toda a complexidade da malha, o tempo de execução do sistema foi considerado bastante satisfatório para o nível inter-região. Em um computador Intel Core 2 Duo, 2GHz, 3GB de RAM, o tempo de execução foi de aproximadamente 12 segundos. Este tempo satisfaz o requisito do sistema referente ao baixo tempo de execução, uma vez que é um tempo consideravelmente curto para o especialista aguardar pelo resultado. Para maior exatidão do experimento, o sistema foi executado três vezes. Porém, não foi observada diferenciação em termos de tempo e resultados entre as execuções, uma vez que o modelo multiagentes foi implementado para gerar soluções de forma determinística. Neste modelo, o fechamento de um mesmo conjunto de leilões sempre ocorre com os mesmos vencedores e quantidades de produtos para um mesmo cenário de execução.

6 Conclusão

Este artigo apresentou a modelagem para o problema de planejamento de movimentações de derivados de petróleo sobre as diretivas do protocolo proposto. Este protocolo vem apresentando resultados satisfatórios em se tratando da complexidade da malha multimodal brasileira e em um baixo tempo de processamento. A sua eficiência é devida ao uso de um membro escalonador para definir as alocações de recursos compartilhados e complementares, tal como a alocação de modais e de tancagem, ao invés destas alocações serem decididas por meio de leilões.

Mesmo assim, o protocolo e a modelagem ainda necessitam de evoluções para melhor se adaptar às particularidades do problema e também melhorar a sua eficiência. Exemplos de tais evoluções podem se referir a movimentações de escoamento além do último período para evitar possíveis extrapolações das curvas de estoque de produtores, sequenciamento superficial dos fluxos em dutos e o estabelecimento e consequente alcance de uma meta de estoque para o agrupamento de produto, o que poderia contribuir para que os participantes solicitassem um volume maior em cada lance, levando a redução da quantidade de leilões e consequentemente do tempo de execução do sistema. Ademais, outra evolução potencial refere-se ao uso de vários agentes Gerente para possibilitar o fechamento de várias negociações não conflitantes de forma simultânea. Algumas destas evoluções contribuirão para o melhoramento da eficiência do sistema, levando a experimentação do protocolo no escopo de toda a malha multimodal brasileira em um único nível intrarregião, englobando todas as bases reais e o exterior.

Referências

- [1] T. M. T. Lopes, "O Problema de Planejamento e Agendamento de Operações em uma Rede de Oleodutos," Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Estadual de Campinas . Instituto de Computação, Campinas, São Paulo, 2010.
- [2] S. N. Boschetto, L. Magatão, W. M. Brondani, *et al.*, "An operational scheduling model to product distribution through a pipeline network," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 49, pp. 5661–5682, 2010.
- [3] B. C. Pereira, "Programação de transferência de derivados de petróleo em rede dutoviária: uma análise exata via branch-and-bound," Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia de Produção, COPPE-UFRJ. , Rio de Janeiro - RJ, 2008.
- [4] E. M. d. S. Filho, L. Bahiense, V. J. M. F. Filho, and B. C. Pereira, "Pipeline network scheduling with peak hours," presented at the Rio Oil & Gas Expo and Conference 2010, Rio de Janeiro, 2010.

- [5] R. G. Smith, "The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver," *IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS*, vol. 29, pp. 1104-1113, 1980.
- [6] L. C. Felizari, "Programação das operações de transporte de derivados de petróleo em redes de dutos," Doutorado, CPGEI, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, PR, 2009.
- [7] N. R. Jennings, "Agent-Oriented Software Engineering," presented at the Proceedings of the 9th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World: MultiAgent System Engineering, 1999.
- [8] S. J. Russell and P. Norvig, *Artificial intelligence: a modern approach*: Prentice Hall, 2003.
- [9] V. Mafik and M. Pechoucek, "Social knowledge in multi-agent systems," in *Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on*, 2004, pp. 1950-1957 vol.2.
- [10] J. Sauer and H.-J. Appelrath, "Scheduling the Supply Chain by Teams of Agents," presented at the Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03) - Track 3 - Volume 3, 2003.
- [11] L. Cloutier, J. M. Frayret, S. D'Amours, B. Espinasse, and B. Montreuil, "A commitment-oriented framework for networked manufacturing co-ordination," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 14, pp. 522-534, 2001.
- [12] N. R. Jennings, P. Faratin, A. R. Lomuscio, *et al.*, "Automated negotiation: prospects, methods and challenges," *Intern. J. of Group Decision and Negotiation*, vol. 10, pp. 199-215, 2001.
- [13] Foundation for Intelligent Physical Agents, "FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification," ed. <http://www.fipa.org/specs/fipa00029/index.html>, 2002.
- [14] T. W. Sandholm and V. R. Lesser, "Advantages of a Leveled Commitment Contracting Protocol," in *Proceedings of the thirteenth national conference on Artificial intelligence*, Portland, Oregon, 1995, pp. 126-133.
- [15] T. Knabe, M. Schillo, and K. Fischer, "Improvements to the FIPA Contract Net Protocol for Performance Increase and Cascading Applications," *International Workshop for Multi-Agent Interoperability at the German Conference on AI*, 2002.
- [16] P. Cramton, Ed., *Simultaneous Ascending Auctions*. University of Maryland, 2004, p. ^pp. Pages.
- [17] P. Cramton, *Combinatorial Auctions*: The MIT Press, 2006.

- [18] D. B. Hausch, "Multi-Object Auctions: Sequential vs. Simultaneous Sales," *MANAGEMENT SCIENCE*, vol. 32, pp. 1599-1610, December 1, 1986 1986.
- [19] J. Feng and K. Chatterjee, "Simultaneous Vs. Sequential Sales, Intensity of Competition and Uncertainty," *SSRN eLibrary*, 2008.
- [20] S. S. Fatima, "A Comparison of Sequential and Simultaneous Auctions," in *TADA/AMEC'06 Proceedings of the 2006 AAMAS workshop and TADA/AMEC 2006 conference on Agent-mediated electronic commerce: automated negotiation and strategy design for electronic markets*, Berlin, Heidelberg, 2006, pp. 164-177.
- [21] R. F. Banaszewski, F. R. Pereira, L. V. d. Arruda, J. M. Simão, and C. A. Tacla, "Simultaneous Auctions in Transport Planning of Multiple Derivatives of Oil in Multi-Modals Networks," presented at the 42º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), Bento Gonçalves, RS, 2010.
- [22] R. F. Banaszewski, C. A. Tacla, F. R. Pereira, L. V. d. Arruda, and F. Enembreck, "Planning Transport of Crude Oil Derivatives with Simultaneous Auctions," in *IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Istanbul, Turquia, 2010.
- [23] P. Klemperer, "Auction Theory: A Guide to the Literature," *EconWPAMar* 1999.
- [24] S. Aknine, S. Pinson, and M. F. Shakun, "An Extended Multi-Agent Negotiation Protocol," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 8, pp. 5-45, 2004.
- [25] J. Vokřínek, J. Bíba, J. Hodík, J. Vybíhal, and M. Pěchouček, "Competitive Contract Net Protocol," presented at the Proceedings of the 33rd conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science, Harrachov, Czech Republic, 2007.
- [26] M. Schillo, C. Kray, and K. Fischer, "The eager bidder problem: a fundamental problem of DAI and selected solutions," presented at the Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 2, Bologna, Italy, 2002.
- [27] V. M. Braconi, "Heurísticas multifluxo para roteamento de produtos em redes dutoviárias," Dissertação de Mestrado, Departamento de Informática PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.
- [28] S. Relvas, A. Barbosa-Póvoa, and H. A. Matos, "Heuristic batch sequencing on a multi-product oil distribution system," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 33, pp. 712-730, 2009.
- [29] L. Magatão, L. V. R. Arruda, and F. Neves, "A mixed integer programming approach for scheduling commodities in a pipeline," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 28, pp. 171-185, 2004.

- [30] V. R. F. M. Alves, "Programação de Transferência de Derivados de Petróleo em Rede Dutoviária usando Algoritmo Genético," Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- [31] T. C. N. d. Souza, "Algoritmo Evolucionário para a Distribuição de Produtos de Petróleo por Redes de Polidutos," Departamento de Informática e Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - Rio Grande do Norte, 2010.
- [32] F. J. d. M. Marcellino, "Solução do problema de transporte de derivados de petróleo em oleodutos através de um modelo de satisfação de restrições distribuído com otimização," Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica e Computação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos - SP, 2006.
- [33] F. R. Pereira, "DCOP MOASSÍ: Otimização de Restrição Distribuída em Problemas Contínuos de Fluxo em Rede pela Unificação da Discretização e Resolução," Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial - CPGEI, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba - PR, 2011.
- [34] R. C. Brito, C. A. Tacla, and L. V. R. d. Arruda, "A multiagent simulator for supporting logistic decisions of unloading petroleum ships in harbors," *Pesquisa Operacional*, vol. 30, pp. 729-750, 2010.
- [35] J. Tian and H. Tianfield, "Multi-agent modeling and simulation for petroleum supply chain," presented at the Proceedings of the 2006 international conference on Intelligent computing: Part II, Kunming, China, 2006.