LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

Automated Planning and Scheduling: aplicação na cadeia de suprimentos de produtos lácteos

Felipe Martins Müller
PPGEP - UFSM e CTI Renato Archer
felipe@ufsm.br e felipe.muller@cti.gov.br

Vanessa Andréia Schneider
Universidade Federal de Santa Maria PPGEP - UFSM
vanessaandreias@gmail.com

Vinicius Jacques Garcia
Universidade Federal de Santa Maria PPGEP - UFSM
viniciusjg@ufsm.br

Claudio Roberto Scheer Júnior
claudioscheer@protonmail.com

Scheila Daiana Severo Hollveg
Universidade Federal de Santa Maria PPGEP - UFSM
scheilahollveg@gmail.com

RESUMO

O *Automated Planning and Scheduling* é uma área importante da inteligência artificial que busca criar planos de ação eficientes para alcançar metas específicas, otimizando objetivos. Este estudo foca na aplicação de técnicas de planejamento automatizado em um recorte da cadeia de suprimentos de produtos lácteos, visando fomentar estudos de eficiência operacional e competitividade da área. A linguagem suportada para modelagem do domínio é o PDDL3 e o PDDL+. O *planner* temporal utilizado como solucionador é o OPTIC (*Optimising Preferences and Time-Dependent Costs*), que no presente estudo objetiva minimizar o *makespan*. Conclui-se que o uso de *Automated Planning and Scheduling* mostra-se uma ferramenta promissora em estudos de otimização que aprofundem a melhoria da eficiência da cadeia produtiva de produtos lácteos, bem como a utilização de *planners* temporais.

PALAVRAS CHAVE. ***Automated Planning and Scheduling*. Lactéos. Cadeia de Suprimentos. Inteligência Artificial.**

ABSTRACT

Automated Planning and Scheduling is an important area of artificial intelligence that aims to create efficient action plans to achieve specific goals, optimizing objectives. This study focuses on the application of automated planning techniques in a segment of the dairy products supply chain, aiming to promote operational efficiency and competitiveness in the field. The supported language for domain modeling is PDDL3 and PDDL+. The temporal planner used as a solver is OPTIC (Optimising Preferences and Time-Dependent Costs), which in this study aims to minimize the makespan. It is considered promising to use Automated Planning and Scheduling in optimization studies that deepen the improvement of the dairy products production chain, as well as the use of temporal planners.

KEYWORDS. Automated Planning and Scheduling. Dairy. Supply Chain. Artificial Intelligence

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

1. Introdução

O cotidiano de cada ser humano envolve uma gama de atividades independentes, porém relacionadas entre si, no qual a necessidade pela busca, garantia e acesso aos artefatos que amparem a subsistência, torna fundamental o contínuo empenho para planejamento e organização. A exigência com o planejamento está até mesmo em pequenas tarefas do cotidiano, como o horário em que o jantar deve ser servido, geralmente deve ser estabelecido um plano do momento em que cada atividade deverá acontecer [Baker, K. R.; Trietsch, 2019]. Ao relacionar o cotidiano doméstico com negócios, sequenciar e programar é uma forma de tomada de decisão que desempenha um papel essencial nas indústrias de manufatura e serviços [Pinedo, 2008].

No setor industrial e de beneficiamento de matéria-prima salienta-se a relevância em observar todo o contexto da cadeia de suprimentos, também conhecida como *supply chain management* (SCM). É de suma importância que a gestão da cadeia de suprimentos seja feita levando em consideração todos os níveis, envolvendo desde a matéria-prima, a observância da qualidade do insumo, transporte, permitindo que o consumidor tenha acesso ao produto final dentro das especificações.

Um número significativo de materiais e produtos perecíveis são transferidos, diariamente, de fornecedores para indústrias e de indústrias para varejistas, o que impacta nos custos operacionais e de transporte, nas precauções ambientais, nas restrições de tempo, nas relações com estoque e na alta frequência de transporte [Shafiee et al., 2021]. Para que o consumidor tenha acesso a um produto de qualidade, dentro da validade, com embalagem adequada, atendendo normas, requisitos e cumprindo com sua função, a indústria de beneficiamento busca otimizar e melhor continuamente seus processos com o objetivo de torna-se cada vez mais eficiente.

Um produto que se encontra diariamente na mesa de grande parte dos consumidores mundiais, fonte de nutrição e que apresenta-se nas mais diversas formas é o leite. A indústria de lácteos é fundamental para suprir uma demanda clássica da população do mundo todo e consequentemente impacta na economia, dado o número expressivo de produtos derivados do leite que são comercializados, correspondendo à grande diversidade de gostos e tendências de consumo. O leite está entre as *commodities agropecuárias* mais importantes, além de todos seus benefícios nutricionais é também economicamente relevante, visto que, é promotor de renda e sobrevivência da população envolvida com a obtenção da matéria-prima, transporte do insumo, beneficiamento dos produtos, movimentação do produto final, varejo e pós-venda.

Dado o contexto, esta pesquisa é motivada por um problema prático e através da aplicação do *Automated Planning and Scheduling*, é possível compreender as possibilidades de atuação da ferramenta para otimizar a gestão da cadeia de suprimentos de produtos perecíveis. As características desse problema são embasadas na realidade, na qual um conjunto de plantas industriais de beneficiamento de leite estão localizadas em diferentes cidades com capacidade de produção e armazenamento independentes. Também considera-se a existência de um centro de distribuição em uma das fábricas, onde os produtos que vão para o varejo são estocados.

2. Contexto teórico

Desde que foi citado academicamente pela primeira vez por Johnson [1954] o problema de planejamento e controle de produção tem sido amplamente discutido e estudado, visto que problemas desta magnitude permeiam o cotidiano das atividades de produção e buscam a constante otimização em seus processos. Quando se eleva a complexidade dos problemas tratados, aproximando-se cada vez mais da realidade, como melhorar o desempenho da cadeia produtiva que é responsável por atender as necessidades de milhares (por vezes, milhões) de consumidores através da transformação da matéria-prima em um bem ou a partir da prestação de um serviço, se faz necessária a organização, o planejamento e a otimização. Para Baker, K. R.; Trietsch [2019] um

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

schedule normalmente apresenta em que momento as tarefas devem ser executadas, expressando um planejamento para o tempo de certas atividades.

Desafios que envolvem planejamento e sequenciamento da produção podem ser interpretados de maneira macro como problemas de alocação de recursos ao longo do tempo para realizar um conjunto de tarefas ligadas a alguns processos [Błażewicz, J.; Ecker, K.; Pesch, E.; Schmidt, G. and Węglarz, J.]. Problemas desta natureza são pesquisados utilizando diferentes estratégias de soluções, objetivando a evolução e otimização de processos da cadeia produtiva.

A cadeia produtiva do leite é uma das principais atividades econômicas do Brasil impactando consideravelmente na geração de emprego e renda (da Rocha et al. [2020]. O setor de laticínios contribui para a economia local em 5.551 dos 5.569 municípios brasileiros, onde uma em cada quatro propriedades agrícolas do Brasil estão envolvidos na produção de leite, fornecendo coletivamente cerca de 34,8 bilhões de litros por ano, com um crescimento anual próximo a 3% [BRAZILIAN FARMERS, 2022]. Decisões ótimas de produção e estoque da cadeia de suprimentos de lácteos são investigadas através de um estudo multiobjetivo com três funções de diferentes direções, no qual busca-se minimizar os custos totais, minimizar os impactos ambientais e maximizar os impactos sociais [Shafiee et al., 2021].

O problema integrado de planejamento e programação da produção na indústria de laticínios é observado, quando o objetivo é a minimização do custo total, no qual a função de perda dependente do prazo de validade é adicionada, considerando restrições de prazo de validade, trocas dependentes da sequência, velocidades dependentes do produto, datas de vencimento da demanda, horas de trabalho regulares e extras e entrega aos centros de distribuição Sel et al. [2015].

O planejamento de pedidos de uma cadeia de suprimentos com multifornecedor, múltiplos centros de distribuição, multicliente e matéria-prima perecível, expõe um modelo matemático complexo, resolvido através de algoritmos heurísticos [Yaghoubi e Akrami, 2019]. A indústria de produtos lácteos possui grandes desafios como previsão de demanda, flutuações de preços, *lead time*, lotes de pedidos e pedidos inflados, juntamente com dificuldades de condições climáticas e de tráfego, áreas de armazenamento e embarque que, por sua vez, podem apresentar circunstâncias desfavoráveis [Ali et al., 2021].

A otimização integrada de situações da cadeia de suprimentos tem fomentado pesquisas, nas quais a otimização na produção e transporte são considerados na integração de plantas de produção, armazéns e regiões de clientes, considerando múltiplos períodos de produção [Ghosh e Mondal, 2017]. A expansão de recursos e estratégias de otimização da cadeia produtiva de produtos de origem láctea, possibilita oportunidades de aprimoramento, dada a importância da área e dos derivados, apresentando diversas ramificações para investigações. Desta forma, na presente pesquisa utiliza-se como ferramenta para otimização de um recorte da cadeia de produtos de origem láctea, o *Automated Planning and Scheduling*.

O *Automated Planning and Scheduling* é uma subárea da inteligência artificial (IA) que se concentra em desenvolver estratégias e sequências de ações para alcançar objetivos, utilizando algoritmos avançados de planejamento e otimização, respeitando certas restrições. A importância do planejamento automatizado e de avanços em pesquisas que relacionam problemas reais da indústria para serem solucionados utilizando *Automated Planning and Scheduling*, é endossada através do Concurso Internacional de *Automated Planning*, organizado no contexto da Conferência Internacional sobre *Automated Planning and Scheduling* [ICAPS, 2024].

3. Motivação

O presente estudo busca colaborar principalmente com a literatura ao desenvolver uma modelagem que seja interpretada por um método de Inteligência Artificial (*Automated Planning and Scheduling*), gerenciando as restrições, com delineamento embasado na realidade do setor lácteo. A

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

perspectiva mais prática do problema apresentado, considera restrições reais observadas na indústria alimentícia, buscando tornar o modelo uma ferramenta de interesse acadêmico e prático.

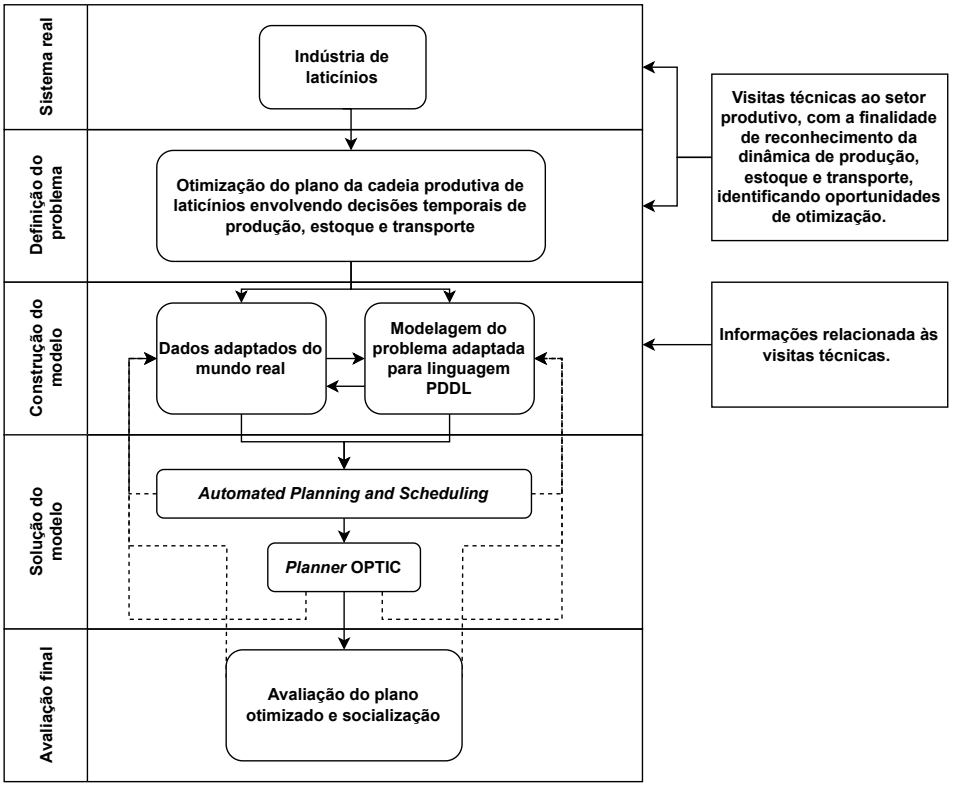
Sendo assim, as principais contribuições desta pesquisa podem ser justificadas da seguinte forma: (i) desenvolver formulação (PDDL) que integre as características e restrições de um problema realístico e apresente soluções satisfatórias em tempo adequado; (ii) considerar a temporalidade como custo para otimização total do plano; (iii) executar o domínio modelado em PDDL em um *planner* com suporte temporal; (v) minimizar o tempo total plano.

Corroborando com a motivação, busca-se responder à seguinte questão: Como o uso do *Automated Planning and Scheduling* pode contribuir para a melhoria da eficiência da cadeia produtiva de produtos lácteos, considerando os desafios específicos desse setor?

4. Metodologia

Para aplicação e otimização do problema delimitado, adaptou-se a metodologia da pesquisa operacional, sugerida por Belfiore e Fávero [2013], conforme exposto na Figura 1. De maneira geral, o processo decisório passa por quatro etapas importantes: identificar o problema, formular objetivos, analisar limitações e avaliar alternativas [Marins, 2011]. Para o presente estudo, identificou-se dentro de um sistema real da indústria de laticínios, possibilidades para contribuições acadêmicas. Após visitas técnicas realizadas, definiu-se que a temporalidade é um desafio que deve ser monitorado e otimizado, dada a natureza perecível dos produtos.

Figura 1: Representação da metodologia aplicada ao problema.



Fonte: Adaptado de Belfiore e Fávero [2013]

Para Belfiore e Fávero [2013], sistemas reais envolvem diversas variáveis no processo de tomada de decisão, tornando-se complexos, e desta forma, sendo necessário a sua simplificação

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

a partir de um modelo que considere as principais variáveis envolvidas no sistema ou projeto. Sendo assim, a dinâmica do problema e restrições foram adaptadas a partir de embasamento das especificidades do funcionamento real de um conjunto de fábricas de processamento de laticínios, promovendo um recorte da cadeia produtiva como objeto de estudo.

Como método de solução, optou-se por realizar o experimento computacional utilizando *Automated Planning and Scheduling*, sendo uma área de pesquisa ativa na área da IA e ligações com pesquisas de programação e otimização [KCL, 2024b]. A principal tarefa da ferramenta é a de encontrar um curso de ação processual para que um sistema descrito declarativamente atinja seus objetivos e, ao mesmo tempo, otimize as medidas gerais de desempenho [IBM, 2023].

A linguagem base utilizada para a descrição e modelagem do problema da presente pesquisa é o PDDL. O solucionador utilizado é o *planner* OPTIC (*Optimising Preferences and Time-Dependent Costs*), possui a capacidade de suporte tanto do PDDL 3 quanto do PDDL+, para declaração de diferentes tipos de problemas [Benton et al., 2012].

A escolha pelo *planner* OPTIC, deu-se pelo fato de ser um planejador com suporte temporal, com capacidade de ser utilizado em problemas onde o custo do plano é determinado por preferências ou custos de metas dependentes do tempo, cujos problemas surgem em diversas situações, desde a programação da entrega de produtos perecíveis até à coordenação de atividades de atendimento de pedidos em armazéns [KCL, 2024a].

5. Caracterização do problema

Inicialmente, parte-se da premissa que o objetivo principal do problema é minimizar o *makespan* que envolve todas as restrições, e desta forma, o produto processado chegue ao centro de distribuição de forma ágil, como consequência potencializando o tempo de vida útil para comercialização. A Figura 2 representa a dinâmica do caso estudado, cujo problema conta com 4 plantas de processamento de laticínios $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4\}$. As fábricas de processamento ficam em diferentes cidades. Cada planta é responsável pela transformação de determinados itens.

O mix de derivados lácteos considerados no problema compõe-se por: queijo peça (12kg), queijo fatiado (150g), leite em pó em bag (25kg), leite em pó fracionado (200g) e requeijão (200g), sendo representados no conjunto de produtos como $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$, respectivamente. A escolha dos produtos se deu em virtude de sua presença marcante no cotidiano dos consumidores brasileiros.

Na fábrica f_1, são processados três derivados lácteos, sendo eles p_1, p_2, p_3 . A fábrica f_2 é responsável pela transformação de p_5 . Os produtos p_1 e p_2 também podem ser processados pela planta industrial f_3. Em f_4 ocorre o processamento de p_3 e p_4. O produto p_1 pode ser encaminhado de f_1 para f_3 e ser utilizado como matéria-prima de p_2, onde o mesmo ocorre de f_3 para f_1. Existe a possibilidade de f_4 receber p_3 de f_1 como matéria-prima para p_4. O centro de distribuição é considerado como f_5. A demanda dos produtos é requerida pela necessidade acionada pelo centro de distribuição D_p.

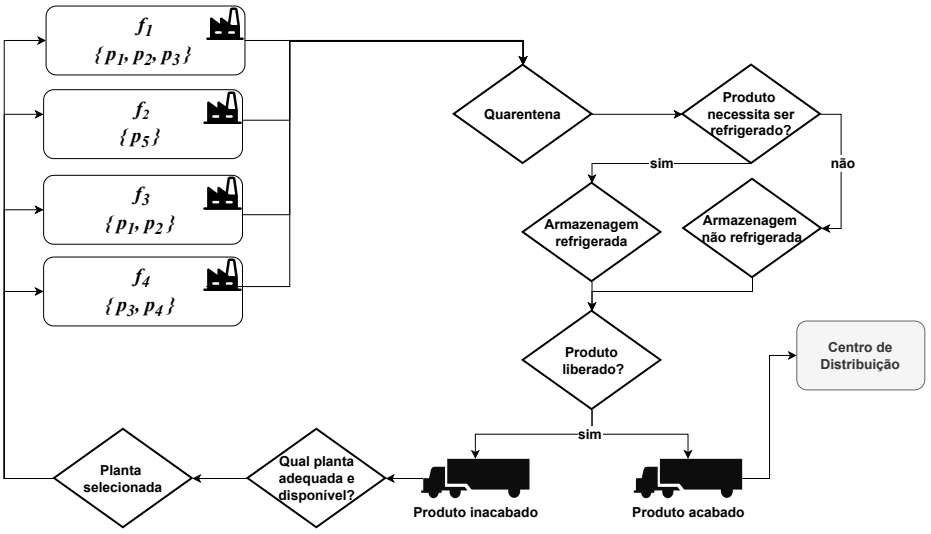
Conforme exposto Figura 3, considera-se como custo de tempo em dias c_{ij} as distâncias de deslocamento entre as indústrias e o centro de distribuição. O custo de deslocamento entre as plantas f_1 e f_3 é de 1. Já para as fábricas f_1 e f_4, o custo é de 2. O custo de deslocamento entre f_4 e f_5 é de 1. O deslocamento para o centro de distribuição f_5 a partir de f_1, f_2 e f_3 consome 2 unidades de tempo.

Após seu processamento finalizado em uma das plantas o produto é encaminhado para o centro de distribuição. Caso o produto não seja finalizado, ele pode ser destinado para uma planta com capacidade de conclusão.

Como a indústria de lácteos opera processando produtos que serão consumidos por seres humanos, o cuidado com a qualidade do produto, em todas as etapas de produção, é extremamente

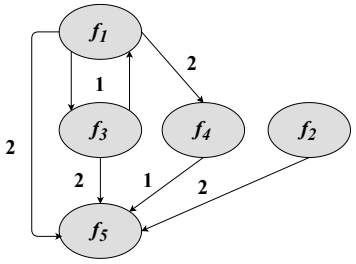
DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

Figura 2: Representação da dinâmica do problema.



rígido. Os produtos passam por uma quarentena, que pode ser refrigerada ou não, aguardando para que sejam liberados, após realização de testes necessários. A quarentena é um estoque temporal obrigatório para garantir que o consumidor final tenha acesso ao produto dentro das especificações de seguridade alimentar.

Figura 3: Representação do $c_{f,f'}$ entre as fábricas.



Para cada produto existe um número de dias específicos de quarentena: p_1 (20), p_3 (3), p_5 (5). Os produtos p_2 e p_4 requerem preempção de p_1 e p_3 respectivamente, e por este motivo, não há necessidade de passar novamente pela quarentena.

Tabela 1: Capacidade de produção das fábricas, transporte dos produtos e demanda.

	$CF_{p,f}$				$CT_{t,p}$								D_{p,f_5}
P	f_1	f_2	f_3	f_4	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	f_5
p_1	37800		18900		21168	12960	21168	12096					50000
p_2	21420		21420		22680	12960	22680	12960					50000
p_3	50000			50000									10000
p_4				30000						28000	28000	150000	50000
p_5		20000							17192				40000

Observa-se na Tabela 1 a capacidade de produção das fábricas (CF_p, f), a capacidade de transporte dos caminhões (CT_tp) e a demanda (D_{p,f_5}) utilizada para execução do problema. Parte-se do pressuposto que há estoques disponíveis inicialmente, onde todas as fábricas partem de

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

1000kg de estoque inicial disponível. O centro de distribuição parte com 5000kg de p_2, p_3, p_4, p_5 e p_1 com 50000kg.

5.1. Modelagem

No contexto do *Automated Planning and Scheduling* a modelagem do problema ocorre no domínio, que está embarcado com a descrição formal das ações, precondições e efeitos que podem ocorrer, definindo as regras e as possíveis operações que podem ser realizadas. Em seu formato clássico, um problema de *"Planning AI"* é definido como uma tupla I, G, A utilizada para gerar planos que levam do estado inicial I, onde os objetivos a serem satisfeitos G aplicando uma sequência de ações de A [Fikes e Nilsson, 1971; Garrido et al., 2009].

O planejamento temporal trata de ações relacionadas ao tempo e que também podem se sobrepor no tempo e acontecer simultaneamente, no qual a duração das ações pode variar e podem ter interdependências complexas que determinam quais combinações são possíveis [Marrella, 2019]. De acordo com Marrella [2019], o *Automated Planning and Scheduling* necessita de três partes para ser caracterizado: (1) Modelos, compostos pela estrutura do domínio, ações, objetivo e estado inicial. (2) Linguagem, a forma sugerida de expressar o modelo para ser compreendido pelo *planner* é através da linguagem PDDL. (3) *Planner*, a estratégia algorítmica de pesquisa para navegar e otimizar o modelo.

O arquivo com a descrição do domínio define as regras que regem o comportamento dos objetos, enquanto o arquivo do problema define o problema específico que precisa ser resolvido, incluindo as condições iniciais e os objetivos. Desta forma, modelam-se predicados e funções de acordo com o presente estudo.

5.2. Predicados

- truck_at (t, f): Define que o caminhão t está na fábrica f. É usado para saber se um caminhão está disponível para transporte ($T_{t,f}$).

$$\forall t, f \ (T_{t,f} = 1 \leftrightarrow \text{truck_at}(t, f))$$

- producer_p (f, p): Define que a fábrica f é produtora de p. É usado para saber se a fábrica f pode produzir o produto definido ($PROD_{f,p}$) .

$$\forall f, p \ (\ PROD_{f,p} \ = 1 \leftrightarrow \text{producer_p}(f, p))$$

- truck_available_p (t, p, f, f'): Define que o caminhão t está disponível para transportar o produto p do local de origem f para o local de destino f'. Além de ser utilizado para especificar o destino entre fábricas, pode definir o destino como f_5, sendo o centro de distribuição.

$$\forall t, f, f', p \ (\ TA_{t,f,f',p} = 1 \leftrightarrow \text{truck_available_p}(t, f, f', p))$$

- producers_share_p (f, f', p): Define que a fábrica de origem f e fábrica destino f' compartilham o produto p, já produzido. É utilizado para identificar se há interação em mais de uma fábrica e se ambas podem compartilhar o produto ($SP_{f,f',p}$). É útil para cenários onde, por exemplo, f_1 produz o queijo peça p_1 e f_3 processa queijo peça p_1 em queijo fatiado p_2.

$$\forall f, f', p \ (\ SP_{f,f',p} = 1 \leftrightarrow \text{producers_share_p}(f, f', p))$$

5.3. Funções

-$Minim.TC$: Representa o custo total das ações realizadas no domínio. É usado para calcular o custo do conjunto de ações do plano AC. O custo de cada ação (a) é somado a esse valor

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

ao final da ação realizada e o *planner* tem o objetivo de minimizar esse valor.

$$Minim.TC = \sum_{a \in A} \text{AC}(a)$$

- distance_company (f, f', p): Utilizado para calcular o custo de transporte $c_{f,f'}$ entre as fábricas f e f'. O custo de transporte é somado ao custo total. Esse custo representa a distância como um valor numérico em dias.

$$\forall f, f' \; (\; c_{f,f'} = 1 \leftrightarrow \text{distance_company}(f, f'))$$

- truck_driving: Representa se o caminhão t está em transporte. É utilizado para identificar se um caminhão está dirigindo e, portanto, não pode ser usado para transportar produto. Caso um caminhão esteja dirigindo, ele precisa terminar a viagem antes de ser usado para transportar um novo material (TD_t).

$$\forall t \; (\; TD_t = 1 \leftrightarrow \text{truck_driving}(t))$$

- quarentine_time_p: Representa o tempo de quarentena de cada produto (Qt_p). É usado para saber quantos dias o queijo peça precisa ficar em quarentena antes de ser enviado para o centro de distribuição ou para outra fábrica. O tempo de quarentena é somado ao custo total.

$$\forall p \; (\; Qt_t = \text{quarentine_time}(p))$$

- demand_p: Representa a demanda do produto p, acionada pelo centro de distribuição f_5 (D_{p,f_5}).

$$\forall p \; (\; D_{p,f_5} = \text{demand_p}(p, f_5))$$

- producing_p: Representa se a fábrica f está produzindo o produto p ($FA_{f,p}$). É usado para verificar se a fábrica f está em produção do produto p, portanto, não pode produzir mais do mesmo produto até terminar a produção atual.

$$\forall f, p \; (\; FA_{f,p} = 1 \leftrightarrow \text{producing_p}(f, p))$$

- truck_capacity_p : Representa a capacidade do caminhão t para transportar produto p. É usado para saber quantos quilogramas do produto p o caminhão t pode transportar ($CT_{t,p}$).

$$\forall t, p \; (\; CT_{t,p} = \text{truck_capacity_p}(t, p))$$

- capacity_p: Representa a capacidade de produção em quilogramas da fábrica f para o produto p em um dia ($CF_{p,f}$). Utilizado para identificar quantos quilogramas de cada produto p a fábrica f pode produzir por dia.

$$\forall f, p \; (\; CF_{f,p} = \text{capacity_p}(f, p))$$

- stock_p : Representa o estoque do produto p na fábrica f ($IU_{p,f}$). É usado para saber quantos quilogramas do produto p a fábrica f tem em estoque que ainda não passaram pela quarentena Qt_p.

$$\forall f, p \; (\text{IU}(f, p) = \text{stock_p}(f, p))$$

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

6. Experimento computacional

Ao executar o *planner* OPTIC com o problema modelado em PDDL, além da otimização do plano, oportuniza extrair informações do solucionador. Para o presente estudo apresenta-se um Gráfico de Gantt que expõe o plano de solução otimizado.

6.1. Gráfico de Gantt

As informações que constroem o gráfico da Figura 4, são o tempo em que as ações ocorrem, sendo a soma dos custos das ações, que estão entre colchetes.

Coluna 1

No	Time	Action
1	0	(produce_p3 f4 f5) [1]
9	1.001	(move_truck t5 f5 f2) [2]
17	3.002	(produce_p3 f4 f5) [1]
20	4.003	(stock_p3_quarentine f4 f5) [3]
28	7.004	(produce_p4 f4 f5) [1]
32	8.005	(produce_p4 f4 f5) [1]

Coluna 2

No	Time	Action
2	0	(produce_p5 f2 f5) [1]
10	1.001	(stock_p3_quarentine f4 f5) [3]
19	4.002	(share_p3 f1 f4 t6) [2]
26	6.003	(stock_p5_quarentine f2 f5) [5]
36	11.004	(send_p5 t5 f2 f5) [2]
39	13.005	(move_truck t5 f5 f2) [2]
42	20.002	(produce_p1 f3) [1]
44	21.003	(share_p1 f3 f1 t4) [1]
48	22.004	(produce_p2 f1 f5) [1]

Coluna 3

No	Time	Action
3	0	(produce_p1 f1) [1]
11	1.001	(stock_p5_quarentine f2 f5) [5]
25	6.002	(send_p5 t5 f2 f5) [2]
31	8.003	(move_truck t5 f5 f2) [2]
34	10.004	(produce_p5 f2 f5) [1]
37	11.005	(stock_p5_quarentine f2 f5) [5]
40	16.006	(send_p5 t5 f2 f5) [2]
41	20.002	(produce_p1 f1) [1]
45	21.003	(stock_p1_quarentine f1) [20]
51	41.004	(produce_p2 f1 f5) [1]
53	42.005	(send_p2 t1 f1 f5) [2]

Coluna 4

No	Time	Action
4	0	(move_truck t5 f4 f5) [1]
12	1.001	(stock_p1_quarentine f1) [20]
43	21.002	(produce_p2 f1 f5) [1]
47	22.003	(send_p2 t2 f1 f5) [2]
49	24.004	(send_p2 t1 f1 f5) [2]
50	26.005	(move_truck t1 f5 f1) [2]

Coluna 5

No	Time	Action
5	0	(produce_p3 f1 f5) [1]
13	1.001	(stock_p3_quarentine f1 f5) [3]
22	5.002	(produce_p5 f2 f5) [1]

Coluna 6

No	Time	Action
6	0	(produce_p1 f3) [1]
14	1.001	(stock_p1_quarentine f3) [20]
46	21.003	(stock_p1_quarentine f3) [20]
52	41.004	(produce_p2 f3 f5) [1]

Coluna 7

No	Time	Action
7	0	(move_truck t2 f2 f5) [2]
16	2.001	(move_truck t2 f5 f1) [2]
23	5.003	(produce_p4 f4 f5) [1]
27	6.004	(produce_p3 f4 f5) [1]
29	7.006	(share_p3 f1 f4 t7) [2]
33	9.007	(produce_p4 f4 f5) [1]

Coluna 8

No	Time	Action
8	0	(move_truck t4 f4 f5) [1]
15	1.001	(move_truck t4 f5 f3) [2]
18	3.002	(produce_p3 f1 f5) [1]
21	4.003	(stock_p3_quarentine f1 f5) [3]
30	7.008	(stock_p3_quarentine f4 f5) [3]
35	10.009	(produce_p4 f4 f5) [1]
38	11.01	(send_p4 t8 f4 f5) [1]

Coluna 9

No	Time	Action
24	5.004	(send_p3 t7 f4 f5) [1]

A otimização do plano, que objetivou minimizar o tempo total para atender a demanda da cadeia produtiva de lácteos, resultou em um custo total de 44 unidades de tempo, ou seja, em 44 dias a demanda foi atendida. O tempo computacional para execução do plano foi de 40 segundos.

7. Sugestão de trabalhos futuros

Este estudo trata de uma iniciativa para tratar a temporalidade da cadeia produtiva de lácteos utilizando *Automated Planning and Scheduling*. Limitações como capacidade das fábricas acima da demanda são percebidas e oportunizam o desenvolvimento de trabalhos futuros na área. Sugere-se: aplicar janelas de tempo que delimitem períodos para controle da demanda, aproximando ainda mais o problema da realidade; Tratar a heterogeneidade de veículos; Aumentar a complexidade do problema no quantitativo de produtos e tratar problemas com demanda e capacidade de produção mais ajustada; Realizar testes em outros *planners* que suportem temporalidade.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

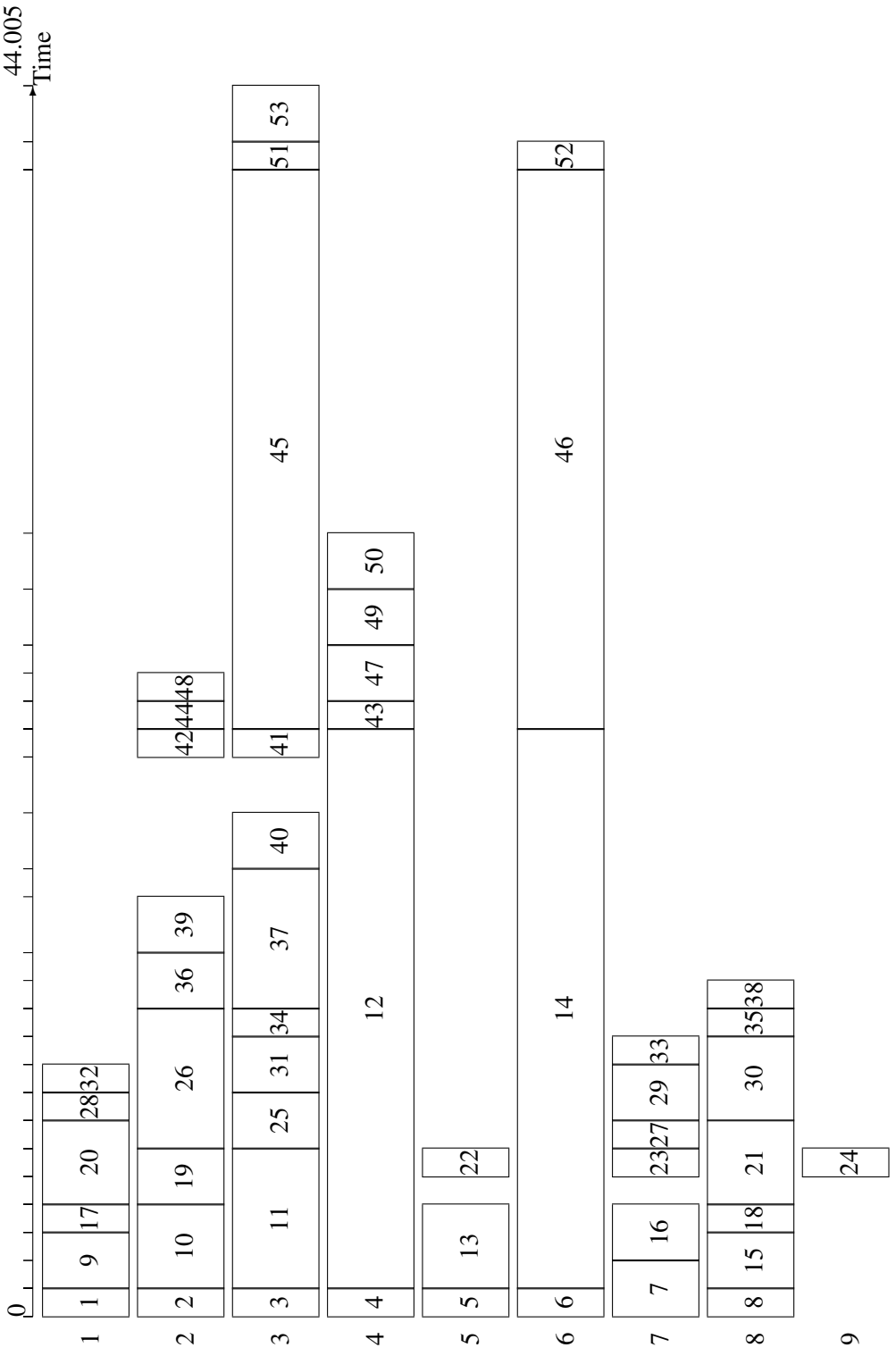


Figura 4: Gráfico de Gantt: Plano para Cadeia Produtiva de Lácteos

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

Investigar uma forma de tratar especificamente a perecibilidade; Observar questões ambientais que podem ser inclusas.

8. Considerações finais

O estudo apresentado buscou desenvolver uma modelagem em PDDL, que integre as características e restrições de um problema realístico, apresentando soluções em tempo adequado, levando em consideração a temporalidade como custo para otimização total, executando o problema no *planner* OPTIC e minimizando o tempo total do plano. Neste primeiro momento do estudo, o propósito envolveu realizar a aproximação das características encontradas em um problema real da cadeia produtiva de lácteos e experimentá-lo com técnicas de otimização baseadas no *Automated Planning and Scheduling*. A abordagem utilizada permitiu que as restrições específicas do recorte da cadeia produtiva do setor lácteo fossem consideradas e que as soluções otimizadas fossem encontradas. Como resultado, entende-se como promissor o uso do *Automated Planning and Scheduling* em estudos que aprofundem a melhoria da eficiência da cadeia produtiva de produtos lácteos, bem como a utilição de planners temporais como o OPTIC.

Referências

Ali, S., Barman, H., Kaur, R., Tomaskova, H., e Roy, S. (2021). Multi-product multi echelon measurements of perishable supply chain: Fuzzy non-linear programming approach. *Mathematics*, 9 (17).

Baker, K. R.; Trietsch, D. (2019). *Principles of sequencing and scheduling*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2 edition. ISBN 9781119262589. URL `https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470451793.ch1`.

Belfiore, P. e Fávero, L. P. (2013). *Pesquisa operacional: para cursos de engenharia*. Elsevier, Rio de Janeiro. ISBN 9788535248937.

Benton, J., Coles, A., e Coles, A. (2012). Temporal planning with preferences and time-dependent continuous costs. In *ICAPS 2012 - Proceedings of the 22nd International Conference on Automated Planning and Scheduling*, p. 2–10. ISBN 9781577355625.

Błażewicz, J.; Ecker, K.; Pesch, E.; Schmidt, G. and Węglarz, J., m.-g. . L. p. . . p. . S. t. . H. y. . ., isbn = 978-3-540-28046-0.

BRAZILIAN FARMERS (2022). Sectors dairy. URL `https://brazilianfarmers.com/dairy/`.

da Rocha, D. T., Carvalho, G. R., e de Resende, J. C. (2020). Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária. Technical report, Embrapa. URL `https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215880/1/CT-123.pdf`.

Fikes, R. e Nilsson, N. (1971). Strips: A new approach to the application of theorem proving to problem solving. *Artificial Intelligence*, 2(3-4):189–208.

Garrido, A., Arangu, M., e Onaindia, E. (2009). A constraint programming formulation for planning: From plan scheduling to plan generation. *Journal of Scheduling*, 12(3):227–256.

Ghosh, D. e Mondal, S. (2017). An integrated production-distribution planning with transshipment between warehouses. *International Journal of Advanced Operations Management*, 9(1):23–36.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br

IBM (2023). AI Planning. URL https://research.ibm.com/projects/ai-planning.

ICAPS (2024). International Conference on Automated Planning and Scheduling. URL https://www.icaps-conference.org/.

Johnson, S. M. (1954). Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included. *Naval Research Logistics Quarterly*, 1(1). ISSN 00281441.

KCL (2024a). OPTIC: Optimising Preferences and Time-Dependent Costs. URL https://nms.kcl.ac.uk/planning/software/optic.html.

KCL (2024b). Planning at KCL. URL https://nms.kcl.ac.uk/planning/.

Marins, F. A. S. (2011). *Introdução à Pesquisa Operacional*. Cultura Acadêmica : Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, São Paulo.

Marrella, A. (2019). Automated Planning for Business Process Management. *Journal on Data Semantics*, 8.

Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling: theory, algorithms, and systems*. Springer, New York ; London, 3 edition. ISBN 978-0-387-78934-7.

Sel, C., Bilgen, B., Bloemhof-Ruwaard, J., e van der Vorst, J. (2015). Multi-bucket optimization for integrated planning and scheduling in the perishable dairy supply chain. *Computers and Chemical Engineering*, 77:59–73.

Shafiee, F., Kazemi, A., Jafarnejad Chaghooshi, A., Sazvar, Z., e Amoozad Mahdiraji, H. (2021). A robust multi-objective optimization model for inventory and production management with environmental and social consideration: A real case of dairy industry. *Journal of Cleaner Production*, 294.

Yaghoubi, A. e Akrami, F. (2019). Proposing a new model for location - routing problem of perishable raw material suppliers with using meta-heuristic algorithms. *Heliyon*, 5(12).

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193432
https://proceedings.science/p/193432?lang=pt-br