

MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE MÓVEIS PLANEJADOS

AN OPTIMIZATION MODEL FOR CUSTOM FURNITURE PRODUCTION

MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE MUEBLES A MEDIDA

 <https://doi.org/10.56238/arev8n1-021>

Data de submissão: 06/12/2025

Data de publicação: 06/01/2026

Adriano Marcelo Marques Miyashiro

Mestre em Propriedade Intelectual

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul
(IFMS)

E-mail: amarques.7@gmail.com

Rafael Verão Françozo

Doutor em Pesquisa Operacional

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul
(IFMS)

E-mail: rafael.francozo@ifms.edu.br

RESUMO

A indústria moveleira é um dos setores mais importantes do Brasil, destacando-se pela geração de empregos e por um faturamento de R\$ 79,76 bilhões em 2021. São mais de 20 mil empresas atuando nesse mercado. Este estudo tem como objetivo elaborar um modelo de otimização para uma fábrica de móveis planejados localizada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Para atingir este objetivo foi desenvolvido um modelo de otimização apoiado na Programação por Metas Fuzzy. Verificou-se que focar na produção de determinados itens pode aumentar os lucros e reduzir os custos com matéria-prima. Adicionalmente, esses resultados indicam que concentrar a produção em produtos específicos ajuda a diminuir o tempo de espera dos clientes, o que aumenta a satisfação deles com o serviço.

Palavras-chave: Indústria Moveleira. Modelo de Otimização. Programação por Metas.

ABSTRACT

The furniture industry is one of the most important sectors in Brazil, standing out for job creation and for a revenue of R\$ 79.76 billion in 2021. More than 20,000 companies operate in this market. This study aims to develop an optimization model for a custom furniture manufacturing company located in Campo Grande, Mato Grosso do Sul. To achieve this objective, an optimization model based on Fuzzy Goal Programming was developed. The results indicate that focusing on the production of specific items can increase profits and reduce raw material costs. Additionally, these findings suggest that concentrating production on selected products helps reduce customer waiting time, thereby increasing customer satisfaction with the service.

Keywords: Furniture Industry. Optimization Model. Goal Programming.

RESUMEN

La industria del mueble es uno de los sectores más importantes de Brasil, destacándose por la generación de empleo y por una facturación de R\$ 79,76 mil millones en 2021. Más de 20 mil

empresas operan en este mercado. Este estudio tiene como objetivo desarrollar un modelo de optimización para una fábrica de muebles a medida ubicada en Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Para alcanzar este objetivo, se desarrolló un modelo de optimización basado en la Programación por Metas Fuzzy. Los resultados muestran que centrarse en la producción de determinados artículos puede aumentar las ganancias y reducir los costos de materia prima. Además, estos resultados indican que concentrar la producción en productos específicos ayuda a reducir el tiempo de espera de los clientes, lo que incrementa su satisfacción con el servicio.

Palabras clave: Industria del Mueble. Modelo de Optimización. Programación por Metas.

1 INTRODUÇÃO

A indústria moveleira consiste em uma das principais atividades econômicas no território brasileiro. Dados do relatório “Conjuntura de Móveis” elaborado pela Associação Brasileira das Indústrias de Mobiliário (AbiMóvel) apontam que, em novembro de 2024, a indústria moveleira no Brasil produziu 40,6 milhões de peças e comercializou 40,2 milhões. O mesmo relatório aponta que em 2024 o setor importou 127.410 máquinas para produção de móveis. Apenas em dezembro de 2024 o setor movimentou mais de US\$ 70 milhões em produtos exportados, tendo Estados Unidos, Uruguai e Chile como principal destino das exportações (Abimóvel, 2025).

Neste contexto é importante ressaltar que a indústria moveleira está presente em praticamente todo o território nacional, com presença maciça de pequenas e médias empresas (Bedê, 2006) que fabricam peças customizadas (Galinari, 2013). Empreendimentos dessa natureza em uma determinada região compõe os chamados Arranjos Produtivos Locais (APL) configurados pela presença de empresas com mesma atividade produtiva que compartilham características como relacionamentos culturais e colaborativos (Oliveira; França e Rangel, 2018).

Com relação à indústria de móveis planejados, constituída por pequenas e médias empresas, dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresa (SEBRAE) indicam que, no estado de São Paulo, havia mais de 12 mil empresas do tipo em 2014 frente a pouco mais de 4.500 em 2009 (Sebrae, 2018). Em Mato Grosso do Sul, o dado mais atualizado do SEBRAE aponta para a ocorrência de 524 empresas deste tipo no ano de 2004, o que representou na ocasião um aumento de 10,8% com relação às 473 empresas verificadas em 2000 (Bedê, 2006).

Apesar dos números robustos apresentados pela AbiMóvel, as exportações da indústria moveleira brasileira, que tradicionalmente são modestas no cenário internacional, enfrentam desafios significativos. A partir dos anos 2000 o mercado mundial assistiu uma rápida expansão das exportações de produtos asiáticos, em especial dos itens chineses, o que tem contribuído para o declínio das exportações brasileiras (Galinari, 2013).

O cenário brasileiro ainda enfrenta desafios relacionados com a eficiência e sustentabilidade da produção, uma vez que tradicionalmente a produção é baseada em artigos confeccionados com madeira com parte significativa oriunda de madeiras de reflorestamento (pinus e eucalipto) a partir de fornecedores nacionais (Galinari, 2013). Adicionalmente há o impacto causado pela geração de resíduos e descarte do material e aproveitamento mais eficiente das placas (Oliveira; França e Rangel, 2018).

A produção de móveis planejados envolve ainda um cenário de incerteza, tanto na linha de produção quanto relacionado com o corte das placas. A produção de determinado item demanda

parâmetros desconhecidos a serem informados pelos clientes no ato da contratação do serviço. Este estudo visa desenvolver um modelo matemático para melhoria da eficiência da produção das peças. O modelo é projetado sob a ótica da otimização da linha de produção utilizando ferramentas da pesquisa operacional para programação multiobjetivo e em cenários de incerteza.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A INDÚSTRIA DE MÓVEIS PLANEJADOS NO BRASIL

A indústria moveleira brasileira é um setor de grande relevância econômica e social, desempenhando uma importante posição no ramo industrial e sendo um dos que mais emprega no país de forma direta e indireta. Com mais de 20 mil estabelecimentos em atividades e um faturamento expressivo de R\$ 79,76 bilhões registrado em 2021, conforme o relatório do Banco do Nordeste sobre o setor (Brainer, 2021) o setor apresenta forte representatividade no mercado.

Por meio da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)¹, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)² divide a indústria moveleira em quatro categorias principais: móveis com predominância de madeira, de metal, de outros materiais e colchões (Brainer, 2021). No segmento de madeira, os móveis se dividem em retilíneos — feitos com aglomerado, MDF do inglês *Medium Density Fiberboard*, compensado e painéis, que utilizam principalmente madeira maciça. O avanço das indústrias madeireiras ampliou o uso de diferentes derivados da madeira, consolidando-a como a matéria-prima predominante na fabricação de móveis.

No estado de Mato Grosso do Sul, por exemplo, existem 234 empresas no ramo moveleiro. Este ramo é fundamental para o desenvolvimento econômico das regiões do estado, gerando 1.351 empregos diretos com uma renda nominal aproximada de R\$ 2.171,00. As fábricas estão distribuídas com grande concentração na região Central (46,15%) com renda nominal aproximada de R\$ 2.016,00. Na região da Grande Dourados, que abrange 11 dos 79 municípios do estado, concentra 21,36% das fábricas e com renda nominal aproximada de R\$ 1.782,00. A região leste do estado, caracterizada pela rápida expansão da indústria de celulose, concentra 14,52% das empresas e possui a maior renda nominal, com valores aproximados de R\$ 2.632,00.

A região oeste do estado, com predomínio de municípios na região do Pantanal, concentra 3,41% das empresas e possui a menor renda nominal aproximada no estado, com valores em torno de R\$

¹<https://cnae.ibge.gov.br/?view=divisao&tipo=cnae&versao=4&divisao=36>

²<https://www.ibge.gov.br/>

1.532,00. Já a região sul concentra 8,97% das empresas e registra renda aproximada de R\$ 1.822,00. Esses dados são fornecidos pelo observatório da indústria mantido pelo sistema FIEMS³.

Apesar da relevância, a literatura aponta desafios do setor que incluem questões relacionadas com o gerenciamento da logística de entrega e parceria na produção (Pacheco *et al.*, 2025) relacionamento entre a agilidade na linha de produção e a qualidade do material produzido (Chen *et al.*, 2024); uso de recursos de inteligência artificial e robótica na produção (Lo, 2024; Heo *et al.*, 2025) entre outros.

O crescimento populacional mundial e a urbanização acelerada em grandes centros como São Paulo, Rio de Janeiro, Tokio e Xangai, a exemplo, intensificam o desafio do espaço nas moradias, o que impulsiona a demanda por imóveis compactos (Husein, 2021). Nesse contexto, a otimização do corte de chapas de MDF ou madeira maciça — materiais amplamente utilizados na fabricação de móveis — representa uma etapa crítica, tanto do ponto de vista do aproveitamento de recursos quanto da redução de desperdícios e principalmente no aproveitamento de funcionalidades.

Apesar de o Brasil ter produzido cerca de 421 milhões de peças de móveis em 2020, sendo 98,8% destinadas ao mercado interno, conforme estudo do Banco do Nordeste (Brainer, 2021), o processo produtivo ainda é fortemente dependente de métodos tradicionais. A modernização do parque fabril e a digitalização de processos, como o planejamento de corte, são apontadas como caminhos essenciais para elevar a competitividade e reduzir desperdícios.

De acordo com Sereda *et al.*, (2023), a automação na fabricação é fundamental para as indústrias, embora ainda existam poucos estudos voltados para o corte em móveis planejados. Conforme Sereda *et al.*, (2023) investigaram modelos para melhoria do corte em serrarias, focando na produção de madeira laminada, onde toras e blocos são processados em chapas laminadas, como compensados, madeira laminada e painéis de fibra. Além disso, estudos relacionados ao problema de corte de estoque, que visam aprimorar algoritmos ou modelos matemáticos para produção em série, têm sido abordados por Gramani, França e Arenales (2011).

2.2 OTIMIZAÇÃO POR METAS EM CENÁRIOS DE INCERTEZA

Os atores envolvidos no mundo empresarial (público ou privado) frequentemente precisam proceder com tomadas de decisão que envolvem metas e objetivos (eventualmente conflitantes) que consomem recursos e estão sujeitas a algumas restrições. Neste contexto, a decisão é compreendida como "um processo de análise entre várias alternativas disponíveis do curso de ação que a pessoa deverá seguir" (Chiavenato, 1997). A tomada de decisão é uma tarefa complexa e demanda o emprego

³<https://observatoriodaindustria.fiems.com.br/paineis>

de estratégias que permitam comparar as alternativas disponíveis de modo que seja possível escolher a mais adequada para o cenário em análise.

Em paralelo, a Pesquisa Operacional (PO) é uma ciência que utiliza método científico apoiado em modelos matemáticos, estatísticos e algoritmos computacionais para apoio à tomada de decisões (Belfiore e Fávero, 2012). Em termos gerais, a PO consiste em um conjunto de métodos que visam otimizar um determinado objetivo, ou seja, obter a melhor solução possível em um determinado conjunto de recursos e restrições, de modo que um modelo geral de problema de otimização pode ser descrito da seguinte maneira (Taha, 2008).

minimizar ou maximizar um objetivo

sujeito a:

restrições

A PO possui várias ferramentas, a escolha da mais adequada para determinada situação-problema está intrinsecamente relacionada com as variáveis de decisão do modelo que podem ser contínuas (pertencente ao conjunto dos números reais), discretas (pertencente ao conjunto dos números inteiros) ou binárias (Belfiore e Fávero, 2012). Entre as principais ferramentas podemos destacar a otimização linear, em redes, inteira e binária, mista, otimização por metas ou multiobjetivo, entre outras (Arenales, 2011).

Modelos de otimização linear servem como base para os demais e apoiam o processo de tomada de decisão por meio de diversos métodos desenvolvidos ao longo dos anos (Arenales, 2011). Métodos de otimização linear são atualmente utilizados em uma ampla variedade de setores como financeiro, educação, petróleo, setor florestal, transporte rodoviário entre outros (Winston, 2004). A forma padrão de um modelo de otimização linear pode ser expresso em notação matricial como (Arenales, 2011):

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar } f(x) = c^T x \\ & Ax = b \\ & x \geq 0, \end{aligned} \tag{1}$$

Em que:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

é uma matriz $m \times n$, chamada matriz dos coeficientes ou matriz tecnológica;

$c^T = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ é o vetor de custos,

$x^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ é o vetor das variáveis, ou incógnitas (restrições do problema);

$b^T = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ é o vetor de custos;

$0^T = (0, 0, \dots, 0)$ é o vetor cujos elementos são todos iguais a 0.

Nesta forma o problema de otimização possui a sua função objetivo a ser otimizada, as restrições que envolvem aspectos como custos e recursos disponíveis e as condições de não-negatividade, uma vez que a solução ótima matemática pode envolver valores negativos, mas, na prática, não é possível ter uma quantidade negativa de recursos (Arenales, 2011). O espaço de soluções que atende a todas as restrições do problema é chamado de região factível. A melhor solução dentro deste espaço é chamada de solução ótima (Winston, 2004).

A programação linear nesse formato é útil para casos onde existe apenas um objetivo de decisão a ser otimizado. Situações que envolvem múltiplos objetivos, outras ferramentas como a otimização multiobjetivo é mais adequada. A otimização por metas ou otimização multiobjetivo envolve problemas caracterizados por múltiplos objetivos, ou metas, por vezes conflitantes entre si. A modelagem de problemas desta natureza é baseada em minimizar os desvios entre os objetivos (ou metas) especificados por meio das nomeadas variáveis de desvio (Belfiore e Fávero, 2012).

A otimização multiobjetivo não retorna uma solução ótima, mas sim um conjunto de soluções eficientes que norteiam o tomador de decisão. Desse modo, a escolha da melhor solução combina o modelo matemático com julgamento humano. A representação do conjunto de soluções eficientes é denominada fronteira eficiente ou fronteira de Pareto (Winston, 2004). Diferentemente da programação linear onde, no modelo, existem apenas restrições que não podem ser violadas (chamadas de restrições *hard*) na otimização multiobjetivo algumas restrições, chamadas de *soft*, podem sofrer alguma violação (Ragsdale, 2012).

Na otimização multiobjetivo, cada desigualdade no conjunto de restrições é convertida em uma meta flexível, o que permite uma violação da restrição caso necessário. Para isso são acrescentadas variáveis especiais denominadas variáveis de desvio (Schniederjans, 1995). Desse modo, a otimização fornece um resultado que se aproxima 'o máximo possível' das metas indicadas, independente das metas serem atingíveis ou não o (Charnes e Cooper, 1977, p. 2015).

$$Z = \sum_{i \in m} (d_i^+ + d_i^-) \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=i}^n a_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad (4)$$

Para todo $i = 1, \dots, m$

Onde:

m representa o conjunto de metas,

a_{ij} é a quantidade de recursos i demandado pelo projeto j ,

x_j é a fração do projeto j aceito,

b_i é o total de recursos i disponíveis

A formulação possui ainda as variáveis de desvio d_i^+ e d_i^- onde d_i^+ é nomeada como variável de desvio positiva e d_i^- como variável de desvio negativa e i é um elemento das m possíveis variáveis de desvio positivas e negativas implica que a escolha na seleção das variáveis de desvio a serem incluídas na função objetiva (Schniederjans, 1995).

A literatura apresenta alguns algoritmos para resolução de problemas no escopo da otimização multiobjetivo, com destaque para o método dos pesos e o método hierárquico. Ambos são baseados na representação de múltiplas metas por uma única função objetivo (Taha, 2008). No método dos pesos são atribuídos valores (que representam a importância relativa de uma meta sobre o contexto da decisão) para as variáveis de desvio da função objetivo. Já no método hierárquico as metas são priorizadas em ordem de importância e busca otimizar uma meta por vez iniciando pelo grau mais elevado terminando com a de menor prioridade (Taha, 2008).

A despeito dos algoritmos disponíveis, os decisores são frequentemente confrontados com cenários de incerteza, seja para atribuir pesos às variáveis de desvio ou para indicar um ranking de priorização (Rao; Tiwari e Mohanty, 1988). Diante de tais cenários, a otimização multiobjetivo pode se beneficiar da teoria *fuzzy* (Zadeh, 1965) para abordar as incertezas, o que origina o modelo conhecido como programação por metas *fuzzy* (FGP - do inglês *Fuzzy Goal Programming*) (Martel, 1990).

Este estudo tem como escopo a otimização da linha de produção de uma pequena empresa de

móveis planejados. Empresas dessa natureza possuem uma linha de produção dinâmica, uma vez que devem realizar atividades de acordo com demandas realistas (Purnama *et al.*, 2023). A literatura aponta alguns exemplos de empreendimentos dessa natureza que foram abordados por meio de métodos de otimização.

O estudo de Duc; Buddhakulsomsiri e Tai, (2024) foca na redução do custo de produção por meio de um modelo que mescla a formulação tradicional de projeto de rede com a formulação de posicionamento de estoque usando o conceito de serviço garantido. Enquanto Purnama *et al.*, (2023) utiliza o método *Fuzzy Goal Programming* para realizar um balanço entre o fornecimento de matéria-prima e a linha de montagem. A escolha do local de instalação de uma fábrica de móveis utilizando programação por metas (Singer e Özsahin, 2020).

3 METODOLOGIA

A metodologia de desenvolvimento deste estudo é adaptada com base nas fases de estudo de implementação de modelos de Pesquisa Operacional conforme indicado em Taha, (2008). Este estudo teve como foco a definição do problema, construção do modelo e solução do modelo.

3.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A primeira etapa do estudo consiste na definição do problema onde são estabelecidos os objetivos e metas de otimização do sistema em análise. Para o desenvolvimento desta etapa foi conduzida entrevista com o proprietário da empresa demandante. Este empreendimento presta serviços de fabricação de móveis planejados na cidade de Campo Grande - capital do estado de Mato Grosso do Sul. A entrevista buscou evidenciar, além dos objetivos e metas, quais os recursos demandados na linha de produção, quais as restrições como a mão de obra e matéria-prima disponível de modo a definir as variáveis de decisão do sistema.

3.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Com base nos resultados da etapa anterior, é construído um modelo matemático de otimização de modo a atingir os objetivos identificados. Em uma análise prévia foi identificado que o sistema de mundo real do contexto sob análise possui múltiplos objetivos e um conjunto de incertezas e problemas com essas características podem ser abordados satisfatoriamente por meio da programação por metas *fuzzy*. Esta etapa envolve transformar os objetivos, recursos e restrições previamente identificados em um modelo matemático no contexto da FGP Ddo inglês *Fuzzy Goal Programming*.

Embora a literatura ofereça diversas abordagens para definir a priorização ou escala das metas, este estudo aborda o método dos pesos, apresentado anteriormente na revisão da literatura. A opção por este método deveu-se a uma maior facilidade na comunicação e entendimento com o demandante. Adicionalmente a variação na constante de escala das metas fornece recursos para a etapa de validação do modelo que permite garantir a robustez da solução apresentada.

3.3 SOLUÇÃO DO MODELO

Com os parâmetros do problema identificados e com o modelo matemático elaborado segue-se para a etapa de solução do modelo. Para esta etapa foi utilizado como apoio o framework Google OR-tools⁴ que oferece um conjunto de ferramentas de otimização. O produto deste estudo consiste em um software no qual o usuário informa seus parâmetros e o sistema calcula e orienta as melhores soluções para questões relevantes no processo de produção de móveis planejados, como qual linha de produção ou qual corte das placas mais indicado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta. De modo a proteger dados sensíveis da empresa, informações como custo de produção, lucro e outros dados financeiros serão representados neste estudo como Unidades Monetárias, representadas pelo símbolo de \$, que não está relacionadas a nenhuma moeda ou cotação específica, mas apenas mantém a proporção dos valores envolvidos no estudo.

4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Este estudo iniciou-se com uma entrevista com o proprietário de uma empresa de móveis planejados na cidade de Campo Grande. A entrevista foi realizada de forma presencial e teve duração aproximada de 40 minutos. As seguintes questões-guia foram utilizadas para:

1. Quais são as principais dificuldades da empresa com relação à produção de móveis planejados?
2. Quais são os principais produtos e serviços demandados pelos clientes da empresa?
3. Quais são as metas e aspirações da empresa e quais são as limitações?
4. Quais são os recursos e os custos estimados do material de consumo para a produção das peças?

⁴<https://developers.google.com/optimization/install?hl=pt-br>

5. Qual a força de trabalho disponível para a produção das peças e qual tempo é necessário para realizar cada produto?

A entrevista permitiu identificar fatores pertinentes relacionados com a produção. Verificou-se que a maior parte da demanda da empresa está relacionada com a produção de guarda-roupas, estantes, mesas de escritório e bancadas personalizadas. Cada produto usa diferentes tipos de madeira, com diferentes tamanhos e espessuras, afetando o custo e a produção final. O proprietário pretende principal otimizar a produção da empresa considerando algumas metas prioritárias que incluem lucro, custo de matéria-prima e tempo de produção.

Os principais produtos produzidos demandam placas de madeira popularmente conhecidas como MDF ou de madeira maciça. Para esse experimento foram consideradas as placas de MDF que possuem tamanhos, custos e espessuras distintas que estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1. Tamanho das placas com o custo de produção

Tipo de Placa	Tamanho	Espessura	Custo
P1	2m x 1m	20mm	\$ 150
P2	1,5m x 1m	20mm	\$ 120
P3	2m x 1m	30mm	\$ 200
P4	1,5m x 1m	30mm	\$ 170
P5	2m x 1m	50mm	\$ 350
P6	1,5m x 1m	50mm	\$ 300

Fonte: Elaborado pelos autores

Os principais itens produzidos demandam uma combinação específica de placas MDF. Os guarda-roupas e as mesas de escritório envolvem uma combinação de placas 20mm e 30mm. As estantes mais comumente demandadas exigem apenas placas de 200mm enquanto as bancadas exigem apenas placas de 50mm.

O consumo do tipo de placa por item costuma variar de acordo com as dimensões de cada produto. As estantes são feitas exclusivamente com placas de 20mm e as bancadas com placas de 50mm. A produção dos guarda-roupas personalizados consome em média 30% de placas de 20mm e 70% de placas de 30mm. As mesas de escritório são fabricadas em média 60% de placas de 20mm e 40% de 30mm. A Tabela 2 consolida essas informações e adiciona o total de madeira MDF utilizado em média para cada item e a demanda estimada em unidades por mês de cada produto.

Tabela 2. Consumo estimado de material por tipo de produto

Produto	Placas	Consumo Total m ²	Proporção de Uso	Demanda
Guarda-roupa	20mm e 30mm	10	30% (20mm) / 70% (30mm)	5
Estante	20mm	5	100% (20mm)	8
Mesa Escritório	20mm e 30mm	6	60% (20mm) / 40% (30mm)	6
Bancada	50mm	8	100% (50mm)	3

Fonte: Elaborado pelos autores

Toda a produção é desenvolvida por 5 profissionais, dos quais 2 são responsáveis pelo corte e produção das peças e outros 2 são responsáveis pela montagem dos produtos no ambiente do cliente. Há ainda um profissional responsável pelo projeto e design das peças. Todos os profissionais envolvidos trabalham em período integral com jornada de trabalho de 40 horas semanais.

A produção das peças envolve 5 etapas: design, corte, acabamento, montagem. Cada etapa demanda um tempo de produção em horas conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3. Custo operacional estimado

Produto	Design	Corte	Acabamento	Montagem	Total
Guarda-roupa	4	6	4	10	23
Estante	2	3	2	5	11
Mesa Escritório	3	4	2	7	16
Bancada	5	7	4	13	29

Fonte: Elaborado pelos autores

Após serem levantadas as informações sobre o ambiente de produção da empresa, foi realizado um levantamento das metas que podem ser otimizadas com uma solução baseada em métodos de pesquisa operacional. Desse modo, foram identificadas 3 metas principais a serem consideradas no sistema de produção. São elas: 1 - maximizar o lucro total; 2 - minimizar o custo da matéria-prima e; 3 - minimizar o tempo de produção.

Com relação à meta 1 (maximizar o lucro total) cada produto oferece um lucro específico para a empresa, sendo \$300 para cada estante, \$400 para as mesas, \$500 para os guarda-roupas e \$600 para as bancadas. Esses valores são estimativas aproximadas fornecidas pelo demandante do projeto.

A produção também enfrenta algumas restrições relacionadas, além da capacidade de produção tendo em conta os funcionários da empresa. Em primeiro lugar, a empresa possui um capital de giro de \$50.000 por semana para investimento na matéria-prima, o que naturalmente implica em quantidades limitadas da mesma por semana. A proporção do uso das placas da matéria-prima, assim como o atendimento da demanda mensal, são outras restrições que tornam o problema complexo.

Assim, algumas das principais incertezas foram levantadas. A primeira incerteza está relacionada com a demanda, que pode variar em torno de 20% para mais ou para menos a cada mês. Os custos da matéria-prima são altamente variáveis e podem oscilar em torno de 10% para mais ou para menos. Por fim, há incertezas relacionadas com o tempo de entrega dos produtos, pois muitos fatores podem influenciar a produção. Neste cenário, a incerteza envolve uma flexibilização da meta de entrega em até 20 dias.

Os dados inicialmente coletados na entrevista foram considerados suficientes para seguir para a próxima etapa do estudo, a qual é a construção do modelo matemático, detalhado na seção seguinte.

4.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO

A construção do modelo consiste na definição das variáveis de decisão, das metas a serem otimizadas e no conjunto de restrições. A definição desses dados permite a formulação final do problema de decisão.

4.2.1 Variáveis de Decisão

A análise do problema permitiu a elaboração do modelo matemático para resolução. A empresa produz majoritariamente 4 itens conforme apresentado na seção anterior, desse modo, foi possível definir as variáveis de decisão do problema que consistem na produção destes itens que são:

- x_1 = Quantidade de Guarda-Roupas produzidos
- x_2 = Quantidade de Estantes produzidas
- x_3 = Quantidade de Mesas de Escritório produzidas
- x_4 = Quantidade de Bancadas produzidas

4.2.2 Metas a serem otimizadas

A análise do problema também evidenciou as metas ou desejos dos proprietários com relação ao problema em estudo. Em primeiro lugar, como toda empresa, a primeira meta consiste em maximizar o lucro, o que implica na combinação ótima entre os recursos e as restrições existentes que retorne o maior lucro possível.

Para alcançar a meta do lucro, a fábrica precisa considerar as demais variáveis de fabricação, são elas: custo da matéria-prima e custo de operacional. Considerando os valores estimados do lucro para à produção dos itens apresentado anteriormente, temos a meta 1 definida como:

$$L_d = 500x_1 + 300x_2 + 400x_3 + 600x_4 + d_1^+ - d_1^- \quad (5)$$

Onde L_d é o lucro obtido com a produção das peças. Os desvios positivos (d_i^+) e negativos (d_i^-) são usados para permitir certa flexibilidade na obtenção das metas. As funções objetivo e restrições serão tratadas de forma que sejam minimizados os desvios ponderados.

A meta 2 consiste em minimizar o custo da matéria-prima o que implica na melhor utilização dos recursos da empresa e consequente redução nos custos. Essa meta conflita com a meta 1 já que a primeira visa maximizar o lucro, ou seja, aumentar ao máximo possível a quantidade de itens produzidos, o que naturalmente implica no aumento da utilização da matéria-prima, a meta 2 visa reduzir esse consumo. Desse modo, as duas metas são conflitantes e uma solução viável será uma solução de compromisso no qual exista um balanço entre as duas.

Durante a etapa de definição do escopo do problema foi identificado que a empresa utiliza, majoritariamente, 6 tipos de placas para fabricação dos itens. Os dados desse material estão descritos na Tabela 2. De modo a realizar a formulação do problema foram definidas as seguintes variáveis de decisão:

$$Variáveis da meta 2 = \begin{cases} Q_{P1_{20}} = \text{Placas de 20mm com dimensões de } 2\text{mx1m} \\ Q_{P1_{20}} = \text{Placas de 20mm com dimensões de } 1.5\text{mx1m} \\ Q_{P1_{30}} = \text{Placas de 20mm com dimensões de } 2\text{mx1m} \\ Q_{P1_{30}} = \text{Placas de 20mm com dimensões de } 1.5\text{mx1m} \\ Q_{P1_{50}} = \text{Placas de 20mm com dimensões de } 2\text{mx1m} \\ Q_{P1_{50}} = \text{Placas de 20mm com dimensões de } 1.5\text{mx1m} \end{cases} \quad (6)$$

As variáveis da expressão acima representam a quantidade de placas de madeira de cada tipo utilizadas no mês. Tratam-se de variáveis de decisão que o modelo vai ajustar para minimizar o uso da matéria-prima e, consequentemente, o custo, sem comprometer as outras metas, como entrega, lucro e capacidade produtiva. Considerando os custos de cada placa conforme detalhado na Tabela \ref{tabelaplacas} chegamos a seguinte expressão:

$$C_d = 150Q_{P1_{20}} + 120Q_{P2_{20}} + 200Q_{P3_{30}} + 170Q_{P4_{30}} + 350Q_{P5_{50}} + 300Q_{P6_{50}} + d_2^+ - d_2^- \quad (7)$$

Onde C_d é o Custo das placas com o desvio adicionado.

Outra meta é a redução no tempo de produção, considerando o tempo necessário apresentado na Tabela 3 esta meta é definida como minimizar o custo operacional. Esta meta está relacionada com o custo de operacional para fabricação de cada produto. A meta 3 também é conflitante com a meta

1, que visa minimizar o custo de produção. Desta maneira, temos que encontrar a menor carga de horas para produção. Ou seja, qual é a melhor combinação de produtos para gerar o maior lucro. Desse modo a formulação da meta com as variáveis de desvio é dada por:

$$T_d = 23x_1 + 11x_2 + 16x_3 + 29x_4 + d_3^- - d_3^+ \quad (8)$$

Onde T_d é o custo das placas com o desvio adicionado.

4.2.3 Restrições e recursos disponíveis

Um problema de otimização é limitado por um conjunto de restrições que definem qual intervalo de valores as variáveis de decisão podem assumir dentro do sistema. Este estudo identificou 3 metas, portanto há 3 conjuntos de restrições.

A primeira meta está relacionada em maximizar a produção, ou seja, a quantidade de itens produzidos para comercialização. Entretanto, verificou-se conforme a Tabela \ref{tabelaproductos} que existe uma expectativa de demanda mensal na produção da empresa.

$$\text{Restrições da meta 1} = \begin{cases} x_1 \geq 5 \\ x_2 \geq 8 \\ x_3 \geq 6 \\ x_4 \geq 3 \\ x_1, x_2, x_3, x_4 \in \mathbb{Z} \end{cases} \quad (9)$$

No conjunto de restrições acima, as variáveis de decisão pertencem também ao conjunto dos números inteiros, pois não faz sentido produzir uma fração de um item. Apesar de ser a demanda esperada para a empresa, os valores podem variar, neste caso serão realizadas simulações de cenários com variações na demanda esperada de cada item com base no histórico que é produzido pela empresa. Essa análise visa majorar a robustez do sistema. Esta é uma das atividades desenvolvidas na etapa de validação do modelo.

A segunda meta consiste em minimizar o custo de aquisição dos itens de matéria-prima. Esta meta é limitada pelo orçamento disponível para aquisição dos itens, definido em \$ 50.000. Desse modo, a restrição para esta meta é dada por:

$$150Q_{P1_{20}} + 120Q_{P2_{20}} + 200Q_{P3_{30}} + 170Q_{P4_{30}} + 350Q_{P5_{50}} + 300Q_{P6_{50}} \leq 50.000 \quad (10)$$

A terceira meta, minimizar o custo de operacional, está relacionada com a produção dos itens. A empresa dispõe de 5 profissionais, sendo que 2 atuam no corte das peças, 2 na montagem e 1 no design. A Tabela \ref{tabelaproducao} fornece o tempo necessário em horas de produção para cada peça em cada etapa do processo. A etapa de acabamento é necessária tanto no corte quanto na montagem de cada item, por isso, os valores informados para esta etapa na Tabela \ref{tabelaproducao} serão adicionados igualmente entre essas duas etapas.

Dessa maneira, teremos 3 restrições para esta meta. A primeira restrição é para o design das peças e é dada por:

$$4x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 5x_4 \leq 40 \quad (11)$$

Elaborar o projeto de um guarda-roupa leva em média 4 horas enquanto que de uma estante apenas 2. O projeto de mesas e bancadas personalizadas levam 3 e 5 horas respectivamente. Ainda que o modelo possa ser reaproveitado, determinadas personalizações são frequentes, portanto há sempre a necessidade de um tempo para o design de cada peça encomendada. Como há um funcionário com carga horária semanal de 40 semanais, por essa razão a soma do tempo gasto com os projetos deve ser menor ou igual a 40.

A segunda restrição corresponde ao processo de corte e acabamento das peças. Essa restrição é dada por:

$$8x_1 + 4x_2 + 5x_3 + 9x_4 \leq 80 \quad (12)$$

A etapa de corte e acabamento dispõe de dois profissionais, por essa razão o tempo gasto nessa etapa deve ser menor ou igual a 80 uma vez que cada um dos técnicos trabalha 40 horas semanais.

A última restrição é para a etapa de montagem. A montagem é feita em duas etapas: pré-montagem na fábrica e montagem no local de entrega. Dependendo do item ele pode ser entregue completamente montado para o cliente ou pode demandar a montagem no local por motivos diversos como o acesso aos ambientes. A restrição para esta etapa é dada por:

$$12x_1 + 6x_2 + 8x_3 + 15x_4 \leq 80 \quad (13)$$

Assim concluímos a formulação das restrições do problema e obtemos a função objetivo completa apresentada a seguir.

$$\begin{aligned}
 \min Z &= w_1(d_1^+ + d_1^-) + w_2(d_2^+ + d_2^-) + w_3(d_3^+ + d_3^-) \\
 \text{Sujeito a:} \\
 x_1 &\geq 5 \\
 x_2 &\geq 8 \\
 x_3 &\geq 6 \\
 x_4 &\geq 3 \\
 150Q_{P1_{20}} + 120Q_{P2_{20}} + 200Q_{P3_{30}} + 170Q_{P4_{30}} + 350Q_{P5_{50}} + 300Q_{P6_{50}} &\leq 50.000 \\
 4x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 5x_4 &\leq 40 \\
 8x_1 + 4x_2 + 5x_3 + 9x_4 &\leq 80 \\
 12x_1 + 6x_2 + 8x_3 + 15x_4 &\leq 80 \\
 x_1, x_2, x_3, x_4 &\in \mathbb{Z}
 \end{aligned} \tag{14}$$

Como destacado anteriormente, este estudo utiliza o método dos pesos no contexto da programação por metas fuzzy o que implica que faz-se necessário definir as constantes de escala (ou pesos) relativos de cada meta. Com base na entrevista com o demandante, verificou-se que a meta 1 pode possuir importância que varia de 30% a 70% no processo de decisão enquanto as metas 2 e 3 possuem entre 15% e 50% e de 10% até 40% respectivamente.

$$\text{Pesos das metas:} \begin{cases} w_1 = 0.3 \sim 0.7 \\ w_2 = 0.15 \sim 0.5 \\ w_3 = 0.1 \sim 0.4 \end{cases} \tag{15}$$

Nesta função o objetivo é minimizar os parâmetros w_1 , w_2 e w_3 que significam os desvios fuzzy representados pelas variáveis d_i^+ e d_i^- . A variação nos pesos também permite simular cenários que contribuam para a melhor tomada de decisão possível. A formulação do problema completo permite avançar para a próxima etapa de solução computacional do modelo.

4.3 SOLUÇÃO DO MODELO

A solução computacional do modelo espelha a sua formulação matemática com a definição das variáveis de decisão, metas e restrições. Para esta etapa foi utilizado o framework Google Or-tools que integra um conjunto de recursos para otimização de problemas relacionados com métodos de pesquisa operacional. A Tabela 4 apresenta os resultados para os cenários simulados.

Tabela 4. Resultados obtidos por cenários simulados

Cenário	Guarda-roupa	Estante	Mesa	Bancada
1	0	0	15	31
2	1	11	0	18
3	0	0	10	20
4	23	7	0	0
5	26	0	0	1
6	11	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores

Os resultados evidenciam que quando a demanda (e consequente produção) de guarda-roupas é mais acentuada, os demais itens tem menor espaço de produção. Em resumo, quando houver uma demanda maior pelo item guarda-roupa não vale a pena a produção dos demais itens, e quando há demanda conjunta de estantes, mesas e bancadas não vale a pena investir na produção de guarda-roupas.

Os resultados obtidos podem variar de acordo com modificações nos valores das variáveis, entretanto o sistema projetado é um recurso consistente para subsidiar a tomada de decisão do empreendedor.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a otimização da produção em marcenarias sob medida, com ênfase na redução de desperdícios de matéria-prima, no aumento da eficiência operacional e no equilíbrio entre metas de negócio em cenários de incerteza. O problema decisório foi formalizado como um modelo multiobjetivo e solucionado por meio da Programação por Metas *Fuzzy*, com implementação computacional orientada à prática — contemplando parametrizações de processo e exportações em formatos abertos — e validada a partir de dados e restrições reais do setor moveleiro.

Os experimentos realizados demonstram que o modelo FGP é uma ferramenta eficaz para apoiar decisões de planejamento de produção com múltiplos objetivos. Quando as metas são alinhadas à capacidade produtiva (cenários~1,~2 e~4), o modelo identifica soluções ótimas, priorizando itens de maior rentabilidade e menor custo/tempo. Por outro lado, metas desproporcionais geram cenários de baixa satisfação *fuzzy*, como nos cenários 3, 5 e 6, evidenciando o impacto de restrições temporais e orçamentárias no desempenho global.

Assim, o modelo proposto não apenas oferece soluções quantitativas para cada cenário, mas também serve como ferramenta analítica de suporte à decisão, permitindo que gestores avaliem a viabilidade de metas estratégicas antes da implementação de planos produtivos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect) pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

ABIMÓVEL. Conjuntura de móveis: indicadores de março e abril de 2025. Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário, 2025. Disponível em: <https://abimovel.com/wp-content/uploads/2025/06/cj-moveis-maio.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2025.

ARENALES, M. Pesquisa operacional. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BEDÊ, M. A. Onde estão as micro e pequenas empresas no Brasil. São Paulo: Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de São Paulo, 2006. Disponível em: https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SP/Pesquisas/onde_mpes_brasil.pdf. Acesso em: 09 jun. 2025.

BELFIORE, P. P.; FÁVERO, L. P. L. Pesquisa operacional para cursos de administração, contabilidade e economia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

BRAINER, M. S. d. C. P. Setor moveleiro: Brasil e área de atuação do BNB – análise de aspectos gerais. 2021.

CHARNES, A.; COOPER, W. Goal programming and multiple objective optimizations: Part 1. European Journal of Operational Research, v. 1, n. 1, p. 39–54, 1977. doi: 10.1016/S0377-2217(77)81007-2.

CHEN, C. et al. Rapid production of high-performance unilaterally surface-densified wood through integrating mechanical compression and thermochemical modification. Construction and Building Materials, v. 453, 2024. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.139014.

CHIAVENATO, I. Introdução à teoria geral da administração. São Paulo: Makron Books, 1997.

DUC, N. T. T.; BUDDHAKULSOMSIRI, J.; TAI, P. D. A mathematical model for the integrated problem of production network design and inventory positioning. Computers & Industrial Engineering, v. 191, p. 110170, 2024. doi: 10.1016/j.cie.2024.110170.

GALINARI, J. R. T. J.; RODRIGUES, R. R. M. A competitividade da indústria de móveis do Brasil: situação atual e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. 13, n. 37, p. 237–276, dez. 2013. Disponível em: https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1516/1/A%20mar37_06_A%20competitividade%20da%20industria%20de%20moveis%20do%20Brasil_P.pdf. Acesso em: 13 jun. 2025.

GRAMANI, M. C. N.; FRANÇA, P. M.; ARENALES, M. N. A linear optimization approach to the combined production planning model. Journal of the Franklin Institute, v. 348, n. 7, p. 1523–1536, 2011. doi: 10.1016/j.jfranklin.2010.05.010.

HUSEIN, H. A. Multifunctional furniture as a smart solution for small spaces for the case of Zaniary Towers apartments in Erbil city, Iraq. International Transaction Journal of Engineering, Management, and Applied Sciences and Technologies, v. 12, p. 1–11, 2021. doi: 10.14456/ITJEMAST.2021.8.

MARTEL, J.-M.; AND, B. A. Incorporating the decision-maker's preferences in the goal-programming model. *Journal of the Operational Research Society*, v. 41, n. 12, p. 1121–1132, 1990. doi: 10.1057/jors.1990.179.

OLIVEIRA, F. R. de; FRANÇA, S. L. B.; RANGEL, L. A. D. Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 135, p. 202–209, 2018. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.10.031.

PACHECO, B. et al. Management of logistics activities in the furniture sector. *Lecture Notes in Networks and Systems*, v. 859, p. 404–409, 2025. doi: 10.1007/978-3-031-78155-1_37.

PURNAMA, J. et al. Analysis of balanced furniture product requirements with fuzzy goal programming model development. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS AND MECHANICS OF NEW MATERIALS AND THEIR APPLICATIONS*. [S.l.]: Springer, 2023. p. 636–643.

RAGSDALE, C. T. *Spreadsheet modeling & decision analysis: a practical introduction to management science*. [S.l.]: South-Western Cengage Learning, 2012.

RAO, J.; TIWARI, R.; MOHANTY, B. A preference structure on aspiration levels in a goal programming problem — a fuzzy approach. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 25, n. 2, p. 175–182, 1988. doi: 10.1016/0165-0114(88)90185-6.

SCHNIEDERJANS, M. *Goal programming: methodology and applications*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 1995.

SEBRAE-SP. Panorama dos pequenos negócios. São Paulo: Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de São Paulo, 2018. Disponível em: https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SP/Pesquisas/Panorama_dos_Pequenos_Negocios_2018_AF.pdf. Acesso em: 09 jun. 2025.

SEREDA, T. et al. Production business operation planning of a wood processing plant. In: *E3S WEB OF CONFERENCES*. [S.l.]: EDP Sciences, 2023. v. 420, p. 04012.

SINGER, H.; ÖZSAHIN, S. Location selection for the furniture industry by using a goal programming model. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, v. 11, n. 2, p. 177–184, 2020. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/sigma/article/1007835>, acesso em: 26/01/2026.

TAHA, H. A. *Pesquisa operacional*. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

WINSTON, W. L. *Operations research: applications and algorithms*. 4. ed. Arizona: Thomson Brooks/Cole, 2004.

ZADEH, L. Fuzzy sets. *Information and Control*, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965. doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.