



GESTÃO DE ESTOQUES NO GRUPO NOBRE: O DESAFIO DO METANOL

Daniel Franco Goulart^{1*} & Juliana Bonomi Santos de Campos¹

¹Fundação Getúlio Vargas, Escola de Administração de Empresas de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil.

DETALHES DO ARTIGO

Recebido:
15 fev, 2023

Aceito:
29 nov, 2023

Disponível online em:
03 abr, 2024

Sistema de revisão
“Double blind
review”

Editora-chefe:
Fernanda Cahen

RESUMO

Este caso de ensino teve por objetivo discutir a importância das técnicas de gestão de estoques na definição da estratégia de compras em operações industriais, tendo como pano de fundo o metanol, um insumo vital para a produção de biodiesel. A partir da perspectiva de Ricardo Mendes, diretor de compras de uma empresa desse segmento, o texto propõe uma discussão sobre as nuances envolvidas na definição da estratégia de compras baseada em contratos de longo prazo firmados com fornecedores de confiança e na gestão de suprimentos baseada em mercados *spot*. O caso de ensino convida os alunos a discutirem e praticarem os conceitos abarcados pelas técnicas de estoque cíclico e estoque de segurança para embasar as decisões ligadas à estratégia de compras. Trata-se de uma narrativa baseada em fatos vivenciados pelos autores que tem por objetivo auxiliar os alunos na compreensão sobre as diferenças fundamentais entre fornecedores de longo prazo e relacionamentos *spot*, um dilema central na gestão de compras, e fornecer insumos para que eles possam calcular os custos associados com a gestão de estoques decorrentes de cada estratégia de compra. Este caso é recomendado para cursos de Gestão da Cadeia de Suprimentos, com módulos de Gestão de Estoques e Gestão de Compras, principalmente em turmas de MBA, especialização ou mestrado profissional.

Palavras-chave: Gestão de Estoques, Gestão de Compras, Estoque Cíclico, Estoque de Segurança, Gestão da Cadeia de Suprimentos.

INVENTORY MANAGEMENT AT GRUPO NOBRE: THE METHANOL CHALLENGE

ABSTRACT

This teaching case aimed to discuss the importance of inventory management techniques in defining the purchasing strategy, in the context of the industrial operations and production of biodiesel. From the perspective of Ricardo Mendes, purchasing director, the text proposes a discussion on the nuances involved in the purchasing strategy based on long-term contracts with reliable suppliers and on spot markets. The teaching case invites students to discuss and apply the concepts and calculations of cycle and safety stock to support decisions related to the purchasing strategy. It is a real narrative based on facts experienced by the authors that aims to provide students with a greater understanding of the fundamental differences between long-term suppliers and spot relationships, a central dilemma in purchasing management, and to provide inputs so that they can calculate the costs associated with inventory management arising from each purchasing strategy and reflect on the risks of each strategy. This case is recommended for Supply Chain Management courses, with Inventory Management and Purchasing Management modules, especially in MBA, specialization, or professional master's classes.

Keywords: Inventory Management, Purchasing Management, Cycle Stock, Safety Stock, Supply Chain Management.

ARTICLE DETAILS

Received:
Feb 15, 2023

Accepted:
Nov 29, 2023

Available online:
Apr 03, 2024

**Double Blind
Review System**

Editor in Chief
Fernanda Cahen

*Autor correspondente: daniel.goulart@fgv.br

<https://doi.org/10.18568/internext.v19i3.744>

INTRODUÇÃO

Ao final de uma longa semana de trabalho, Ricardo Mendes, diretor do departamento de compras do Grupo Nobre, estava sentado em sua sala pensando na reunião com os acionistas para decidir a estratégia de suprimentos do metanol, o insumo mais crítico na produção de biodiesel. Atuando há mais de 50 anos na cadeia agroindustrial da soja, o Grupo Nobre é um dos grandes *players* no ramo de comercialização de *commodities*. Em 2015, o grupo investiu na construção de uma fábrica de biodiesel no parque industrial da empresa em Araguari (MG), com o intuito de agregar valor à sua produção.

Ricardo é responsável por negociar, comprar e gerenciar o relacionamento com todos os fornecedores de insumos utilizados pelas fábricas do parque industrial de Araguari. Ele foi forjado profissionalmente no ramo de *trading* de *commodities* e sua ampla experiência acadêmica e profissional na área de compra e venda tornou-o um profissional pouco avesso à tomada de riscos. Ele chegou ao Grupo Nobre em janeiro de 2015, mas sua trajetória na companhia não foi suave.

Como o grupo empresarial cresceu ao longo dos seus 50 anos de existência de forma orgânica, a estratégia dos acionistas sempre foi baseada em um modelo de gestão conservador, primando pela sustentabilidade do negócio em detrimento do crescimento associado à tomada de riscos. Assim, o estilo inovador de Ricardo e sua franqueza sobre os problemas da companhia sempre incomodaram. Além disso, apesar de ter sido responsável pela implementação de importantes mudanças na estratégia de compra de itens industriais que resultaram em reduções relevantes de custo dos produtos vendidos, algumas de suas ideias não trouxeram bons resultados e o colocaram em “águas incertas”.

Na última reunião, o presidente do grupo disse a Ricardo: *“você vive falando que nossa estratégia de compra de metanol está errada. Vamos poder rever essa estratégia logo, quando nosso contrato de longo prazo com o fornecedor atual acabar. Você precisa mostrar para a gente um bom resultado nisso aí”*. Ricardo sabia que seu emprego estava em jogo e precisava definir uma estratégia vencedora para o metanol. *“Esses contratos de longo prazo com fornecedores tradicionais garantem alta responsividade”*, pensou ele; *“por outro lado, a compra no mercado*

spot pode nos proporcionar custos menores”. Com sua cadeira reclinada, começou a pensar em como tomar essa difícil decisão.

1. A PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO GRUPO NOBRE E A IMPORTÂNCIA DO METANOL

A introdução do biodiesel na matriz energética brasileira deu-se pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Passados 17 anos da sua fundação, o mercado brasileiro de biodiesel encontra-se plenamente estabelecido. Em 2021, o setor de biodiesel produziu quase 7 bilhões de metros cúbicos desse produto, correspondendo a mais de 40 bilhões de reais em valor de produção. Trata-se de uma indústria pujante e de grande relevância do ponto de vista socioeconômico para o país. Atualmente, todo o volume de diesel comercializado nos postos de combustíveis do Brasil possui 10% de biodiesel em sua composição.

Embalado pelo crescimento da indústria de biodiesel, várias empresas, como ADM, Bunge, Cargill, Cofco e JBS, que já atuavam no segmento de transformação industrial de cadeias agroindustriais, decidiram investir em fábricas de produção de biodiesel. Como o Grupo Nobre já produzia óleo de soja, os executivos também entenderam que o investimento em uma unidade de produção de biodiesel com o uso desse óleo agregaria valor à operação da empresa.

Em 2017, com a inauguração da fábrica de biodiesel no parque industrial de Araguari, as operações industriais de originação e esmagamento de soja e de produção de biodiesel da empresa foram consolidadas. O Anexo 1 mostra o fluxograma de toda essa operação industrial. O biodiesel é produzido por meio de um processo químico que consiste na reação de um triacilglicerídeo, que é um material graxo de origem animal ou vegetal, com um álcool. Como resultado, obtém-se biodiesel (produto) e glicerina (coproduto). No Grupo Nobre, o óleo de soja é empregado como material graxo e o metanol como álcool extrator.

O óleo de soja e o metanol são os maiores itens do custo de produção do biodiesel. Juntos, respondem por 85% dos gastos gerais de fabricação. Em termos gerais, a estequiometria do processo de transesterificação no Grupo Nobre pode ser detalhada da seguinte forma: para cada 1.000 kg de óleo de soja que entra no processo industrial, são necessários 100 kg de álcool para que ocorra a reação. Como resultado do

processo, são obtidos, em média, 985 kg de biodiesel e 95 kg de glicerina.

A fábrica do Grupo Nobre tem capacidade mensal de produção de 36 mil toneladas de biodiesel. O parque industrial possui três tanques dedicados ao seu armazenamento. Cada tanque possui capacidade máxima de 2 mil toneladas. Além disso, existem mais três tanques de 3 mil toneladas cada dedicados ao armazenamento de óleo de soja e um tanque de 1,2 mil toneladas para estocagem de metanol. Todos os tanques, por limitações técnicas, apresentam 5% de “fundo de tanque”. O Anexo 2 traz o fluxo de produção de biodiesel no Grupo Nobre.

As capacidades estáticas de armazenagem dos diversos produtos são gerenciadas de formas distintas. A estrutura de tancagem dedicada ao óleo de soja opera, via de regra, próxima de sua capacidade máxima. A capacidade estática disponível para armazenamento de biodiesel, por outro lado, é gerenciada ao nível médio de 3 mil toneladas. O gerenciamento preciso desse estoque é crucial, já que se deve manter espaço em tanque para absorver eventuais excessos de produção provenientes da ausência de retirada de biodiesel pelos compradores. Já o tanque de metanol é operado de forma a manter o menor volume possível de produto em estoque.

2. A CADEIA DE SUPRIMENTOS DO METANOL NO BRASIL

Um dos grandes desafios em uma operação de produção de biodiesel refere-se à gestão de compras e de estoques de metanol. A demanda doméstica por metanol é altamente dependente da importação. Nos anos de 2017 e 2018, por exemplo, o Brasil consumiu, respectivamente, 1.158.000 e 1.206.000 toneladas desse produto, sendo essa demanda integralmente atendida por fornecedores internacionais. Globalmente, Venezuela, Trinidad e Tobago, Chile e os países do Oriente Médio destacam-se na produção deste álcool. O Anexo 3 traz o consumo anual de metanol no Brasil entre os anos de 2008 e 2018, indicando os volumes produzidos domesticamente e advindos do exterior.

O mercado brasileiro de metanol é atendido basicamente por dois tipos de fornecedores: empresas produtoras e empresas comercializadoras (*tradings*). As primeiras possuem fábricas estrategicamente localizadas ao redor do globo. Nos principais mercados

consumidores, entre eles o Brasil, dispõem de adequada infraestrutura logística de recebimento e descarga portuária e de transporte terrestre até os consumidores. Por isso, destacam-se pelo elevado nível de serviço oferecido aos seus clientes e *lead times* altamente previsíveis.

Por outro lado, as *tradings* têm suas operações pautadas por oportunidades, comprando de produtores menores que não possuem acesso aos mercados consumidores e revendendo esse produto para clientes com demanda imediata ou que buscam preços mais competitivos. Esses fornecedores não possuem infraestrutura de carga e descarga nos países consumidores e, por isso, dependem de arrendamentos de curto prazo ou de troca de posição com outras *tradings*. Ao contrário das empresas produtoras, as *tradings* oferecem nível de serviço baixo e costumam apresentar grande variabilidade em relação aos prazos de entrega acordados. A compra desse tipo de fornecedor é comumente chamada de compra *spot*.

3. ESTRATÉGIA ATUAL DE GESTÃO DE COMPRA E ESTOQUE DE METANOL DO GRUPO NOBRE

A demanda interna por metanol é resultado do desempenho em termos de vendas de biodiesel do Grupo Nobre. Dada a posição estratégica da fábrica de biodiesel, a empresa é capaz de comercializar grandes volumes mensais. Em média, a unidade de negócios de biodiesel opera próximo aos 80% da sua capacidade de produção diária. A demanda média diária por biodiesel é distribuída normalmente. O Anexo 4 traz os registros diários de produção de biodiesel entre os meses de maio e agosto de 2021.

Desde o início da operação de biodiesel, o Grupo Nobre compra metanol das grandes empresas produtoras com contratos de longo prazo (com prazo de 18 meses de duração). Como esses fornecedores detêm o poder de barganha com os produtores de biodiesel, estabelece-se, em contrato, cláusula de exclusividade durante o período de vigência do acordo de fornecimento. Assim, uma vez fechado o negócio de compra e venda com esses fornecedores, o produtor de biodiesel fica impedido de comprar metanol no mercado *spot*.

Como principal vantagem dessa estratégia de suprimentos, menciona-se a confiabilidade e precisão do fornecimento. O *lead time* médio é de dois dias.

A variabilidade do *lead time* expressa pelo desvio padrão é de um dia. A equipe de compras do Grupo Nobre requisita novos lotes de metanol quanto o estoque chega a quatro dias de consumo considerando-se a capacidade útil do tanque. Um lote de metanol é consumido em sete dias. O fornecedor garante a reposição nesta frequência.

Os preços unitários do metanol apresentam certa variação quando se analisam os dados mensalmente. Isso ocorre porque a sua precificação se dá na condição CIF¹, levando-se em consideração o preço do metanol no mercado internacional (preço de venda FOB² Golfo do México), o câmbio, os custos logísticos relativos ao frete marítimo até o porto de Santos e os custos da logística terrestre até Araguari. O Anexo V traz os registros dos preços médios mensais do metanol comprado pelo Grupo Nobre do seu fornecedor exclusivo em real por tonelada dos últimos 30 meses (preços em R\$/ton, CIF Araguari — fornecedor exclusivo).

O Grupo Nobre incorre em certos custos associados à compra e recepção do metanol. A empresa terceiriza o serviço de checagem da qualidade, volumetria e segurança dos caminhões carregados com metanol que chegam à unidade. Esse serviço é cobrado por visita. Cada visita custa R\$ 2.000,00. Além disso, o Grupo Nobre incorre em gastos associados ao contrato de fornecimento toda vez que precisa renovar seu acordo com o fornecedor. Para que um novo instrumento seja assinado, o grupo contrata um escritório de advocacia especializado em negociações internacionais para auxiliar a empresa nas discussões jurídicas e, principalmente, na elucidação dos riscos associados ao acordo. O custo de contratação

deste escritório para o serviço em questão é de R\$ 95.000,00.

4. A COMPRA DO METANOL NO MERCADO SPOT

A alternativa à compra do metanol por meio de contratos de longo prazo são as negociações no mercado *spot*. No entanto, essa migração demanda uma avaliação do potencial de redução de custo da operação de compra de metanol *vis-à-vis* os riscos associados à estratégia. Sabendo que um dia viria a fazer essa análise, Ricardo sistematizou, ao longo do tempo, informações para calcular o preço CIF Araguari associado à compra no mercado *spot* por meio da coleta dos preços médios mensais de venda do metanol na condição FOB Santos desde março de 2019, bem como o registro mensal do câmbio médio e os preços médios mensais do frete de Santos a Araguari (Anexo 5).

É fundamental também avaliar o potencial de ruptura da cadeia de suprimentos em caso de qualquer adversidade relativa ao fornecimento do insumo. Esta é uma questão crucial já que a falta de metanol redundaria em incapacidade de se produzir biodiesel. Os contratos de venda desse produto determinam que o produtor pode deixar de entregar no máximo 5% do volume mensal total vendido sob pena de multa que pode variar de 80 a 100% do valor total do volume não entregue além do percentual aceitável.

Para auxiliar em suas análises, Ricardo conversou também com seus pares de outras empresas produtoras de biodiesel que confirmaram aquilo que já sabia pela sua experiência profissional: as *tradings* de metanol são extremamente inconstantes em termos de volumes entregues e *lead time*. Um desses colegas disponibilizou o histórico de *lead times* de entrega de uma grande *trading* que opera no mercado *spot* (Anexo 6).

Assim, na hipótese de se optar pela estratégia de gestão de compras baseada no mercado *spot*, é de fundamental importância a definição dos volumes de estoque de segurança de metanol que devem ser mantidos na unidade fabril. Quanto maiores forem os volumes armazenados na forma de estoque de segurança, menor será o risco de ruptura da cadeia de suprimentos por falta desse produto. Por outro lado, há de considerar os custos envolvidos com a manutenção dos estoques de metanol.

Um dos itens mais relevantes associados à manutenção de estoques de qualquer natureza no Grupo

1 Acrônimo de *Cost, Insurance and Freight*, CIF é um *incoterm* utilizado em Comércio Exterior para informar que os custos de frete e seguro estão inclusos no preço de venda ou oferta, mostrando que o vendedor arca com tais itens. As transações de compra e venda no mercado doméstico incorporaram esse termo para se referirem ao preço de venda, que inclui o custo de frete até o destino.

2 Acrônimo de *Free on Board*, FOB é um *incoterm* utilizado em Comércio Exterior para informar que os custos de frete e seguro não estão inclusos no preço de venda ou oferta, mostrando que o comprador deve arcar com tais itens. As transações de compra e venda no mercado doméstico incorporaram esse termo para se referirem ao preço de venda que não inclui o custo de frete até o destino.

Nobre é o custo médio ponderado de capital. A área financeira do grupo estima um custo de capital de 15,5% a.a. para 2022 e 2023. Além deste custo, há outros gastos referentes à segurança operacional, já que o produto é altamente inflamável. O tanque de metanol conta com um sistema terceirizado de monitoramento de pressão e calor que custa R\$ 100,00 por tonelada de produto armazenado por mês. Ademais, é preciso levar em conta os custos fixos associados aos estoques do parque fabril e que são rateados entre os diversos itens armazenados. Como resultado desse rateio, o metanol arca com o gasto total de R\$ 150,00 por tonelada de produto armazenado por mês.

5. REVISITANDO A ESTRATÉGIA DE GESTÃO DE COMPRA E ESTOQUES

Ao se aproximar do período de renovação do contrato com o fornecedor exclusivo, depois da reunião com o presidente, Ricardo colocou-se a refletir sobre se deveria manter a estratégia ou mudá-la. Nas oportunidades anteriores, o gestor optou por manter a estratégia de compra via contrato de longo prazo porque não dispunha de dados suficientes relativos à demanda, *lead times*, preços no mercado *spot*, entre outros. “Qualquer decisão de mudança na estratégia de suprimento de metanol naquele momento seria uma jogada no escuro”, pensou. Contudo, agora ele tinha dados e experiência para estudar e tomar a melhor decisão.

Ele precisava agora usar sua experiência e, principalmente, capacidade analítica para avaliar a melhor estratégia a ser adotada para a gestão de compras e, conseqüentemente, de estoques de metanol no Grupo Nobre. Com base nos dados armazenados, ele poderia avaliar os prós e contras da gestão de compras e estocagem do metanol via contratos de longo prazo e via mercado *spot*. Ricardo chamou o melhor analista do departamento e disse: “preciso da sua ajuda para montar essas análises e a apresentação para os acionistas do grupo”.

6. NOTAS DE ENSINO

6.1. Objetivos didáticos

O presente caso de ensino narra a história de um diretor de compras que se dedica a avaliar a estraté-

gia de suprimentos do metanol, um insumo vital para a operação de produção de biodiesel. As análises empreendidas pelo gestor convidam os estudantes a refletirem sobre a gestão de compras e a gestão de estoques pelas lentes das teorias de Gestão de Economias de Escala em uma Cadeia de Suprimentos (Estoque Cíclico), Gestão de Incertezas em uma Cadeia de Suprimentos (Estoque de Segurança) e Determinação do Nível Ideal de Disponibilidade de Produto. O caso de ensino dedica especial atenção ao uso de dados quantitativos para o processo de tomada de decisão nesses campos. Trata-se de uma narrativa fictícia baseada em experiências profissionais reais vividas pelos autores durante carreira em empresas (*armchair case*). O caso foi desenhado visando promover o entendimento de aspectos relevantes ligados à gestão de estoques e compras, bem como desenvolver nos alunos o raciocínio analítico, o raciocínio quantitativo e a capacidade de trabalhar com dados desestruturados. Dessa forma, após estudarem este caso, é esperado que os alunos:

- Sejam capazes de mensurar os custos da estratégia de compra adotada sob a perspectiva da Teoria do Estoque Cíclico;
- Sejam capazes de estimar o nível de serviço promovido pela estratégia de compra adotada na perspectiva da Teoria do Estoque de Segurança.

Para atingir esses objetivos, o caso provê informações sobre os dois tipos de fornecedores na seção “A cadeia de suprimentos do metanol no Brasil”. A seção seguinte (“Estratégia atual de gestão de compra e estoque de metanol no grupo Nobre”) dedica-se a descrever a forma como a empresa sempre gerenciou o suprimento de metanol. Em seguida, são apresentadas informações sobre a compra no mercado *spot*. Estas duas últimas seções trazem dados quantitativos importantes que subsidiarão os cálculos e discussões sobre as estratégias de gestão de compra e de estoque desse insumo. Além dessas informações, o caso fornece detalhes da operação industrial de biodiesel que serão relevantes nas discussões quantitativas sobre o caso. Na seção final do caso, o dilema do gestor Ricardo é apresentado, estimulando os alunos a refletir sobre os pontos positivos e negativos das possíveis estratégias de gestão de compras e estoques.

Este caso é recomendado para disciplinas de Gestão da Cadeia de Suprimentos, Gestão de Estoques

e Gestão de Compras. Indica-se seu uso em turmas de MBA, especialização ou de mestrado profissional, bem como em turmas de graduação em Administração de Empresas ou de Engenharia de Produção. Contudo, dada a complexidade do enredo, pode-se requerer do professor esforço adicional na explicação sobre o funcionamento de uma operação industrial, demandando mais tempo para ministrá-lo. Sugere-se a aplicação do caso após a apresentação do conteúdo teórico de gestão de estoques, para que os alunos tenham familiaridade com o ferramental matemático requerido.

6.2. Links teóricos

Um dos principais desafios de qualquer operação em uma cadeia de suprimentos refere-se ao impacto das estratégias de compras sobre os custos globais de estoque, nomeadamente custo de pedido, custo de manutenção de estoque e custo de produto. A compra de grandes lotes viabiliza a captura de descontos por unidade de produto e reduz o custo global de pedido. Por outro lado, essa estratégia tende a elevar os custos de manutenção de estoques. Estratégias de compras baseadas na aquisição de pequenos lotes minimizam os custos de manutenção de estoques, mas maximizam os custos de pedido e, eventualmente, de produto. O Lote Econômico de Compra é a quantidade de produto que deve ser comprada para otimizar os custos de manutenção de estoque e de pedido.

Tão importante quanto definir a estratégia de compras no sentido de otimizar os custos de estoque é gerenciar a operação de forma que a combinação entre estratégia de compra e gestão de estoque proporcione o nível de disponibilidade desejado para a operação. A mensuração do nível de disponibilidade de produto em uma operação é dada por duas métricas: nível de serviço (*service level*) e taxa de atendimento (*fill rate*). Operações com elevados níveis de disponibilidade apresentam uma combinação equilibrada entre o tamanho do estoque de segurança e o tamanho das incertezas que cercam a operação, formadas, sobretudo, pelo tamanho da variabilidade da demanda e do *lead time*.

A teoria de Gestão de Economias de Escala em uma Cadeia de Suprimentos (Estoque Cíclico) abarca a dinâmica dos custos de manutenção de estoques,

de pedido e de produto em função da estratégia de compras adotada, auxiliando na tomada de decisão nos campos da gestão de compras e de estoque do ponto de vista da melhor alternativa em termos de custo. As teorias de Gestão de Incertezas em uma Cadeia de Suprimentos (Estoque de Segurança) e Determinação do Nível Ideal de Disponibilidade de Produto auxiliam o gestor na tomada de decisão sobre a estratégia de mitigação dos riscos de falta de estoque via estratégia de compra e tamanho do estoque de segurança. O caso em questão permite que os estudantes coloquem em prática essas teorias visando definir a melhor estratégia de compra e de gestão de estoques para o Grupo Nobre.

A literatura fundamental indicada para instrutor e alunos é Chopra e Mendl (2016). Nesta obra, os autores discutem as teorias indispensáveis da área de Gestão da Cadeia de Suprimentos com o uso intensivo de exercícios práticos. O caso de ensino em questão inspira-se no modelo de Chopra e Mendl (2016) para se aprofundar nas teorias de Gestão de Economias de Escala em uma Cadeia de Suprimentos (Estoque Cíclico), Gestão de Incertezas em uma Cadeia de Suprimentos (Estoque de Segurança) e Determinação do Nível Ideal de Disponibilidade de Produto. De forma específica, sugere-se que instrutor e alunos leiam os capítulos 11 (Gestão de Economias de Escala em uma cadeia de suprimentos: Estoque Cíclico); 12 (Gestão de Incerteza em uma Cadeia de Suprimentos: Estoque de Segurança); e 13 (Determinação do Nível Ideal de Disponibilidade de Produto). De forma complementar e opcional, instrutor e alunos podem servir-se de Hammond (2018). Neste material, os conceitos apresentados por Chopra e Mendl (2016) são trazidos com mais riqueza de detalhes conceituais e menor uso de exemplos quantitativos. Trata-se, portanto, de um excelente material complementar a Chopra e Mendl (2016).

7. DISCUSSÃO / ANÁLISE DO CASO

O metanol é um insumo importante para diversos setores industriais. Por não ser produzido em território nacional, as empresas precisam desenvolver e implementar estratégias de suprimentos para este produto de forma a minimizar os riscos de falta.

A estratégia de suprimentos baseada em contratos de fornecimento de longo prazo consiste na ne-

gociação de volumes mensais de compra com um grande provedor internacional. Esses fornecedores são capazes de garantir elevado nível de serviço e *lead times* precisos já que, além de serem produtores, dispõem de infraestrutura logística adequada em todas as etapas da cadeia para atender os seus clientes. Como contrapartida, exigem que os compradores se comprometam com contratos de suprimento de longo prazo (entre 12 e 18 meses) com cláusula de exclusividade. Além disso, os preços cobrados nesses contratos são, geralmente, superiores aos encontrados na compra no mercado *spot*.

A estratégia de suprimentos baseada no mercado *spot* consiste na compra de metanol de acordo com as necessidades da empresa. Neste caso, não há acordo prévio com quaisquer fornecedores. As negociações dão-se regularmente no mercado. Os preços cobrados e as condições de pagamento e entrega são acordados livremente a cada negociação. Este mercado é protagonizado pelas *tradings*, empresas que buscam globalmente oportunidades de compra e venda de metanol no dia a dia. As grandes empresas produtoras de metanol não costumam participar desse mercado.

Como as *tradings* não detêm a produção, tampouco logística, entregam baixo nível de serviço e grande variabilidade no que se refere aos *lead times*. Como aspecto positivo, as *tradings* costumam vender metanol a preços mais baixos do que aqueles praticados pelos grandes fornecedores via contratos de longo prazo. Elas são capazes de praticar esses valores porque podem explorar fontes diversas de suprimentos e porque não possuem custos logísticos elevados. Esses motivos também fazem delas fornecedores instáveis e, muitas vezes, pouco confiáveis.

O caso de ensino em questão convida o leitor a refletir sobre o dilema da compra segura advinda de contratos de longo prazo ou do suprimento sujeito a riscos maiores via mercado *spot*. Para auxiliar nesta discussão, o caso traz dados quantitativos que permitem ao professor e aos alunos discutirem as possíveis estratégias de gestão de compra e estoques com base em parâmetros tradicionais da literatura em gestão da cadeia de suprimentos: tamanho do lote de compra e ponto de reposição de estoque, grau de incerteza da demanda e da oferta, nível de serviço do ciclo, taxa de atendimento, custo total de estoque (custo de pedido, custo de manutenção do estoque e custo de material), entre outros.

8. SUGESTÃO DE PLANO DE ENSINO

A forma de aplicação do caso deve considerar a maturidade da turma. Para alunos de graduação, é necessário dedicar mais tempo para que seja feita uma contextualização detalhada sobre o processo operacional e rendimentos industriais. Para alunos de especialização e mestrado profissional em áreas de cadeias de suprimentos ou operações, pode-se dispor de menos tempo para a discussão deste caso, já que a parte introdutória sobre processo operacional não precisa ser tão pormenorizada. Em todos os casos, é fundamental que os alunos tenham lido previamente o material.

Por se tratar de um caso denso, que requer certo grau de compreensão para a interpretação dos dados e a construção dos cálculos, recomenda-se que seu uso seja feito em etapas ao longo do curso. A Tabela 1 propõe um roteiro de atividades que pode ser adotado pelo docente.

9. QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

As questões abaixo apresentadas buscam auxiliar o professor na construção da planilha de Excel que servirá de instrumento de análise para a tomada de decisão sobre a melhor estratégia de gestão de compra e de estoques. Para melhor sistematização, as questões são divididas em quatro grupos: questões gerais, estratégia vigente (compra via contrato), estratégia avaliada (compra no mercado *spot*) e estratégia baseada no lote econômico de compra (LEC). Uma sugestão de planilha contendo todos os cálculos demandados pelo caso acompanha estas Notas de Ensino.

9.1. Grupo 1: questões gerais

1) Quais são os tipos de incerteza enfrentados por Ricardo Mendes na gestão de compras e estoque de metanol e quais são suas implicações?

As operações de gestão de compra e de estoques de metanol estão sujeitas às incertezas advindas da demanda e da oferta. No primeiro caso, a incerteza decorre da variabilidade apresentada pela demanda (consumo de metanol): o consumo diário deste insumo varia de acordo com a produção diária de biodiesel. Podem-se inferir o consumo médio de metanol e o respectivo desvio padrão por meio dos dados diários de produção de biodiesel apresentados no Anexo 4.

Tabela 1. Roteiro para a aplicação do caso em sala de aula.

Etapa		Descrição	Ferramenta
1	Introdução	O objetivo desta etapa é descrever de forma geral o problema apresentado pelo caso. Neste momento, sugere-se que o instrutor promova uma discussão sobre as incertezas que incidem na operação e como elas influenciam a tomada de decisão de compras e de estoques. Neste momento, tem-se a oportunidade de apresentar, de forma didática, os conceitos de estoque cíclico, estoque de segurança e nível de disponibilidade de produto. As questões do grupo 1, apresentadas abaixo, auxiliam na promoção desta discussão.	Quadro negro
2	Análise do cenário atual	No cenário atual, a empresa adquire suas necessidades de metanol via contrato de longo prazo. O objetivo desta etapa é avaliar o nível de disponibilidade oferecido pela atual estratégia calculando-se o nível de serviço do ciclo (CSL) e a taxa de atendimento (fr). Com base nas premissas fornecidas pelo caso e em cálculos intermediários (apresentados na seção “Questões para discussão” das notas de ensino e expostos na planilha anexa a este caso), deve-se calcular o custo total de estoque (CT). Feitos os cálculos, recomenda-se uma discussão baseada no CSL, fr e CT. As questões do grupo 2, apresentadas abaixo, auxiliam nesta discussão.	Quadro negro e MS Excel
3	Análise do cenário alternativo	No cenário alternativo, a empresa adquiriria suas necessidades de metanol via mercado spot. O objetivo desta etapa é avaliar o nível de disponibilidade oferecido por esta estratégia calculando-se o CSL e o fr e o CT associado a ela. Em seguida, sugere-se uma discussão sobre os prós e contras de cada estratégia. As questões do grupo 3, apresentadas abaixo, auxiliam na condução desta discussão.	Quadro negro e MS Excel
4	Análise do cenário atual utilizando o lote econômico de compra (LEC)	Considerando-se as premissas da estratégia de compra baseada em contrato de longo prazo, sugere-se calcular qual seria o tamanho de lote ideal para a reposição de estoques que entregaria o melhor custo total possível. Para tanto, é importante considerar a taxa mínima de atendimento de 95%. Ao fim destes cálculos, podem-se discutir as vantagens e desvantagens de cada uma das estratégias. A questão do 4 auxilia nesta discussão.	Quadro Negro e MS Excel.

A incerteza decorrente da oferta advém do comportamento da *lead time*. No caso da estratégia baseada em contrato de longo prazo, o caso informa, na seção 3, o *lead time* médio e o respectivo desvio padrão. No caso da estratégia alternativa, podem-se calcular esses dois parâmetros com o uso dos dados disponibilizados no Anexo 4.

Em um cenário ideal, sem a incidência de qualquer incerteza, a demanda por metanol e o *lead time* seriam fixos, ou seja, não haveria variabilidade. Nesse contexto, Ricardo poderia gerenciar sua operação sem estoque de segurança, já que o *lead time* prometido pelo fornecedor seria cumprido de forma perfeita e a demanda prevista por metanol seria fixa. Contudo, esse cenário ideal é de difícil concretização. A realidade das operações assemelha-se ao contexto vivenciado por Ricardo: as entregas dos fornecedores e a demanda pelo produto são variáveis. A literatura em Gestão da Cadeia de Su-

primentos discute como lidar com as incertezas que incidem em uma operação: Gestão de Incertezas em uma Cadeia de Suprimentos (Estoque de Segurança).

Uma das ferramentas gerenciais mais indicadas para prevenir a falta de estoque decorrente da variabilidade da demanda ou do *lead time* é a formação e gestão de estoques de segurança. O estoque de segurança é função do grau de incerteza de uma operação e do nível de disponibilidade que se deseja oferecer em uma operação. Quanto maior o grau de incerteza de uma operação e quanto maior o grau de disponibilidade desejado, maior deve ser o estoque de segurança a ser formado. O inverso é verdadeiro. A literatura em Gestão da Cadeia de Suprimentos discute como mensurar o nível de disponibilidade oferecido em diferentes contextos de incerteza e o tamanho do estoque de segurança: Determinação do Nível Ideal de Disponibilidade de Produto.

2) Considerando-se o histórico de produção diária de biodiesel (Anexo 4) e o consumo específico de metanol ($cons_esp$), calcule a demanda média (R) e o desvio padrão (σ_R) associados ao consumo deste insumo. Discuta de que forma o σ_R influencia na determinação do estoque de segurança e do nível de disponibilidade do produto.

Para a produção de 985 kg de biodiesel, consomem-se 100 kg de metanol. Logo (Equação 1):

$$\begin{aligned} cons_esp &= 100kg \div 985kg \\ cons_esp &= 10,15\% \end{aligned} \quad (1)$$

Conhecido o consumo específico de metanol, é possível, utilizando-se a série histórica de produção de biodiesel apresentada no Anexo 4, calcular o consumo diário de metanol para o período em questão. Para tanto, multiplica-se cada observação de produção diária de biodiesel pelo consumo específico acima calculado. Obter-se-á, assim, uma nova coluna em que consta o consumo diário de metanol na operação em questão. Com base nessa nova série de dados, calculam-se a média e o desvio padrão desta série. Matematicamente (Equações 2 e 3):

$$R = MÉDIA(núm1; [núm2]; ...) = 97,37 \text{ ton/dia} \quad (2)$$

$$\sigma_R = DESVPAD.A(núm1; [núm2] ...) = 0,87 \quad (3)$$

Sendo $núm1; [núm2]...$ as observações diárias de consumo de metanol.

O desvio padrão da demanda (σ_R) é a expressão da incerteza da demanda incidente na operação. Quanto mais próximo de zero, menor o grau de incerteza da operação. Quanto maior, mais elevada a incerteza presente. O gestor deve decidir o tamanho do estoque de segurança a ser formado objetivando determinado grau de disponibilidade de produto. Em um cenário hipotético de inexistência de custos associados à manutenção do estoque, seria natural tomar decisões no sentido de elevar ao máximo o estoque de segurança, mitigando, dessa forma, as chances de falta de produto. Todavia, na realidade das operações, a elevação do estoque de segurança eleva os custos de manutenção de estoques e, portanto, da operação como um todo.

9.2. Grupo 2: estratégia vigente (compra via contrato)

3) No cenário vigente, quais são os pontos de reposição de estoque (*reorder point* — ROP), o estoque

de segurança (*safety stock* — SS) e o tamanho do lote de remessa associados à estratégia vigente? Discorra sobre o papel do ROP na formação do estoque de segurança e seu impacto sobre o nível de disponibilidade da operação. Discuta o papel do tamanho do lote para o custo total de estoque.

Com base no cálculo apresentado na questão 2 e considerando-se que um novo pedido é realizado quando se atingem quatro dias de inventário (DI), dado o volume útil do tanque, o ROP desta operação é de 389,46 toneladas. Matematicamente (Equação 4):

$$\begin{aligned} ROP &= R \times DI \\ ROP &= 97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 4 \text{ dias} \\ ROP &= 389,46 \text{ ton de MeOH} \end{aligned} \quad (4)$$

Em seguida, calcula-se o estoque de segurança (Equação 5):

$$ROP = SS + RL \quad (5)$$

A demanda média durante o período de *lead time* (R_L) é obtida do produto do consumo médio diário de metanol (calculado na questão anterior) pelo período de *lead time* (L) (fornecido na Seção 5 do caso). Assim (Equação 6):

$$\begin{aligned} SS &= ROP - RL \\ SS &= ROP - (R \times L) \\ SS &= 389,46 \text{ ton} - \left(97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 2 \text{ dias} \right) \\ SS &= 194,72 \text{ ton} \end{aligned} \quad (6)$$

Uma vez que o consumo médio diário de metanol (R, calculado anteriormente) e a frequência de reposição do estoque (FR, apresentado na Seção 4 como “tempo para consumo do metanol”) são conhecidos, pode-se calcular o tamanho de lote de remessa do fornecedor para a indústria (Q) (Equação 7):

$$\begin{aligned} Q &= FR \times R \\ Q &= 7 \text{ dias} \times 97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} = 681,56 \text{ ton} \end{aligned} \quad (7)$$

A figura do ROP é trazida nas teorias da Gestão de Incertezas em uma Cadeia de Suprimentos (Estoque de Segurança) e da Determinação do Nível Ideal de Disponibilidade de Produto. O ROP é o ponto físico do estoque no qual o gestor decide realizar um

novo pedido de compra. Quanto mais elevado for o estoque no momento da realização de um novo pedido de compra, maior será, teoricamente, o estoque de segurança da operação. O inverso é verdadeiro. Assim, o ROP tem implicações sobre o tamanho do estoque de segurança de uma operação e, conseqüentemente, sobre o nível de disponibilidade oferecido pela operação.

O tamanho do lote (Q) tem papel relevante na determinação do custo total de estoque. Um gestor de compras que privilegia a realização de compras em grandes lotes está privilegiando, do ponto de vista teórico, a redução do custo global de pedido e, eventualmente, a redução do custo total de produto (quando o fornecedor oferece desconto sobre o preço unitário para lotes maiores) em detrimento de custos de manutenção de estoques maiores. O inverso é verdadeiro: a estratégia de compras baseada em lotes pequenos privilegia a redução do custo de manutenção de estoques em detrimento de custos de pedido e, eventualmente, de produto, maiores. Os efeitos do tamanho do lote de compra sobre o custo total de estoque são discutidos no âmbito da Gestão de Economias de Escala em uma Cadeia de Suprimentos (Estoque Cíclico).

4) No cenário corrente, qual é o nível de serviço (*cycle service level* — CSL), taxa de atendimento (*fill rate* — fr) e falta esperada por ciclo de estoque (*expected shortage per cycle* — ESC)? Comente sobre como cada uma dessas métricas contribui para a definição da estratégia de gestão de compras e de estoque e discuta, do ponto de vista teórico, como elas se relacionam com o tamanho do estoque de segurança e com o nível de incerteza da operação.

O nível de serviço do ciclo (CSL) indica a probabilidade de não faltar produto dada certa política de reposição de estoques (ROP), o comportamento da demanda durante o período de *lead time* (R_L) e as incertezas da demanda e da oferta combinadas (σ_L). Matematicamente (Equações 8, 9 e 10):

$$R_L = R \times L = 97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 2 \text{ dias} = 194,73 \text{ ton} \quad (8)$$

$$\sigma_L = \sqrt{(L \times \sigma_R^2) + (R^2 \times S_L^2)} = \sqrt{(2 \times 0,87^2) + (97,37^2 \times 1^2)} = 97,37 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{CSL} &= \text{DIST. NORM. N}(x; \text{média}; \text{desv. padrão}; 1) \\ &= \text{DIST. NORM. N}(\text{ROP}; R_L; \sigma_L; 1) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{CSL} = \text{DIST. NORM. N}(389,46; 194,73; 97,37; 1) = 99,86\%$$

A taxa de atendimento (fr) indica quanto, na média, deve-se esperar de preenchimento da demanda a cada ciclo de estoque dado um tamanho de lote de compra e uma quantidade esperada de falta por ciclo de estoque (ESC). Assim (Equações 11 e 12):

$$\begin{aligned} \text{ESC} &= -SS \times \left\{ 1 - \text{DIST. NORM. N} \left(\frac{SS}{\sigma_L}; 1 \right) \right\} + \sigma_L \times \text{DIST. NORM. N} \left(\frac{SS}{\sigma_L}; 0 \right) \\ \text{ESC} &= -194,72 \times \left\{ 1 - \text{DIST. NORM. N} \left(\frac{194,72}{97,37}; 1 \right) \right\} \\ &\quad + 97,37 \times \text{DIST. NORM. N} \left(\frac{194,72}{97,37}; 0 \right) = 0,83 \text{ ton} \end{aligned} \quad (11)$$

$$fr = 1 - \left(\frac{\text{ESC}}{Q} \right) = 1 - \left(\frac{0,83}{681,56} \right) = 99,88\% \quad (12)$$

CSL e fr são métricas importantes de disponibilidade de produto. Indicam o grau de responsividade alcançado dado certo estoque de segurança e incertezas. O ESC tem papel fundamental na determinação do fr. Quanto maior é a falta esperada de produto por ciclo de estoque, menor tende a ser a taxa de atendimento oferecida ao cliente.

CSL e fr combinadas com ESC são, em última instância, a expressão do nível de disponibilidade de produto oferecido por determinada estratégia de gestão de compras e estoque. Em um contexto de elevado grau de incerteza, altos níveis de disponibilidade de produto podem ser oferecidos com a elevação do estoque de segurança. Alternativamente, pode-se atuar na redução das incertezas que incidem na operação. Por exemplo, pode-se discutir com o fornecedor estratégias logísticas visando à redução da variabilidade do *lead time*. Da mesma forma, pode-se investir em tecnologia e/ou colaboração com os parceiros da cadeia de fornecimento a jusante, com o objetivo de melhorar a qualidade da informação sobre o comportamento da demanda, reduzindo, desta forma, os efeitos negativos do efeito chicote que contribuem para o aumento da variabilidade da demanda percebida pelos agentes da cadeia em uma operação.

5) Calcule o custo total de estoque associado à estratégia corrente de compra.

O custo total de estoque (CT) é formado pelos custos de pedido (cust_ped), custos de manutenção de estoque (cust_man_est) e custos de material ou produto (cust_mat). Para que se possa calcular o CT, é necessário, primeiramente, o mapeamento dos componentes dos três custos que o formam.

O cust_ped é composto dos custos de checagem de qualidade (cust_quali_ano) e custos para a elaboração e avaliação de contrato (cust_ctr_ano). Para

calcular o $cust_quali_ano$, deve-se considerar o custo para fazer uma checagem de qualidade (R\$ 2.000,00, $cust_quali$, informação disponível na Seção 4) e a quantidade de pedidos que se fazem ao longo de um ano. Para calcular o $cust_ctr_ano$, deve-se considerar o custo total para a elaboração de um contrato (R\$ 95.000,00, $cust_ctr$, informação disponível na Seção 4), utilizando-se regra de três para o cálculo do custo anual com este item.

Para estimar o custo de checagem de qualidade, é necessário calcular a quantidade de pedidos feita ao longo de um ano ($pedidos_ano$). Matematicamente (Equação 13):

$$\begin{aligned} pedido_ano &= \frac{R_{anual}}{Q} \\ pedido_ano &= \frac{97,37 \frac{ton}{dia} \times 365 \text{ dias}}{681,56 \text{ ton}} = 52,14 \text{ pedidos por ano} \end{aligned} \quad (13)$$

Em que:

R_{anual} : a demanda anual por metanol (obtida pelo produto da demanda média diária por 365 dias).

Assim (Equação 14):

$$\begin{aligned} cust_quali_ano &= pedido_ano \times cust_quali \\ cust_quali_ano &= 52,14 \text{ pedidos} \times \frac{R\$2.000,00}{pedido} \\ cust_quali_ano &= R\$104.285,71 \text{ por ano} \end{aligned} \quad (14)$$

Para estimar o custo para a elaboração e avaliação de contrato, deve-se considerar o prazo do contrato de fornecimento, que é de 18 meses (Seção 4 do caso). Desta forma (Equação 15):

$$\begin{aligned} cust_ctr_ano &= \frac{cust_ctr}{18 \text{ meses}} \times 12 \text{ meses} \\ cust_ctr_ano &= \frac{R\$95.000,00}{18 \text{ meses}} \times 12 \text{ meses} = R\$63.333,33 \text{ por ano} \end{aligned} \quad (15)$$

Assim (Equação 16):

$$\begin{aligned} cust_ped &= cust_quali_ano + cust_ctr_ano \\ cust_ped &= R\$104.285,71 + R\$63.333,33 = R\$167.619,05 \text{ por ano} \end{aligned} \quad (16)$$

O $cust_man_est$ é composto dos custos financeiros ($cust_fin_ano$), custos de monitoramento com sistema terceirizado ($cust_monit_ano$) e rateio dos custos fixos (rat_cf_ano). Os três gastos são apresentados na Seção 5.

Para calcular os três gastos que compõem o $cust_man_est$, é necessário calcular o estoque médio desta operação. O estoque médio útil (EM_U) é a soma do estoque cíclico (EC) e do estoque de segurança (SS). Matematicamente (Equações 17 e 18):

$$EC = \frac{Q}{2} = \frac{681,56 \text{ ton}}{2} = 340,78 \text{ ton} \quad (17)$$

$$EM_U = EC + SS = 340,78 \text{ ton} + 194,72 \text{ ton} = 535,50 \text{ ton} \quad (18)$$

É importante considerar que, por questões operacionais, não é possível extrair a totalidade da capacidade estática do tanque de armazenamento de metanol (cap_est_met , 1.200 ton), ficando sempre 5% ($perc_ft$) do volume como “fundo de tanque” (FT). Estas informações são apresentadas na Seção 2. Assim (Equação 19):

$$FT = cap_est_met \times perc_ft \quad (19)$$

$$FT = 1.200 \text{ ton} \times 5\% = 60 \text{ ton}$$

Como o FT permanece no tanque de forma perene, deve-se considerar, para fins de $cust_man_est$, a existência dele juntamente com o EM_U , resultando no estoque médio total (EM_T). Matematicamente (Equação 20):

$$\begin{aligned} EM_T &= EM_U + FT \\ EM_T &= 535,50 \text{ ton} + 60 \text{ ton} \cong 595,50 \text{ ton} \end{aligned} \quad (20)$$

Para calcular o $cust_fin_ano$, é necessário calcular o custo de se manter uma tonelada de metanol em estoque por um ano. Para isso, primeiramente, deve-se calcular o preço médio do metanol em R\$/ton. Esse cálculo pode ser feito com a média dos preços históricos de compra de metanol apresentados no Anexo V na condição “CIF Araguari — fornecedor exclusivo” (C). Com base no preço unitário do metanol e no custo de capital da empresa (CC), é possível calcular o $cust_fin_unit$ e, portanto, o $cust_fin_ano$ (Equações 21 e 22):

$$\begin{aligned} cust_fin_unit &= C \times CC \\ cust_fin_unit &= R\$4.255,83 \times 15,5\% \text{ a. a.} = R\$659,65 \text{ por tonelada por ano} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} cust_fin_ano &= EM_T \times cust_fin_unit \\ cust_fin_ano &= 595,50 \text{ ton} \times R\$659,65 \frac{ton}{ano} \cong R\$392.833,30 \text{ por ano} \end{aligned} \quad (22)$$

O $cust_monit_ano$ é função do EM_T e da taxa de monitoramento de estoque ($taxa_monit$, Seção 5). Desta forma (Equações 23 e 24):

$$\begin{aligned} taxa_monit &= R\$100,00 \text{ por ton por mês} \\ taxa_monit &= R\$100,00 \times 12 = R\$1.200,00 \text{ por ton por ano} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} cust_monit_ano &= EM_T + taxa_monit \\ cust_monit_ano &= 595,50 \text{ ton} \times \frac{R\$1.200,00}{ano} \cong R\$714.616,81 \end{aligned} \quad (24)$$

O rat_cf_ano é função do EM_T e do custo fixo rateado (cf_rat , Seção 6). Matematicamente (Equações 25 e 26):

$$cf_rat = R\$150,00 \text{ por ton por mês} \\ cf_rat = R\$150,00 \times 12 = R\$1.800,00 \text{ por ano} \quad (25)$$

$$rat_cf_ano = EM_T \times cf_rat \quad (26)$$

$$rat_cf_ano = 595,50 \text{ ton} \times R\$1.800,00 \frac{\text{ton}}{\text{ano}} \cong R\$1.071.925,22$$

Portanto (Equação 27):

$$cust_man_est = cust_fin_ano + cust_monit_ano + rat_cf_ano \\ cust_man_est = R\$392.833,30 + R\$714.616,81 + R\$1.071.925,22 \quad (27) \\ cust_man_est \cong R\$2.179.375,22$$

O terceiro custo, CT, é o cust_mat. Ele é calculado pela multiplicação da demanda anual de metanol pelo seu preço unitário. Assim (Equação 28):

$$cust_mat = R \times C \\ cust_mat = 97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 365 \text{ dias} \times \frac{R\$4.255,83}{\text{ton}} \quad (28)$$

$$cust_mat \cong R\$151.246.601,47$$

Logo (Equação 29):

$$CT = cust_ped + cust_man_est + cust_mat \\ CT = R\$167.619,05 + R\$2.179.375,22 + R\$151.246.601,47 = R\$153.593.595,85 \quad (29)$$

9.3 Grupo 3: estratégia avaliada (compra via mercado spot)

6) Considerando-se o histórico de *lead time* (L) da operação de suprimento de metanol na compra via mercado *spot* (Anexo 6), calcule o *lead time* médio da operação de suprimento de metanol e o seu respectivo desvio padrão (S_L).

O Anexo 6 traz o registro histórico das datas de solicitação de novas remessas de metanol ao fornecedor e datas de chegada desses pedidos em uma planta de biodiesel concorrente. Subtraindo-se cada data de entrega pela respectiva data de pedido, encontra-se a quantidade de dias que o fornecedor leva para atender à demanda (*lead time*, L). Matematicamente (Equação 30):

$$L_i = DIAS(data_final; data_inicial) \quad (30)$$

Sendo L_i o *lead time* de cada observação.

Em seguida, calcula-se o *lead time* médio da operação e o respectivo desvio padrão do *lead time* (S_L) associado a esta série histórica (Equações 31 e 32):

$$L = MÉDIA(núm1; [núm2]; ...) = 6,00 \text{ dias} \quad (31)$$

$$S_L = DESVPAD.A(núm1; [núm2] ...) = 2,00 \quad (32)$$

Sendo $núm1$; $[núm2]$... cada *lead time* observado e registrado na série histórica.

7) Calcule a demanda durante o período de *lead time* e o desvio padrão combinado durante o período de *lead time*.

Conforme visto anteriormente (Equações 33 e 34):

$$R_L = R \times L = 97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 6,00 \text{ dias} = 584,22 \text{ ton} \quad (33)$$

$$\sigma_L = \sqrt{(L \times \sigma_R^2) + (R^2 \times S_L^2)} = \sqrt{(6 \times 0,87^2) + (97,37^2 \times 2^2)} = 194,74 \quad (34)$$

Comparando-se o desvio padrão encontrado na análise da compra via mercado *spot* com aquele encontrado na estratégia de compra via contratos de longo prazo, percebe-se que as incertezas combinadas da demanda e da oferta naquela estratégia ($\sigma_L = 97,37$) são, matematicamente, mais do que duas vezes aquela presente neste modelo de aquisição ($\sigma_L = 194,74$).

8) Com base nas informações e na interpretação do caso, como é possível estimar o tamanho médio do lote de reposição de estoque no contexto da aquisição via mercado *spot*?

Diferentemente do modelo baseado em contrato de longo prazo, quando o fornecedor garantia um ritmo de reposição bem definido (frequência de reposição a cada sete dias), no modelo baseado no mercado *spot* a reposição é feita de acordo com a capacidade de compra da empresa e com a disponibilidade de produto por parte dos fornecedores.

Tendo em vista este contexto, para fins de cálculos, estabelece-se que a frequência de reposição coincide com o *lead time* médio de entrega das cargas. Nestes termos, pode-se afirmar que um lote de metanol de 584,20 toneladas (Q) é consumido, em média, a cada seis dias (L). Ao fim de seis dias, um lote de 584,20 toneladas de metanol foi consumido integralmente e um novo lote de mesma quantidade é recepcionado. Se a demanda média diária (R) é de 97,37 toneladas e o *lead time* médio (L) é de seis dias (Equação 35):

$$\text{Demanda em sete dias} = Q = R \times L$$

$$Q = 97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 6,00 \text{ dias} \quad (35)$$

$$Q \cong 584,20 \text{ ton}$$

9) Com base nas informações fornecidas pelo caso, estime o SS que deve ser planejado para a operação de compra via mercado *spot*.

O objetivo é operar com o menor SS possível, porém sem comprometer a capacidade da operação de atender aos seus objetivos de atendimento da demanda. Na Seção 5 do caso, é informado que não há incidência de multas e penalidades na relação comercial entre fornecedor de biodiesel e comprador quando a quantidade mínima de 95% do volume contratado é efetivamente entregue. Esta é a taxa de atendimento (*fr*) mínima aceitável na operação de venda de biodiesel que, portanto, serve de baliza para a definição SS para metanol.

Uma vez que se conhece o *fr* desejado para a operação, pode-se estimar a quantidade esperada de falta por ciclo de estoque (ESC) na operação. Matematicamente (Equação 36):

$$fr = 1 - \frac{ESC}{Q} \quad (36)$$

$$95\% = 1 - \frac{ESC}{584,20} = ESC \cong 29,21 \text{ ton}$$

Um ESC de 29,21 toneladas mostra que esta é a quantidade que pode haver de falta, em média, por ciclo de estoque (sete dias) para que se obtenha *fr* de 95%.

Conhecendo-se o ESC correspondente a um *fr* de 95% e o desvio padrão combinado do *lead time*, pode-se, por tentativa e erro, encontrar o SS que permite esse *fr*. Dessa forma, com a fórmula de ESC e se utilizando de um SS inicial atribuído de forma aleatória, busca-se o SS que corresponda ao ESC de 29,21 toneladas com o uso da ferramenta “Atingir Meta” do Excel. Supondo-se um SS inicial de 200 toneladas, tem-se (Equação 37):

$$ESC = -SS \times \left\{ 1 - DIST.NORMP.N\left(\frac{SS}{\sigma_L}; 1\right) \right\} + \sigma_L \times DIST.NORMP.N\left(\frac{SS}{\sigma_L}; 0\right)$$

$$ESC = -200,00 \times \left\{ 1 - DIST.NORMP.N\left(\frac{200,00}{194,74}; 1\right) \right\} + 194,74 \times DIST.NORMP.N\left(\frac{200,00}{194,74}; 0\right) \quad (37)$$

Com o Atingir Meta aberto, inserir:

Campo “Definir célula” = ESC a ser calculado em função do SS aleatoriamente atribuído.

Campo “Para valor” = atribuir valor de ESC correspondente a um *fr* de 95% (ESC = 29,21 ton).

Campo “Alterando células” = célula que recebeu valor de SS aleatório.

Como resultado da função Atingir Meta, obtém-se que, para um ESC de 29,21 toneladas, deve-se operar com um SS de 130,70 toneladas. Matematicamente (Equação 38):

$$29,21 = -130,70 \times \left\{ 1 - DIST.NORMP.N\left(\frac{130,70}{194,74}; 1\right) \right\} + 194,74 \times DIST.NORMP.N\left(\frac{130,70}{194,74}; 0\right) \quad (38)$$

10) Calcule o ROP e o EM_T para a operação de compra via mercado *spot*.

ROP (Equação 39):

$$ROP = SS + R_L$$

$$R_L = R \times L = 97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 6,00 \text{ dias} \cong 584,20 \text{ ton} \quad (39)$$

$$ROP = 130,70 \text{ ton} + 584,22 \text{ ton} \cong 714,90 \text{ ton}$$

EM_U (Equação 40):

$$EM_U = \frac{Q}{2} + SS = \frac{584,20 \text{ ton}}{2} + 130,70 \text{ ton} \cong 422,80 \text{ ton} \quad (40)$$

EM_T (Equação 41):

$$EM_T = EM_U + FT \quad (41)$$

$$EM_T = 422,90 \text{ ton} + 60 \text{ ton} \cong 482,80 \text{ ton}$$

11) Calcule o CSL para a operação de compra via mercado *spot* (Equação 42).

$$CSL = DIST.NORM.N(x; \text{média}; \text{desv. padrão}; 1) = DIST.NORM.N(ROP; R_L; \sigma_L; 1) \quad (42)$$

$$CSL = DIST.NORM.N(714,90; 584,20; 194,74; 1) \cong 99,92\%$$

12) Calcule o custo total de estoque associado à estratégia de compra via mercado *spot*.

O custo total de estoque (CT) é formado pelos custos de pedido (*cust_ped*), custos de manutenção de estoque (*cust_man_est*) e custos de material ou produto (*cust_mat*).

O *cust_ped* é composto dos custos de checagem de qualidade (*cust_quali_ano*). Matematicamente (Equação 43):

$$pedido_{ano} = \frac{R_{anual}}{Q} \quad (43)$$

$$pedido_{ano} = \frac{97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 365 \text{ dias}}{584,20 \text{ ton}} \cong 60,83 \text{ pedidos por ano}$$

Assim, o *cust_quali_ano* é, matematicamente (Equação 44):

$$cust_{quali_ano} = pedido_{ano} \times cust_{quali}$$

$$cust_{quali_ano} = 60,83 \text{ pedidos} \times \frac{R\$2.000,00}{pedido} \quad (44)$$

$$cust_{quali_ano} \cong R\$121.666,67 \text{ por ano}$$

E o *cust_ped* é, matematicamente (Equação 45):

$$\begin{aligned} \text{cust_ped} &= \text{cust_quali_ano} \\ \text{cust_ped} &\cong R\$121.666,67 \text{ por ano} \end{aligned} \quad (45)$$

O cust_man_est é composto dos custos financeiros (cust_fin_ano), custos de monitoramento com sistema terceirizado (cust_monit_ano) e rateio dos custos fixos (rat_cf_ano). Os três gastos são apresentados na Seção 5.

Para calcular o cust_fin_ano , é necessário calcular o custo de manter uma tonelada de metanol em estoque por um ano. Para isso, primeiramente, deve-se calcular o preço médio do metanol em R\$/ton para o contexto da compra via mercado *spot*. Esse cálculo pode ser feito com o histórico de preços do metanol na condição FOB Santos, o histórico da relação R\$/USD e o histórico do custo de frete de Santos a Araguari. Ao subtrair cada observação de preço de metanol na condição FOB Santos pelo respectivo frete associado e, em seguida, dividir cada um desses resultados pela relação R\$/USD observada, encontra-se o histórico estimado de preços na condição CIF Araguari, em R\$/ton. Calculando-se as médias desses preços, encontra-se a estimativa do preço médio do metanol comprado via mercado *spot* (C), que servirá de referência para a análise dos custos associados a essa estratégia. Assim (Equação 46):

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{Preço FOB}_i - \text{Frete}_i}{\text{câmbio}_i} + \frac{\text{Preço FOB}_2 - \text{Frete}_2}{\text{câmbio}_2} + \dots + \frac{\text{Preço FOB}_n + \text{Frete}_n}{\text{câmbio}_n} \right)}{n} \quad (46)$$

$$c \cong \frac{R\$4.130,82}{\text{ton}}$$

Com base no preço unitário do metanol e no custo de capital da empresa (CC), é possível calcular o cust_fin_unit e, portanto, o cust_fin_ano (Equações 47 e 48):

$$\begin{aligned} \text{cust_fin_unit} &= C \times CC \\ \text{cust_fin_unit} &\cong R\$4.130,82 \times 15,5\% \text{ a.a.} \cong R\$640,28 \text{ por tonelada por ano} \end{aligned} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} \text{cust_fin_ano} &= EM_T \times \text{cust_fin_unit} \\ \text{cust_fin_ano} &= 482,80 \text{ ton} \times R\$640,28 \frac{\text{ton}}{\text{ano}} \cong R\$309.125,89 \text{ por ano} \end{aligned} \quad (48)$$

O cust_monit_ano é função do EM_T e da taxa de monitoramento de estoque (taxa_monit , Seção 5). Desta forma (Equações 49 e 50):

$$\begin{aligned} \text{taxa_monit} &= R\$100,00 \text{ por ton por mês} \\ \text{taxa_monit} &= R\$100,00 \times 12 = R\$1.200,00 \text{ por ton por ano} \end{aligned} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} \text{cust_monit_ano} &= EM_T + \text{taxa_monit} \\ \text{cust_monit_ano} &= 482,80 \text{ ton} \times \frac{R\$1.200,00}{\text{ano}} \cong R\$579.360,54 \end{aligned} \quad (50)$$

O rat_cf_ano é função do EM_T e do custo fixo rateado (cf_rat , Seção 5). Matematicamente (Equações 51 e 52):

$$\begin{aligned} \text{cf_rat} &= R\$150,00 \text{ por ton por mês} \\ \text{cf_rat} &= R\$150,00 \times 12 = R\$1.800,00 \text{ por ano} \end{aligned} \quad (51)$$

$$\begin{aligned} \text{rat_cf_ano} &= EM_T \times \text{cf_rat} \\ \text{rat_cf_ano} &= 482,80 \text{ ton} \times R\$1.800,00 \frac{\text{ton}}{\text{ano}} \cong R\$869.040,81 \end{aligned} \quad (52)$$

Tendo calculado cust_fin_ano , cust_monit_ano e rat_cf_ano , é possível calcular o cust_man_est . Matematicamente (Equação 53):

$$\begin{aligned} \text{cust_man_est} &= \text{cust_fin_ano} + \text{cust_monit_ano} + \text{rat_cf_ano} \\ \text{cust_man_est} &= R\$309.125,19 + R\$579.360,54 + R\$869.040,81 \\ \text{cust_man_est} &\cong R\$1.757.527,25 \end{aligned} \quad (53)$$

O cust_mat é calculado da seguinte forma (Equação 54):

$$\begin{aligned} \text{cust_mat} &= R \times C \\ \text{cust_mat} &= 97,37 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 365 \text{ dias} \times \frac{R\$4.130,82}{\text{ton}} \\ \text{cust_mat} &\cong R\$146.803.710,36 \end{aligned} \quad (54)$$

Para o cálculo de CT (Equação 55):

$$\begin{aligned} CT &= \text{cust_ped} + \text{cust_man_est} + \text{cust_mat} \\ CT &= R\$121.666,67 + R\$1.757.527,25 + R\$146.803.710,36 = R\$148.682.904,27 \end{aligned} \quad (55)$$

9.4. Grupo 4: estratégia baseada no lote econômico de compra

13) A avaliação da estratégia baseada em contrato de longo prazo mostrou que a atual operação apresenta fr de 99,88%. Para isso, é necessário operar com valores elevados de SS. Avalie esta estratégia utilizando o LEC.

Para encontrar o LEC nesta operação, serão utilizados os dados apresentados ou calculados para a estratégia de compra via contrato de longo prazo. O LEC deverá resultar no menor CT possível, considerando-se um fr de 95%. Para isso, será necessário modelar este problema com o uso do Solver do Excel.

Primeiramente, deve-se atribuir um valor aleatório de tamanho de lote (Q). Este valor será utilizado, junto com as outras premissas, para o cálculo de um CT aleatório. Matematicamente (Equação 56):

$$CT = \text{cust_ped} + \text{cust_man_est} + \text{cust_mat} \text{ (em função de um tamanho de lote aleatório } Q) \quad (56)$$

Para a modelagem do problema no Solver, devem-se considerar:

Passo 1: Definir célula objetivo (célula objetivo= CT).

Passo 2: Selecionar “mínimo” para encontrar o menor CT.

Passo 3: Definir células variáveis (célula variável= Q).

Passo 4: Estabelecer restrições ($fr \geq 95\%$).

Passo 5: Selecionar método de resolução GRG não linear.

Passo 6: Rodar o modelo.

Como resposta, encontrar-se-á:

$Q = 261,74 \text{ toneladas}$

$CT = R\$152.542.239,47$

10. BREVE REVISÃO DA LITERATURA E BIBLIOGRAFIA INDICADA

Este caso de ensino foi pensado como instrumento para a consolidação do entendimento sobre as técnicas de gestão de estoques, assunto central da área de gestão da cadeia de suprimentos. Especificamente, busca-se expor o aluno à aplicação dos modelos de estoque cíclico (focado em economia de escala) e de estoque de segurança (focado em nível de disponibilidade). Assim sendo, é fundamental que o professor tenha abordado, *a priori*, os aspectos conceituais e as fórmulas matemáticas que compõem esses mode-

los. Abaixo indicamos referências que abordam esses conceitos de forma teórica e explicam seus cálculos. Recomendamos especificamente Chopra e Meindl (2016) para auxiliar na formulação matemática.

Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Gestão da Cadeia de Suprimentos: estratégia, planejamento e operação*. Pearson Education do Brasil.

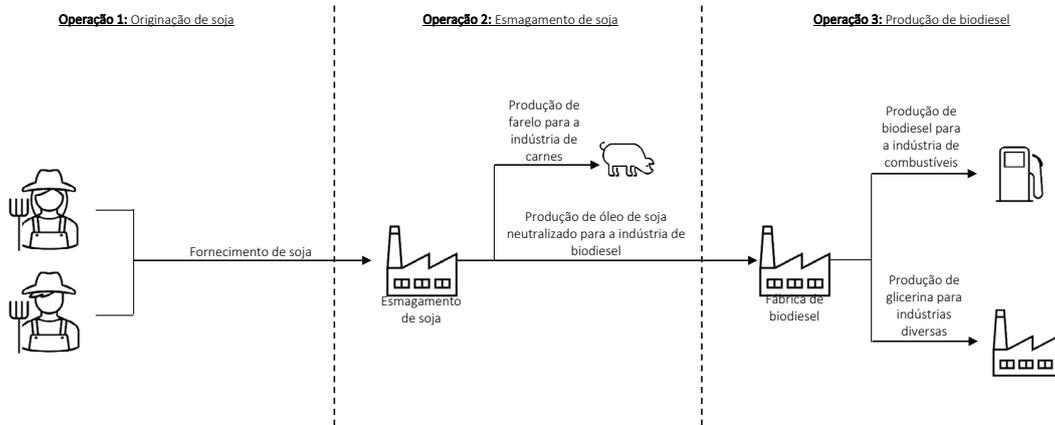
Empresa de Energia Elétrica (EPE) (2019). *Competitividade do Gás Natural: Estudo de Caso na Indústria de Metanol*. Ministério de Minas e Energia.

Hammond, J. H. (2018). Operations Management: Managing Inventory. In R. Shapiro (Ed.). *Core Curriculum* (pp. 1-34). Harvard Business Publishing Education.

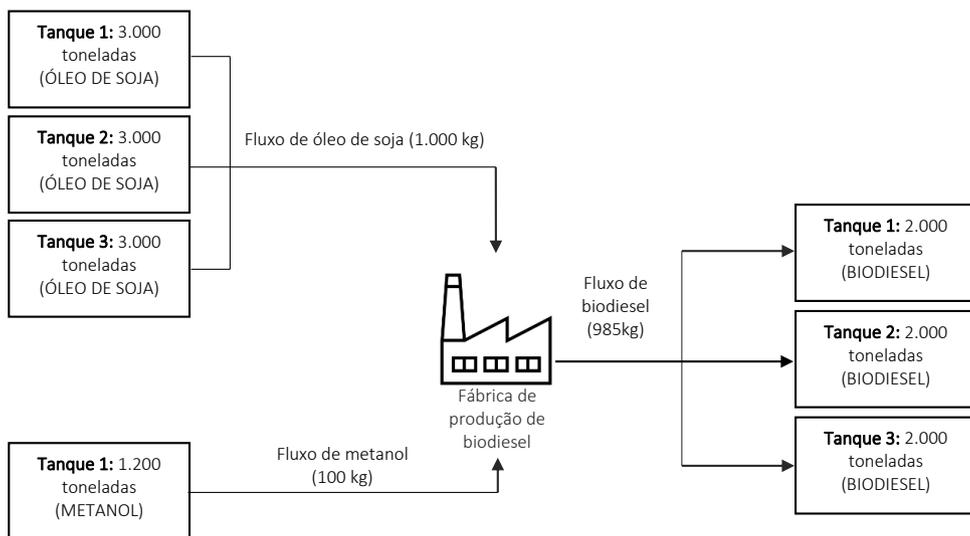
Prater, E., & Whitehead, K. (2013). Inventory Management. In E. Prater & K. Whitehead (Eds). *An introduction to supply chain management: a global supply chain perspective* (pp. 60-80). Business Expert Press LLC.

Como citar este artigo:

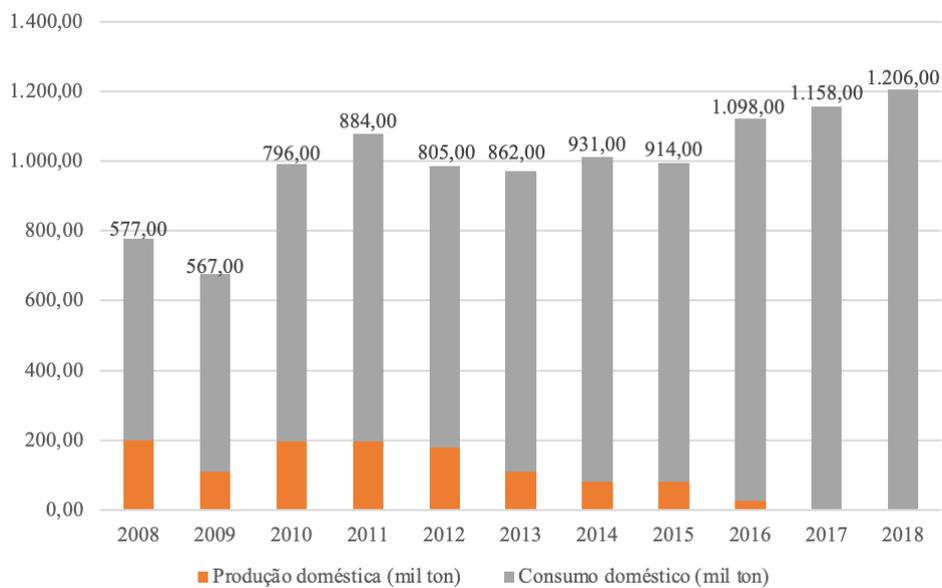
Goulart, D. F., & Campos, J. B. S. (2024). Gestão de estoques no grupo nobre: o desafio do metanol. *Internext*, 19(3), 1-21. <https://doi.org/10.18568/internext.v19i3.744>



Anexo 1. Fluxograma da operação industrial do Grupo Nobre em Araguari.



Anexo 2. Fluxo de produção de biodiesel no Grupo Nobre.



Fonte: EPE (2019). *Competitividade do Gás Natural: Estudo de Caso na Indústria de Metanol*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.

Anexo 3. Consumo anual de metanol no Brasil.

Anexo 4. Série temporal diária de produção de biodiesel.

Data	Produção (ton)
01/05/2021	970,00
02/05/2021	956,00
03/05/2021	958,00
04/05/2021	949,00
05/05/2021	957,00
06/05/2021	968,00
07/05/2021	970,00
08/05/2021	962,00
09/05/2021	946,00
10/05/2021	945,00
11/05/2021	969,00
12/05/2021	954,00
13/05/2021	958,00
14/05/2021	948,00
15/05/2021	975,00
16/05/2021	961,00
17/05/2021	956,00
18/05/2021	947,00
19/05/2021	945,00
20/05/2021	948,00
21/05/2021	947,00
22/05/2021	957,00
23/05/2021	959,00
24/05/2021	964,00
25/05/2021	960,00
26/05/2021	946,00
27/05/2021	955,00
28/05/2021	959,00
29/05/2021	957,00
30/05/2021	965,00
31/05/2021	970,00
01/06/2021	946,00
02/06/2021	954,00
03/06/2021	961,00
04/06/2021	963,00
05/06/2021	966,00
06/06/2021	968,00
07/06/2021	967,00
08/06/2021	967,00
09/06/2021	956,00

Continua...

Anexo 4. Continuação.

Data	Produção (ton)
10/06/2021	950,00
11/06/2021	948,00
12/06/2021	962,00
13/06/2021	958,00
14/06/2021	946,00
15/06/2021	961,00
16/06/2021	960,00
17/06/2021	964,00
18/06/2021	957,00
19/06/2021	968,00
20/06/2021	960,00
21/06/2021	964,00
22/06/2021	946,00
23/06/2021	960,00
24/06/2021	975,00
25/06/2021	948,00
26/06/2021	970,00
27/06/2021	948,00
28/06/2021	964,00
29/06/2021	959,00
30/06/2021	949,00
01/07/2021	958,00
02/07/2021	971,00
03/07/2021	975,00
04/07/2021	957,00
05/07/2021	974,00
06/07/2021	956,00
07/07/2021	967,00
08/07/2021	961,00
09/07/2021	956,00
10/07/2021	961,00
11/07/2021	963,00
12/07/2021	945,00
13/07/2021	966,00
14/07/2021	945,00
15/07/2021	958,00
16/07/2021	971,00
17/07/2021	961,00
18/07/2021	973,00
19/07/2021	964,00
20/07/2021	973,00

Continua...

Anexo 4. Continuação.

Data	Produção (ton)
21/07/2021	968,00
22/07/2021	952,00
23/07/2021	958,00
24/07/2021	973,00
25/07/2021	969,00
26/07/2021	961,00
27/07/2021	952,00
28/07/2021	964,00
29/07/2021	951,00
30/07/2021	950,00
31/07/2021	948,00
01/08/2021	947,00
02/08/2021	961,00
03/08/2021	963,00
04/08/2021	955,00
05/08/2021	968,00
06/08/2021	963,00
07/08/2021	973,00
08/08/2021	949,00
09/08/2021	953,00
10/08/2021	965,00
11/08/2021	967,00
12/08/2021	967,00
13/08/2021	964,00
14/08/2021	957,00
15/08/2021	955,00
16/08/2021	975,00
17/08/2021	953,00
18/08/2021	957,00
19/08/2021	962,00
20/08/2021	949,00
21/08/2021	963,00
22/08/2021	963,00
23/08/2021	945,00
24/08/2021	947,00
25/08/2021	949,00
26/08/2021	969,00
27/08/2021	948,00
28/08/2021	957,00
29/08/2021	954,00
30/08/2021	973,00
31/08/2021	946,00

Anexo 5. Séries temporais de preços médios mensais de metanol na condição *Cost, Insurance and Freight* — CIF Araguari (R\$/ton) e *Free on Board* — FOB porto (USD/ton), valor médio mensal do dólar americano e frete médio mensal de Santos a Araguari.

Data	Preços em R\$/ton, CIF Araguari - fornecedor exclusivo	Preços (USD/ton), FOB Santos	R\$/USD	Frete Santos-Araguari (R\$/ton)
mar-19	4.635,00	1.013,80	3,72	616,00
abr-19	3.694,00	900,71	3,83	374,00
mai-19	3.658,00	813,45	3,87	502,00
jun-19	4.862,00	998,12	4,00	448,00
jul-19	5.000,00	1.079,98	3,88	563,00
ago-19	4.893,00	1.097,87	3,75	533,00
set-19	4.922,00	1.008,09	4,02	443,00
out-19	4.048,00	923,87	4,06	326,00
nov-19	3.963,00	783,29	4,15	520,00
dez-19	3.738,00	745,47	4,18	462,00
jan-20	3.641,00	722,68	4,09	645,00
fev-20	4.322,00	987,01	4,16	370,00
mar-20	3.781,00	731,41	4,32	492,00
abr-20	4.564,00	884,98	4,74	421,00
mai-20	4.769,00	823,87	5,26	425,00
jun-20	3.845,00	597,65	5,82	380,00
jul-20	3.754,00	642,71	5,19	340,00
ago-20	4.064,00	650,22	5,35	586,00
set-20	3.769,00	620,68	5,39	419,00
out-20	4.219,00	632,98	5,27	617,00
nov-20	4.410,00	663,21	5,62	320,00
dez-20	3.837,00	579,87	5,49	544,00
jan-21	4.239,00	720,87	5,10	399,00
fev-21	4.621,00	743,86	5,27	498,00
mar-21	4.628,00	776,54	5,38	443,00
abr-21	4.770,00	721,76	5,63	620,00
mai-21	4.999,00	745,89	5,62	627,00
jun-21	4.830,00	765,32	5,27	566,00
jul-21	3.696,00	589,76	5,09	457,00
ago-21	3.504,00	587,32	5,10	438,00

Anexo 6. Registros de *lead times* de uma grande *trading* que atua no mercado *spot*.

Data de pedido	Data de entrega
01/02/2021	04/02/2021
08/02/2021	13/02/2021
18/02/2021	25/02/2021
03/03/2021	09/03/2021
13/03/2021	16/03/2021
21/03/2021	30/03/2021
25/03/2021	04/04/2021
03/04/2021	09/04/2021
10/04/2021	15/04/2021
14/04/2021	20/04/2021
21/04/2021	27/04/2021
27/04/2021	04/05/2021
05/05/2021	12/05/2021
11/05/2021	19/05/2021
20/05/2021	22/05/2021
23/05/2021	28/05/2021
30/05/2021	04/06/2021
04/06/2021	12/06/2021
11/06/2021	18/06/2021
18/06/2021	22/06/2021
21/06/2021	28/06/2021