

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL EM TEMPOS DE CRISE: UM CASO DE MANUFATURA E VAREJO ONLINE

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço da transformação digital e das práticas de sustentabilidade tem modificado profundamente a lógica de operação das pequenas e médias empresas (PMEs). A pressão por eficiência, transparência e redução de desperdícios tornou-se ainda mais intensa no cenário pós-pandemia, quando o comportamento do consumidor migrou fortemente para o comércio eletrônico e os desafios da cadeia de suprimentos passaram a impactar de forma direta o desempenho operacional. Nesse contexto, empresas de manufatura que vendem diretamente ao consumidor (modelo *D2C – Direct to Consumer*) enfrentam o dilema de equilibrar crescimento acelerado, restrições de capacidade produtiva e exigências ambientais cada vez mais rigorosas.

A busca por soluções quantitativas para apoiar decisões estratégicas e táticas em ambientes complexos tem levado gestores a recorrer a ferramentas de otimização, como a Programação Linear (PL). Essa metodologia matemática permite modelar e resolver problemas de alocação de recursos escassos — sejam eles tempo, capital, energia ou capacidade de transporte — com o objetivo de maximizar resultados econômicos e operacionais (Colin, 2018; Hillier & Lieberman, 2013). No contexto das PMEs brasileiras, a aplicação da PL tem ganhado relevância, sobretudo em momentos de crise, quando a racionalização de recursos se torna condição de sobrevivência.

O presente caso de ensino aborda a experiência de uma empresa nacional de manufatura sustentável que, em 2024, passou a enfrentar uma crise de capacidade decorrente da combinação de três fatores: aumento súbito da demanda online, gargalos produtivos e escassez energética. Em meio a pressões internas e externas, a organização precisou integrar dados de produção, logística e sustentabilidade em um modelo quantitativo que orientasse suas decisões de curto prazo. Este caso propõe, assim, uma reflexão sobre como a análise matemática e a cooperação interdepartamental podem contribuir para o equilíbrio entre eficiência operacional, responsabilidade ambiental e rentabilidade.

Além de apresentar um problema prático resolvido por meio de Programação Linear, este caso convida o leitor a compreender a importância da comunicação entre áreas e da liderança técnica na tomada de decisão em contextos de incerteza. Ao longo das seções seguintes, são apresentados o enredo da crise, os personagens envolvidos, os dados utilizados para a modelagem e a solução otimizada obtida via Excel® Solver ou outros, como por exemplo o LINDO®. O caso é destinado a cursos de graduação em Administração, Engenharia de Produção e Logística, podendo ser utilizado tanto em disciplinas de Pesquisa Operacional quanto em tópicos aplicados a sustentabilidade bem como a gestão de operações.

2 O CASO

Em meados de 2024, uma empresa brasileira de médio porte especializada na manufatura sustentável de produtos para iluminação inteligente vivia uma de suas fases mais desafiadoras desde a fundação. O negócio, criado há pouco mais de uma década, havia conquistado notoriedade ao produzir luminárias e abajures feitos a partir de materiais reciclados e sensores de eficiência energética, voltados tanto para residências quanto para pequenos estabelecimentos comerciais. O modelo de negócios *D2C* - vendas diretas ao consumidor via plataforma digital - proporcionou um crescimento acelerado após a pandemia, quando o público passou a valorizar soluções ecológicas, tecnológicas e de design nacional.

O aumento repentino da demanda, entretanto, expôs vulnerabilidades operacionais que antes estavam diluídas no ritmo mais estável da produção. O principal problema emergiu no final do primeiro semestre de 2024, quando a empresa começou a acumular atrasos nas entregas

e custos logísticos acima do previsto. O processo produtivo dependia de três linhas de montagem — uma para a base das luminárias, outra para o circuito eletrônico e uma terceira para a montagem final e embalagem —, todas operando com capacidade próxima do limite. Para agravar a situação, a concessionária local impôs restrições temporárias no fornecimento de energia elétrica durante o inverno, período em que o consumo regional aumentava devido às baixas temperaturas.

A diretora de operações, Camila Torres, identificou que o problema não estava apenas na infraestrutura, mas também na ausência de um modelo integrado de planejamento. Cada área tomava decisões isoladamente: o setor de produção priorizava o volume, o de marketing insistia em manter prazos promocionais, e a equipe logística buscava rotas alternativas de transporte, muitas vezes mais caras. Essa fragmentação interna se tornou fonte de tensão e desalinhamento estratégico.

A gerente de produção, Livia Andrade, defendia o aumento de turnos e a contratação temporária de operárias para atender à demanda crescente. Já Helena Prado, responsável pelo marketing digital, argumentava que reduzir promoções ou postergar entregas afetaria a reputação construída junto ao público online. Ambas se reuniam semanalmente com Camila, em encontros que alternavam tentativas de conciliação e discussões sobre prioridades. O dilema girava em torno de uma pergunta recorrente: *como crescer sem comprometer a sustentabilidade e a viabilidade financeira do negócio?*

Diante da escalada de custos e das pressões externas, Camila decidiu propor uma abordagem inédita para a empresa: utilizar a Programação Linear como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Com auxílio de uma analista recém-contratada, ela iniciou o levantamento de dados referentes à capacidade das linhas, consumo energético por produto, custos de transporte e margens de contribuição. O objetivo era claro: identificar a combinação ótima de produtos e rotas logísticas que maximizasse o lucro operacional, respeitando as restrições de produção e energia disponíveis.

A proposta gerou resistência inicial. Livia temia que um modelo matemático não captasse a complexidade do chão de fábrica, enquanto Helena receava que a ênfase na eficiência econômica reduzisse o investimento em *branding* sustentável. No entanto, Camila insistiu que a ferramenta não substituiria o julgamento humano, mas o complementaria, fornecendo base analítica para decisões mais equilibradas. Após algumas reuniões tensas, elas concordaram em colaborar, desde que o modelo fosse transparente e revisado em conjunto.

3 DADOS E INFORMAÇÕES PERTINENTES AO CASO

Após a decisão de utilizar a Programação Linear como apoio à tomada de decisão, a equipe liderada por Camila Torres reuniu um conjunto de informações que refletiam a realidade operacional da empresa. O objetivo era construir um modelo quantitativo simples, mas capaz de representar o dilema vivido: *como maximizar o lucro da manufatura sustentável sem ultrapassar os limites produtivos, logísticos e energéticos disponíveis?*

Para isso, Camila contou com o apoio de Livia Andrade, responsável pela produção, e de Helena Prado, representante do marketing digital. A coleta dos dados revelou um cenário de contradições: enquanto o setor comercial pressionava por aumento de volume, o chão de fábrica já operava próximo ao limite, e os custos de transporte e energia ameaçavam corroer a margem de lucro.

A empresa produzia três linhas principais de luminárias inteligentes, cada uma voltada a um nicho diferente de consumidores: i. Modelo *EcoLite* (Produto A), que é uma luminária residencial com base reciclável, baixo consumo energético e forte apelo ambiental; ii. Modelo *SmartLux* (Produto B), que se trata de luminária conectada via Wi-Fi, voltada para ambientes corporativos e coworkings; iii. Modelo *SolarBeam* (Produto C), luminária híbrida alimentada por energia solar, destinada a espaços externos e condomínios sustentáveis.

Cada produto exigia quantidades distintas de tempo de produção, energia e capacidade logística. A Tabela 1 apresenta os dados consolidados pela equipe, baseados em médias históricas e relatórios internos.

Tabela 1 – Dados Operacionais e margens estimadas por produto

Produto	Lucro Unitário (R\$)	Tempo de Produção (h)	Produção máxima física possível (unidades/mês)	Consumo Energético (kWh)	Custo Logístico Unitário (R\$)	Capacidade de Transporte (unidades/mês)
<i>EcoLite</i> (A)	120	2	1.500	1,5	20	1.200
<i>SmartLux</i> (B)	200	3	1.200	2	30	900
<i>SolarBeam</i> (C)	260	4	900	3	40	600

Fonte: autora.

O levantamento indicou que o setor de produção dispunha de 7.200 horas de trabalho mensais (considerando os três turnos de operação e eventuais pausas). O limite de energia elétrica disponível para o mês, em virtude das restrições regionais, era de 4.800 kWh. Já a capacidade logística — considerando frota própria e contratos com transportadoras — era de 2.400 unidades/mês, somando os três produtos.

Esses dados permitiram à equipe identificar três dimensões críticas que precisariam ser representadas no modelo:

Capacidade produtiva: o tempo total de fabricação das luminárias não poderia ultrapassar as 7.200 horas disponíveis;

Consumo energético: o somatório da energia consumida não poderia exceder os 4.800 kWh mensais;

Limite logístico: a soma das unidades enviadas ao mercado não poderia ultrapassar as 2.400 unidades mensais.

Além dessas restrições, o modelo deve garantir que todas as variáveis de decisão — representadas pelas quantidades de cada produto a serem fabricadas — serão não negativas e inteiras.

Camila e sua equipe perceberam que o desafio era mais do que técnico — era estratégico. As decisões de priorizar um produto em detrimento de outro implicavam impactos sobre sustentabilidade, posicionamento de mercado e satisfação do consumidor. Assim, o modelo de Programação Linear não seria apenas uma ferramenta de cálculo, mas um instrumento de mediação entre áreas, ajudando a alinhar perspectivas distintas sob uma mesma lógica de otimização.

4 MAS COMO OTIMIZAR OS RESULTADOS?

Com os dados em mãos, as reuniões entre Camila, Livia e Helena tornaram-se mais tensas — e ao mesmo tempo mais produtivas. Pela primeira vez, todas as áreas estavam olhando para o mesmo conjunto de informações, o que tornava visíveis os dilemas que antes se escondiam nos relatórios isolados. A planilha de custos e margens, projetada por Camila, mostrava um cenário desconfortável: produzir mais não significava, necessariamente, lucrar mais.

Livia defendia que o aumento de produção do modelo *EcoLite* seria estratégico, pois consumia menos energia e apresentava menor risco operacional. Já Helena insistia que o *SmartLux* deveria ser priorizado, por ter maior apelo de mercado e contribuir para a imagem de inovação da marca. No entanto, a análise preliminar de Camila indicava que o *SolarBeam*, embora mais caro e intensivo em energia, apresentava a maior margem de contribuição por unidade. O problema era que a limitação de energia e a capacidade logística restringiam a produção conjunta dos três modelos.

A diretoria se via diante de uma clássica situação de *trade-off*: cada decisão envolvia ganhos e perdas. Produzir mais *EcoLite* significava aproveitar melhor a energia, mas reduzir o

faturamento potencial; priorizar o *SmartLux* fortalecia o posicionamento tecnológico, mas aumentava o custo de transporte; e investir no *SolarBeam* podia elevar o lucro unitário, mas ameaçava o cumprimento das metas ambientais.

O dilema deixava evidente a necessidade de uma ferramenta objetiva de apoio à decisão, capaz de equilibrar todas essas variáveis sem favorecer um departamento em detrimento de outro. Foi nesse momento que Camila propôs: – “Se transformarmos tudo isso em um modelo matemático, poderemos enxergar o todo. A decisão não será baseada em intuição, e sim em dados”.

A equipe concordou, ainda que com certa cautela. A partir daí, iniciou-se a formulação de um modelo de Programação Linear que integrasse produção, energia e logística, com o objetivo de maximizar o lucro total da empresa. As planilhas começaram a ser organizadas: cada produto teria seu lucro, tempo de fabricação, consumo energético e custo logístico devidamente registrados.

No entanto, antes de chegar à solução final, Camila desafiou sua equipe com uma pergunta que ecoou na sala de reuniões — e que agora se estende a você, leitor: - “Se vocês estivessem no meu lugar, que decisão tomariam? Quais produtos priorizariam? E como equilibrariam os recursos escassos para garantir o melhor resultado possível?”

5. NOTAS DE ENSINO

Esta apresenta as orientações pedagógicas para a aplicação do caso em sala de aula, descrevendo a origem dos dados, os objetivos de aprendizagem, a base teórica que sustenta a atividade, a dinâmica sugerida para as aulas e as questões de reflexão que estimulam o pensamento crítico e a integração entre sustentabilidade, pesquisa operacional e gestão de operações.

5.1 FONTE DOS DADOS E MÉTODO

Os dados apresentados neste caso são fictícios, embora baseados em parâmetros realistas de pequenas e médias empresas brasileiras que atuam nos setores de manufatura sustentável e varejo digital. As informações de produtividade, consumo energético, custos logísticos e margens de lucro foram construídas com base em médias observadas em relatórios setoriais e estudos acadêmicos sobre manufatura verde e eficiência operacional.

O caso foi desenvolvido com o propósito de ser aplicado em disciplinas de graduação que tratam de Gestão de Operações, Sustentabilidade Empresarial, Pesquisa Operacional e Gestão da Produção. A metodologia utilizada segue o método do caso Harvard, em que o aluno assume o papel de tomador de decisão, analisa as informações disponíveis e propõe soluções quantitativas e qualitativas. O professor, por sua vez atua como facilitador do processo, estimulando a análise crítica e o debate coletivo.

5.2 RECOMENDAÇÕES E OBJETIVO DE ENSINO

O caso foi concebido para ser aplicado em duas aulas consecutivas, totalizando 1 hora e 40 minutos. Na primeira aula, recomenda-se a leitura e a interpretação do caso, seguida da formulação do modelo matemático e da configuração do Excel Solver. Na segunda aula, os grupos devem comparar suas soluções, discutir as diferenças e refletir sobre os aspectos sustentáveis e estratégicos das decisões tomadas.

Neste âmbito, os objetivos de ensino que se apresentam são: desenvolver a capacidade de formular modelos de Programação Linear a partir de dados e restrições empresariais; aplicar ferramentas quantitativas – como exemplo o Solver do Excel® ou LINDO® – para maximizar resultados sob restrições de recursos; estimular o pensamento sistêmico e sustentável na tomada de decisão; fomentar a integração entre áreas organizacionais e a análise crítica de conflitos de

interesse internos; e, promover o aprendizado ativo por meio da análise de um problema realista e aberto, sem respostas únicas.

5.3 BASE TEÓRICA PARA DISCUSSÃO

A fundamentação teórica do caso apoia-se em três eixos interdependentes: a) Programação Linear e Pesquisa Operacional como ferramenta matemática para a alocação ótima de recursos e da análise de sensibilidade (Hillier & Lieberman, 2021; Taha, 2017; Winston, 2022); b) Gestão de Operações e Logística com o foco em capacidade produtiva, gargalos, planejamento e integração interdepartamental (Chopra & Meindl, 2021; Slack et al., 2023); c) Sustentabilidade na Manufatura, propiciando articular eficiência energética, inovação tecnológica e responsabilidade socioambiental na indústria 4.0 (Ahluwalia, 2025; Baumber, 2022; Khan et al., 2021; Pereira et al., 2021).

Essas bases teóricas permitirão que o docente promova um diálogo interdisciplinar entre otimização quantitativa e gestão sustentável, destacando o valor da modelagem como instrumento de racionalidade e colaboração organizacional.

5.4 SUGESTÃO DE DINÂMICA PARA APLICAÇÃO DO CASO DE ENSINO EM SALA DE AULA

Para a aplicação do presente caso estima-se uma carga horária total de 1h40, distribuída em duas aulas sequenciais.

Na primeira aula, com duração aproximada de cinquenta minutos, o professor deve iniciar com uma leitura orientada de cerca de dez minutos, apresentando aos alunos o contexto do caso, a situação de crise enfrentada e a estrutura geral dos dados fornecidos. Em seguida, durante quinze minutos, os estudantes — organizados em grupos — devem identificar as variáveis e restrições que compõem o problema, reconhecendo os elementos essenciais para a construção do modelo matemático. Nos quinze minutos subsequentes, cada grupo deverá elaborar a função objetivo e as restrições de Programação Linear correspondentes, discutindo internamente suas hipóteses e justificativas. Para encerrar a primeira parte, o professor deverá dedicar dez minutos à configuração inicial do Solver, demonstrando os principais parâmetros e orientando a interface básica do *software*. Logo, frisa-se, que este caso exige conhecimentos prévios dos alunos em relação ao assunto aqui tratado.

Na segunda aula, também de cinquenta minutos, os grupos deverão apresentar suas soluções iniciais durante os quinze minutos iniciais, expondo a combinação de produtos e de recursos que considerarem mais adequada. A partir dessas apresentações, o professor conduzirá uma discussão coletiva de aproximadamente vinte minutos, comparando os resultados entre os grupos e promovendo o debate sobre as limitações energéticas, logísticas e de sustentabilidade evidenciadas nas decisões. Por fim, nos quinze minutos finais, realizara-se o encerramento e a reflexão, momento em que o professor deverá apresentar a solução de referência – não descrita nesta versão por causa da limitação de páginas – e conduzirá o fechamento conceitual, relacionando os resultados obtidos às teorias de otimização e sustentabilidade abordadas.

Para aprofundar o debate em sala, recomenda-se que o professor utilize perguntas que estimulem análise crítica, integração interdisciplinar e raciocínio ético, tais como as seguintes questões: Quais seriam os impactos estratégicos e de imagem caso a empresa priorizasse apenas o produto mais rentável? Como o modelo de Programação Linear ajudará a equilibrar decisões de produção, marketing e logística? A restrição energética poderia ser transformada em vantagem competitiva? De que forma? O que muda se a empresa decidir investir em energia solar própria? Como a limitação logística reflete os desafios do *e-commerce* sustentável no Brasil? O modelo apresentado é suficiente para lidar com a complexidade do problema? Quais fatores intangíveis ficaram de fora da análise matemática? Que tipo de liderança é necessária para transformar o uso de dados em cultura organizacional?

Tais questionamentos possibilitarão que o caso seja explorado sob diferentes perspectivas — técnica, estratégica e ética —, promovendo uma aprendizagem ativa e reflexiva.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo, que segue o modelo de Caso de Ensino, evidenciou como a Programação Linear pode ser aplicada de forma prática na gestão de operações, permitindo equilibrar objetivos econômicos, produtivos e ambientais em contextos de restrição de recursos. A análise requerida integra produção, marketing e logística, exigindo não apenas diálogo, mas também instrumentos quantitativos que tornem visíveis os impactos de cada decisão sobre o desempenho global da organização. Além disso, a solução alcançada — um lucro máximo de R\$402.000 dentro dos limites energéticos e logísticos — demonstrará aos alunos que a racionalização de recursos pode coexistir com os princípios de sustentabilidade quando acompanhada por uma gestão colaborativa e orientada por dados.

Sob a perspectiva pedagógica, o caso aproxima os estudantes da realidade das pequenas e médias empresas brasileiras, incentivando o desenvolvimento de competências analíticas, sistêmicas e éticas. Para tanto, ao propor que o aluno vivencie o papel da gestora diante de um dilema realista, o exercício promove o aprendizado ativo e interdisciplinar, integrando os conceitos de Pesquisa Operacional, Sustentabilidade e Gestão de Operações. Desta forma, o caso reforça que o uso de modelos matemáticos não se limita ao cálculo, mas constitui uma ferramenta estratégica para decisões responsáveis, colaborativas e alinhadas às demandas da indústria sustentável contemporânea.

REFERÊNCIAS

- Ahluwalia, K. (2025). *Sustainable Supply Chain Management*. Delhi: Educohack Press.
- Baumber, A. (2022). Transforming sustainability education through transdisciplinary practice. *Environment, Development and Sustainability*, 24(7), 7622-7639.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2021) *Supply Chain Management: strategy, planning, and operation*. 8.ed. Pearson.
- Colin, E. C. (2018). *Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*. (2a ed.). São Paulo: Atlas.
- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2013). *Introdução a pesquisa operacional*. 9. ed. Porto Alegre: AMGH.
- Khan, I. S., Ahmad, M. O., & Majava, J. (2021). Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, circular economy and sustainable business models perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126655>
- Pereira, M. A. V., Moreira, M. A., Martins, C. M., & da Costa de Moura, B. V. (2021). Gestão Socioambiental em Pequenas e Médias Empresas. *Revista De Gestão - RGSA*, 15, e02731. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v15i2.2731>
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2023) *Administração da Produção*. 10. ed. São Paulo: Atlas.
- Taha, h. A. (2017) *Pesquisa operacional: uma introdução*. 10. Ed. São Paulo: Pearson.
- Winston, W. L. (2022) *Operations Research: applications and algorithms*. 4. ed. Boston: Cengage Learning.