Scientific Journal ANAP
ISSN 2965-0364, v. 04, n. 15, 2026
Edição Especial - Anais do V Fórum Online de Educação, Meio Ambiente e Sustentabilidade

Otimização do corte de perfis metálicos como estratégia de redução de resíduos na construção civil

Ana Caroline Alves dos Santos
Graduanda em Engenharia Civil
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Votuporanga, Brasil
Caroline.alves1@aluno.ifsp.edu.br
6187830696540159

Bruna Gonçalves de Lima Santos
Doutora em Engenharia Eletrica
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, campus de Ilha Solteira, Brasil
mrosario@gmail.com
4276168246573432

Otimização do corte de perfis metálicos como estratégia de redução de resíduos na construção civil

RESUMO

Objetivo - Analisar a aplicação de modelos de programação linear na otimização do corte de perfis metálicos, visando a redução de desperdícios e o aumento da eficiência no uso de materiais na construção civil.

Metodologia - O estudo baseia-se na modelagem matemática de problemas de corte e empacotamento, utilizando programação linear. Os modelos foram resolvidos por meio do método Simplex e implementados no ambiente computacional AMPL, com o uso do solver CPLEX para obtenção das soluções ótimas.

Originalidade/relevância - O trabalho insere-se na lacuna existente entre a aplicação de técnicas matemáticas de otimização e sua integração com práticas sustentáveis na construção civil, destacando a importância da redução de resíduos no setor.

Resultados - Os resultados demonstraram que o modelo proposto foi capaz de minimizar o número de perfis metálicos utilizados, atendendo às demandas estabelecidas e reduzindo significativamente as sobras de material.

Contribuições teóricas/metodológicas - Contribui ao demonstrar a aplicabilidade da programação linear em problemas reais da engenharia civil, além de apresentar uma estrutura de modelagem replicável para otimização de processos produtivos.

Contribuições sociais e ambientais - A redução de desperdícios de material contribui diretamente para a diminuição de resíduos sólidos, promovendo práticas mais sustentáveis e alinhadas aos princípios da economia circular na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização. Programação Linear. Construção Civil. Sustentabilidade. Resíduos.

Optimization of metal profile cutting as a strategy for waste reduction in civil construction

ABSTRACT

Objective – To analyze the application of linear programming models in the optimization of metal profile cutting, aiming to reduce waste and improve material efficiency in civil construction.

Methodology – The study is based on mathematical modeling of cutting and packing problems using linear programming. The models were solved using the Simplex method and implemented in the AMPL computational environment with the CPLEX solver to obtain optimal solutions.

Originality/Relevance – This study addresses the gap between mathematical optimization techniques and their application to sustainable practices in civil construction, emphasizing waste reduction in the sector.

Results – The results showed that the proposed model minimized the number of metal profiles used while meeting demand and significantly reducing material waste.

Theoretical/Methodological Contributions – The study demonstrates the applicability of linear programming to real civil engineering problems and provides a replicable modeling framework for optimizing production processes.

Social and Environmental Contributions – The reduction of material waste directly contributes to decreasing solid waste generation, promoting more sustainable practices aligned with the principles of the circular economy in civil construction.

KEYWORDS: Optimization. Linear Programming. Civil Construction. Sustainability. Waste.

Optimización del corte de perfiles metálicos como estrategia de reducción de residuos en la construcción civil

RESUMEN

Objetivo – Analizar la aplicación de modelos de programación lineal en la optimización del corte de perfiles metálicos, con el fin de reducir desperdicios y mejorar la eficiencia en el uso de materiales en la construcción civil.

Metodología – El estudio se basa en la modelación matemática de problemas de corte y empaquetamiento mediante programación lineal. Los modelos fueron resueltos utilizando el método Simplex e implementados en el entorno computacional AMPL con el solver CPLEX.
Originalidad/Relevancia – El trabajo aborda la brecha existente entre las técnicas de optimización matemática y su aplicación en prácticas sostenibles dentro de la construcción civil, destacando la reducción de residuos.
Resultados – Los resultados demostraron que el modelo propuesto permitió minimizar el uso de perfiles metálicos, cumpliendo con la demanda y reduciendo significativamente los desperdicios.
Contribuciones Teóricas/Metodológicas – El estudio aporta evidencia sobre la aplicabilidad de la programación lineal en problemas reales de ingeniería civil y presenta un modelo replicable para la optimización de procesos.
Contribuciones Sociales y Ambientales – La reducción de desperdicios de material contribuye directamente a la disminución de residuos sólidos, promoviendo prácticas más sostenibles y alineadas con los principios de la economía circular en la construcción civil.

PALABRAS CLAVE: Optimización. Programación Lineal. Construcción Civil. Sostenibilidad. Residuos. Primera. Segunda. Tercera.

RESUMO GRÁFICO

O **resumo gráfico** apresenta, de forma visual, a aplicação da modelagem matemática na otimização do corte de perfis metálicos. Inicialmente, destaca-se o problema de corte, no qual barras de aço devem ser fracionadas para atender demandas específicas de peças com diferentes comprimentos. Na sequência, ilustra-se a utilização da modelagem em Pesquisa Operacional, com apoio do software AMPL e do solver CPLEX, responsáveis pela geração dos padrões de corte mais eficientes. O fluxo representado evidencia a transição do problema inicial para a solução otimizada, na qual são definidos diferentes padrões de corte que maximizam o aproveitamento do material e minimizam as sobras. Como resultado, observa-se a redução do desperdício de matéria-prima e a diminuição do número de barras utilizadas, evidenciando ganhos econômicos e ambientais. Dessa forma, o resumo gráfico sintetiza o processo de otimização e demonstra a contribuição da modelagem matemática para a melhoria da eficiência produtiva na construção civil.

1 INTRODUÇÃO

A Pesquisa Operacional (PO) é uma área multidisciplinar dedicada ao desenvolvimento e à aplicação de métodos matemáticos, estatísticos e computacionais voltados à resolução de problemas complexos de tomada de decisão. Seu surgimento remonta à Segunda Guerra Mundial, quando cientistas foram mobilizados para otimizar operações militares. Posteriormente, essas técnicas passaram a ser amplamente aplicadas em setores industriais, comerciais e de serviços, com o objetivo de melhorar a eficiência e a alocação de recursos (ARENALES et al., 2018; TAHA, 2017).

A Pesquisa Operacional abrange diversos problemas clássicos de otimização, como os modelos de transporte, designação e mistura, amplamente aplicados na tomada de decisão em diferentes setores produtivos. Dentre esses, destaca-se o problema de corte e empacotamento, especialmente relevante no contexto da engenharia civil.

Esse tipo de problema consiste em determinar estratégias que minimizem perdas de material e custos operacionais, promovendo o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Sua aplicação é recorrente em setores como a metalurgia, a indústria madeireira, têxtil e a construção civil, nos quais a definição eficiente de padrões de corte é fundamental para a redução de desperdícios e o aumento da produtividade (MARQUES; MORETTI, 2019).

Segundo Dyckhoff (1990), os problemas de corte e empacotamento (Cutting and Packing Problems – C&P) podem ser classificados em unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais, conforme a natureza dos objetos envolvidos. De modo geral, sua formulação matemática busca determinar o conjunto ótimo de padrões de corte capaz de atender a uma determinada demanda com o menor desperdício possível de material.

Na literatura, autores como Taha (2017) e Hillier e Lieberman (2013) destacam que a modelagem desses problemas é frequentemente realizada por meio da programação linear inteira, uma vez que as variáveis de decisão assumem valores discretos, como a quantidade de peças ou padrões de corte utilizados. No entanto, devido à elevada complexidade combinatória, também são empregadas abordagens heurísticas e meta-heurísticas para obtenção de soluções viáveis em tempo computacional adequado.

No contexto da engenharia civil e metalúrgica, os problemas de corte e empacotamento assumem papel estratégico, especialmente no corte de vergalhões e perfis metálicos, materiais de elevado custo e com impacto direto no orçamento de obras. Nesse sentido, a aplicação de modelos matemáticos de otimização torna-se fundamental para reduzir desperdícios, aumentar a eficiência produtiva e garantir o atendimento das demandas estruturais com melhor aproveitamento dos recursos.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo aplicar conceitos da Pesquisa Operacional na otimização do corte de perfis metálicos, por meio da formulação e implementação de modelos matemáticos no software AMPL, utilizando o solver CPLEX. Busca-se, assim, demonstrar o potencial da modelagem matemática na redução de custos e perdas de material, contribuindo para processos produtivos mais eficientes e sustentáveis na construção civil.

2 OBJETIVO

Aplicar técnicas de Pesquisa Operacional na otimização do corte de perfis metálicos, por meio da modelagem matemática utilizando programação linear, com o intuito de reduzir desperdícios de material e aumentar a eficiência no uso de recursos na construção civil.

Além disso, busca-se implementar computacionalmente o modelo proposto, utilizando o A Mathematical Programming Language e o IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, a fim de obter soluções ótimas e analisar o desempenho dos padrões de corte gerados.

3 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e computacional, fundamentada em conceitos da Pesquisa Operacional. A metodologia adotada envolveu três etapas principais: pesquisa bibliográfica, modelagem matemática e implementação computacional.

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de levantar os fundamentos teóricos relacionados à Pesquisa Operacional e aos principais problemas de otimização linear, com destaque para os modelos de mistura, transporte, transbordo, designação e, especialmente, os problemas de corte e empacotamento. Essa etapa permitiu compreender a estrutura matemática dos modelos e suas aplicações na engenharia civil e na indústria metalúrgica.

Na sequência, foi desenvolvida a modelagem matemática do problema de corte unidimensional, cujo objetivo consiste em determinar a melhor forma de cortar barras metálicas de comprimento fixo em peças menores, de acordo com uma demanda previamente estabelecida. Nessa etapa, foram definidos os conjuntos, parâmetros, variáveis de decisão, função objetivo e restrições do modelo, com base nos princípios da programação linear inteira, visando minimizar o número de vergalhões utilizados e, consequentemente, reduzir o desperdício de material.

Por fim, realizou-se a implementação computacional do modelo utilizando o software A Mathematical Programming Language, uma linguagem de modelagem voltada à otimização matemática, em conjunto com o solver IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. O modelo foi estruturado por meio de arquivos específicos (.mod, .dat e .run), permitindo a separação entre a formulação matemática e os dados do problema. A execução do modelo possibilitou a obtenção da solução ótima, bem como a análise do desempenho dos padrões de corte, evidenciando a eficiência da abordagem adotada.

A metodologia empregada permitiu validar, de forma prática, a aplicação da otimização computacional no contexto da construção civil, contribuindo para a melhoria da eficiência produtiva, redução de desperdícios e apoio à tomada de decisão em processos relacionados ao uso de materiais estruturais.

3.1 Fundamentação Teórica

Método simplex

O método Simplex, desenvolvido por George Dantzig em 1947, é um dos principais algoritmos utilizados para a resolução de problemas de Programação Linear. Seu objetivo consiste em determinar a solução ótima de uma função linear, respeitando um conjunto de restrições também lineares.

Esse método fundamenta-se na propriedade de que a solução ótima de um problema de programação linear, quando existente, localiza-se em um dos vértices da região viável, a qual é definida pelas restrições do problema e apresenta a forma de um poliedro convexo. A partir dessa característica, o método explora sistematicamente esses vértices em busca da melhor solução.

O funcionamento do Simplex inicia-se com uma solução básica viável e, por meio de um processo iterativo, realiza deslocamentos entre vértices adjacentes que proporcionem melhoria no valor da função objetivo. Em cada iteração, as restrições do problema são previamente convertidas para a forma padrão, mediante a introdução de variáveis de folga, possibilitando a construção de uma representação matricial do problema.

Com base nessa estrutura, o algoritmo identifica a variável que deve entrar na base, considerando o critério de maior contribuição para a melhoria da função objetivo, e, simultaneamente, determina a variável que deve sair da base por meio do teste da razão mínima. Em seguida, realiza-se a atualização da solução por meio de operações de pivotamento, garantindo a consistência do sistema e a viabilidade da nova solução. Esse processo iterativo é repetido até que não existam mais possibilidades de melhoria no valor da função objetivo, momento em que se atinge a solução ótima do problema.

Algoritmo Simplex

O algoritmo Simplex é um método iterativo amplamente utilizado para a resolução de problemas de programação linear, sendo um dos pilares da Pesquisa Operacional. De acordo com Margaret L. Brandeau et al. (2007), o método baseia-se na exploração sistemática das soluções básicas viáveis, buscando melhorar progressivamente o valor da função objetivo até atingir a otimalidade.

O procedimento inicia-se com a definição de uma base inicial factível, a partir da qual são determinadas as variáveis básicas e não básicas do problema. Em seguida, calcula-se a solução básica associada, considerando que as variáveis não básicas assumem valor zero. A partir dessa estrutura, são obtidos os custos reduzidos, que indicam o potencial de melhoria da função objetivo ao inserir uma nova variável na base.

O critério de otimalidade é verificado por meio da análise desses custos reduzidos. No caso de problemas de minimização, quando todos os custos reduzidos são não negativos, conclui-se que a solução atual é ótima. Caso contrário, seleciona-se uma variável não básica para entrar na base, com base no maior potencial de redução do valor da função objetivo.

Na sequência, determina-se a variável que deve deixar a base por meio do teste da razão mínima, garantindo que a nova solução permaneça viável. Após essa etapa, realiza-se a atualização da base por meio de operações matriciais, obtendo-se uma nova solução básica.
Esse processo é repetido iterativamente até que o critério de otimalidade seja satisfeito, assegurando a obtenção da melhor solução possível para o problema proposto. Conforme destacado por Margaret L. Brandeau et al. (2007), a eficiência do método Simplex está diretamente relacionada à sua capacidade de navegar de forma estruturada pelos vértices da região viável, tornando-o adequado para aplicações em problemas reais de grande porte.

3.2 Modelagem Matemática do Problema de Corte

Nesta seção, apresenta-se o modelo matemático aplicado ao problema de corte e empacotamento de vergalhões utilizados na construção civil, considerando demandas reais para a produção de armaduras de concreto.

Conjuntos e Parâmetros

Os conjuntos representam os elementos do problema, enquanto os parâmetros correspondem aos dados conhecidos previamente, que caracterizam o cenário analisado.

Define se:

- I = {1, 2, 3}: tipos de cortes (tipo 1 = 300 cm, tipo 2 = 400 cm, tipo 3 = 500 cm);
- P = {1, 2, 3, 4, 5}: padrões de corte viáveis;
- d1 = 6, d2 = 5, d3 = 4: demanda de cada tipo;
- aip: número de peças do tipo i no padrão p.

Variáveis de Decisão

• xp: número de vergalhões cortados no padrão p

Função Objetivo

A função objetivo expressa o propósito da otimização, que, neste caso, consiste em minimizar o número total de vergalhões utilizados:

$$\text{Min } Z = x1 + x2 + x3 + x4 + x5 \quad (1)$$

Restrições do Modelo

As restrições representam as condições que devem ser atendidas pelo modelo, garantindo que as demandas de corte sejam completamente supridas.

$$4x1 + x4 \geq 6 \quad (2)$$
$$3x2 + x4 + x5 \geq 5 \quad (3)$$
$$2x3 + x5 \geq 4 \quad (4)$$
$$xp \in Z \geq 0, \ \forall p \in P \quad (5)$$

No modelo (1)-(5) a função objetivo (1) minimiza o número total de vergalhões utilizados, somando todas as vezes que cada padrão será aplicado. A restrição (2) garante que pelo menos 6 peças de 300 cm sejam produzidas. O padrão 1 produz 4 unidades, e o padrão 4 produz 1 unidade. A restrição (3) garante que a demanda de 5 peças de 400 cm seja atendida. O padrão 2 gera 3 unidades, o padrão 4 gera 1, e o padrão 5 também gera 1. A restrição (4) exige que sejam produzidas ao menos 4 peças de 500 cm. O padrão 3 gera 2 peças e o padrão 5 gera 1. A restrição (5) define que os valores das variáveis xp devem ser inteiros e não negativos, pois não é possível cortar meio vergalhão.

3.3 Implementação Computacional

Para a implementação computacional, utilizou-se o software A Mathematical Programming Language (AMPL), uma linguagem de modelagem voltada à otimização matemática, que permite a separação entre modelo e dados. Como solucionador, foi empregado o IBM ILOG CPLEX Optimization Studio (CPLEX), amplamente utilizado na resolução de problemas de programação linear e inteira.

O processo de implementação foi estruturado em três arquivos principais:

- **corte.mod:** responsável pela definição do modelo matemático;
- **corte.dat:** contendo os dados de entrada, como demandas e parâmetros do problema;
- **corte.run:** responsável pela execução do modelo e obtenção dos resultados.

A utilização desses arquivos permite maior organização e flexibilidade na modelagem, possibilitando a alteração dos dados sem a necessidade de modificar a estrutura matemática do modelo.

Inicialmente, o AMPL realiza a leitura dos arquivos de modelo (.mod) e de dados (.dat), interpretando as variáveis, restrições e a função objetivo. Em seguida, o problema é convertido em uma representação matemática compatível com o solver. O CPLEX, por sua vez, executa o processamento computacional, aplicando algoritmos de otimização para determinar a solução ótima do problema.

Após a resolução, os resultados são retornados ao ambiente do AMPL, permitindo a análise das variáveis de decisão e do valor da função objetivo.

4 RESULTADOS

A Considerando os dados apresentados na Tabela 1, tem-se três tipos de cortes que devem atender às demandas especificadas. Os comprimentos dos itens são respectivamente de 300 cm, 400 cm e 500 cm, com demandas de 6, 5 e 4 peças.

Tabela 1 - Dados dos tipos de cortes.

Tipo (i)	1	2	3
Wi (comprimento em centímetros)	300	400	500
Di (demanda)	6	5	4

Fonte: Autoria própria (2025).

O modelo teve como objetivo principal minimizar o número de vergalhões necessários para o atendimento de cortes de 300 cm, 400 cm e 500 cm, considerando barras de aço com 12 metros de comprimento. Para isso, foram definidos cinco padrões de corte viáveis, e as variáveis de decisão representaram o número de vezes que cada padrão foi utilizado.

A Figura 1 apresenta o arquivo do modelo (.mod) utilizado na formulação matemática, ilustrando a estrutura das restrições e da função objetivo:

figura 1 - Arquivo do modelo (.mod)

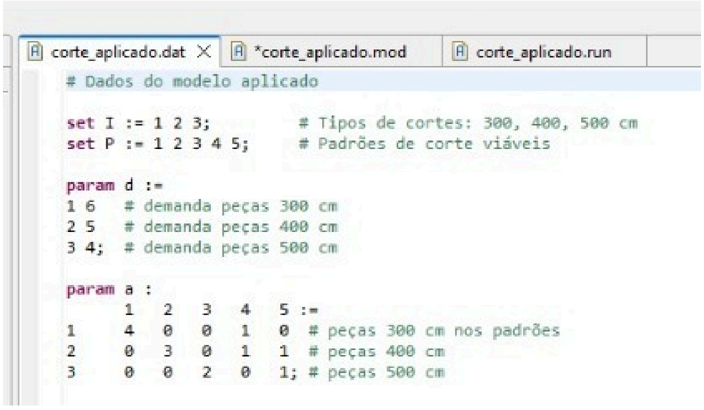
corte_aplicado.dat | *corte_aplicado.mod | corte_aplicado.run

```
# Modelo de Corte e Empacotamento Aplicado à Engenharia Civil

set I;  #Tipos de cortes
set P;  #Padrões de corte viáveis

param d {I} >= 0;     #Demanda de peças de cada tipo
param a {I,P} >= 0;   #Número de peças do tipo i no padrão p

var x {p in P} >= 0, integer;  #Quantidade de vezes que o padrão p será usado

#Função objetivo: minimizar total de vergalhões usados
minimize Z:
    sum {p in P} x[p];

#Restrições: atender a demanda mínima de cada tipo de peça
s.t. Demanda {i in I}:
    sum {p in P} a[i,p] * x[p] >= d[i];
```

Fonte: Autoria Própria

A Figura 2 mostra o arquivo de dados (.dat) que define as demandas de corte e os comprimentos das barras no qual são definidos os parâmetros do problema, incluindo as demandas de corte e os comprimentos das barras metálicas utilizadas no processo.

Figura 2 - Arquivo de dados (.dat)



```
# Dados do modelo aplicado

set I := 1 2 3;          # Tipos de cortes: 300, 400, 500 cm
set P := 1 2 3 4 5;      # Padrões de corte viáveis

param d :=
1 6   # demanda peças 300 cm
2 5   # demanda peças 400 cm
3 4;  # demanda peças 500 cm

param a :
      1   2   3   4   5 :=
1     4   0   0   1   0  # peças 300 cm nos padrões
2     0   3   0   1   1  # peças 400 cm
3     0   0   2   0   1; # peças 500 cm
```

Fonte: Autoria própria (2025).

O arquivo de execução (.run), apresentado na Figura 3, evidencia o processamento do solver e a obtenção da solução ótima. Ele demonstra a chamada ao solver CPLEX, incluindo a especificação dos arquivos. Note que o AMPL utilizou o caminho da pasta local, indicando a localização dos arquivos no computador do usuário.

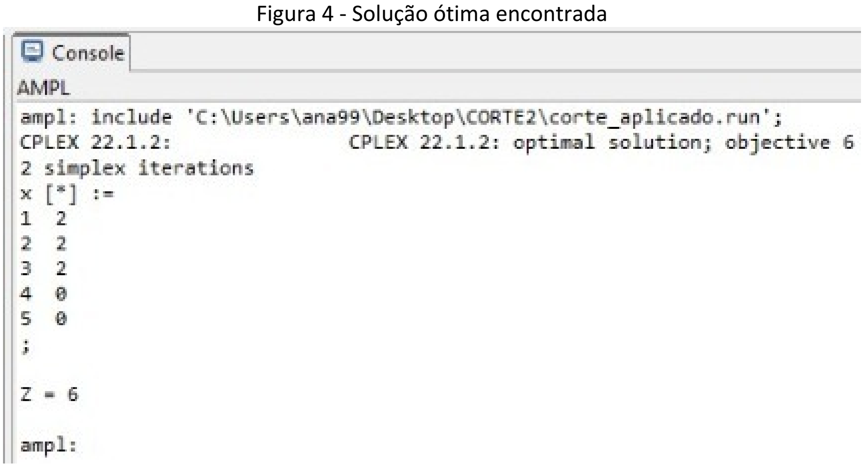
Figura 3 - Arquivo de execução (.run)

```
reset;
model "C:/Users/ana99/Desktop/CORTE2/corte_aplicado.mod";
data  "C:/Users/ana99/Desktop/CORTE2/corte_aplicado.dat";
option solver cplex;
solve;
display x, Z;
```

Fonte: Autoria Própria (2025).

Após a execução, obteve-se Z=6, indicando o número mínimo de barras necessárias para atender à demanda. A Figura 4 apresenta esse resultado.

Figura 4 - Solução ótima encontrada



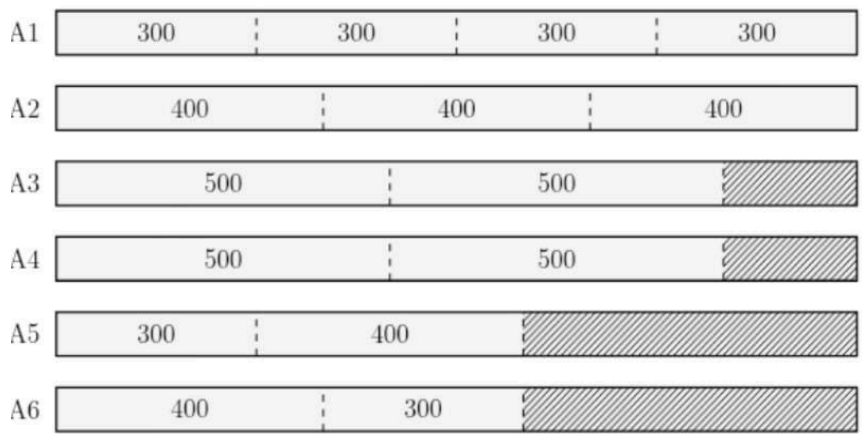
```
ampl: include 'C:\Users\ana99\Desktop\CORTE2\corte_aplicado.run';
CPLEX 22.1.2:            CPLEX 22.1.2: optimal solution; objective 6
2 simplex iterations
x [*] :=
1  2
2  2
3  2
4  0
5  0
;

Z = 6

ampl:
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Na figura 4, o valor Z=6 obtido representa o número mínimo de vergalhões necessários para atender integralmente a demanda definida no problema de corte unidimensional. A solução indica que utilizando 2 vergalhões para cada um dos padrões 1, 2 e 3 é possível suprir todas as demandas sem desperdício adicional, confirmando a eficiência do modelo matemático implementado no AMPL com o solver CPLEX.

A seguir são ilustrados os padrões de corte gerados pelo modelo de otimização para o aproveitamento dos vergalhões de 12 metros. Cada padrão representa uma forma distinta de fracionar o vergalhão em segmentos conforme as necessidades de produção, destacando-se tanto os cortes realizados quanto às sobras resultantes de cada configuração. Esses padrões compõem a base da solução, pois determinam como as barras devem ser utilizadas para atender à demanda com o menor desperdício possível. Na Figura 5, observa-se a disposição ilustrativa desses padrões.

Figura 5 - Padrões de corte de vergalhões de aço



Fonte: Autoria própria (2025).

O vetor A1 corresponde ao padrão composto por quatro peças de 300 cm, resultando no aproveitamento total de vergalhão, sem qualquer sobra. O vetor A2 representa um padrão formado por três cortes de 400 cm, também utilizando integralmente os 12 m disponíveis. Já o vetor A3 e da mesma forma o vetor A4, que reproduz esse padrão para uma segunda barra, contém dois cortes de 500 cm, gerando uma sobra residual de 200 cm por barra. Por fim, o vetor A5 combina uma peça de 300 cm com uma peça de 400 cm, totalizando 700 cm e deixando uma sobra de 500 cm.

Os padrões de corte viáveis são definidos a seguir pelas matrizes Ap, que indicam a quantidade de peças de cada tipo produzidas em cada padrão.

Figura 6 – Vetores de corte

$$a_1 = \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad a_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad a_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}, \quad a_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad a_5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Fonte: Autoria própria (2025).

4.1 Aplicação em caso real industrial

O modelo matemático proposto na Seção 3.2 foi implementado computacionalmente conforme descrito na Seção 3.3, sendo aplicado aos dados reais fornecidos pela indústria analisada.

Com o objetivo de validar a aplicabilidade do modelo proposto, foi analisado um caso real proveniente de uma indústria metalúrgica localizada no interior do estado de São Paulo, na cidade de Votuporanga. O processo produtivo envolve o corte de chapas metálicas em diferentes dimensões, sendo utilizado como base material com comprimento total de 1200 cm e espessura de 3,75 mm.

O estudo considera um cenário real de produção referente ao mês de junho de 2025, no qual a empresa necessita atender a uma demanda específica de peças com diferentes comprimentos, tornando essencial o planejamento eficiente dos cortes para minimizar desperdícios de material.

A Tabela 2 apresenta os dados fornecidos pelo setor produtivo da empresa, contendo os tipos de peças, seus respectivos comprimentos e as demandas a serem atendidas.

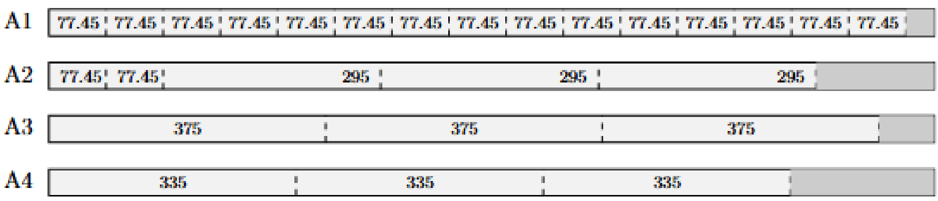
Tabela 2 - Dados de entrada do problema real

Tipo (i)	**1**	**2**	**3**	**4**
Wi (comprimento em centímetros)	77,45	295	375	335
Di (demanda)	351	6	9	62

Fonte: Autoria própria (2025).

Observa-se que a maior demanda está associada às peças de menor comprimento, o que influencia diretamente na escolha dos padrões de corte mais eficientes. Esses dados representam as condições reais de produção, sendo fundamentais para a modelagem do problema de otimização. A partir dos dados apresentados, foram definidos padrões de corte viáveis, com o objetivo de maximizar o aproveitamento das chapas metálicas e reduzir as sobras geradas no processo produtivo.

Figura 6 - Padrões de corte aplicados às chapas metálicas de 1200 cm



Fonte: Elaboração do proprio autor (2025).

A Figura 6 ilustra os principais padrões de corte considerados no modelo. Cada padrão representa uma forma específica de divisão da chapa metálica em peças menores, evidenciando tanto os segmentos aproveitados quanto as sobras resultantes de cada configuração.

O padrão A1 corresponde ao corte de 15 peças de 77,45 cm, resultando em uma sobra aproximada de 38,25 cm. O padrão A2 combina dois cortes de 77,45 cm com três cortes de 295 cm, apresentando uma sobra de 10,10 cm, sendo este um dos padrões com melhor aproveitamento do material. O padrão A3 é composto por três cortes de 375cm, gerando uma sobra de 75cm, enquanto o padrão A4 realiza três cortes de 335cm, resultando em uma sobra de 195cm.

De modo geral, observa-se que os padrões apresentam diferentes níveis de eficiência, sendo que combinações que integram diferentes comprimentos tendem a proporcionar melhor aproveitamento do material. Esse resultado evidencia a importância da aplicação de modelos de otimização na definição dos padrões de corte mais eficientes.

Os padrões de corte também podem ser representados por meio de vetores, conforme ilustrado na Figura 7, nos quais cada elemento indica a quantidade de peças de cada tipo produzida em determinado padrão. Essa representação matricial permite incorporar os padrões diretamente ao modelo matemático, facilitando a formulação das restrições e a aplicação de técnicas de otimização.

Figura 7 – Matriz (vetores)

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad A_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad A_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad A_5 = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Fonte: Elaboração própria (2025).

Com base nesses vetores, o modelo de otimização foi aplicado para determinar a melhor combinação de cortes, visando atender à demanda com o menor número possível de chapas e, consequentemente, minimizar o desperdício de material.

Os resultados obtidos demonstram que a aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional melhora significativamente o aproveitamento do material, reduzindo sobras e aumentando a eficiência produtiva. Além disso, evidencia-se o potencial do uso de ferramentas computacionais, como AMPL e CPLEX, no apoio à tomada de decisão e na digitalização de processos industriais, contribuindo para práticas mais sustentáveis no setor da construção civil e metalúrgico.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou a aplicabilidade da Pesquisa Operacional na resolução de problemas de corte e empacotamento de perfis metálicos no contexto da construção civil. Por meio da modelagem matemática baseada em programação linear e da implementação computacional utilizando o A Mathematical Programming Language e o IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, foi possível obter uma solução ótima capaz de atender integralmente à demanda com o menor número de vergalhões.

Os resultados evidenciaram que a utilização de técnicas de otimização contribui diretamente para a minimização de sobras de aço, redução do desperdício de matéria-prima e aumento da eficiência produtiva. A definição dos padrões de corte mais adequados permitiu um melhor aproveitamento dos materiais estruturais, impactando positivamente no planejamento e na execução de processos construtivos.

Além disso, o uso de ferramentas computacionais demonstrou o potencial da otimização como instrumento de apoio à tomada de decisão na engenharia civil, promovendo maior precisão, rapidez e confiabilidade nos resultados obtidos. Nesse sentido, destaca-se a importância da integração entre modelagem matemática e tecnologias digitais, contribuindo para a digitalização de processos e modernização do setor da construção.

Dessa forma, conclui-se que a aplicação da otimização computacional no corte de perfis metálicos representa uma estratégia eficiente e sustentável, alinhada aos princípios de uso racional de recursos, redução de impactos ambientais e melhoria da produtividade, sendo altamente relevante para o desenvolvimento de soluções inovadoras na construção civil.

6 REFERÊNCIAS

ARENALES, Marcos Nereu et al. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

BRANDEAU, Margaret L.; SAINFORT, François; PIERSKALLA, William P. **Operations research and health care: a handbook of methods and applications**. Boston: Springer, 2007.

DYCKHOFF, Harald. **A typology of cutting and packing problems**. European Journal of Operational Research, v. 44, n. 2, p. 145-159, 1990.

FOURER, Robert; GAY, David M.; KERNIGHAN, Brian W. **AMPL: a modeling language for mathematical programming**. 2. ed. Boston: Cengage Learning, 2003.

GILMORE, P. C.; GOMORY, R. E. **A linear programming approach to the cutting-stock problem**. Operations Research, v. 9, n. 6, p. 849-859, 1961.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

IBM. **IBM ILOG CPLEX Optimization Studio**. Disponível em: https://ampl.com/products/solvers/linear-solvers/cplex/. Acesso em: 20 mar. 2026.

MARQUES, Fernando; MORETTI, Antonio. **Otimização de corte de materiais: aplicações industriais**. Revista Produção Industrial, v. 19, n. 2, p. 45–60, 2019.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa operacional**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2017.

WÄSCHER, Gerhard; HAUSSNER, Heike; SCHUMANN, Holger. **An improved typology of cutting and packing problems**. European Journal of Operational Research, v. 183, n. 3, p. 1109-1130, 2007.