

PROGRAMAÇÃO LINEAR COMO FERRAMENTA DE SUPORTE À DECISÃO: MAXIMIZAÇÃO DE MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO E GESTÃO ESTRATÉGICA DA CAPACIDADE PRODUTIVA

Muriel Nogueira da Silva¹, Cleiton de Lima Ricardo²

¹Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste (UFPE-CAA),
Núcleo Interdisciplinar de Ciências Exatas e da Natureza, Caruaru, Pernambuco, Brasil
(muriel.nogueira@ufpe.br).

²Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste (UFPE-CAA),
Núcleo Interdisciplinar de Ciências Exatas e da Natureza, Caruaru, Pernambuco, Brasil
(cleiton.lricardo@ufpe.br)

Resumo: A pesquisa aplica Programação Linear na microempresa VC Confecções para otimização do mix de produtos. O modelo matemático, resolvido pelos métodos Simplex Primal e Dual, indicou produção ótima semanal de 1.304 peças, com lucro líquido de R\$1.510,71 e ponto de equilíbrio de 86 peças. A análise pós-optimal empregou o preço-sombra da mão de obra para avaliar a viabilidade de horas extras. O estudo de sensibilidade constatou que o gargalo do maquinário restringe a expansão para até três admissões.

Palavras-chave: Otimização; Gestão da Produção; Método Simplex; Confecção de Camisas; Polo do Agreste.

INTRODUÇÃO

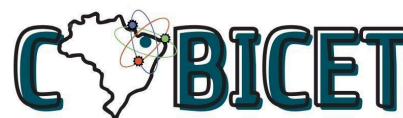
O desenvolvimento socioeconômico do interior de Pernambuco encontra um de seus pilares mais dinâmicos no Polo de Confecções do Agreste. Este território produtivo, que tem em cidades como Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama seus principais expoentes, configurou-se historicamente como uma resposta resiliente ao declínio das atividades rurais e às crises climáticas, consolidando-se como um centro vital de produção e comércio popular (Rangel e Corteletti, 2022). A dinâmica desta região é marcada pela proliferação de unidades produtivas familiares e pela força da "Feira da Sulanca", um fenômeno que ressignificou as relações de trabalho locais e estabeleceu novas perspectivas de geração de renda para trabalhadoras e trabalhadores da região (Nascimento, 2023).

Apesar da robustez econômica do arranjo produtivo local, a gestão dessas microempresas — popularmente conhecidas como "fácções" — ainda enfrenta desafios estruturais. A administração, muitas vezes pautada pelo empirismo e pela intuição, carece de ferramentas científicas para o planejamento e controle da produção. Em um mercado caracterizado por margens estreitas e alta competitividade, a ineficiência na alocação de recursos escassos, como o

tempo de mão de obra e a capacidade de maquinário, pode comprometer a sustentabilidade do negócio.

Nesse cenário, a Matemática Aplicada oferece instrumentos determinísticos capazes de racionalizar o processo decisório. Dentre as técnicas de otimização, a Programação Linear (PL) destaca-se como uma ferramenta fundamental para a modelagem de sistemas reais. Segundo Goldbarg e Luna (2005), a PL trata de problemas de otimização onde se busca maximizar ou minimizar uma função objetivo linear, sujeita a um conjunto de restrições que também são lineares. A essência desta abordagem reside na tradução de limitações físicas e econômicas — como a disponibilidade de horas de trabalho ou a demanda de mercado — para uma linguagem algébrica rigorosa, permitindo obter soluções ótimas globais com baixo custo computacional (Lachtermacher, 2016; Taha, 2008).

A estrutura de um modelo de Programação Linear é composta por variáveis de decisão, que representam as quantidades a serem determinadas, e por parâmetros que descrevem o comportamento do sistema. A intersecção das restrições lineares define a chamada região viável, um poliedro convexo onde se encontra a solução ótima que atende aos critérios da função objetivo (Goldbarg e Luna, 2005). A aplicação desses conceitos permite transformar dados



operacionais dispersos em diretrizes estratégicas precisas.

Este trabalho insere-se nessa lacuna, aplicando conceitos matemáticos de Pesquisa Operacional à realidade de uma micro-facção têxtil. O estudo de caso foi realizado na "VC Confecções", uma unidade de costura representativa do modelo produtivo do Agreste, a partir da coleta de dados primários in loco.

O objetivo geral deste artigo é aplicar a Programação Linear para diagnosticar e otimizar a eficiência produtiva da referida empresa. De forma específica, o trabalho visa: (i) Formular o modelo matemático de produção e determinar o mix ótimo de fabricação semanal; (ii) Definir o ponto de equilíbrio operacional para avaliar a solvência e resiliência financeira; e (iii) realizar análises de sensibilidade e dualidade para avaliar a viabilidade econômica do pagamento de horas extras, contratação formal de pessoal e limites físicos de saturação do maquinário existente.

MATERIAL E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos de diagnóstico e otimização produtiva, a presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada com abordagem quantitativa, delineada sob a estratégia de estudo de caso. O objeto de estudo foi a microempresa "VC Confecções", localizada no Polo de Confecções do Agreste Pernambucano. A seleção dessa unidade produtiva deu-se por amostragem por conveniência, justificada pela acessibilidade dos pesquisadores aos gestores, pela permissão para coleta de dados financeiros e produtivos confidenciais e por sua representatividade operacional em relação às centenas de micro-facções que compõem o arranjo produtivo local (equipe familiar reduzida, baixo nível de automação e dependência de contratos de subcontratação).

O desenvolvimento do trabalho estruturou-se em três etapas sequenciais:

Coleta e Tratamento de Dados

A coleta de dados primários ocorreu por meio de visitas técnicas à unidade fabril e entrevistas semiestruturadas com os sócios-gerentes. Foram levantados dados referentes aos custos fixos operacionais (energia elétrica, manutenção de maquinário e consumo de insumos secundários como agulhas), custos variáveis diretos de insumos sob responsabilidade da facção (linhas e fios) e demandas mínimas exigidas em contrato pelos clientes.

Para a determinação dos parâmetros temporais de fabricação, realizou-se um estudo de tempos e movimentos através do método de cronometragem direta contínua. Foram cronometrados 10 ciclos

completos de produção para cada uma das sete etapas operacionais necessárias para finalizar uma peça de vestuário. Para mitigar a variabilidade da performance humana e garantir o rigor técnico exigido em engenharia de produção, os tempos médios cronometrados foram convertidos em tempos normais e acrescidos de um fator de tolerância de 10% (destinado a compensar a fadiga pessoal dos operadores e necessidades fisiológicas), resultando no tempo padrão (efetivo) por peça.

Modelagem Matemática

Os dados operacionais coletados foram traduzidos em um modelo clássico de Programação Linear. Definiu-se como variável de decisão x_T a quantidade total de camisas a produzir semanalmente. Embora as camisas apresentem variações de cores e tamanhos exigidas em contrato, essas diferenciações não acarretam variações no preço do serviço de costura cobrado (R\$1,50 por peça) nem no consumo de insumos variáveis por unidade (linhas e fios). Assim, sob a ótica econômica, as peças são tratadas como um produto homogêneo agregado.

A função objetivo visa à maximização da Margem de Contribuição Total semanal. As restrições foram modeladas como inequações lineares que representam os limites físicos de capacidade de mão de obra (horas disponíveis dos costureiros líquidas dos tempos de preparação de máquina — setup) e as obrigações de entrega de demanda mínima.

Resolução Computacional e Validação

Dada a presença de restrições mistas (limites superiores de capacidade e limites inferiores de demanda mínima), utilizou-se o Método Simplex. Para o tratamento da inviabilidade inicial decorrente da origem ($x_T = 0$) não atender à restrição de demanda mínima, aplicou-se primeiramente o algoritmo Dual Simplex e, em seguida, o método Primal Simplex para a busca da solução ótima. A resolução algébrica foi realizada passo a passo por meio de iterações em *tableaus* para demonstrar a validade analítica do processo. A validação numérica dos resultados e das variáveis duais (preços sombra) foi executada computacionalmente em ambiente Python 3, utilizando a biblioteca *scipy.optimize* (solver HiGHS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros Econômicos e Operacionais

Com base nas entrevistas e visitas técnicas, identificou-se que a VC Confecções presta serviços para dois clientes (Cliente A e Cliente B) sob um regime contratual de demanda mínima semanal de 730 peças (200 peças do Cliente A e 530 do Cliente B). Os cortes de tecidos e as etiquetas são fornecidos

pelos clientes, cabendo à facção arcar com os insumos de costura (linhas e fios) e a mão de obra.

O consumo de insumos da facção para o lote de referência contratual de 730 peças e seus respectivos custos unitários de mercado estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1. Insumos para a confecção de camisas (lote de referência de 730 unidades)

Insumo	Quantidade por Lote	Preço Unitário Médio (R\$)	Custo Total no Lote (R\$)
Linha (1.500 m por cone)	25 unidades	2,90	72,50
Fio (1Kg por cone)	5 unidades	23,33	116,65
Total	-	-	189,15

Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados empíricos da VC Confecções (2026).

Dividindo-se o custo total de insumos no lote de referência (R\$189,15) pela quantidade de peças (730), obteve-se o Custo Variável Unitário (CVU) direto de insumos.

$$CVU \approx \frac{189,15}{730} \approx R\$0,26 \text{ por peça.} \quad (1)$$

O preço de venda de serviço pago por ambos os clientes é de R\$1,50 por camisa costurada. A Margem de Contribuição Unitária (c_j) é dada pela diferença entre o preço do serviço e o custo variável unitário:

$$c_j = R\$1,50 - R\$0,26 = R\$1,24 \text{ por peça} \quad (2)$$

Os custos fixos operacionais da facção foram levantados e consolidados em base semanal na Tabela 2.

Tabela 2. Custos fixos operacionais semanais da VC Confecções.

Fonte de Custo Fixo	Valor Semanal (R\$)
Energia Elétrica	77,50
Manutenção de Máquinas	25,00
Agulhas e Acessórios	3,75
Total	106,25

Fonte: Elaborado pelos autores com base em registros financeiros da empresa (2026).

A capacidade operacional de mão de obra é composta por 2 costureiros trabalhando 10 horas diárias, 6 dias por semana. Determina-se a capacidade bruta semanal conjunta (CBS) por

$$CBS = 2 \times (10 \text{ h/dia} \times 6 \text{ dia/semana} \times 60 \text{ min/h}) \\ = 7.200 \text{ min/semana.} \quad (3)$$

O tempo de preparação (*setup*) para trocas de cores e tamanhos foi mapeado. O setup para troca de linhas (cores) é de 2 minutos por troca e para ajuste de tamanho é de 1 minuto por troca. Considerando a variação semanal contratada de 10 cores e 4 tamanhos, o tempo total improdutivo de setup é de 28 minutos semanais. Logo, a capacidade produtiva líquida de tempo (b_1) é:

$$b_1 = 7.200 - 28 = 7.172 \text{ minutos por semana} \quad (4)$$

O mapeamento das etapas do processo produtivo e a cronometragem contínua (com fator de tolerância de 10% incorporado) estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3. Mapeamento das etapas do processo produtivo e tempos padrão.

Descrição da Etapa	Máquina Utilizada	Tempo Ativo de Costura (min)	Tempo de Manuseio/Tolerância (min)	Tempo Padrão Total (min/peça)
1. Fechar ombros	Overlock	0,42	0,13	0,55
2. Rodar a gola	Overlock	0,38	0,12	0,50
3. Pespontar o pescoço	Reta	0,43	0,37	0,80
4. Colocar mangas	Overlock	0,40	0,25	0,65
5. Fechar a camisa	Overlock	0,50	0,30	0,80
6. Acabamento da manga e a barra	Galoneira	0,58	0,62	1,20
7. Arremate,	Manual	0,83	0,17	1,00

dobra e
separação

Total

(Tempo
de Ciclo
Unitário)

- 3,54 1,96 5,50

Fonte: Mapeamento de tempos e movimentos realizado in loco pelos autores (2026).

A Tabela 4 sumariza o tempo padrão agregado que cada tipo de máquina demanda para a confecção de uma única camisa.

Tabela 4. Tempo total de utilização de máquinas por peça confeccionada.

Equipament o/Posto	Tempo ativo de costura (min/peç a)	Tempo total de manuseio (min/peç a)	Tempo Padrão Agregado (min/peç a)
Máquina Overlock (Etapas 1, 2, 4 e 5)	1,7	0,80	2,50
Máquina Reta (Etapa 3)	0,43	0,37	0,80
Máquina Galoneira (Etapa 6)	0,58	0,62	1,20
Posto de Trabalho Manual (Etapa 7)	0,83	0,17	1,00
Total (a_1)	3,54	1,96	5,50

Fonte: Consolidado a partir dos dados cronometrados na Tabela 3 (2026).

O coeficiente técnico de consumo de mão de obra (a_1) é, portanto, a soma dos tempos padrão de utilização de todas as etapas produtivas, totalizando 5,50 minutos por peça.

Formulação do Modelo de Programação Linear

Com base nos parâmetros operacionais e econômicos, o modelo de Programação Linear da VC Confeções na forma canônica é definido como:

Maximizar

$$Z = 1,24 x_T \quad (3) \quad (5)$$

Sujeito a

$$5,50 x_T \leq 7.172 \quad (6)$$

$$x_T \geq 730 \quad (7)$$

$$x_T \geq 0 \quad (8)$$

O modelo possui, portanto, restrição de capacidade de mão de obra (Equação 6), restrição de demanda mínima contratual (Equação 7) e restrição de não-negatividade (Equação 8), onde:

- x_T : quantidade de camisas a serem produzidas semanalmente (variável de decisão);
- Z: Margem de Contribuição Total semanal em reais (R\$).

Resolução Algébrica pelo Método Simplex

Para a aplicação do algoritmo Simplex, o modelo foi convertido para a forma padrão. Multiplicou-se a restrição de demanda mínima (Equação 7) por -1 para inverter o sentido da desigualdade, introduzindo a variável de folga s_2 com lado direito negativo para indicar a inviabilidade da origem. Introduziu-se também a variável de folga de capacidade s_1 . O modelo na forma padrão é expresso por

Maximizar

$$Z - 1,24 x_T + 0 s_1 + 0 s_2 = 0 \quad (9) \quad (8)$$

Sujeito a

$$5,50 x_T + s_1 = 7.172 \quad (10)$$

$$-1,00 x_T + s_2 = -730 \quad (11)$$

$$x_T, s_1, s_2 \geq 0 \quad (12)$$

Onde:

- s_1 : variável de folga associada ao tempo de mão de obra (minutos ociosos por semana);
- s_2 : variável de folga associada à demanda contratual (peças excedentes produzidas além do mínimo).

O *tableau* inicial é apresentado na Tabela 5. A solução básica inicial é inviável, dado que a variável básica s_2 apresenta valor negativo no lado direito ($b = -730$).

Tabela 5. *Tableau* inicial da otimização linear (Solução Inviável)

Base	Z	x_T	s_1	s_2	Lado direito (b)
Z	1	-1,24	0	0	0
s_1	0	5,50	1	0	7.172



$$s_2 \quad 0 \quad -1,00 \quad 0 \quad 1 \quad -730$$

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Aplica-se o algoritmo Dual Simplex para eliminar a inviabilidade.

- Escolha da variável que sai da base:** Seleciona-se a linha com o valor mais negativo no lado direito (b), que corresponde à linha de s_2 ($b = -730$).

Logo, s_2 sai da base.

- Escolha da variável que entra na base:** Realiza-se o teste da razão mínima absoluta entre os coeficientes da linha Z e da linha de saída (s_2) para os elementos estritamente negativos:

$$\text{Razão} = \left| \frac{-1,24}{-1,00} \right| = 1,24 \quad (11)$$

- Pivoteamento:** O elemento pivô é -1,00. Após realizar as operações elementares nas linhas do *tableau* para zerar os demais coeficientes da coluna de x_T , obtém-se o *tableau* intermediário apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. *Tableau* intermediário (Solução Viável, Não Otimizada)

Base	Z	x_T	s_1	s_2	Lado direito (b)
Z	1	0	0	-1,24	905,20
s_1	0	0	1	5,50	3.157
x_T	0	1	0	-1,00	730

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A solução atual ($x_T = 730$, $s_1 = 3.157$, $s_2 = 0$) é viável, gerando uma Margem de Contribuição Total de R\$905,20. Contudo, há um indicador negativo na linha Z sob a variável não básica s_2 (-1,24), indicando que a solução não é ótima. Prossegue-se com o algoritmo Simplex Primal convencional:

- Escolha da variável que entra na base:** A variável com o custo reduzido mais negativo na linha Z é s_2 . Ela entra na base.
- Escolha da variável que sai da base:** Realiza-se o teste da razão mínima entre o lado direito (b) e os coeficientes positivos na coluna da variável que entra (s_2):

- Para a linha de s_1 : $\frac{3.157}{5,50} = 574$;
- Para a linha de x_T : Coeficiente negativo (-1,00), desconsiderado.

Logo, a variável s_1 sai da base.

- Pivoteamento:** O elemento pivô é 5,50. Divide-se a linha de s_1 por 5,50 e eliminam-se os coeficientes de s_2 nas demais linhas, gerando o *tableau* final ótimo apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. *Tableau* Final Ótimo da Programação Linear.

Base	Z	x_T	s_1	s_2	Lado direito (b)
Z	1	0	0,2254	0	1.616,96
s_2	0	0	0,1818	1	574
x_T	0	1	0,1818	0	1.304

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Todos os coeficientes da linha Z para as variáveis não básicas são não-negativos ($y_1 = 0,2254$ e $y_2 = 0$), confirmando que a solução ótima foi alcançada.

Os resultados numéricos ótimos são:

- Produção ótima semanal (x_T^*): **1.304 peças**;
- Margem de Contribuição Total semanal (Z^{*}): **R\$1.616,96**;
- Tempo ocioso de mão de obra (s_1^*): **0 minutos** (restrição de capacidade ativa/esgotada);
- Excesso de produção acima da demanda mínima (s_2^*): **574 peças**;
- Preço Sombra do tempo (y_1^*): **R\$0,2254 por minuto** (ou R\$ 13,52 por hora);
- Preço Sombra da demanda (y_2^*): **R\$0,00 por peça** (restrição inativa).

Representação Gráfica da Região Viável

Por tratar-se de um modelo com uma única variável de decisão, a análise gráfica é viável e ilustra a intersecção das restrições. A Figura 1 exibe a região viável (segmento de reta entre os limites impostos) e a localização geométrica da solução ótima.

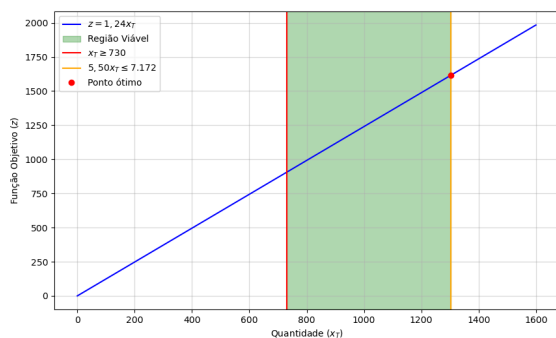


Figura 1. Região viável do modelo.

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Nota explicativa da Figura 1: A linha vertical esquerda em $x_T = 730$ representa o limite inferior de demanda mínima exigido em contrato (restrição não-ativa no ótimo). A linha vertical direita em $x_T = 1.304$ delimita o limite superior físico decorrente da capacidade máxima de mão de obra disponível (7.172 minutos divididos pelo tempo de ciclo unitário de 5,50 min/peça). A área sombreada entre essas duas retas compreende a região viável de operação. O ponto vermelho marca a solução ótima que maximiza a função objetivo Z , situada exatamente no limite de exaustão do recurso tempo de trabalho.

Lucratividade Líquida e Solvência Financeira

É fundamental distinguir os conceitos de Margem de Contribuição Total (Z), que é maximizada pela função objetivo do modelo, e o Lucro Líquido (LL) semanal da empresa. O Lucro Líquido é obtido subtraindo-se os custos fixos semanais consolidados (Tabela 2) da Margem de Contribuição Total obtida.

Para o ponto de operação contratual mínimo ($x_T = 730$ peças), a Margem de Contribuição Total obtida é de R\$905,20 (Tabela 6). Deduzindo-se os custos fixos de R\$106,25, o Lucro Líquido sob este cenário inicial é de R\$798,95.

Sob a solução ótima identificada pelo Simplex ($x_T^* = 1304$ peças), a Margem de Contribuição Total eleva-se para R\$1.616,96 (Tabela 7).

Desse modo, o Lucro Líquido ótimo semanal da facção é de:

$$\begin{aligned} LL_{\text{ótimo}} &= 1.616,96 - 106,25 \\ &= R\$1.510,71. \end{aligned} \quad (13)$$

Comparando-se os dois cenários, a transição do ponto de demanda mínima contratada para a capacidade máxima de produção líquida viabiliza um

incremento de 78,6% no volume físico produzido. Devido à diluição integral dos custos fixos sobre um volume produtivo maior, o Lucro Líquido semanal da microempresa salta de R\$ 798,95 para R\$ 1.510,71, o que representa uma expansão de 89,1% na lucratividade líquida da VC Confeções.

O cálculo do Ponto de Equilíbrio operacional (p_e) indica o volume produtivo mínimo necessário para a empresa cobrir seus custos fixos e evitar prejuízos. Conforme Martins (2003), o ponto de equilíbrio é dado pela razão entre os custos fixos (CF) e a margem de contribuição unitária (c_j):

$$\begin{aligned} p_e &= \frac{CF}{c_j} = \frac{106,25}{1,24} \approx 85,68 \\ &\approx 86 \text{ peças por semana}. \end{aligned} \quad (14)$$

Isso demonstra que a VC Confeções atinge seu ponto de equilíbrio financeiro operando com apenas 6,6% de sua capacidade produtiva líquida máxima. Este indicador atesta uma elevada solvência operacional e confere à facção uma margem de segurança financeira robusta contra oscilações de demanda ou perdas contratuais.

Dimensionamento e Viabilidade de Horas Extras

A análise da capacidade operacional de um único funcionário corrobora a necessidade da estrutura societária/operacional atual da empresa (2 operadores). A carga de trabalho obrigatória em minutos (d_o) para atender estritamente ao contrato de demanda mínima de 730 peças é:

$$\begin{aligned} d_o &= 730 \text{ peças} \times 5,50 \text{ min/peça} \\ &= 4.015 \text{ minutos semanais}. \end{aligned} \quad (15)$$

Como a jornada de trabalho individual de um operador é limitada a 3.600 minutos semanais (60 horas), haveria um déficit de 415 minutos caso a empresa operasse com apenas um costureiro. A manutenção de dois operadores é, portanto, uma exigência técnica incontornável para a sobrevivência do contrato vigente.

No que se refere à flexibilização da capacidade de mão de obra existente através do pagamento de horas extras, a variável dual (preço sombra) associada ao tempo ($y_1^* = R\$0,2254/\text{min}$) constitui uma diretriz quantitativa crucial. Este valor indica que cada hora de costura adicional inserida na produção líquida gera um retorno marginal (MM_H) de:

$$MM_H = 60 \text{ min} \times R\$0,2254 = R\$13,52 \quad (16)$$

Sob a ótica financeira, R\$13,52/hora representa o limite máximo absoluto que a gerência pode pagar a

um costureiro pelo período de hora extra. Se o valor pago pela hora extra for inferior a este patamar (por exemplo, R\$10,00 por hora), a operação de hora extra é financeiramente vantajosa, adicionando R\$3,52 de lucro marginal líquido por hora trabalhada. Caso o custo da hora extra ultrapasse R\$13,52, a expansão da jornada gera prejuízo operacional marginal. Deve-se ressaltar que essa margem marginal pressupõe estabilidade na produtividade e que o tempo extra seja convertido em produção vendida imediatamente ao preço contratual.

Análise de Viabilidade Econômica para Contratação

Os sócios-gerentes avaliaram a viabilidade de contratação formal de um terceiro operador para expandir a produção. Um novo operador, contratado sob o regime CLT padrão com jornada de 8 horas diárias, 6 dias por semana, adicionaria 2.880 minutos de trabalho brutos semanais (48 horas). Assumindo a proporcionalidade do tempo de setup, este trabalhador entregaria capacidade produtiva líquida integral. O retorno marginal semanal de contribuição gerado por esta mão de obra adicional (f) é estimado por:

$$f = 2.880 \text{ minutos} \times R\$0,2254/\text{min} \\ = R\$649,15 \text{ por semana. (17)}$$

Considerando a média mensal de 4,3 semanas, o retorno bruto gerado pelo operador seria de R\$2.791,35 por mês. Por outro lado, o custo de contratação formal no Polo do Agreste deve ser calculado. Tomando como base o salário mínimo da categoria de R\$ 1.621,00 acrescido de encargos sociais, trabalhistas e provisões de benefícios estimadas de forma conservadora em 65% (13º salário, férias, FGTS, INSS patronal, vale-transporte), o custo total mensal do funcionário para a empresa (CC_M) é de:

$$CC_M = 1.621,00 \times 1,65 = R\$ 2.674,65. (18)$$

A lucratividade líquida mensal estimada com a contratação (l_c) é:

$$l_c = 2.791,35 - 2.674,65 = R\$ 116,70. (19)$$

Embora a contratação seja financeiramente viável no modelo determinístico, ela apresenta um retorno líquido extremamente estreito, de apenas 4,4% sobre o custo da mão de obra. Sob a perspectiva de gerenciamento de riscos, esta margem insignificante é altamente vulnerável à variabilidade do sistema fabril real. Fatores práticos não modelados na programação linear — como a curva de aprendizado do novo funcionário (que impede o alcance imediato do tempo padrão de 5,50 min/peça), absenteísmo,

gargalos informais e paradas não planejadas de maquinário — podem facilmente consumir essa margem de R\$ 116,70, transformando o investimento em déficit financeiro.

Diante disso, recomenda-se estrategicamente que a gestão da VC Confecções evite a contratação tradicional com salário fixo e avalie a modalidade de remuneração por produtividade (pagamento por peça costurada), prática comum na região do Agreste. Essa abordagem minimiza o risco trabalhista ao associar diretamente o custo de mão de obra à receita líquida obtida, convertendo custos que seriam fixados em folha de pagamento em custos estritamente variáveis.

Limite de Expansão de Equipe e Saturação do Maquinário

Um ponto crítico de planejamento de longo prazo refere-se ao limite físico de expansão de pessoal sobre a infraestrutura instalada. Na teoria da Programação Linear, esta análise corresponde ao estudo de sensibilidade dos limites do recurso b_1 . À medida que operadores são adicionados ao sistema, a restrição de mão de obra deixa de ser o gargalo primário e o limite físico do maquinário instalado torna-se a restrição ativa (Goldbarg e Luna, 2005).

A máquina Overlock constitui o gargalo físico individual do maquinário, demandando o maior tempo de ciclo acumulado por camisa costurada (2,50 minutos por peça, conforme Tabela 4). Mantendo a jornada diária da empresa em 10 horas (período em que as máquinas ficam disponíveis para operação), a capacidade máxima semanal de produção física suportada pela máquina Overlock (Q_o), em unidades de peças, é:

$$Q_o = \frac{b_1}{\text{Tempo na Overlock}} = \frac{7.172 \text{ min}}{2,50 \text{ min/peça}} \\ = 2.868 \text{ peças por semana. (20)}$$

A equipe atual de dois costureiros opera na capacidade de 1.304 peças semanais. A folga física de maquinário semanal (g), em termos de volume de peças, é:

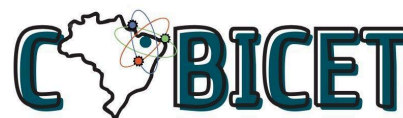
$$g = 2.868 - 1.304 = 1.564 \text{ peças. (21)}$$

A capacidade produtiva individual semanal de um operador contratado com jornada de 8 horas diárias (Q_f) é:

$$Q_f = \frac{2.880 \text{ min}}{5,50 \text{ min/peça}} \approx 523 \text{ peças por semana. (22)}$$

O número máximo de novos funcionários (n) com jornada de 8 horas diárias que a máquina Overlock instalada consegue absorver é:

$$n = \frac{g}{Q_f} = \frac{1.564}{523} \approx 2,99 \approx 3 (18) \quad (23)$$



Assim, a infraestrutura física atual da VC Confeções suporta a expansão da equipe para no máximo 5 operadores (os 2 sócios atuais e mais 3 contratados). A contratação de um quarto funcionário (totalizando 6 operadores) viria a saturar a capacidade da Overlock, gerando ociosidade forçada por falta de equipamento disponível. Qualquer expansão além desse teto técnico exigiria obrigatoriamente novos investimentos de capital para a aquisição de uma nova máquina Overlock e expansão da área física.

LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS

Limitações da Modelagem Aplicada

A despeito da utilidade das diretrizes obtidas, a modelagem por Programação Linear fundamenta-se em premissas simplificadoras rígidas cujos impactos operacionais devem ser delimitados:

- **Premissa de Proporcionalidade e Coeficientes Fixos:** O modelo assume que o consumo de tempos e insumos é estritamente proporcional ao volume fabricado. Na realidade, a aquisição de maiores volumes de linhas e fios pode gerar economias de escala, reduzindo o custo variável unitário abaixo de R\$0,26. Similarmente, o tempo padrão de 5,50 minutos por peça desconsidera o ganho de ritmo (curva de aprendizagem) e a perda de produtividade decorrente da fadiga acumulada em jornadas longas de 10 horas.
- **Premissa de Divisibilidade:** A programação linear lineariza a variável de decisão, admitindo valores fracionários para a produção. Embora no caso estudado o arredondamento de 1.304 peças seja trivial e não gere distorções relevantes, em modelos de planejamento de lotes de alta variedade a divisibilidade pode exigir a formulação de modelos de programação inteira.
- **Natureza Determinística:** O modelo assume total certeza nos parâmetros de entrada. Contudo, sistemas reais de manufatura de vestuário no Polo do Agreste sofrem com incertezas severas no fornecimento de energia, absenteísmo de operadores, quebras de maquinário antigo e flutuações de demanda semanal dos clientes contratantes. O modelo determinístico superestima a eficiência real ao desconsiderar essas variáveis estocásticas.

Sugestões de Pesquisas Futuras

Para estender os achados e mitigar as limitações identificadas, sugerem-se as seguintes frentes de pesquisa em trabalhos futuros:

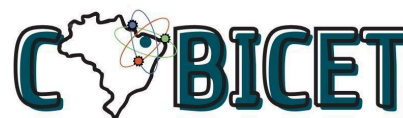
- **Modelagem Estocástica de Demanda e Custos:** Desenvolver um modelo de programação linear estocástica ou otimização robusta para incorporar as flutuações de demanda e a variabilidade nos preços de insumos do Polo de Confeções.
- **Simulação de Eventos Discretos:** Construir um modelo computacional de simulação (utilizando softwares como Arena, FlexSim ou bibliotecas em Python como SimPy) para representar o fluxo físico de costura da VC Confeções, permitindo analisar filas de processos, taxas de ociosidade das máquinas (Reta, Galoneira e Overlock) e os impactos do absenteísmo humano sob diferentes cenários de pessoal.
- **Estudo Ergonômico de Tempos e Métodos:** Desenvolver uma pesquisa focada no método de cronoanálise ergonômica nas etapas de costura e arremate da facção para propor melhorias no layout do posto de trabalho, visando à redução sistemática do tempo padrão unitário e do tempo de setup.

CONCLUSÃO

O estudo confirmou a utilidade e a aplicabilidade da Programação Linear como instrumento prático de suporte à tomada de decisão estratégica em microempresas familiares do Polo de Confeções do Agreste Pernambucano. A tradução da realidade empírica da VC Confeções para um modelo linear permitiu diagnosticar com precisão a estrutura produtiva e refutar a tomada de decisão baseada puramente na intuição gerencial.

Os resultados obtidos comprovam que o fator restritivo ativo para a expansão do lucro da empresa é o banco de horas de mão de obra disponível, e não a capacidade individual de suas máquinas. A estratégia ótima aponta para a produção semanal de 1.304 peças, maximizando a Margem de Contribuição Total em R\$1.616,96 por semana. Este patamar operacional eleva o Lucro Líquido semanal para R\$1.510,71, representando um aumento de 89,1% em comparação ao cenário de atendimento estrito da demanda mínima contratual. Ademais, o ponto de equilíbrio estimado em 86 peças semanais sinaliza uma alta solvência e resiliência financeira para a microempresa.

A análise pós-optimal fundamentada no preço sombra do tempo (R\$0,2254/minuto) demonstrou ser uma ferramenta robusta para o planejamento de capacidade. O valor marginal do tempo estabelece o limite de R\$13,52 por hora para o pagamento de horas extras aos operadores atuais. A avaliação de cenários de expansão indicou que a contratação de um novo operador sob regime de salário fixo apresenta baixa atratividade financeira (lucro líquido



marginal de R\$116,70/mês), recomendando-se a adoção de remuneração por produtividade. Por fim, identificou-se que o limite físico de maquinário instalado (máquina Overlock) suporta a contratação de no máximo 3 novos funcionários.

Embora o modelo apresente limitações inerentes à linearidade e ao determinismo, as diretrizes extraídas subsidiam a VC Confeções com embasamento científico para a busca da eficiência de processos, mitigando riscos de mercado e consolidando uma transição sustentável da gestão empírica para a gestão profissionalizada.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste (UFPE-CAA), pelo suporte institucional e espaço para a condução desta pesquisa e à equipe gestora da VC Confeções, pela abertura do espaço fabril, fornecimento de dados e colaboração fundamental para a viabilização prática desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Millena Aguiar; CARDOSO, Bruno Silveira; SILVA, Mariana Rezende; SOUZA, Rodrigo Santos. Aplicação da programação linear na produção de uma empresa de pequeno porte. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 7, n. 6, p. 102-118, dez. 2020.

ANJOS, Marcos Vinicius dos. Aplicação da Programação Linear para otimizar o mix de produtos em uma empresa de confecção. **Revista de Administração da UCS**, Caxias do Sul, v. 6, n. 12, p. 45-62, jul./dez. 2019.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca Loureiro. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional para cursos de administração, contabilidade e economia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Pearson, 2016.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

NASCIMENTO, Julio Cesar dos Santos. **Trabalhadoras e trabalhadores de Caruaru (PE) no contexto de desenvolvimento da feira da sulanca: labutas e (res)significação (1980-2015)**. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

RANGEL, Felipe; CORTELETTI, Roseli de Fátima. O polo de confecções do Agreste Pernambucano: origens e configurações atuais. **Estudos de Sociologia**, Araraquara, v. 27, n. 54, p. 145-168, 2022.

SILVA, Roberto Carlos da. Proposta de otimização do processo produtivo em uma microempresa do setor têxtil. **Revista Itagam-Jetia**, Manaus, v. 6, n. 24, p. 89-104, out./dez. 2020.

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

XAVIER, Twane Maria Cordeiro. Polo de Confeções do Agreste de Pernambuco: formação de aglomerado produtivo e suas dinâmicas espaciais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 73, p. 429-444, mar. 2020.