

# 01

---

## Um exemplo de aplicação da programação linear a uma fábrica de rações

---

***Déborah Aparecida Souza dos Reis***

*UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais*

***Jorge von Atzingen dos Reis***

*UFU – Universidade Federal de Uberlândia*

***Marcus Antonio Viana Duarte***

*UFU – Universidade Federal de Uberlândia*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.81.1

## RESUMO

Este artigo apresenta conceitos e aplicações da Indústria 4.0. A Indústria 1.0 ocorreu em 1750 por meio da mecanização e introdução da máquina a vapor. Em 1850 teve início a Indústria 2.0 caracterizada pela produção em massa. A Indústria 3.0 teve início em 1970 com a automação industrial. Por volta dos anos 90, surge a Indústria 4.0 composta por um sistema cibernético, com o uso de produção inteligente. Os conceitos apresentados são os elementos automatizados do sistema de produção, a internet das coisas (IoT), sistemas ciberfísicos (CPS) e internet dos serviços (IoS). Para que estes sistemas funcionem são necessárias ferramentas como automação, comunicação máquina a máquina (M2M), inteligência artificial (IA), análise de big data, computação em nuvem, integração de sistemas e segurança cibernética. Foram utilizadas uma fábrica de rações e uma empresa de serviços. Para o caso da fábrica de rações, foi utilizada a programação linear de modo a obter o mix de rações ideal com o menor custo de produção atendendo aos requisitos nutricionais da ração especial de no mínimo 30% de proteína e no máximo 5% de fibra. Essa implementação foi realizada no software Lingo. Entre os resultados obtidos pode-se citar que a mistura que gera o mínimo custo diário é 437,65 \$/lb composta por 470,59 lb de milho e por 329,41 lb de preparado de soja.

**Palavras-chave:** programação linear. fábrica de rações. indústria 4.0.

## ABSTRACT

This article presents Industry 4.0 concepts and applications. Industry 1.0 took place in 1750 through mechanization and the introduction of the steam engine. In 1850, Industry 2.0 began, characterized by mass production. Industry 3.0 began in 1970 with industrial automation. Around the 1990s, Industry 4.0 emerged, consisting of a cybernetic system, with the use of intelligent production. The concepts presented are the automated elements of the production system, the internet of things (IoT), cyber-physical systems (CPS) and internet of services (IoS). For these systems to work, tools such as automation, machine-to-machine (M2M) communication, artificial intelligence (AI), big data analytics, cloud computing, systems integration and cybersecurity are needed. A feed factory and a service company were used. In the case of the feed factory, linear programming was used in order to obtain the ideal feed mix with the lowest production cost, meeting the nutritional requirements of the special feed of at least 30% protein and a maximum of 5% fiber. This implementation was carried out in Lingo software. Among the results obtained, it can be mentioned that the mixture that generates the minimum daily cost is 437.65 \$/lb composed of 470.59 lb of corn and 329.41 lb of soy preparation.

**Keywords:** Linear Programming. Feed factory. Industry 4.0.

## INTRODUÇÃO

Para entender o conceito de Indústria 4.0 deve-se voltar aos conceitos de Indústrias anteriores. A Indústria 1.0 ocorreu em 1750 por meio da mecanização, introdução da máquina a vapor e do carvão conforme Garcia *et al.* (2020).

Por outro lado, em 1850 teve início a Indústria 2.0 caracterizada pela produção em massa, linha de montagem baseada em eletricidade e petróleo. Garcia *et al.* (2020) aponta que a

Indústria 3.0 teve início em 1970 com a automação industrial e uso de computadores, eletrônicos e Tecnologia da Informação (T.I.).

Por volta dos anos 90, surge a Indústria 4.0. A Indústria 4.0 é composta por um sistema cibernético, com o uso de produção inteligente, redes, inteligência artificial e internet das coisas. O termo Indústria 4.0 foi proposto pela Alemanha. O termo norte-americano para Indústria 4.0 é Internet das coisas, IoT, “Internet of things”.

## DESENVOLVIMENTO

A partir da Indústria 3.0 ou Terceira Revolução Industrial, os sistemas de produção que já utilizavam computadores foram expandidos pela conexão de rede, a qual possibilita a comunicação com outras instalações e o fluxo de informações. A automação da produção em rede com todos os sistemas origina os “sistemas de produção ciberfísicos” e as fábricas inteligentes. Segundo Sakurai & Zuchi (2018) as fábricas inteligentes são fábricas que produzem de forma quase autônoma por meio de comunicações em rede entre pessoas e componentes. Essas alterações deram origem à Quarta Revolução Industrial, a Indústria 4.0.

Segundo Groover (2010) os elementos automatizados do sistema de produção podem ser divididos em dois grupos:

- Automação dos sistemas de produção da fábrica;
- Controle computadorizado dos sistemas de apoio à produção.

Os sistemas de produção automatizados são caracterizados por realizar operações com reduzida participação do homem comparado ao processo manual equivalente. Estes sistemas atuam sobre o produto físico na fábrica. Dessa forma, realizam processamento, montagem, inspeção e gestão de materiais.

Para Groover (2010) existem três tipos de sistemas automatizados:

- Automação rígida;
- Automação programável;
- Automação flexível.

A automação rígida é um sistema cuja sequência das atividades de processamento ou montagem é definida pela configuração da máquina. Cada atividade na sequência é simples e pode incluir um movimento linear plano ou rotacional, ou uma mescla simples dois movimentos. O que torna complexa a automação rígida é a integração e coordenação de muitas atividades em uma única máquina. Assim, é caracterizada por alto investimento inicial em máquinas, altas taxas de produção e inflexibilidade da máquina para acomodar variedade de produtos. O que justifica a viabilidade econômica da automação rígida é que os produtos são fabricados em grandes quantidades. Groover (2014) aponta que a automação programável permite à máquina a capacidade de alterar a sequência de atividades de forma a acomodar diferentes configurações de produção. Por outro lado, a automação flexível é uma extensão da automação programável, mas com algumas diferenças. É possível produzir uma variedade de peças, no entanto a diferença entre as peças não são significativas e o volume de alterações é mínimo. Após entender o

conceito de sistemas automatizados, passa-se ao estudo dos elementos base da Indústria 4.0.

Sacomano & Sátiro (2018) apresentam uma classificação da I4.0 em elementos base ou fundamentais, elementos estruturantes e elementos complementares.

Os elementos base ou fundamentais são a internet das coisas (IoT), sistemas ciberfísicos (CPS) e internet dos serviços (IoS).

Por outro lado, existem os elementos estruturantes que são a automação, comunicação máquina a máquina (M2M), inteligência artificial (IA), análise de big data, computação em nuvem, integração de sistemas e segurança cibernética. Há ainda os elementos complementares como Etiquetas de RFID, Qrcode, realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e manufatura aditiva.

A computação em nuvem, “clouding computing”, permite o acesso às informações a partir de qualquer lugar do mundo. Assim, a computação em nuvem junto com os outros elementos da I4.0 proporciona um controle multilocal de um determinado processo produtivo. Na Indústria 4.0 os elementos big data, computação em nuvem e IA trabalham em conjunto e permitem o acompanhamento, controle e a tomada de decisões sobre processos produtivos descentralizados, nos quais máquinas, dispositivos, processos, sistemas e operadores fornecem dados continuamente.

Outra vantagem é a validação dos processos contínuos garantindo a viabilidade econômica da I4.0.

## UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO – FÁBRICA DE RAÇÕES

Um exemplo de aplicação dos elementos mencionados da Indústria 4.0 é uma fábrica de rações. Cada fazenda faz seu pedido de ração. No entanto, a composição da ração, ou seja, a mistura de grãos varia de acordo com o tipo do animal e a fazenda. Dessa forma, há inúmeras combinações diferentes que geram inúmeras rações diferentes compondo o Plano Mestre de Produção.

Os pedidos das fazendas são feitos por aplicativo de celular e graças a computação em nuvem podem ser recebidos e armazenados em uma grande base de dados, o big data da Indústria de Rações.

A IoT proporciona a conexão entre a rede física da Indústria de Rações, as máquinas do processo produtivo com os sensores e atuadores.

A partir da conexão feita pela IoT, os sistemas CPS's da Indústria de Rações realizam o acompanhamento e gestão de informações do processo de produção de rações.

Para a tomada de decisões na Indústria de Rações, utiliza-se a IA que calcula as diferentes combinações de grãos para a preparação de rações e atende de forma eficiente os pedidos dos clientes. Por meio da Deep Learning (DL) da IA, os algoritmos baseados no conhecimento humano determinam as ordens de produção com base no Plano Mestre de Produção e as ordens de compras de matérias-primas necessárias ao processo produtivo.

Após a tomada de decisões pela IA, a comunicação “Machine to machine” (M2M) realiza

a comunicação entre os equipamentos conectados aos sistemas de automação da Fábrica de Rações por meio da IoT. Assim, são controladas as temperaturas e a massa do mix de cada ração. Ao completar 100 kg, é encaminhado para a embalagem em sacos por robôs autônomos e depois para a expedição e entrega dos produtos aos clientes.

## Pesquisa operacional e a programação Linear

Para Arenales *et al.* (2007), a pesquisa operacional pode ser definida como a aplicação de métodos científicos a problemas complexos com o objetivo de auxiliar o processo de tomada de decisão, seja para planejar, projetar ou operar sistemas em situações, nas quais requer-se o uso eficiente de recursos do processo. Para tal, utiliza-se modelos matemáticos determinísticos ou probabilísticos de métodos de solução e algoritmos para melhor compreensão, análise e solução de problemas de tomada de decisão. Dessa forma, pode-se citar técnicas como a otimização linear (programação linear), otimização discreta (programação linear inteira), otimização em redes (fluxos), programação dinâmica (determinística e estocástica) e teoria das filas.

Existem várias aplicações recentes da pesquisa operacional e programação linear. Moraes *et al.* (2019) apresentam um estudo de caso de otimização da produção em uma indústria de esquadrias de alumínio. Para tal, utiliza-se a programação linear. Dessa forma, cada vez mais são utilizadas técnicas de pesquisa operacional, como a programação linear e a simulação para o planejamento da produção. Foram analisadas as quantidades ideais de produção para os dois produtos mais vendidos do portfólio de uma indústria de esquadrias de alumínio, localizada na cidade de Ribeirão Pires, estado de São Paulo. No estudo de caso utilizou-se análise quantitativa a partir de duas restrições, com o objetivo de determinar a quantidade ótima a ser produzida para maximizar o lucro. Pelos resultados obtidos, houve a determinação da quantidade ótima a ser produzida dos dois produtos para maximizar o lucro e verifica-se a eficácia da programação linear como ferramenta da pesquisa operacional para resolver problemas de otimização.

Oliveira *et al.* (2019) realizam uma análise de trabalhos do problema de designação de pessoas com o uso da programação linear. Um problema de designação de pessoas pode ser definido como uma alocação eficiente de pessoas às tarefas a serem realizadas. A metodologia utilizada foi qualitativa a partir de registros bibliográficos de catorze trabalhos, realizados nos últimos sete anos, que utilizaram a programação linear para solucionar problemas de designação de pessoas. Pelos resultados obtidos, observou-se que metade dos trabalhos analisados utilizou a programação linear inteira. Por outro lado, 21% dos trabalhos utilizaram programação linear mista e somente 10% fez uso da programação linear binária. Dessa forma, a programação linear se apresenta como uma ferramenta eficaz para solucionar o problema de designação de pessoas.

Azzi *et al.* (2018) apresentam uma aplicação da programação linear na Agroindústria. O objetivo é realizar a seleção das culturas e meses de plantio de forma a maximizar a receita líquida do agricultor. De maneira análoga, determinar os preços dos insumos do plantio, ou seja, os preços de água e terra irrigável. Neste planejamento, tem-se restrições de água e terra e deve-se selecionar as culturas e meses de plantio em um perímetro irrigado formado por um conjunto de lotes de forma a maximizar a receita líquida e o melhor uso dos recursos disponíveis. Dessa forma, o problema trata de determinar um padrão ótimo de cultivo das culturas para cada lote de forma que a receita líquida seja máxima com o uso racional dos recursos.

Sousa *et al.* (2018) mostram a resolução gráfica de um problema de programação linear quando as regiões admissíveis são poliedros, ou seja, com três variáveis de decisão. Sabe-se da literatura que problemas de programação linear no plano, duas dimensões, são facilmente solucionados pelo método gráfico e analítico. No entanto, quando aborda-se o caso estudado de regiões admissíveis como poliedros, aumenta-se a complexidade do problema. Para tal, trabalhou-se com construções auxiliares e um ambiente computacional mais complexo. Dessa forma, as construções desenvolvidas no software GeoGebra podem ser utilizadas para fins didáticos no que se refere a programação linear e pesquisa operacional.

Silva *et al.* (2018) relatam uma aplicabilidade da programação linear para um problema de minimização de custos na distribuição da indústria de cimentos. Para tal, fez-se uso de métodos quantitativos para determinar a rota ótima a ser utilizada. A rota ótima neste caso é a rota correspondente ao menor custo de frete para a distribuição de sacos de cimento de 50 kg de dois centros de distribuição para seis lojas na região metropolitana de São Paulo. Essas seis lojas pertencem a uma empresa varejista de materiais de construção. Os resultados mostraram a otimização da rota de distribuição do cimento, minimizando os custos de frete.

Ferreira (2018) aplica a programação linear em um estudo de caso do despacho de potência ativa em usinas hidrelétricas com potência superior a 30 MW. A programação do despacho de potência nessas usinas deve ser informada ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) no dia anterior a operação em tempo real. Como essa programação é normalmente aceita pelo ONS, é interessante otimizar o processo de forma a um melhor aproveitamento de recursos, como a água, visando o aumento do lucro do sistema de geração de energia. O problema da programação do despacho possui não linearidades e variáveis binárias associadas com a função de produção hidrelétrica. Para uma modelagem precisa das unidades geradoras, utilizou-se um modelo para programação do despacho de centrais geradoras com operação isolada por meio da programação linear inteira mista. Essas simulações foram feitas para quatro plantas da Eletrosul que totalizam 159 MW. Pelos resultados obtidos, observa-se que o problema proposto foi solucionado com um tempo de processamento adequado.

Battesini *et al.* (2018) mostram a aplicabilidade da programação linear a um problema de otimização do acesso geográfico em redes temáticas de atenção à saúde. Neste estudo, é verificado o acesso geográfico à rede de quimioterapia do Sistema Único de Saúde (SUS), no estado de Rio Grande do Sul, Brasil. O SUS está organizado no formato de redes de serviços para atenção à saúde. Pelos resultados obtidos, observa-se a solução ótima possibilita uma diminuição de 14,4% na distância total mensal percorrida para a realização dos tratamentos de quimioterapia nas redes de serviços para atenção à saúde do SUS no estado do Rio Grande do Sul.

Mariquito *et al.* (2018) apresentam uma aplicação da programação linear em um sistema de gestão da produção com o objetivo de maximizar os resultados. O estudo de caso foi feito em uma concessionária de energia elétrica no processo de aferição dos equipamentos de medição. A programação linear é utilizada para um atendimento de demanda de forma mais eficiente. Deve-se considerar neste caso um critério de valor econômico devido ao tempo existente entre a entrada no estoque e o seu uso efetivo e retorno do investimento. Por meio das implementações foi possível o uso de uma melhor configuração adaptada ao melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, seja de equipamentos e de pessoal.

Vieira Fernandes (2019) aplica a programação linear inteira a um problema de desig-

nação de recursos humanos com o objetivo de designar pessoas a projetos em uma empresa de engenharia. Para tal, o autor utilizou o método AHP, Analytic Hierarchy Process combinado a programação linear. O método AHP foi utilizado para relacionar fatores quantitativos e fatores qualitativos. Pelos resultados obtidos, verifica-se que a programação linear é uma ferramenta útil para solucionar problemas de designação de funcionários a tarefas em empresas.

Abdel-Basset *et al.* (2019) apresentam uma nova aplicabilidade para a programação linear, o uso da programação linear para modelar problemas de imprecisão de dados, como o processo de tomada de decisão por seres humanos. Para tal, utilizou-se a teoria dos conjuntos neutrosóficos de forma a considerar todos os aspectos do processo de tomada de decisão, como concordância, falta de certeza e discordância. Pelos resultados obtidos, conclui-se que é possível aplicar a teoria dos conjuntos neutrosóficos à programação linear para a simulação do processo de tomada de decisão por seres humanos.

No caso deste trabalho, optou-se pela otimização linear, ou seja, a programação linear, devido às condições do problema da fábrica de rações para se resolver, que são a necessidade de se obter uma solução ótima, a necessidade de obtenção de uma solução de forma rápida e uma solução matemática exata. Para Hillier e Lieberman (2006), o objetivo da programação linear é obter uma alocação eficiente dos recursos às atividades conforme a Equação 1.0. A função a ser maximizada ou minimizada é denominada função objetivo ou função de avaliação.

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1.0)$$

Para um problema generalizado tem-se  $m$  recursos a serem alocados a  $n$  atividades, onde o nível da atividade  $j$  para  $x_j$ , sendo  $j = (1, \dots, n)$  e a medida do desempenho global  $Z$  conforme a Equação 1.0.  $c_j$  representam constantes de entrada do modelo. Dessa forma, o modelo objetiva obter os valores ser alocados para  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  de forma a maximizar o desempenho global  $Z$ . As limitações para o problema são denominadas restrições e podem ser observadas nas Equações do sistema 1.1. As restrições do sistema 1.1 são conhecidas como restrições funcionais ou estruturais, pois apresentam uma função com todas as variáveis do lado esquerdo da equação ou podem tratar-se de restrições de não-negatividade ou condições não-negativas da forma  $x_j \geq 0$ , para  $j = 1, 2, \dots, n$ .

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{mn}x_n &\leq b_m \\ x_1 &\geq 0 \\ x_2 &\geq 0 \\ &\vdots \\ x_n &\geq 0 \end{aligned} \quad (1.1)$$

As variáveis  $x$  são as variáveis de decisão do problema. As variáveis  $a$  representam os coeficientes das equações. As variáveis  $b$  são os termos independentes. As variáveis  $x$  devem ter valor maior ou igual a zero. Para Hillier e Lieberman (2006), uma solução é qualquer especificação de valores para as variáveis de decisão  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  independente se a solução encontrada ser desejável ou factível ao problema a ser solucionado. Dessa forma, existem diferentes tipos de soluções. Uma solução factível ou uma solução viável é encontrada quando todas as restrições são atendidas. Ao passo que uma solução inviável ou uma solução não factível cons-

titui em uma solução encontrada para a qual ocorre a violação de uma ou mais restrições. O conjunto de todas as soluções viáveis é denominado espaço de soluções viáveis ou espaço de soluções factíveis.

O espaço de soluções viáveis é um hiperplano com  $n$  dimensões (onde  $n$  é o número de variáveis de decisões) compreendido entre as retas formadas pelas equações das restrições do problema delimitando a região na qual as soluções viáveis estão compreendidas. Para a programação linear, a solução ótima, quando existir, sempre estará contida em um dos vértices do espaço de soluções viáveis. O vértice que contém a solução ótima é o que é tangenciado pela equação formada pela reta da função de avaliação na direção do crescimento de seu gradiente.

Segundo Miyazawa (2019), de forma geral, os problemas de otimização possuem o objetivo de maximizar ou minimizar uma função definida em um certo domínio. A teoria clássica de otimização aborda os problemas nos quais o domínio é infinito. Por outro lado, existem os problemas de otimização combinatória, para os quais o domínio é tipicamente finito e pode-se enumerar os seus elementos e também testar se um dado elemento pertence a esse domínio. O problema abordado neste trabalho é combinatorial não polinomial.

Para Lenstra e Rinnooy (1981), o problema estudado é caracterizado como um problema do tipo NP-hard ou NP-difícil (Não Polinomial difícil) devido à sua complexidade computacional que cresce de forma não polinomial em relação aos dados de entrada. Dessa forma, a utilização de métodos exatos para resolver problemas NP-hard é computacionalmente inviável devido ao elevado número de combinações e, conseqüentemente, o elevado tempo de processamento necessário para se obter uma solução matemática exata. Para tal, faz-se o uso de meta-heurísticas conforme Sosa *et al.* (2007).

Sabe-se da literatura que a programação não linear consiste no processo de resolução de um problema de otimização definido por um sistema de equações e restrições, por meio de um conjunto de variáveis reais, uma função objetivo a ser maximizada ou minimizada, onde algumas das restrições ou a função objetivo são não lineares.

## Programação Linear aplicada à Fábrica de Rações

Um exemplo de aplicação da programação linear a uma fábrica de rações conforme Taha (2008) será detalhado a seguir. A Ozark Farms, fabricante de rações, utiliza no mínimo 800 lb de ração especial por dia. A ração especial é uma mistura de milho e soja com as composições especificadas na Tabela 1. Os valores estão em lb/lb de ração.

**Tabela 01 – Composição da ração especial**

Ração	Proteína	Fibra	Custo(\$/lb)
Milho	0,09	0,02	0,30
Soja	0,60	0,06	0,90

Nas restrições para realizar a implementação no software Lingo considerou-se os requisitos nutricionais da ração especial mínimo 30% de proteína e máximo 5% de fibra. O objetivo é determinar a mistura que gera a ração de mínimo custo diário, ou seja, minimizar o custo de montagem da ração.



## Modelagem

Para tal, realizou-se a modelagem matemática do problema da fábrica de rações. Na Equação 1.2 pode-se observar a função objetivo de minimização do custo da ração. A variável  $z$  representa o custo em dólares por lb. As variáveis  $x_1$  e  $x_2$  são, respectivamente, lb de milho na mistura diária e lb de preparado de soja na mistura diária.

$$\text{Minimizar } z = 0,3x_1 + 0,9x_2 \quad (1.2)$$

Na Equação 1.3 pode ser observada a restrição 1 do problema, ou seja, a massa mínima de ração a ser produzida.

$$x_1 + x_2 \geq 800 \quad (1.3)$$

As Equações 1.4 e 1.5 apresentam as restrições de quantidades de milho e soja e custos que foram descritas na Tabela 01.

$$0,09x_1 + 0,6x_2 \geq 0,3(x_1 + x_2) \quad (1.4)$$

$$0,02x_1 + 0,06x_2 \geq 0,05(x_1 + x_2) \quad (1.5)$$

Estas equações podem ser simplificadas e reorganizadas de forma a assumir a forma a seguir:

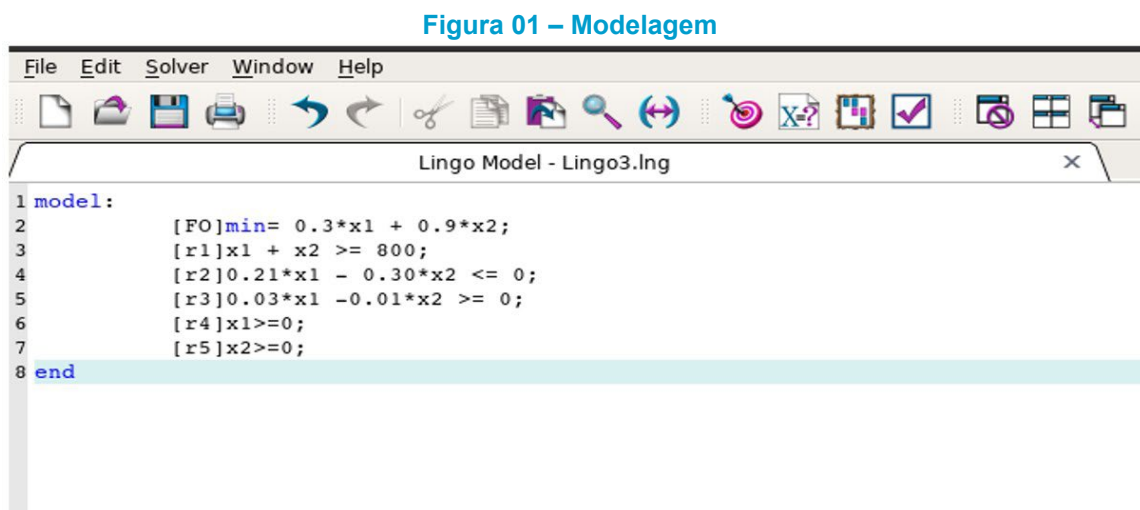
$$0,21x_1 - 0,30x_2 \leq 0 \quad (1.4)$$

$$0,03x_1 - 0,01x_2 \geq 0 \quad (1.5)$$

Além dessas restrições, é importante considerar a Equação 1.5, pois  $x_1$  e  $x_2$  representam quantidades e devem ser grandezas maiores ou iguais a zero.

$$x_1, x_2 \geq 0 \quad (1.5)$$

Na Figura 01 apresenta-se como foi feita a implementação no software Lingo, ou seja, é possível ver as equações digitadas no modelo.



A Figura 02 apresenta os resultados obtidos com a implementação no software Lingo.

**Figura 02 – Saída do programa**

Lingo Model - Lingo3.lng		X	Solution Rep
Global optimal solution found.			
Objective value:		437.6471	
Infeasibilities:		0.000000	
Total solver iterations:		2	
Elapsed runtime seconds:		0.16	
Model Class:		LP	
Total variables:	2		
Nonlinear variables:	0		
Integer variables:	0		
Total constraints:	6		
Nonlinear constraints:	0		
Total nonzeros:	10		
Nonlinear nonzeros:	0		
	Variable	Value	Reduced Cost
	X1	470.5882	0.000000
	X2	329.4118	0.000000
	Row	Slack or Surplus	Dual Price
	FO	437.6471	-1.000000
	R1	0.000000	-0.5470588
	R2	0.000000	1.176471
	R3	10.82353	0.000000
	R4	470.5882	0.000000
	R5	329.4118	0.000000

A mistura que gera o mínimo custo diário é 437,65 \$/lb composta por 470,59 lb de milho e por 329,41 lb de preparado de soja. Pode-se observar também que as restrições 1 e 2 (Equações 1.2 e 1.3) do modelo de programação não possuíam variável de folga, ou seja, caso se desejasse reduzir ainda mais os custos estes recursos se constituiriam em gargalos produtivos.

## OUTRO EXEMPLO DE APLICAÇÃO – INDÚSTRIA DE IMPRESSÃO DE DOCUMENTOS

A IOS, “Internet of Services”, Internet dos serviços é considerada uma evolução da IoT. A IoS é uma infraestrutura para serviços, modelos de negócios e os serviços. Dessa forma, a IoS proporciona o desenvolvimento e fornecimento de novos tipos de serviços de valor perceptível ao cliente conforme Coelho (2016) e Hermann *et al.* (2015).

Um exemplo de aplicabilidade da IoS na Indústria 4.0 é uma Indústria de Impressões de documentos. O pedido é feito por aplicativo de celular do cliente. No pedido será definido a qualidade da impressão, tipo de papel, cores, se há ou não necessidade de plastificação ou encadernação, cor de capa, se será feito cópias, entre outros.

Este pedido é recebido pela Indústria de Impressões graças a computação em nuvem. Os dados dos pedidos são armazenados em uma base de dados da Indústria de Impressões, um big data. A IoS permite a conexão entre a rede física, máquinas e sensores. Os sistemas CPS’s por meio da IA, Deep Learning emitem as ordens de produção dos serviços de impressão pedidos e as ordens de compra de matérias-primas. Essas informações são operacionalizadas

pelas impressoras e demais máquinas pela comunicação M2M.

Assim, o cliente não precisará comprar uma impressora, encadernadora, entre outros. O cliente apenas solicitará o serviço pelo celular.

## CONCLUSÕES E CONTINUIDADE DA PESQUISA

Pode-se concluir que com o auxílio da pesquisa operacional combinada à automação é possível fabricar produtos diferenciados integrados às reais necessidades de um mercado em constante evolução de forma a atender setores que buscam especificidade em seus produtos e serviços e estão dispostos a pagar por este trabalho especializado.

Outra conclusão é que a motivação das empresas a realizar a gestão da automação e sistemas de manufatura (Manufatura Integrada por Computador, CIM) deve-se ao aumento de produtividade, redução de custos do trabalho e aumento da segurança e qualidade de vida do trabalhador.

A programação linear pode ser aplicada a diferentes modelos fabris de forma a otimizar o uso de energia, água e outros recursos. Como continuidade desta pesquisa, propõe-se a aplicação das técnicas de pesquisa operacional utilizadas neste trabalho a outros ramos da indústria.

## REFERÊNCIAS

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: Elsevier. 2007.

AZZI, J. B.; LIMA, F. M.; SOUZA, T. A.; DELGADO, A. R. S. A Programação Linear na Agromatemática. Proceedings Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, v. 6, n. 2, 2018.

BASSET, A.; GUNASEKARAN, M.; MOHAMED, M.; SMARANDACHE, F. A novel method for solving the fully neutrosophic linear programming problems. Neural Computing and Applications, v. 31, 1595-1605, 2019.

BATTESINI, M.; COELHO, H. S.; SETA, M. H. Use of Linear Programming to Optimize Geographic Access in Specialized Healthcare Networks. Reports in Public Health, 2018. DOI 10.1590/0102-311X00055017.

COELHO, P. Rumo à Indústria 4.0. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Coimbra, 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>.

FERREIRA, R. F. Programação do Despacho de Geração de Unidades Hidrelétricas via Programação Linear Inteira Mista. Florianópolis – SC, Universidade Federal de Santa Catarina, 2018, 128 p. Dissertação de Mestrado.

GARCIA, S.; PAVARINA, A.; CÔNSOLO, A.; DALLA, C.; MIGLIORI, E.; CAVALCANTE, E.; GORNI NETO, F.; ESPUNY, H.; ÁRTICO, J.; CALASANS, R.; PÓLVORA, V. Gestão 4.0 Em tempos de disrupção. Editora Edgard Blücher, ISBN 978-65-5550-005-9, 2020.

- GROOVER, M. Automação Industrial e Sistemas de Manufatura. Editora Pearson, 3ª ed., 2010, ISBN-10 978-8576058715.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: Hawaii International Conference on Systems Science. 2016. p. 3928–3937.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. Introdução à Pesquisa Operacional. São Paulo: Mc Graw Hill. 2006.
- LENSTRA, J.; RINNOOY, K. A. Complexity of vehicle routing and scheduling problems. Networks. Vol. 11. p. 221-227. 1981.
- MARIQUITO, J. V. M.; SILVA, L. A. G.; ARAUJO, R. M.; PORFIRIO, V. H. M.; ABREU, S. R. Sistema de Gestão de Processos Aplicado ao Gerenciamento de Produção utilizando Curva ABC e metodologia de Programação Linear visando a Maximização dos Resultados. X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, ISSN 2447-0635, 2018.
- MORAES, D. G.; FERREIRA, C. V.; SILVA, A. M. Production Optimization Using Linear Programming: Case Study in an Aluminum Fenestration Industry. Refas. ISSN 2359-182X, v. 5, n. 4, edição especial, 2019.
- MIYAZAWA, F. K. Otimização Combinatória. Universidade Estadual de Campinas. Unicamp. Disponível em: <<https://www.ic.unicamp.br/~fkm/problems/combopt.html>>. Acesso em 03 de Fevereiro de 2019.
- OLIVEIRA, E. A. M.; XAVIER, A. P.; SILVA, A. A.; MENDES, B.; TAKEDA, L. Programação Linear Aplicada a Designação de Pessoas: Uma Análise da Literatura Especializada. XIII Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. ISSN 2176-3097. Campo Mourão, 2019.
- SACOMANO, J.; SÁTYRO, W. Indústria 4.0: conceitos e elementos formadores. In: EDGARD BLUCHER LTDA. (Org.). Indústria 4.0: conceitos e fundamentos. São Paulo, 2018a. p. 27–47.
- SAKURAI, R.; ZUCHI, J. As revoluções industriais até a Indústria 4.0. Revista Interface Tecnológica. v. 15, N. 2, 480-491, 2018, DOI <https://doi.org/10.31510/infa.v15i2.386>.
- SILVA, I. P.; CAPOCCI, N. R.; GONÇALVES, V. C.; BUENO, M. J. C.; OLIVEIRA, M. A. M. Minimizing Freight Costs in the Cleaning Distribution by Linear Programming. Revista ENIAC Pesquisa, v. 7, n. 1, 2018, Guarulhos.
- SOSA, N. G. M.; GALVÃO, R. D.; GANDELMAN, D. A. Algoritmo de busca dispersa aplicado ao problema clássico de roteamento de veículos. Pesqui. Oper. vol. 27. no. 2. Rio de Janeiro. May/Aug. 2007. Print version ISSN 0101-7438 On-line. LENSTRA, J.; RINNOOY, K. A. Complexity of vehicle routing and scheduling problems. Networks. Vol. 11. p. 221-227. 1981.
- SOUSA, R.; FURTADO, C. J. G.; HORTA, J. C. L. Graphical Resolution of Linear Programming problems, using 3D graphics sheet of GeoGebra. Revista do Instituto GeoGebra de São Paulo, v. 7, n. 2, p. 45-64, 2018, ISSN 2237-9657.
- TAHA, H. A. Pesquisa Operacional: uma visão geral. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- VIEIRA FERNANDES, F. P. Problemas de Alocação de Recursos Humanos: Proposta de solução pelo Método AHP e Programação Linear Inteira. Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2019, Trabalho de Conclusão de Curso.