Um problema integrado de produção e gestão de estoques para um produto perecível: estudo de caso para análises nos níveis de incerteza da demanda.

Jeferson Auto da Cruz
Unifesp/ ITA/ IFSP
São José dos Campos
jeferson.cruz@ifsp.edu.br

Luiz Leduino de Salles-Neto
Unifesp
São José dos Campos
luiz.leduino@unifesp.br

Cleder M. Schenekemberg
Unifesp/ ITA
São José dos Campos
cledercms@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho aborda um problema de gestão integrada de produção e armazenagem em uma empresa de laticínios, considerando restrições relacionadas à produção, armazenagem e fluxo de materiais na cadeia de suprimentos. Propomos um método que combina otimização e simulação de Monte Carlo para auxiliar os gestores na criação e avaliação de um plano de produção e gestão de estoque para um produto perecível em cenários com demandas incertas. Por meio de um estudo de caso, investigamos a relação entre itens destruídos, nível de serviço e lucros esperados para cenários construídos cm diferentes níveis de incerteza. Os resultados destacam as vantagens do método proposto e ressaltam a importância da precisão dos modelos utilizados na realização da previsão da demanda. Este trabalho apresenta uma eficiente ferramenta para gestão integrada da produção e armazenamento de produtos perecíveis, permitindo decisões mais informadas e otimizadas para os tomadores de decisão que trabalhem com problemas equivalentes.

PALAVRAS CHAVE. Planejamento Integrado de Produção e Estoque, Análises de Incertezas na demanda, Produtos Perecíveis.

L&T – Logística e Transportes, AD&GP – PO na Administração e Gestão da Produção, POI – PO na Indústria.

ABSTRACT

This work addresses an integrated production and storage management problem in a dairy company, considering restrictions related to production, storage and flow of materials in the supply chain. We propose a method that combines optimization and Monte Carlo simulation to assist

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

managers in creating and evaluating a production plan and inventory management for a perishable product in scenarios with uncertain demands. Through a case study, we investigated the relationship between destroyed items, service level and expected profits for scenarios built with different levels of uncertainty. The results highlight the advantages of the proposed method and emphasize the importance of the precision of the models used in carrying out the demand forecast. This work presents an efficient tool for the integrated management of production and storage of perishable products, allowing more informed and optimized decisions for decision makers who work with similar problems.

KEYWORDS. Integrated Planning of Production and Inventory, Analysis of Uncertainties in Demand, Perishable Products.

L&T – Logistics and Transport, AD&GP – PO in Administration and Production Management, POI – PO in Industry

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

1. Introdução.

Planejamento da produção e gestão de estoques é um desafio presente em diferentes setores produtivos. Embora tradicionalmente tenham sido tratados como áreas distintas, é importante destacar que estas atividades estão intrinsecamente relacionadas e influenciam diretamente na eficiência e nos resultados alcançados pelo processo produtivo [Araujo, 2003].

Tradicionalmente as empresas industriais possuem algum tipo de processo permanente de melhoria para redução dos custos operacionais, comumente ligados a uma maior integração da Cadeia de Suprimentos (CS). Ao definir o escopo de um esforço para integração da CS, é sempre aconselhável adotar a maior quantidade de elos possíveis. A oportunidade de melhoria é maior quando mais etapas do processo são consideradas. No entanto, é importante ter cuidado para não tornar o escopo tão amplo que os recursos disponíveis sejam insuficientes para alcançar conclusões efetivas [Cóccola et al., 2022].

Neste trabalho, abordamos um problema da gestão integrada de produção e armazenamento de produtos perecíveis inspirado em um problema prático enfrentado por uma grande indústria do setor de laticínios. Esse problema considera quatro níveis da cadeia de suprimentos e envolve atividades de produção em múltiplas fábricas, o armazenamento de itens em armazéns integrados às fábricas, o abastecimento de vários centros de distribuição e o atendimento de demandas da rede varejista. Duas características críticas desse problema são a perecibilidade dos produtos e a incerteza da demanda ao longo do horizonte de planejamento.

A incerteza na previsibilidade da demanda leva aos gestores a adotarem um estoque de segurança como medida para lidar com possíveis flutuações na demanda e assegurar um Nível de Serviço (NS) mais elevado na operação da CS. Por sua vez a perecibilidade dos produtos levam a necessidade de destruição dos itens que atingem o tempo máximo de comercialização (m). O desafio dos tomadores de decisão reside em determinar quando produzir os produtos e quais quantidades manter em estoque, encontrando um equilíbrio entre o atendimento dos clientes e a minimização dos custos associados à armazenagem e a destruição de itens devido à expiração do tempo de comercialização dos produtos.

O método proposto para abordar o problema prático consiste na utilização de um modelo matemático que realiza um Plano de Gestão Integrado de Produção e Estoques (PGIPE) que visa otimizar o lucro total para uma demanda esperada. Se a demanda fosse conhecida à priori, este PGIPE forneceria o plano de gestão que permitiria os resultados otimizados para o horizonte de planejamento considerado. Entretanto a demanda é incerta e exige uma ferramenta que possibilite uma análise diante de um rol de possíveis cenários. Assim, é utilizada uma simulação de Monte Carlo para avaliar os resultados esperados da implementação do PGIPE em diferentes cenários com níveis variados de incerteza nas demandas. Esses cenários são construídos a partir de demandas registradas em períodos anteriores, e a simulação de Monte Carlo é realizada com demandas simuladas geradas a partir de um determinado padrão de probabilidade utilizado como uma medida da incerteza envolvida no processo.

O modelo matemático desenvolvido para abordar esse problema é extenso e está atualmente em fase de análise por uma renomada revista científica. Devido à extensão do modelo e ao processo de revisão em andamento, não será possível apresentá-lo integralmente durante este simpósio. No entanto, neste trabalho, iremos compartilhar uma visão geral do problema, discutir os principais desafios e apresentar alguns resultados preliminares obtidos até o momento. O objetivo é fornecer uma compreensão abrangente do trabalho em andamento e realizar uma análise das incertezas em relação às demandas esperadas, utilizadas para a obtenção do PGIPE, por meio de um estudo de caso.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

2. Otimização e a integração na cadeia de suprimentos de produtos perecíveis.

Grossmann [2012] destaca a importância do desenvolvimento de ferramentas computacionais eficazes para a gestão logística, especificamente na área de *Enterprise-Wide Optimization* (EWO).Chandra e Fisher [1994] foram pioneiros ao propor a integração das decisões de produção e distribuição. Desde então, vários autores têm abordado a coordenação da cadeia de suprimentos, buscando otimizar a gestão em diferentes aspectos [Pauls-Worm et al., 2014; Zeballos et al., 2014; Hendrix et al., 2015; Yu, 2019; Cóccola et al., 2022].

Kopanos et al. [2012] desenvolveram uma estrutura de Programação Linear Mista Inteira (MILP) para resolver um problema de processamento de alimentos e planejamento logístico considerando produção, trocas, estoque e transporte no atendimento à demanda dos clientes. Os resultados apontaram para grandes benefícios obtidos através de uma maior integração da CS.

Perez e Torres [2020] realizam uma revisão abrangente dos modelos e tópicos de gestão de estoques de itens perecíveis encontrados na literatura entre 2001 e 2018. Eles identificaram uma predominância de trabalhos teóricos nessa área e ressaltaram a necessidade de incorporar elementos práticos que forneçam diretrizes úteis para os profissionais. Embora a maioria dos trabalhos adote modelos determinísticos em vez de estocásticos, os autores destacam muitas oportunidades para pesquisas com modelos determinísticos que explorem diferentes situações do problema. Os autores também mencionam que o compartilhamento de informações entre os vários níveis da cadeia de suprimentos e o estabelecimento de políticas gerenciais são desafios significativos para a gestão de estoques. Adicionalmente há uma crescente busca por abordagens que considerem a sustentabilidade na modelagem do dimensionamento de lotes.

O estudo realizado por Malik et al. [2022] apresenta uma revisão abrangente dos trabalhos que abordam CS na indústria de laticínios no período de 2013 a 2022. O trabalho investiga as técnicas de otimização utilizadas nesse contexto e como elas contribuem para melhorar a gestão da cadeia de suprimentos do setor. Embora a maioria das abordagens ainda se baseie em modelos matemáticos de otimização, os autores observam um aumento significativo no uso de técnicas de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina (AM). O estudo também destaca os desafios e oportunidades emergentes no setor, enfatizando a importância do aprimoramento das tecnologias de monitoramento em tempo real, a maior integração dos elos da cadeia de suprimentos e o aprofundamento do uso de técnicas de IA e AM para melhorar a gestão da cadeia de suprimentos das empresas do setor de laticínios.

3. O problema integrado de produção e gestão de estoques para um produto perecível.

O problema apresentado neste artigo foi inspirado em um problema prático enfrentado por uma das três maiores produtoras de alimentos lácteos do Brasil e visa a determinação dos dias de produção e das quantidades armazenadas em dois níveis de armazenamento para um rol de produtos perecíveis. A solução visa o atendimento de uma demanda incerta, buscando minimizar custos devido ao armazenamento e destruição de itens ao longo do horizonte de planejamento. Um Estoque de Segurança Relativo à Demanda Esperada (ESRDE ou γ^{st}) é utilizado para absorver possíveis flutuações em torno da demanda esperada (d^{st}) considerada na etapa de planejamento. Com a utilização do estoque de segurança, a quantidade disponível (S_2^{st}) em cada centro de distribuição deve ser dada por:

$$S_2^{st} \geq d^{st} \times (\gamma^{st} + 1) \qquad \forall s \in S, \forall t \in T \qquad (1)$$

Onde: S é o conjunto de todos os centros de distribuição s, F é o conjunto de todas as

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

fábricas e armazéns integrados f e T o conjunto de todos os períodos t do horizonte de planejamento.

A Figura 1 apresenta o fluxo logístico dos itens produzidos e distribuídos ao longo dos 4 níveis considerados da CS . Os gestores devem realizar um planejamento de produção e dimensionamento de lotes para reabastecimento da rede de armazenamento e atendimento da rede varejista enquanto todas as restrições práticas são atendidas. O conjunto de restrições compreendem: intervalo mínimo de produção (δ^f); utilização de estoque de segurança nos centros de distribuição (γ^{st}); tempo de transporte entre armazéns das fábricas e centros de distribuição (τ^{fs}); remessa de lotes, entre os armazéns das fábricas e os centros de distribuição, com quantidades mínimas (L^{fs}_{min}) e de múltiplos itens (L^{fs}_{mult}); impedimento de recebimento de lotes, nos centros de distribuição, em determinados períodos do horizonte de planejamento (ρ^{fs}); e a utilização de uma política de emissão de lotes Primeiro que Vence, Primeiro que Sai (PVPS) nos armazéns das fábricas e centros de distribuição. No PVPS, o produto com a data de vencimento mais próxima é enviado ou utilizado primeiro, garantindo que os itens mais antigos sejam enviados antes dos mais novos em estoque, mantendo o estoque rejuvenescido e auxiliando na redução de desperdício de produtos.

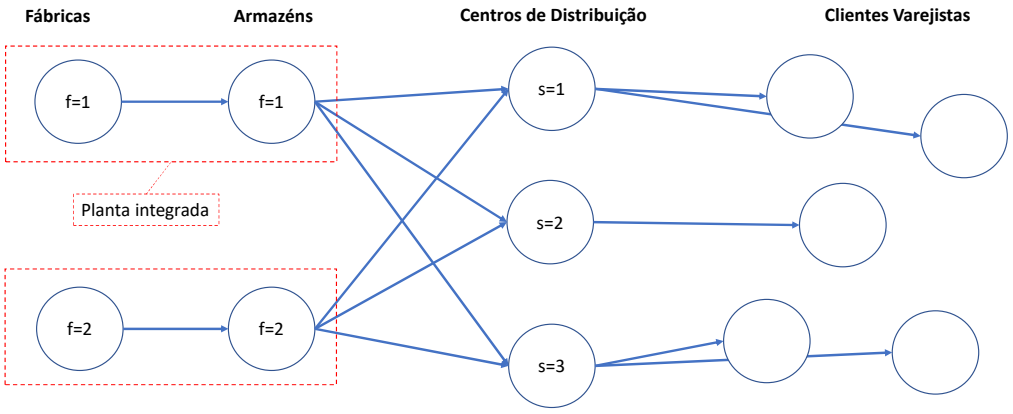


Figura 1: Fluxo logístico de uma cadeia de suprimentos de 4 níveis: múltiplas fábricas, armazéns e centros de distribuição.

4. Método proposto para solucionar o problema apresentado.

O método proposto para abordar o problema apresentado neste trabalho utiliza uma sequência de passos apresentados no fluxograma da Figura 2. O método consiste em duas principais etapas: a obtenção do plano de gestão PGIPE e a verificação dos resultados esperados (VRP-GIPE). Na primeira etapa, utiliza-se um modelo matemático para gerar o plano de gestão. O modelo determinístico busca maximizar o lucro total diante do seguinte conjunto de variáveis de decisão: Q^{ft}: Quantidade produzida na fábrica f, no início do período t; I_1^{fvt}: Quantidade armazenada no armazém integrado a fábrica f, com idade v, ao final do período t; S_1^{ft}: Quantidade disponível no armazém integrado a fábrica f, no início do período t; I_2^{svt}: Quantidade armazenada no centro de distribuição s, com idade v, ao final do período t; S_2^{st}: Quantidade disponível no centro de distribuição s, no início do período t; D^{svt}: Quantidade entregue aos clientes finais do centro de distribuição s, com idade v, durante o período t; E^{fsvt}: Quantidade enviada do armazém integrado a fábrica f para o centro de distribuição s, com idade v, no início do período t; R^{fsvt}: Quantidade recebida no centro de distribuição s enviado do armazém integrado a fábrica f, com idade v, no

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

início do período t;

A função objetivo apresentada na Equação 2 considera os seguintes elementos: Y^{ft}: variável auxiliar binária indicativa da produção na fábrica f, no período t; preços unitários de venda (sp^s) no centro de distribuição s, custo de preparação da produção (sc^f) na fábrica f, custo unitário de produção (uc^f) na fábrica f, custo de manuseio e transporte (tc^{fs}) entre os armazéns da fábrica f e o centro de distribuição s, custos de armazenagem e destruição de itens no armazém integrado à fábrica f (h_1^f e w_1^f) e custos de armazenagem e destruição de itens no centro de distribuição s (h_2^s e w_2^s).

$$Max \sum_{t=1}^{|T|}\sum_{s=1}^{|S|}\left[sp^s \times d^{st} - \left(h_2^s \times \sum_{v=1}^{m-1} I_2^{svt} + w_2^s \times I_2^{smt}\right)\right] + \\ -\sum_{t=1}^{|T|}\sum_{f=1}^{|F|}\left[\sum_{s=1}^{|S|}\sum_{v=1}^{m-\tau^{fs}} tc^{fs} \times E^{fsvt} + sc^f \times Y^{ft} + uc^f \times Q^{ft} + \sum_{v=1}^{m-1} h_1^f \times I_1^{fvt} + w_1^f \times I_1^{fmt}\right] \quad (2)$$

Na segunda etapa, é realizada a verificação dos resultados esperados por meio de uma rotina de simulação que verifica os níveis de estoque e as idades dos itens nos centros de distribuição de acordo com as demandas simuladas. Nessa etapa, são executadas várias repetições das simulações, utilizando diferentes cenários de demanda simuladas com base em dados reais. O grande volume de dados gerados permite a realização de análises estatísticas em relação aos resultados esperados de: lucro, vendas perdidas, itens destruídos e níveis de serviço. Após o fim da segunda etapa,os valores do estoque de segurança nos dados de entrada são alterados e submetidos novamente às etapas do processo representadas no fluxograma da Figura 2. Esse processo é repetido diversas vezes, verificando os novos resultados obtidos (para cada variação do ESRDE), até que se obtenha um mapeamento abrangente dos possíveis resultados para os indicadores analisados. A abordagem iterativa proposta fornece uma compreensão mais completa dos efeitos do estoque de segurança nas métricas de desempenho, permitindo aos gestores avaliar diferentes estratégias e tomar decisões com base em uma ampla gama de possíveis resultados como debatido na Seção 5.

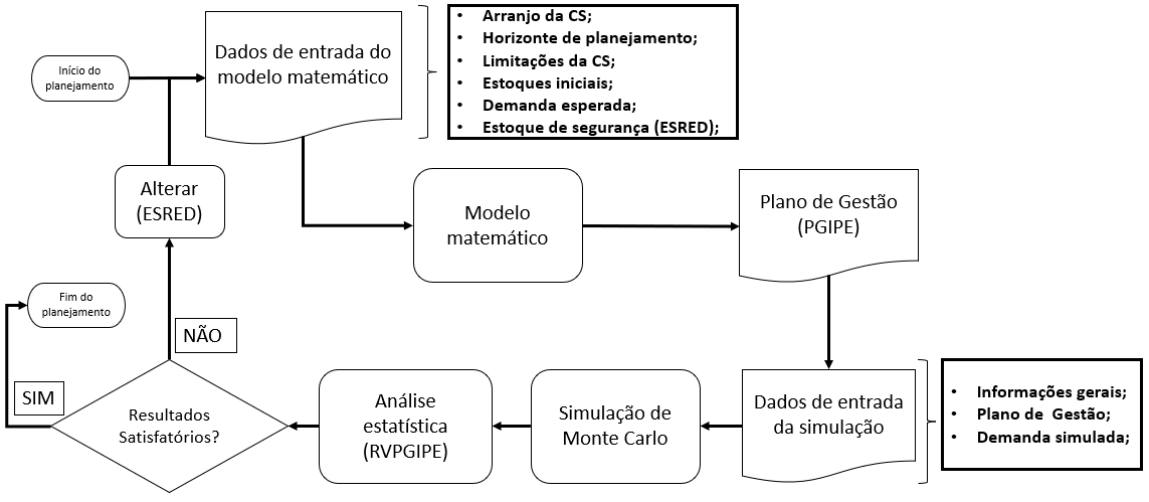


Figura 2: Fluxograma do método proposto para abordar o problema considerado neste trabalho.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

O planejamento PGIPE, é considerado estático pois, independentemente dos níveis de estoque observados nos centros de distribuição durante a simulação, a produção e o dimensionamento dos lotes enviados pelos armazéns integrados à fábrica permanecem inalterados, conforme valores determinados para as variáveis de decisão pelo modelo matemático.

5. Estudo de caso: análise da incerteza.

O estudo de caso apresentado a seguir tem o objetivo de realizar uma análise de diferentes graus de incertezas quanto a demanda esperada no momento de realização do planejamento e verificar a aplicabilidade do método proposto em uma situação prática, utilizando dados operacionais reais fornecidos pela empresa que nos apresentou o problema abordado neste artigo. Definimos demandas realizadas como as demandas reais que nos foram fornecidas para o estudo de caso, demandas esperadas como as demandas previstas utilizadas para geração do PGIPE e demandas simuladas como as demandas utilizadas no estágio de simulação de Monte Carlo para realização da verificação VRPGIPE.

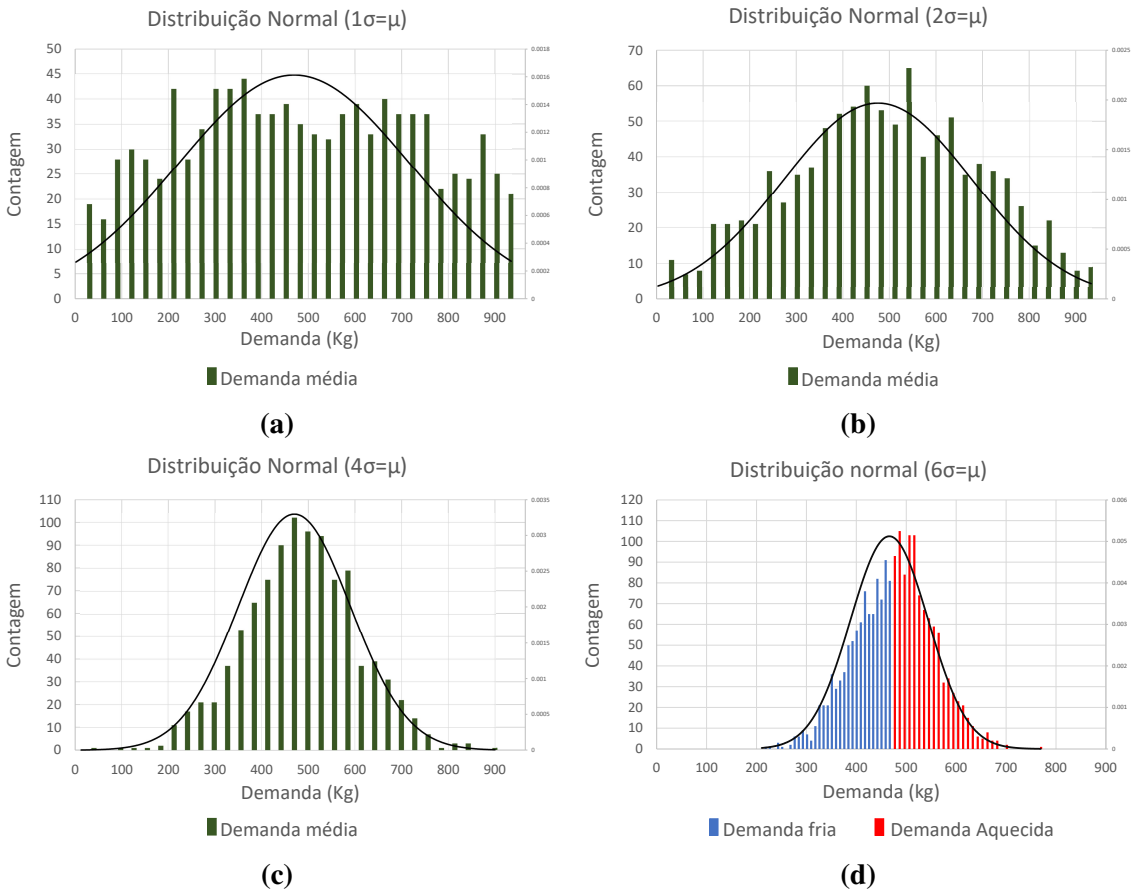


Figura 3: Exemplos de dados gerados para as simulações com demanda média e fria/quente obtidos considerando um padrão normal de distribuição de probabilidade com valor médio $\mu = 467kg$ e desvios padrão: (a) $\pm\sigma = \mu$; (b) $\pm 2\sigma = \mu$; (c) $\pm 4\sigma = \mu$; (d) $\pm 6\sigma = \mu$.

As instâncias analisadas neste estudo de caso para um produto apresentam as seguintes informações: número de fábricas $nf = 1$, número de centros de distribuição $ns = 5$, número de

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

períodos do horizonte de planejamento $tp = 61$ períodos, intervalo mínimo de produção $\delta^f = 4$, número de repetições na simulação de Monte Carlo $nr = 1000$ para cada cenário. Em virtude da grande quantidade de dados que compõe a instância analisada, as demais informações não serão apresentadas no corpo deste trabalho (incluindo a demanda real utilizada para geração das demandas esperadas e simuladas), mas poderão ser disponibilizadas em contato com os autores deste trabalho.

A distribuição de probabilidade adotada na construção dos dados simulados é uma estimativa do padrão de incerteza na demanda para o horizonte de planejamento considerado. Essa estimativa pode ser baseada em diversos elementos, como: no conjunto histórico de dados de períodos anteriores, em informações sobre eventos futuros, nas previsões de crescimento ou retração de mercados locais ou globais, em campanhas promocionais planejadas ou na experiência acumulada pelos agentes envolvidos. Essas informações são utilizadas para determinar uma distribuição de probabilidade que represente a variabilidade e incerteza associadas à demanda, permitindo assim a geração de cenários simulados que capturem a incerteza presente no momento da realização do planejamento. A Figura 3 apresenta os padrões de distribuição de probabilidade que representam a incerteza para geração das demandas esperadas e simuladas utilizadas para geração do plano PGIPE e pela verificação VRPGIPE previstos no método proposto e apresentado na Seção (4).

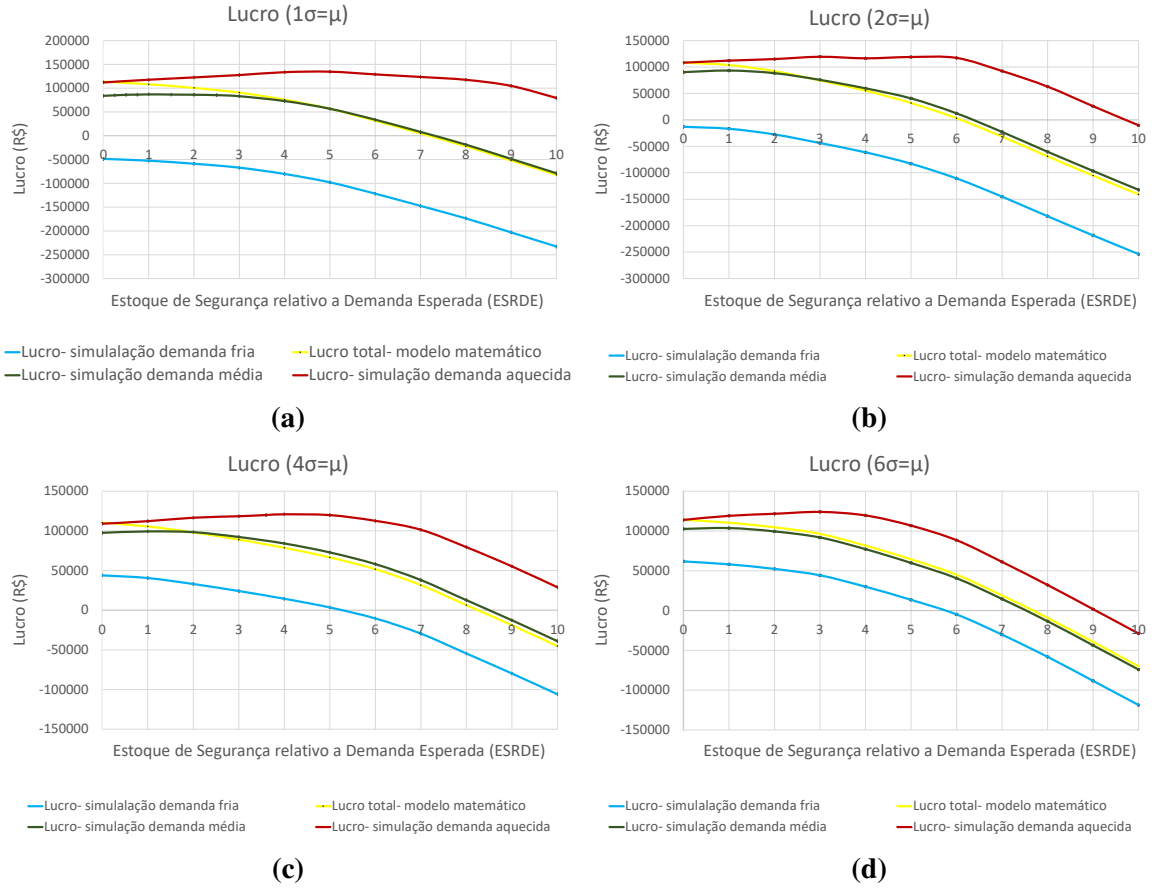


Figura 4: Resultados de Lucros esperados para os três cenários analisados em relação aos os níveis de incerteza: (a) $\pm\sigma = \mu$, (b) $\pm 2\sigma = \mu$, (c) $\pm 4\sigma = \mu$ e (d) $\pm 6\sigma = \mu$.

Para cada nível de incerteza ($\pm\sigma = \mu$, $\pm 2\sigma = \mu$, $\pm 4\sigma = \mu$ e $\pm 6\sigma = \mu$), cada centro de

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

distribuição (s) e cada período (t) são gerados mil e um dados de demanda de acordo com os três padrões de distribuição de probabilidade considerados (frio, médio e aquecido). A Figura 3 apresenta exemplos de dados gerados para um destes períodos nos níveis de incertezas considerados. As Figuras 3 (a), (b) e (c) exemplificam os dados gerados para as demandas médias e a Figura 3 (d) para as demandas frias e aquecidas. As demandas médias foram obtidas considerando toda a distribuição de probabilidade normal entre o valor mínimo zero até um valor máximo de duas vezes o valor da média considerada para cada ponto dentro do horizonte de planejamento. As demandas simuladas frias foram obtidas considerando a geração de dados da distribuição de probabilidade normal entre o valor mínimo zero até o valor da média considerada (lado esquerdo da distribuição normal) para cada ponto dentro do horizonte de planejamento. As demandas aquecidas foram obtidas considerando a geração de dados da distribuição de probabilidade normal entre o valor mínimo dado pelo valor da média até o dobro deste valor médio considerado (lado direito da distribuição normal) para cada ponto dentro do horizonte de planejamento.

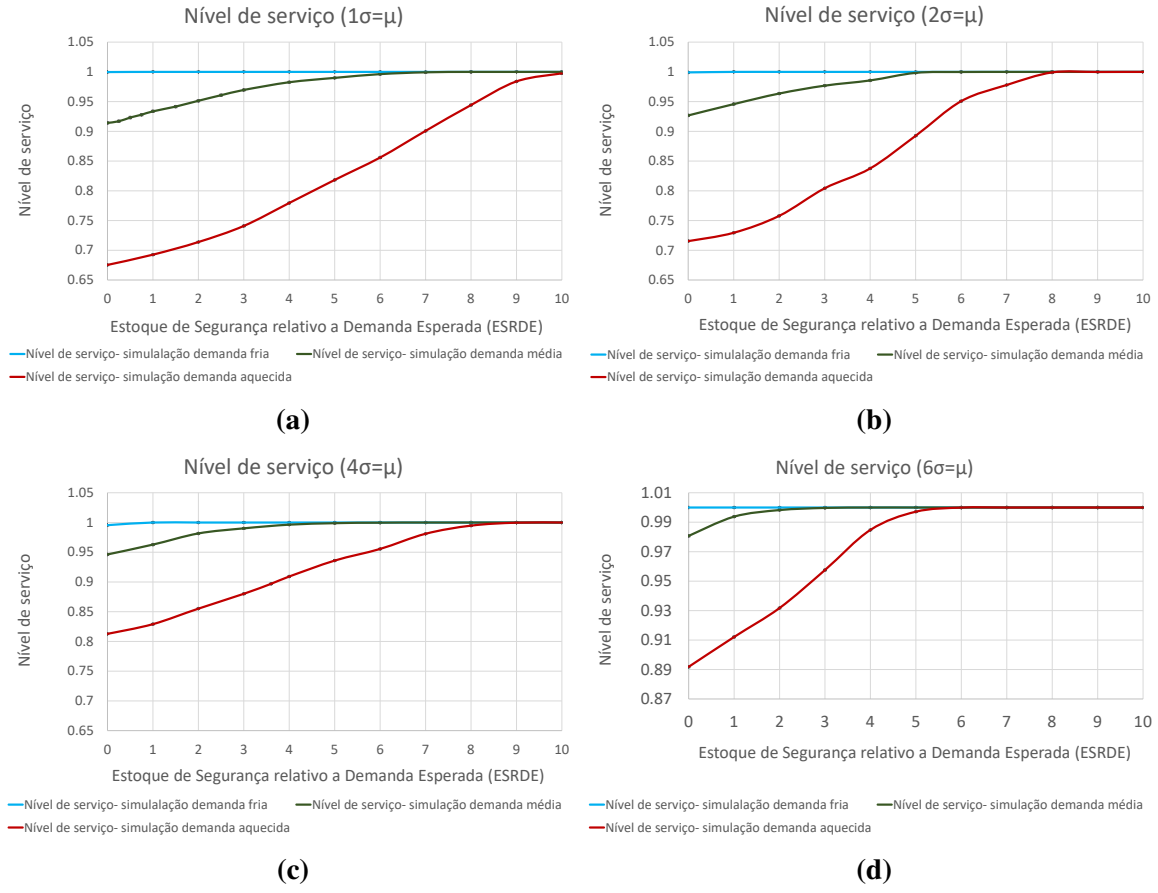


Figura 5: Resultados de níveis de serviço esperados para os três cenários analisados em relação aos os níveis de incerteza: (a) $\pm\sigma = \mu$, (b) $\pm 2\sigma = \mu$, (c) $\pm 4\sigma = \mu$ e (d) $\pm 6\sigma = \mu$.

Neste estudo de caso, para cada nível de incerteza estudado (definidos pelos desvios padrão σ) foram construídos três cenários a partir da comparação dos resultados obtidos no PGIPE para as demandas esperadas médias em confronto com os resultados verificados no VRPGIPE para as demandas simuladas: fria, média e aquecida. Assim, no total, são analisados 12 cenários cujos

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

resultados são apresentados nas Figuras 4–6.

Comparando as curvas de lucro previsto e nível de serviço para os planejamentos com os níveis de incerteza considerados (Figuras 4–5) observamos que quanto menor a dispersão em torno dos dados considerados mais "próximas" as curvas dos cenários com demanda fria, média e aquecida se tornam. Ainda que esperado, esta visualização apresenta aos tomadores de decisão uma medida do quão relevante se torna a busca por previsões mais precisas. Também é possível fornecer uma visão geral dos resultados esperados para os diferentes níveis de incertezas que se tenha, sobretudo pelo conhecimento de operação dos mercados, no momento da realização do planejamento e verificar quais níveis de estoques de segurança garantem os resultados almejados.

A Figura 6 apresenta os resultados para os cenários com demandas simuladas: fria, média e aquecida para os ensaios com nível de incerteza $\pm\sigma = \mu$ e cenário com demanda simulada média para $\pm 6\sigma = \mu$. Nestes resultados é possível observar as quantidades de perdas de venda, itens destruídos, itens produzidos e demanda total esperada em cada cenário para os diferentes níveis de $ESRDE$.

Tabela 1: Indicadores de lucro esperado e percentual de itens destruídos em relação ao volume total de itens produzidos para o exemplo com $NS \geq 0,9$ independentemente do cenário considerado.

σ	ESRDE	Indicador	Sim. dem. fria	Sim. dem. média	Sim. dem. aquecida
$\pm\sigma = \mu$	$ESRDE \approx= 7$	Lucro esperado	$-R\$147.415,00 \pm 257,09$	$R\$8.037,25 \pm 485,35$	$R\$123.631,00 \pm 96,33$
		Dest./Prod.	44.13%	15.61%	4.29%
$\pm 2\sigma = \mu$	$ESRDE \approx= 5$	Lucro esperado	$-R\$82.909,60 \pm 220,34$	$R\$40.670,20 \pm 394.27$	$R\$118.935,00 \pm 109,84$
		Dest./Prod.	23.54%	3.36%	0%
$\pm 4\sigma = \mu$	$ESRDE \approx= 3,6$	Lucro esperado	$R\$18.444,40 \pm 142,96$	$R\$88.122,20 \pm 209,52$	$R\$119.937,00 \pm 33,28$
		Dest./Prod.	4.89%	0,58%	0%
$\pm 6\sigma = \mu$	$ESRDE \approx= 0,5$	Lucro esperado	$R\$60.446,10 \pm 98,42$	$R\$104.011,00 \pm 114.304$	$R\$116.405,00 \pm 12,49$
		Dest./Prod.	1.10%	0,37%	0

A determinação da política de estoque de segurança é subjetiva e depende dos objetivos e aversão ao risco de cada operação. Em uma situação hipotética em que os gestores buscam alcançar um nível de serviço $NS \geq 0,9$, independentemente do cenário considerado, são observados os seguintes níveis de estoque de segurança necessários: $ESRDE \approx 7$, $ESRDE \approx 5$, $ESRDE \approx 3$, e $ESRDE \approx 0,5$ para os planejamentos com incertezas representadas por: $\pm\sigma = \mu$, $\pm 2\sigma = \mu$, $\pm 4\sigma = \mu$ e $\pm 6\sigma = \mu$ respectivamente (Figura 5). A Tabela 1 apresenta os lucros esperados e as quantidades de itens destruídos previstos para os níveis de estoque de segurança apontados. Para cada um dos níveis de incerteza considerados, os cenários com simulações geradas pelo padrão de distribuição médio representam os cenários mais prováveis. Observa-se, na comparação dos resultados destes cenários, que a diminuição da incerteza garante resultados muito mais eficientes, relevantes aumentos nos lucros esperados e elevada redução na quantidade de itens destruídos. Para um nível de incerteza $\pm\sigma = \mu$ os resultados apontam para um desperdício de 15,61% da quantidade total produzida enquanto para $\pm 6\sigma = \mu$ as quantidades previstas se reduzem para 0,37%. Em relação aos lucros, os valores são de $R\$8.037,25 \pm 485,35$ e $R\$104.011,00 \pm 114.304$, um aumento de 1194.11% nos valores esperados.

No exemplo apresentado, quanto menor a dispersão dos dados, menores são os níveis de estoque de segurança necessários para alcançar os resultados almejados e consequentemente menores são os custos de produção, armazenagem e a possibilidade de haver destruição de itens ao longo do horizonte de planejamento. Isto pode ser observado analisando as Figuras 6(c)–6(d).

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

Como o nível de estoque de segurança ($ESRDE \approx 0,5$) necessário para garantir $NS \geq 0,9$, nos três cenários gerados, a partir do nível de incerteza $\pm 6\sigma = \mu$ é menor do que para a situação representada por um nível de incerteza $\pm\sigma = \mu$ ($ESRDE \approx 7$), o volume de produtos produzidos é significantemente menor: $33.129kg$ e $44.680kg$ respectivamente. Observando que a demanda total é aproximadamente a mesma para os dois cenários ($\approx 34.755kg$), verificamos que grande parte do excedente produzido ($6.976.16 \pm 35.89$) acaba atingindo o prazo máximo para comercialização ($m = 23$ períodos) e são destruídos ao final do período.

Na comparação dos resultados obtidos pelos diferentes níveis de incerteza considerados (Figura 4), também observamos que: enquanto para um planejamento com incertezas representadas por $\pm\sigma = \mu$ e $\pm 2\sigma = \mu$ não há valor de $ESRDE$ que possa garantir um lucro em todos os cenários simulados (visto que, para os dois níveis de incertezas, nos cenários com demanda fria o lucro previsto é negativo mesmo com um $ESRDE = 0$), para os planejamentos com incertezas representadas por $\pm 4\sigma = \mu$ e $\pm 6\sigma = \mu$, a adoção de um estoque de segurança de até $ESRDE \approx 5$ e $ESRDE \approx 6$ respectivamente, asseguram uma operação com lucros para os três cenários considerados.

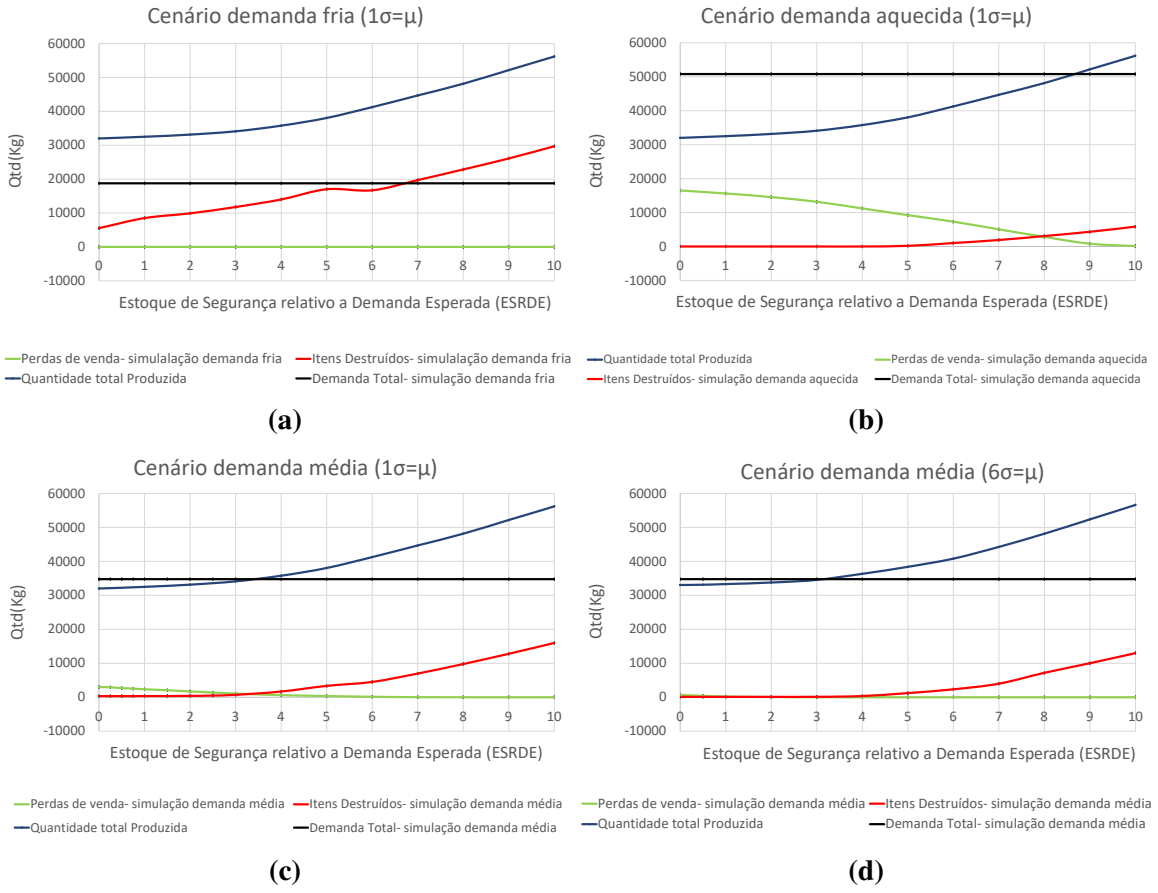


Figura 6: Resultados de perdas de venda e itens destruídos para os cenários: (a) demanda fria ($\pm\sigma = \mu$), (b) demanda aquecida ($\pm\sigma = \mu$), (c) demanda média ($\pm\sigma = \mu$) e (d) demanda média ($\pm 6\sigma = \mu$) .

Diversos outros indicadores podem ser analisados para cada cenário, como: nível de serviço alcançado com a adoção de $ESRDE = 0$, nível de $ESRDE$ necessário para alcançar

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

nível de serviço $NS = 1$, relação entre o lucro obtido pelo modelo matemático e o lucro esperado após a realização da simulação, nível $ESRDE$ que produziria uma expectativa de prejuízo para a operação, relação de itens destruídos pela demanda total esperada, relação entre o volume de itens destruídos pelo volume total produzido, relação entre os volumes de perdas de vendas e itens destruídos, nível de $ESRDE$ para alcance do lucro máximo esperado, dentre outros possíveis indicadores de interesse dos tomadores de decisão. Em todos os indicadores é possível observar a grande relevância e valor na estimativa das incertezas no mercado em que a operação é realizada. Essas análises são fundamentais para auxiliar os tomadores de decisão na busca por estratégias mais eficientes, rentáveis e sustentáveis.

6. Conclusão e próximos passos.

Neste trabalho abordamos um problema prático integrando decisões de produção e gestão de estoques para um produto perecível. Apresentamos uma visão geral do método desenvolvido para abordar o problema e realizamos um estudo de caso utilizando dados operacionais reais. Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade do método proposto e examinar a relação entre os resultados esperados para diferentes graus de incerteza na demanda, analisamos os resultados obtidos para quatro níveis de incerteza utilizados na geração das demandas esperadas e simuladas ($\pm\sigma = \mu$, $\pm 2\sigma = \mu$, $\pm 4\sigma = \mu$ e $\pm 6\sigma = \mu$).

O método proposto consiste em duas etapas principais: a etapa de obtenção do plano de gestão PGIPE e a verificação dos resultados esperados na etapa VRPGIPE. Na primeira, é utilizado um modelo matemático para gerar o plano de gestão, que busca maximizar o lucro total considerando diversas variáveis de decisão. Na segunda etapa, é realizada a verificação dos resultados esperados por meio de simulações que consideram diferentes cenários de demanda simulada. As duas etapas são executadas para um conjunto de níveis de estoque de segurança, gerando um grande volume de dados que possibilita a análise estatística dos resultados em relação ao lucro, vendas perdidas, itens destruídos e níveis de serviço, assim como uma compreensão abrangente dos efeitos do estoque de segurança em um grande rol de métricas de desempenho.

Os resultados obtidos demonstraram que, quanto menor a dispersão dos dados considerados, mais próximas se tornaram as curvas de lucro e nível de serviço para os cenários com demanda fria, média e aquecida. Isso ressalta a importância de buscar previsões mais precisas, proporcionando uma medida da relevância dessa busca para os tomadores de decisão. Em relação aos indicadores de lucro esperado e o volume de itens destruídos, observou-se que, à medida que o nível de incerteza aumentava, o lucro esperado diminuía e o percentual de itens destruídos em relação ao volume dos itens produzidos aumentava. Os resultados do estudo de caso demonstraram a importância de aprimorar o conhecimento quanto as incertezas na demanda durante o planejamento e forneceram valiosas percepções sobre a relação entre precisão das previsões, estoques de segurança e resultados financeiros e de sustentabilidade.

Na sequencia do trabalho, ao invés de um planejamento estático para todo o horizonte de planejamento, iremos implementar uma abordagem dinâmica por meio de um horizonte rolante. Isso permitirá que os resultados observados em cada período (ou conjunto de períodos) promovam um replanejamento do PGIPE, permitindo ajustar o níveis de estoque de segurança às flutuações da demanda esperada ao longo do horizonte considerado. Esta estratégia será relevante especialmente em cenários com menor precisão nas previsões de demanda.

7. Agradecimento.

Os autores agradecem a empresa Linear Softwares Matemáticos, que nos apresentou a situação problema, forneceu os dados utilizados para realização dos ensaios, além de suporte na

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164

compreensão de questões surgidas ao longo do trabalho.

Referências

Araujo, S. A. (2003). Modelos e métodos para o planejamento e programação da produção aplicados no setor de fundições. *São Carlos: Universidade de São Paulo*.

Chandra, P. e Fisher, M. L. (1994). Coordination of production and distribution planning. *European Journal of Operational Research*, 72(3):503–517. ISSN 0377-2217. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221794904197.

Cóccola, M. E., Basán, N., Méndez, C. A., e Dondo, R. G. (2022). Optimization of resource flows across the whole supply chain. application to a case study in the dairy industry. *Computers & Chemical Engineering*, 158:107632. ISSN 0098-1354. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135421004105.

Grossmann, I. E. (2012). Advances in mathematical programming models for enterprise-wide optimization. *Computers & Chemical Engineering*, 47:2–18. ISSN 0098-1354. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135412002220. FOCAPO 2012.

Hendrix, E., Pauls-Worm, K. G. J., Rossi, R., Gutierrez-Alcoba, A., e Haijema, R. (2015). A sample-based method for perishable good inventory control with a service level constraint. p. 526–540.

Kopanos, G. M., Puigjaner, L., e Georgiadis, M. C. (2012). Simultaneous production and logistics operations planning in semicontinuous food industries. *Omega*, 40(5):634–650. ISSN 0305-0483. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048311001745.

Malik, M., Gahlawat, V. K., Mor, R. S., Dahiya, V., e Yadav, M. (2022). Application of optimization techniques in the dairy supply chain: A systematic review. *Logistics*, 6(4). ISSN 2305-6290. URL https://www.mdpi.com/2305-6290/6/4/74.

Pauls-Worm, K. G. J., Hendrix, E. M. T., Haijema, R., e Van der Vorst, J. G. A. J. (2014). An milp approximation for ordering perishable products with non-stationary demand and service level constraints. *International Journal of Production Economics*, 157:133–146. The International Society for Inventory Research, 2012.

Perez, F. e Torres, F. (2020). Inventory models for managing deteriorating products: a literature review. *Authorea Preprints*.

Yu, J. C. P. (2019). Optimizing a two-warehouse system under shortage backordering, trade credit, and decreasing rental conditions. *International Journal of Production Economics*, 209:147–155. The Proceedings of the 19th International Symposium on Inventories.

Zeballos, L. J., Méndez, C. A., Barbosa-Povoa, A. P., e Novais, A. Q. (2014). Multi-period design and planning of closed-loop supply chains with uncertain supply and demand. *Computers & Chemical Engineering*, 66:151–164. ISSN 0098-1354. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009813541400074X. Selected papers from ESCAPE-23 (European Symposium on Computer Aided Process Engineering - 23), 9-12 June 2013, Lappeenranta, Finland.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175164
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175164