O PROBLEMA DE CORTE DE ESTOQUE MULTIPERÍODO APLICADO À INDÚSTRIA DE CONCRETO

Caroline de Arruda Signorini
Departamento de Matemática Aplicada, IBILCE, UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
São José do Rio Preto, 15054-000, SP, Brasil
carolineasignorini@gmail.com

Silvio Alexandre de Araujo
Departamento de Matemática Aplicada, IBILCE, UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
São José do Rio Preto, 15054-000, SP, Brasil
silvio.araujo@unesp.br

Gislaine Mara Melega
Departamento de Engenharia de Produção, UFSCar - Universidade Federal de São Carlos
São Carlos, 13565-905, SP, Brasil
gislainemelega@gmail.com

RESUMO

Neste trabalho, abordamos o problema de planejamento da produção de lajes alveolares integrado ao problema de otimização da utilização de fôrmas. Baseando-nos no processo produtivo dessas estruturas numa indústria de premoldados protendidos, propomos um modelo matemático em conformidade com Problemas de Corte de Estoque Multiperíodo, visando a minimização do desperdício de matéria-prima e dos custos de estoque. Resultados computacionais, com base em dados reais, são apresentados e mostram a relevância do modelo como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

PALAVRAS CHAVE. Modelagem matemática, Problema de corte de estoque multiperíodo, Produção de lajes alveolares.

Tópicos: Otimização combinatória, Modelagem matemática, PO na indústria.

ABSTRACT

In this work, we approach the alveolar slabs production planning integrated to the optimization problem of the use of molds. Based on the production process of these structures, we propose a mathematical model that is related to the Multi-Period Cutting Stock Problems, in order to minimize waste of raw material and inventory costs. Computational results, based on real data, are presented and they indicate the relevance of the model as an auxiliary tool in decision making.

KEYWORDS. Mathematical modeling. Multi-period cutting stock problem. Alveolar slabs production.

Paper topics: Combinatorial optimization, Mathematical modeling, OP in industry.

https://proceedings.science/p/106747?lang=pt-br

1. Introdução

Embora seja notável o progresso das indústrias de um modo geral, segundo [El Debs, 2000], a construção civil vem sendo considerada atrasada, por apresentar baixa produtividade, grande desperdício de materiais, vagarosidade e baixo controle de qualidade. Por conta dessa necessidade, processos industriais são aplicados na incrementação da produtividade para aprimorar o desempenho da atividade construtiva.

Neste contexto, está inserida a técnica da confecção de estruturas de concreto pré-moldado e protendido, permitindo uma produção em série de elementos estruturais (como vigas, lajes e colunas) de alta resistência. De acordo com [El Debs, 2000], o emprego da pré-moldagem aumenta com o grau de desenvolvimento tecnológico e social do país, pois este acarreta maior oferta de equipamentos, valorização da mão-de-obra e exigências mais rigorosas em relação à qualidade dos produtos. Com isso, as perspectivas são de aumento do emprego do concreto pré-moldado em países em desenvolvimento, como o Brasil.

A crescente necessidade de se aumentar a produtividade industrial da construção civil brasileira foi ressaltada por Walter Cover (ver [Abcic, 2016]), presidente da Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção (Abramat), em sua palestra "Benefícios e Barreiras da Construção Industrializada": em termos de custo final, o uso de sistemas construtivos industrializados se torna competitivo se levarmos em consideração, no cálculo final, não apenas o custo por m^2, mas também fatores como maior velocidade da obra, canteiros melhor organizados, redução no desperdício de materiais e menor necessidade de mão de obra, proporcionados pela industrialização. Em adição, o engenheiro Carlos Franco (ver [Abcic, 2016]) destacou outras vantagens do uso de sistemas pré-fabricados de concreto: além da eficiência estrutural, o pré-fabricado possibilita flexibilidade arquitetônica, menor impacto ambiental em função da redução da geração de resíduos, além de resistência maior a propagação de fogo.[1]

Em face da crescente competitividade, responsabilidade ambiental e a escassez de recursos, o setor industrial vem sendo induzido à busca do desenvolvimento de métodos de tomada de decisão objetivando projetar e produzir de maneira econômica e eficiente. Um modo de se alcançar esse objetivo é por meio da otimização, tendo em vista o acelerado avanço da tecnologia e melhores recursos computacionais, os quais viabilizam o uso de técnicas de otimização, aumentando a precisão e permitindo maior complexidade dos problemas resolvidos.

No Brasil, o ramo da construção pré-fabricada vem crescendo e a procura por parcerias com pesquisadores é cada vez maior, a fim de garantir a continuidade do processo produtivo e atender as demandas dos clientes, melhor coordenando seus processos produtivos e administrando os recursos escassos de produção. Com uma parceria com universidades, uma importante indústria do setor busca otimizar sua produção integrada, desde o estágio de planejamento da fabricação dos itens até o transporte. Dentre os produtos pré-fabricados por esta indústria, encontram-se pilares, vigas, painéis, lajes alveolares e escadas.

Para o processo de produção de lajes alveolares, objeto deste trabalho, a modelagem matemática preliminar proposta por nós busca minimizar o custo de estoque, devido ao espaço limitado na fábrica e ao transporte para armazenamento em outras unidades da fábrica, e a perda no uso das fôrmas, o que acarreta no desperdício de cordoalha de aço, que possui um custo alto, respeitando o balanceamento de estoque e a capacidade das fôrmas, que possuem comprimentos iguais. De acordo com a classificação feita em [Melega et al., 2018], o modelo aqui proposto se encontra entre os Problemas de Corte de Estoque (Unidimensional) Multiperíodo (*Multi-Period Cutting Stock Problem*, também denotado por (- /L2/ - /M)), haja visto que o presente modelo não envolve mais de um nível de produção e possui integração em períodos de tempo, por permitir estocagem de peças de um período para outro.

[1] Para mais detalhes, consultar o anuário [Abcic, 2016]

https://proceedings.science/p/106747?lang=pt-br

De modo geral, o Problema de Corte de Estoque consiste em estabelecer o melhor modo de cortar objetos com tamanho padrão (unidades de material disponíveis em estoque, como bobinas de aço, alumínio ou papel, chapas metálicas ou de madeira, barras de aço, entre outros) em objetos menores (também conhecidos como itens) com dimensões especificadas, minimizando o desperdício de material e atendendo a demanda dos itens. Alguns dos trabalhos que abordam problemas de corte de estoque são [Gilmore e Gomory, 1961, 1963, 1965], [Dyckhoff, 1981], [Farley, 1988], [Hendry et al., 1996], [Henn e Wäscher, 2013] e [Wäscher et al., 2007].

O Problema de Corte de Estoque *padrão* considera apenas um período de tempo, de maneira que não há estocagem: as peças cortadas a mais no fim do período são consideradas como desperdício. No caso dos Problemas de Corte de Estoque Multiperíodo (ver [Poldi e de Araujo, 2016]), mais de um período é considerado, o que permite o uso de estoque.

Com relação à produção de peças de concreto pré-moldadas, diversas publicações são encontradas na literatura. Em particular, dentre os estudos de Problemas de Corte de Estoque Unidimensional Multiperíodo (PCEUM), [Poldi e Arenales, 2010] propuseram um modelo linear inteiro para o PCEUM, implementaram um método simplex com geração de colunas para resolver a relaxação linear e desenvolveram duas heurísticas de arredondamento para encontrar soluções inteiras o problema; [Prata et al., 2015] propuseram um modelo de programação inteira para o problema de planejamento da produção multiperíodo de vigas de concreto pré-moldado; [Trkman e Gradisar, 2007], que apresentaram um modelo de Problema de Corte de Estoque Unidimensional Multiperíodo considerando o uso de objetos/sobras em estoque; e, por fim, [Vassoler et al., 2016] propuseram um modelo matemático baseado no PCEUM para o problema de planejamento da produção de vigas nas indústrias de lajes de treliças.

Este trabalho está organizado como segue: na Seção 2, apresentamos a definição do problema, descrevendo o processo de produção das lajes alveolares; na Seção 3, exibimos um modelo matemático; na Seção 4 apresentamos os resultados computacionais; e, por fim, na Seção 5 expomos a conclusão e pesquisas futuras.

2. Processo de Produção

Como pode ser visto na Figura 1, o processo de produção de estruturas de concreto prémoldado protendido inicia com uma carteira de pedidos, onde as demandas dos clientes são especificadas, bem como os prazos de entrega. Essas informações são repassadas para o setor de planejamento da produção, onde o gerente de processos faz a programação semanal, decidindo quais e quantas peças serão produzidas, tomando decisões de acordo com sua experiência e dando preferência às peças que constam em contratos com prazos mais apertados. Geralmente, os clientes fazem o pedido cerca de três meses antes do prazo exigido, no entanto, pedidos urgentes podem chegar e, neste caso, uma reprogramação diária precisa ser feita.

[1]Imagens retiradas de *Prestressed Concrete.* Web video: https://youtu.be/0z6gjjrSn0M. Acessado: 2019-12-04.

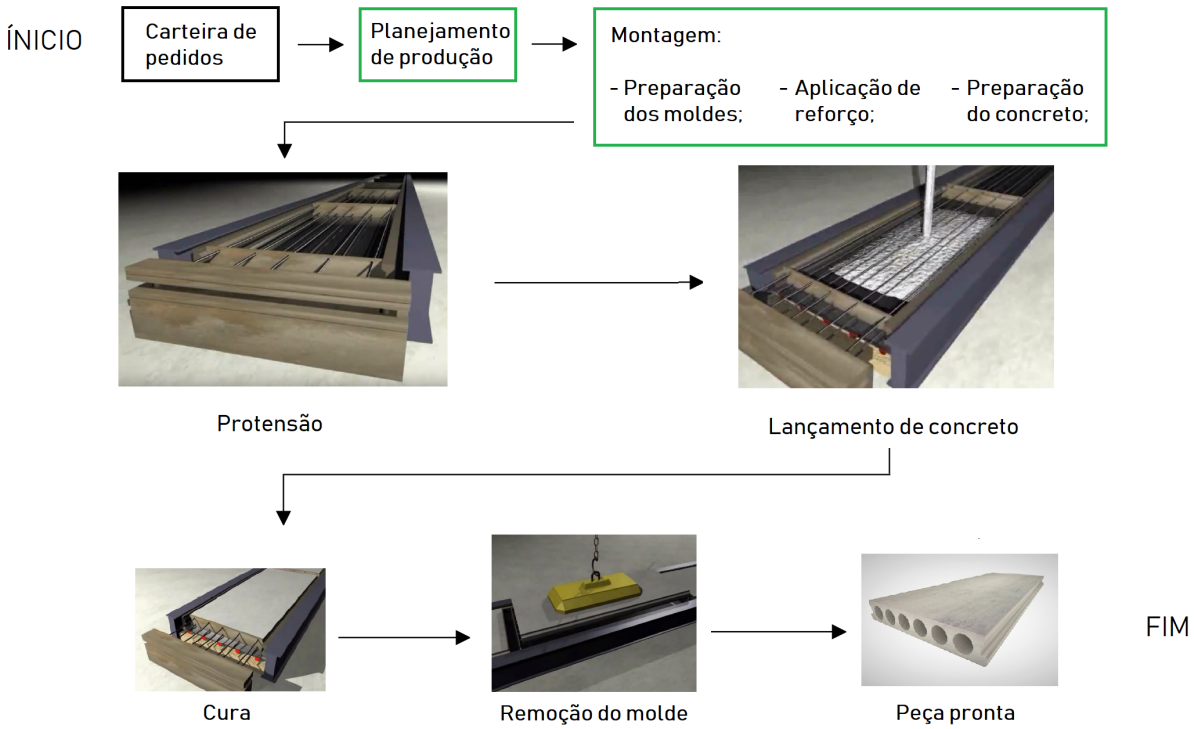


Figura 1: Processo de produção de estruturas de concreto pré-moldado protendido.

Na primeira etapa, os moldes passam pelo processo de limpeza e aplicação do óleo desmoldante, a fim de evitar a danificação do molde e/ou das próximas peças a serem produzidas nele. Então, os cabos de aço (cordoalhas) são usados para protensão, passados a partir da parte superior até a parte inferior do molde, e o reforço de aço é feito: os cabos são tensionados para aproximadamente três quartos de sua resistência final. O próximo passo é o lançamento do concreto: sem interrupção, ele é derramado no molde e é realizada a compactação de concreto fresco. Quando o concreto atinge a resistência à compressão desejada (cura), a conexão entre os fios e as âncoras é liberada e a laje é feita. Depois que o concreto atingir força suficiente, a remoção das peças do molde deve ser feita com cuidado para não danificar as bordas da peça. Por fim, as peças são transportadas para um armazenamento.[2]

Observe que o planejamento da produção pode incluir a mistura de peças com diferentes comprimentos (a cada peça são colocados os pentes separadores) e de diferentes tensões. Neste último caso, a quantidade de cabos utilizada na pista (unidade de molde) é a maior dentre todas as peças a serem produzidas ali, e os colaboradores responsáveis pela montagem reajustam a tensão de cada peça para que seja apenas necessária. Veja que, no caso de mistura de peças com tensões distintas num mesmo molde, há um desperdício referente ao excesso de cabos nas peças de tensão menor. Devemos destacar que pode haver também o desperdício de cordoalha na parte do molde onde não houve lançamento de concreto: o comprimento de cordoalha não utilizado nas peças é perdido.

3. Modelo Matemático

Com base no processo de produção de lajes alveolares, propomos um modelo inicial referido na literatura como Problema de Corte de Estoque Multiperíodo (PCEMP), já que podemos

[2]Veja mais sobre concreto pré-moldado e protendido e sua produção em [Husein e Softić, 2013] e [Prestressed Group, 2018].

https://proceedings.science/p/106747?lang=pt-br

considerar a produção como corte de grandes objetos disponíveis em estoque (os moldes) em pedaços menores (as lajes), a fim de minimizar o desperdício de matéria-prima (cabo de aço) e custos de estoque, satisfazendo as restrições de balanceamento de estoque e capacidade dos moldes. Considere os seguintes conjuntos, parâmetros e variáveis de decisão:

Conjuntos:
I: número total de itens (índice i);
T: número total de tensões (índice τ);
K: número total de moldes (índice k);
P: número total de períodos (índice p);

Parâmetros:
W: comprimento do molde;
w_i: comprimento do item i;
$h_{i,p}$: custo unitário de estoque do item i no período p;
f_τ: número de cabos de aço da tensão τ;
$d_{i,\tau,p}$: demanda do item i de tensão τ no período p;

Variáveis:
$Y_{\tau,k,p}$: variável binária que indica o uso da tensão τ no molde k no período p;
$S_{i,\tau,p}$: estoque do item i de tensão τ no fim do período p;
$Z_{i,\beta,\tau,k,p}$: produção do item i de tensão β feita no molde k com tensão τ no período p.

Modelo Matemático para (PCEMP):

$$\begin{aligned}\text{Minimizar} \quad & \sum_{i=1}^{I}\sum_{\tau=1}^{T}\sum_{p=1}^{P} h_{i,p}\cdot S_{i,\tau,p} + \sum_{\tau=2}^{T}\sum_{i=1}^{I}\sum_{\beta=1}^{\tau-1}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}(f_\tau - f_\beta)\, w_i \cdot Z_{i,\beta,\tau,k,p} \\ & + \sum_{\tau=1}^{T} f_\tau \left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} W \cdot Y_{\tau,k,p} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{\beta=1}^{\tau}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} w_i \cdot Z_{i,\beta,\tau,k,p} \right)\end{aligned} \tag{1}$$

$$\text{Sujeito a} \quad S_{i,\beta,p-1} + \sum_{\tau=\beta}^{T}\sum_{k=1}^{K} Z_{i,\beta,\tau,k,p} - S_{i,\beta,p} = d_{i,\beta,p} \qquad \forall i,\ \forall \beta,\ \forall p \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{\beta=1}^{\tau} w_i \cdot Z_{i,\beta,\tau,k,p} \leq W \cdot Y_{\tau,k,p} \qquad \forall \tau,\ \forall k,\ \forall p \tag{3}$$

$$\sum_{\tau=1}^{T} Y_{\tau,k,p} \leq 1 \qquad \forall k,\ \forall p \tag{4}$$

$$S_{i,\tau,0} = S_{i,\tau,P} = 0 \qquad \forall i,\ \forall \tau, \tag{5}$$

$$Y_{\tau,k,p} \in \{0,1\} \qquad \forall \tau,\ \forall k,\ \forall p, \tag{6}$$

$$S_{i,\tau,p} \in \mathbb{R}_+ \qquad \forall i,\ \forall \tau,\ \forall p, \tag{7}$$

$$Z_{i,\beta,\tau,k,p} \in \mathbb{Z}_+ \qquad \forall i,\ \forall \beta,\ \forall \tau,\ \forall k,\ \forall p. \tag{8}$$

Na modelagem acima, pretendemos (1) minimizar o custo de manutenção de estoque e o desperdício de cabo de aço: a primeira parte diz respeito à mistura de diferentes tensões e a segunda é relativa à peça do molde sem concreto, para que sejam atendidas as restrições (2) - balanceamento de demanda: o estoque remanescente do período anterior e a produção no período atual são usados para satisfazer a demanda atual e acumular estoque que pode ser usado nos seguintes períodos -, (3)

https://proceedings.science/p/106747?lang=pt-br

- capacidade dos moldes: a variável de *setup* ($Y_{\tau,k,p}$) é forçada a ser 1 se há produção neste período -, (4) - limite de tensão: cada molde deve admitir no máximo um tipo de tensão em cada período -, (5) os estoques inicial e final são fixados em zero -, (6), (7) e (8) são as restrições de integralidade e não-negatividade.

4. Resultados Computacionais

Com base em uma carteira de pedidos semanal da indústria estudada, geramos alguns dados aleatórios, os quais são distribuídos da seguinte forma: os comprimentos dos itens variam entre 1 e 13 metros; consideramos sete tipos de tensões: 0, 8, 10, 12, 14, 16 e 18 fios de aço; e a demanda varia de 0 a 30 peças, de modo que apenas 1% da matriz de demanda é diferente de zero. Os dados foram separados em 27 classes, caracterizadas pela quantidade de item: 30, 80 ou 130; número de períodos: 5, 10 ou 20; e, para efeitos de comparação do desempenho do modelo, consideramos três classes com os mesmos itens, demanda e quantidade de períodos, apenas variando a quantidade de moldes, a qual é computada da seguinte maneira

$$\text{Número de moldes } = \left\lceil \text{Fator} \times \frac{\sum_{i=1}^{I}\sum_{\tau=1}^{T}\sum_{p=1}^{P} w_i \cdot d_{i,\tau,p}}{W} \right\rceil,$$

onde Fator varia entre os valores 1,5 ou 2 ou 3.

A implementação foi feita no Microsoft Visual Studio Express 2012 para Windows Desktop usando o IBM CPLEX com tecnologia Concert em um projeto C ++ versão 12.6.1. A máquina usada é um desktop Dell de 64 bits com CPU Intel Core i7-4770 a 3.40 GHz, 16 GB de RAM, Windows 10 Pro. O limite de tempo para execução do CPLEX foi de 1800 segundos para cada instância.

Na Tabela 1 incluímos as médias de resultados dos 5 exemplos para cada uma das 27 classes, totalizando 135 instâncias, onde, numa mesma classe, cada um dos 5 exemplos se diferenciam pelos tamanhos dos itens, número de moldes e os valores das demandas.

Podemos observar que em 113 das 135 instâncias, são encontradas soluções factíveis, e há uma grande variação do valor de GAP, que percorre, em média, o intervalo entre 0,06% a 98,9%. E mais, em 18 das 27 classes, o *solver* utilizou o tempo limite de 1800 segundos sem ter sucesso na obtenção de uma solução ótima para o problema, embora tenha encontrado ao menos uma solução factível. Apenas em duas classes (2 e 3) foram encontradas soluções consideradas ótimas (com GAP inferior a 0,1%). Além disso, notamos que, nas três classes em que o número de períodos é $P = 5$ e a porcentagem sobre a quantidade necessária de moldes é 1,5 vezes o necessário, o problema é infactível ou ilimitado. Em contrapartida, para valores maiores de itens e de moldes, mais facilmente é encontrada uma solução factível.

A coluna "Estoque" indica o *custo* a ser pago para armazenamento das peças produzidas de um período para o posterior; a coluna "Mistura" indica o *custo* relacionado à perda de cordoalha de aço na mistura de tensões (custo sobre os fios a mais em uma peça de tensão menor); a coluna "Aço restante" aponta o *custo* sobre o comprimento de cordoalha na fôrma que não foi utilizado em nenhuma peça; e, por fim, a coluna "Perda em espaço" é composta pelo *comprimento* total do molde que não foi utilizado para produção. A partir disto, destacamos que o uso de um número maior de moldes é preferido ao uso de estoque ou à mistura de peças de tensões distintas.

5. Conclusão e Pesquisas Futuras

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver uma ferramenta matemático-computacional que auxilie a tomada de decisão para o planejamento da produção em moldes, com base no processo

produtivo de lajes protendidas. Como motivação inicial deste trabalho, temos a parceria com uma empresa de pré-moldados.

Apresentamos um modelo de Problema de Corte de Estoque Multiperíodo para ser implantado no planejamento de produção de lajes alveolares e os resultados computacionais que obtivemos a partir de dados aleatórios pautados em informações reais.

Como continuação deste trabalho, pretendemos utilizar outros métodos de modelagem, como o de [Gilmore e Gomory, 1961] (para o uso de Geração de Colunas) ou o modelo de fluxo de arcos [Valério de Carvalho, 2002], para podermos comparar resultados, haja visto que os aqui obtidos oferecem valores de GAP considerados altos. Qualquer que seja o modelo escolhido entre os dois citados, espera-se uma melhora no desempenho quanto ao tempo e valor de GAP.

Um desafio para continuação deste trabalho é integrar o planejamento de produção das outras diversas estruturas pré-moldadas (como pilares, vigas e telhas) da empresa parceira e também o transporte das mesmas, tentando conciliar a época de produção dos itens demandados com o prazo de entrega constante no contrato da empresa, minimizando o tempo de estoque.

Referências

Abcic (2016). Anuário Abcic (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto). `http://www.abcic.org.br/anuario_2016/ANUARIO_ABCIC_BAIXA_2016.pdf`. Acessado: 2019-30-03.

Dyckhoff, H. (1981). A new linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations research 29*, p. 1092–104.

El Debs, M. K. (2000). *Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações*. EESC-USP, Oficina de Textos.

Farley, A. A. (1988). Mathematical programming models for cutting-stock problems in the clothing industry. *Journal of the Operational Research Society 39*, p. 41–53.

Gilmore, P. C. e Gomory, R. E. (1961). A linear programming approach to the cutting-stock problem. *Operations research 9.6*, p. 849–859.

Gilmore, P. C. e Gomory, R. E. (1963). A linear programming approach to the cutting stock problem – part ii. *Operations research 11.6*, p. 863–888.

Gilmore, P. C. e Gomory, R. E. (1965). Multistage cutting stock problems of two and more dimensions. *Operations research 13.1*, p. 94–120.

Hendry, L., Fok, K., e Shek, K. (1996). A cutting stock and scheduling problem in the copper industry. *IBM Journal of Research and Development 16*, p. 553–64.

Henn, S. e Wäscher, G. (2013). Extensions of cutting stock problems: setups. *Pesquisa Operacional 33*, p. 133–62.

Husein, O. e Softić, E. (2013). Prestressed concrete beams production process. *Proceedings of 9th International Scientific Conference on Production Engineering "RIM 2013 – Development and Modernization of Production"*.

Melega, G. M., Araujo, S. A., e Jans, R. (2018). Classification and literature review of integrated lot-sizing and cutting stock problems. *European Journal of Operational Research*, 271(1):1–19.

Poldi, K. C. e Arenales, M. N. (2010). O problema de corte de estoque unidimensional multiperíodo. *Pesquisa Operacional*, 30(1):153–174.

https://proceedings.science/p/106747?lang=pt-br

Poldi, K. C. e de Araujo, S. A. (2016). Mathematical models and a heuristic method for the multiperiod one-dimensional cutting stock problem. *Annals of Operations Research*, 238(1-2):497–520.

Prata, B. d. A., Pitombeira-Neto, A. R., e de Moraes Sales, C. J. (2015). An integer linear programming model for the multiperiod production planning of precast concrete beams. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(10):04015029.

Prestressed Group, T. (2018). Web page. Prestressed and Precast Concrete. `http://www.theprecaster.com/prestressed-concrete-precast-concrete/`. Acessado: 2018-10-05.

Trkman, P. e Gradisar, M. (2007). One-dimensional cutting stock optimization in consecutive time periods. *European Journal of Operational Research*, 179(2):291–301.

Valério de Carvalho, J. M. (2002). LP models for bin packing and cutting stock problems. *European Journal of Operational Research, 141.2*, p. 253–273.

Vassoler, A. H. D. et al. (2016). Modelagem matemática para o problema de produção de vigotas na indústria de lajes treliçadas. *C. Q. D. Revista Eletrônica Paulista de Matemática*, 7:68–77.

Wäscher, G., Haußner, H., e Schumann, H. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(3):1109–1130.

https://proceedings.science/p/106747?lang=pt-br

Classe	N. de Itens	Períodos	Fator de moldes	N. de Moldes	Status da solução	Tempo	GAP (%)	Função Objetivo	"Estoque"	"Mistura"	"Aço restante"	"Perda em espaço"
1	30	5	1,5	2,2	2 Infactíveis, 3 Infactíveis ou Ilimitados	*	*	*	*	*	*	*
2			2	4,2	1 Infactível ou Ilimitado, 4 Ótimas	294,019	0,07	1048,8	183,54	334,28	530,98	644,55
3			3	6,2	1 Infactível ou Ilimitado, 2 Ótimas, 2 Factíveis	900,53	10,18	956,74	136,49	236,19	584,07	1544,55
4		10	1,5	4	2 Infactíveis ou Ilimitados, 3 Factíveis	1796,67	28,99	1697,91	601,19	351,98	744,74	1285,42
5			2	7,6	Factível	1797,62	25,57	1257,27	326,47	395,66	535,14	4586,06
6			3	11,4	Factível	1797,67	35,37	1375,38	300,58	352,89	721,92	8006,06
7		20	1,5	7,6	Factível	1800	51,38	2628,93	860,94	753,26	1014,72	9327,42
8			2	14,6	Factível	1800	57,55	2697,55	749,57	935,27	1012,72	21927,42
9			3	21,4	Factível	1800	65,37	2856,59	1016,6	718,64	1121,34	34167,42
10	80	5	1,5	5	Infactível ou Ilimitado	*	*	*	*	*	*	*
11			2	9,4	2 Infactíveis ou Ilimitados, 3 Factíveis	1800	43,35	1297,70	231,53	404,57	661,60	1678,91
12			3	13,8	Factível	1799,76	43,32	1222,82	228,16	370,06	624,61	3466,12
13		10	1,5	9,2	1 Infactível ou Ilimitado, 4 Factíveis	1800	59,45	2699,16	772,95	905,92	1020,29	2569
14			2	18,4	Factível	1800	66,83	2770,74	665,25	996,23	1109,26	10707,68
15			3	27,4	Factível	1800	66,01	2625,06	627,57	971,97	1025,52	18807,68
16		20	1,5	19	Factível	1800	80,38	7565,8	2507,28	2936,5	2122,06	22275,1
17			2	37,4	Factível	1800	83,38	7768,33	2313,82	2356,52	3098,01	55395,08
18			3	55,8	Factível	1800	92,3	8132,89	2570,37	2878,63	2683,92	88515,1
19	130	5	1,5	8,2	Infactível ou Ilimitado	*	*	*	*	*	*	*
20			2	16,2	Factível	1800	71,49	2011,95	356,3	935,41	720,24	2447,84
21			3	24	Factível	1800	80,88	1937,19	245,53	884,45	807,19	5957,84
22		10	1,5	16	Factível	1800	80,43	4800,54	1516,62	1979,44	1304,47	4762,11
23			2	31,6	Factível	1800	89,02	5105,17	1569,24	1696,25	1839,71	18802,14
24			3	47,2	Factível	1800	95,68	5939,43	1611,51	2429,55	1898,39	32842,14
25		20	1,5	31,8	Factível	1800	91,08	15652,58	5447,02	5382,70	4822,85	37445,2
26			2	63,2	Factível	1800	97,45	20197,62	4808,06	5367,92	10021,65	93965,24
27			3	94,4	Factível	1800	98,87	22115,3	4277,73	4908,23	12929,32	150125,2

Tabela 1: Média dos resultados computacionais das 135 instâncias.

https://proceedings.science/p/106747?lang=pt-br