

Proposição de sequenciamento *Job shop* em uma fábrica de elevadores

Aline Kirst Dahinten (UFRGS) – *aline.dahinten@gmail.com*

Michel José Anzanello (UFRGS) - *anzanello@producao.ufrgs.br*

Resumo

Ambientes produtivos como fábricas de elevadores são caracterizados por alta customização de produtos e por um arranjo fabril do tipo *Job shop*. Tais características elevam a complexidade do sequenciamento de lotes, os quais apresentam diferentes quantidades, tempos de processamento e materiais, além de serem processados em máquinas com diferentes ferramentas. Este artigo propõe um método de sequenciamento considerando o caminho das tarefas por todo sistema produtivo bem como as restrições técnicas das ferramentas do grupo de máquinas considerado gargalo. Para tanto, propõe-se a regra ATCPSF (*Apparent Tardiness Cost with Processes and Die&Punch Set Factors*), a qual busca simultaneamente priorizar itens que passam por um alto número de processos antes da montagem final e itens que otimizem a utilização das ferramentas das máquinas, minimizando o *setup*. O método foi aplicado em uma fábrica de elevadores que sequencia seus itens de forma manual. Os resultados obtidos foram aprovados pelos especialistas e a aplicação do método deve ser ampliada posteriormente a outros grupos de máquinas.

Palavras-chaves: Bens de Capital sob Encomenda, sequenciamento, *Job shop*, atraso total ponderado, matriz e punção de dobra.

1. Introdução

O setor brasileiro de elevadores tem sido ameaçado pelo avanço da competição internacional e pela instabilidade na construção civil. Segundo Cardoso (2014), cerca de 90% do mercado de elevadores está ligado à construção, seja na venda de novos equipamentos ou na prestação de serviços de conservação. Além disso, segundo o mesmo autor, a indústria nacional de escadas rolantes e elevadores perdeu espaço no país para produtos estrangeiros de tal forma que é impossível uma recuperação plena do mercado perdido.

Paralelamente, empresas fabricantes de elevadores estão inseridas na realidade de Indústrias de Bens de Capital sob Encomenda (IBCE), na qual os clientes são a principal força direcionadora dos esforços produtivos e os produtos devem ser produzidos segundo

determinadas especificações técnicas exigidas pelos clientes, além de haver uma grande variedade de produtos customizados produzidos em pequenos volumes (VOTTO; FERNANDES, 2013). Ademais, visto que os contratos de manutenção de elevadores são a principal fonte de ganhos do negócio, a venda de um elevador exige um preço competitivo, demandando um foco em qualidade e baixos custos de fabricação. Por fim, é importante que a entrega do elevador ao cliente ocorra no prazo acordado, já que obras civis somente são entregues com o elevador instalado.

Diante desse cenário, é importante que a produção de elevadores seja focada em otimização de prazo e custos, mantendo a qualidade. Uma maneira de alcançar esse objetivo é eliminando as perdas listadas por Ohno (1997), as quais, se completamente eliminadas, maximizam o trabalho que adiciona valor, reduzem progressivamente o trabalho que não adiciona valor e abolem toda e qualquer forma de perda (GHINATO, 1996). Dentre as perdas listadas, tem-se as chamadas perdas por superprodução por antecipação, decorrentes de produção finalizada antes do período de entrega (KAYSER, 2001); as perdas por espera, diretamente relacionadas com a sincronização e o nivelamento do fluxo de produção (KAYSER, 2001); e as perdas por estoque, cuja causa fundamental é a falta de sincronia entre o prazo de entrega do pedido de compra e o período de produção (ANTUNES, 1995).

Tais perdas podem ser minimizadas através de um adequado sequenciamento de produção. O sequenciamento trata da alocação dos recursos a tarefas em um determinado período, visando otimizar um ou mais objetivos, os quais podem incluir a minimização do tempo de conclusão da última tarefa (tempo de atravessamento) ou minimização do atraso de tarefas (PINEDO, 2008).

Este artigo trata da elaboração e aplicação de uma sistemática de sequenciamento na produção de elevadores com foco no atual gargalo da fábrica: as dobradeiras. Para sua operacionalização, contará com a coleta de dados associados a tempos de operação, datas de entrega e matrizes de *setup*; na sequência, tais informações serão inseridas nas formulações *Job shop* sugeridas por Pinedo (2008) para minimização do tempo de atravessamento e do atraso. A sistemática elaborada será um projeto piloto para a posterior programação de produção de outras máquinas do processo produtivo.

Espera-se, com a aplicação da sistemática, que perdas por superprodução, espera e estoque sejam minimizadas, uma vez que a produção deverá ocorrer de forma nivelada e otimizada no que diz respeito a tempo e recursos. O resultado será a produção das peças no instante correto,

possibilitando a montagem dos elevadores no prazo, o que permite a pontualidade da expedição e, conseqüentemente, a satisfação do cliente ao receber o seu elevador no prazo acordado.

Este artigo está estruturado nas seguintes seções, além desta introdução. Na segunda seção, uma revisão teórica apresenta fundamentos do sequenciamento, bem como um estudo de heurísticas adequadas ao caso da produção de elevadores. Na terceira seção é apresentado o método para a elaboração e aplicação do sequenciamento estudado. Por fim, a seção 4 apresenta os resultados da aplicação do sequenciamento elaborado, ao passo que a quinta seção traz as conclusões.

2. Referencial teórico

2.1. Definição de sequenciamento

O sequenciamento é um processo de tomada de decisão com um importante papel tanto em indústrias manufatureiras e de serviço, quanto em ambientes de processamento de informações (PINEDO, 2008). É considerado um dos problemas mais interessantes na análise da produção (ELSAYED e BOUCHER, 1994) e essencial para o sucesso das operações. Além da alocação dos recursos em determinado período para a realização de determinadas tarefas (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2002), o sequenciamento pode objetivar a minimização do tempo de conclusão da última tarefa ou a minimização do número de tarefas concluídas após o seu prazo. O sequenciador deve lidar com várias incertezas, tais como tempos de processamento aleatórios, máquinas sujeitas a quebras e pedidos urgentes, dentre outros (PINEDO, 2008).

Dois tipos básicos de sequenciamento são relatados pela literatura: sequenciamento de força de trabalho, o qual determina quando os funcionários irão trabalhar, e sequenciamento de operações, o qual atribui tarefas a máquinas ou funcionários a tarefas. Ambos são cruciais, pois relacionam-se a importantes medidas de desempenho da empresa, incluindo tempo de espera do cliente no primeiro tipo e *on-time delivery* (entrega no prazo), nível de estoque, tempo de ciclo da fábrica, custos e qualidade no segundo. Tipicamente, o sequenciamento é elaborado após outras decisões importantes terem sido tomadas, como nível de estoque ou percentual de *on-time delivery* desejado. Em função disso, é comum o sequenciamento ser realizado em sistemas ERP (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2002). Complementando essa ideia, Pinedo (2008) afirma que a função do sequenciamento em uma empresa deve interagir com

muitas outras funções e essas interações são dependentes de um sistema, normalmente o sistema de informação utilizado pela companhia.

Segundo o mesmo autor, para o caso de sequenciamento de operações, as ordens de produção liberadas devem ser transformadas em tarefas com prazos associados. Essas tarefas devem ser processadas nas máquinas em uma determinada sequência e esse processamento pode atrasar caso uma máquina estiver ocupada ou outras tarefas externas forem priorizadas. O sequenciamento também é impactado pelo processo de planejamento de produção, o qual engloba médio e longo prazo, otimiza os recursos da empresa e considera a previsão da demanda. Além disso, o plano de necessidade de materiais (*Material Resource Planning*, MRP) também influencia no sequenciamento já que mapeia a necessidade de materiais e recursos necessários para a produção no tempo especificado, considerando tamanho e sequência de lotes.

2.2. Descrição do problema de sequenciamento

Os fatores que descrevem e classificam problemas de sequenciamento, segundo Elsayed e Boucher (1994), são: *i*) o número de tarefas a serem sequenciadas; *ii*) o número de máquinas presentes na fábrica; *iii*) o arranjo da fábrica; *iv*) a maneira como as tarefas chegam na fábrica (estaticamente, se não chegam novas tarefas após a elaboração do sequenciamento, ou dinamicamente, se ao longo do processo chegam novas tarefas que devem ser adicionadas ao sequenciamento existente); e *v*) os critérios pelos quais as alternativas de sequenciamento serão avaliadas.

Pinedo (2008) define três critérios padrões a serem levados em conta na descrição do problema de sequenciamento, representado pela simbologia $\alpha | \beta | \gamma$, os quais referem-se, respectivamente, ao arranjo das máquinas, as restrições e objetivo a ser minimizado. Os possíveis preenchimentos (entradas) para cada um dos três campos acima são agora descritos.

2.2.1. Entradas

O arranjo de máquinas α pode incluir máquinas únicas, máquinas em paralelo, *Flow shop*, *Job shop* (arranjo do estudo) e *open shop*. No arranjo *Job shop* (representado por J_m) com m máquinas, cada tarefa tem um determinado roteiro de processamento. Uma distinção é feita entre *Job shops* nos quais cada tarefa passa pela máquina uma vez e *Job shops* nos quais a tarefa pode passar pela máquina mais de uma vez.

O campo de restrições β pode conter diferentes entradas, as quais podem incluir: *i)* Data de liberação, que se refere ao momento em que a tarefa chega no sistema, ou seja, o primeiro momento em que o processamento da tarefa pode iniciar; *ii)* Preferência, caso em que é permitido pausar um processamento em uma máquina para processar outra tarefa prioritária; *iii)* Precedência, a qual indica a existência de tarefas que só podem ser processadas quando outras já tiverem sido concluídas; *iv)* Tempo de *setup*, que restringe o sequenciamento em função do tempo para troca de ferramentas na máquina necessários entre duas tarefas; *v)* Família de tarefas, composta por tarefas com diferentes tempos de processamento, mas que podem ser processadas sem necessidade de *setup* entre elas; *vi)* Processamento em lotes, o qual indica que a máquina é capaz de processar várias tarefas ao mesmo tempo, mesmo que elas não possuam o mesmo tempo de processamento. O tempo de processamento será definido pelo tempo de conclusão da tarefa mais longa do lote; *vii)* Quebras de máquinas, o que indica que as máquinas não estarão continuamente disponíveis; *viii)* Elegibilidade de máquina, caso em que algumas tarefas só podem ser processadas em determinada máquina do arranjo, normalmente paralelo nesse caso; *ix)* Permutação, a qual indica que as tarefas serão processadas seguindo a ordem de priorização *First In First Out (FIFO)*, ou seja, a primeira peça da fila antes da máquina será a primeira a ser processada, o que significa que a ordem das tarefas é mantida através do sistema; *x)* Bloqueio, restrição que indica que o *buffer* entre as máquinas é limitado, o que implica que a tarefa concluída só poderá ser encaminhada para a próxima máquina se a mesma se encontrar disponível; *xi)* Sem espera, a qual implica que a tarefa não poderá aguardar entre duas máquinas sucessivas para ser processada, ou seja, pode ser necessário a geração de um atraso no processamento na primeira máquina para garantir que a tarefa fluirá no sistema sem esperar por nenhuma máquina subsequente; e *xii)* Recirculação, o que indica que uma tarefa pode passar pela mesma máquina duas vezes (PINEDO, 2008).

Finalmente, o terceiro campo a ser preenchido (γ) trata da função objetivo definida para o problema, a qual tipicamente contempla a minimização do *makespan* (tempo de fluxo), do atraso máximo das tarefas, do tempo total ponderado, do tempo total ponderado com desconto, do atraso total ponderado ou do número ponderado de tarefas atrasadas.

Em termos da natureza dos tempos de processamento das tarefas, o sequenciamento pode ser determinístico ou estocástico. Sequenciamento determinístico considera um número finito de tarefas com tempo de processamento sem variabilidade. O modelo estocástico, por sua vez, considera tempos de processamento e prazos de conclusão não conhecidos com antecedência

(conhecendo apenas a sua distribuição probabilística). Essas informações somente se tornam conhecidas após a execução das tarefas (PINEDO, 2008).

Todos os problemas de sequenciamento consideram o número de tarefas e o número de máquinas como finitos. O número de tarefas é denotado como n e o número de máquinas como m . Já a variável j refere-se a uma tarefa e i a uma máquina. Se uma máquina requer um número de passos ou operações no seu processamento, as letras (i, j) referem-se à etapa ou operação da tarefa j na máquina i . As variáveis tipicamente utilizadas em sequenciamento incluem: *i*) tempo de processamento (p_{ij}), o qual indica o tempo de processamento da tarefa j na máquina i (o índice i é omitido caso o tempo de processamento não depender da máquina ou se a tarefa j só pode ser processada em uma determinada máquina); *ii*) data de liberação (r_j) da tarefa j ; *iii*) data de entrega (d_j), a qual pode representar a data de expedição ou de conclusão prometida ao cliente. A conclusão da tarefa após o seu prazo é permitida, porém gera uma penalização. Caso seja obrigatório o cumprimento da data acordada, refere-se como prazo ou \bar{d}_j ; e *iv*) prioridade (w_j), a qual indica a importância da tarefa j relacionada a outras tarefas no sistema (PINEDO, 2008).

2.3. Principais regras de priorização

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), as principais regras de priorização para o sequenciamento são: *i*) Restrições físicas, a qual prioriza a natureza física dos materiais processados, como tons de tintas e largura do papel para otimizar *setup* ou tipo de tecido para evitar desperdício de material; *ii*) Prioridade ao consumidor, a qual prioriza um item ou um cliente considerado mais importante independentemente da ordem de chegada do mesmo; *iii*) Data prometida (*Earliest Due Date* – EDD), caso no qual a tarefa é sequenciada de acordo com a data prometida de entrega mais próxima, independentemente do tamanho de cada tarefa ou da importância do cliente. Se por um lado essa regra de priorização usualmente melhora a confiabilidade de entrega de uma operação e melhora a rapidez de entrega, por outro lado pode não proporcionar uma produtividade eficiente; *iv*) Último a entrar, primeiro a sair (*Last In First Out* - LIFO), regra normalmente utilizada por razões práticas, sendo que não considera aspectos de qualidade, flexibilidade ou custo; *v*) Primeiro a entrar, primeiro a sair (*First In First Out* – FIFO), ou seja, as tarefas são processadas na exata ordem que entram no sistema; *vi*) Operação mais longa (*Longest Processing Time* – LPT), regra que prioriza as tarefas de tempo total mais longo. Nesse caso, não são levados em conta a rapidez, a confiabilidade ou a flexibilidade de entrega; *vii*) Operação mais curta (*Shortest Processing*

Time – SPT), regra que prioriza a tarefa que levará menos tempo para ser concluída, normalmente aplicada em casos de limitação na disponibilidade de caixa. As tarefas curtas são processadas, faturadas e os pagamentos recebidos. Essa regra pode afetar adversamente a produtividade total, bem como os consumidores maiores. Por isso, é combinada muitas vezes com uma regra de atraso, para evitar que as tarefas com tempo mais longo atrasem demasiadamente. Chase, Jacobs e Aquilano (2006) complementam a priorização do sequenciamento com as regras: *viii*) Tempo de folga restante (*Slack Time Remaining – STR*), regra que prioriza os pedidos com menor STR, calculado como o tempo restante antes da data prometida reduzido do tempo restante de processamento; *ix*) Tempo de folga restante por operação (*Slack Time Remaining per Operation – STR/OP*), regra que prioriza os pedidos com a folga mais curta por número de operações, ou seja, o menor STR/OP calculado como a razão entre o STR e o número de operações restantes; *x*) Razão crítica (*Critical Ratio – CR*), regra que prioriza os menores CRs, os quais são calculados como a diferença entre a data prometida e a data atual dividida pelo número de dias úteis restantes. Um CR menor que 1 indica que a tarefa está atrasada (maior do que 1, tarefa adiantada). Pinedo (2008) propõe ainda a regra; *xi*) Menor tempo de *setup* (*Shortest Setup Time - SST*) e, por fim, Elsayed e Boucher (1994) sugerem ainda a regra *xii*) Ordem aleatória ou imprevisível, caso em que os operadores escolhem aleatoriamente a tarefa a ser processada primeiro.

A fim de julgar a eficácia das regras de operação descritas, tanto Slack, Chambers e Johnston (2009) quanto Chase, Jacobs e Aquilano (2006) sugerem o uso de objetivos de desempenho relacionados ao atendimento na data prometida ao consumidor (confiabilidade), à minimização do tempo de trabalho no processo ou tempo de fluxo (rapidez), à minimização do estoque de trabalho em processo e à minimização do tempo ocioso dos centros de trabalho (ambos elementos de custo).

2.4. Regras de despacho do tipo *Apparent Tardiness Cost (ATC)*

Heurística de despacho seminal, a *Apparent Tardiness Cost (ATC)* proposta por Rachamadugu e Morton (1982) objetiva a minimização do atraso em um conjunto de tarefas a serem processadas. A heurística original é voltada a máquinas únicas, podendo ser ampliada e generalizada a processos múltiplos, *Flow shops* e *Job shops*.

O problema trata de n tarefas $J_1, J_2, J_3 \dots J_n$ que chegam simultaneamente para serem processadas em uma máquina. Cada tarefa j apresenta um tempo de processamento p_j , data de entrega d_j e prioridade w_j . A heurística é então capaz de determinar a ordem prioridade w_j

para todas as tarefas ainda não sequenciadas. Aquela com maior prioridade será a próxima a ser processada. No caso de empates, é priorizada a tarefa com a menor data de entrega d_j (RACHAMADUGU e MORTON, 1982).

Utilizando os critérios dessa heurística, Pinedo (2008) adaptou as propostas iniciais de Rachamadugu e Morton (1982) e criou uma regra que combina a regra de priorização da data de entrega mais próxima, EDD (*Earliest Due Date*), e tempo de processamento mais curto com priorização, WSPT (*Weighted Shortest Processing Time*), integrando um termo associado ao tempo de processamento p_j com um termo de folga e utilizando a variável de data prometida da tarefa d_j . A heurística se baseia no cálculo de um índice de priorização $I_j(t)$ para cada tarefa j no instante t , conforme equação (1).

$$I_j(t) = \frac{w_j}{p_j} \exp \left[-\frac{\max(d_j - p_j - t, 0)}{K\bar{p}} \right] \quad (1)$$

Nessa equação, K é o parâmetro de escala que pode ser determinado empiricamente e \bar{p} é a média dos tempos de processamento das tarefas restantes. Se K for muito grande, a regra ATC é reduzida à regra WSPT e se K for muito pequeno, a ATC se reduz à regra EDD quando não há tarefas em atraso e, caso contrário, também à regra WSPT (PINEDO, 2008).

Por conta de sua elevada aplicabilidade, a regra ATC sofreu alterações de maneira a adequar-se à realidade produtiva de cada cenário. Lee, Bhaskaran e Pinedo (1997) incluíram à heurística ATC a regra do *setup* mais curto, ou SST. Assim, criou-se a heurística *Apparent Tardiness Cost with Setups* ATCS, a qual é designada a problemas $1 | S_j | \sum w_j T_j$, ou seja, arranjo de uma máquina, com a restrição do tempo de *setup* S_j e objetivando a minimização do somatório de atraso total ponderado w_T da tarefa j . A heurística ATCS calcula o índice I_j , conforme a equação (2), o qual representa a prioridade da tarefa j no tempo t quando a tarefa l completou o seu processamento na máquina i , considerando o tempo de *setup* entre os processamentos da tarefa l e da j .

$$I_j(t, l) = \frac{w_j}{p_j} \exp \left[-\frac{\max(d_j - p_j - t, 0)}{K_1\bar{p}} \right] \exp \left(-\frac{S_{lj}}{K_2\bar{s}} \right) \quad (2)$$

O primeiro termo da equação é chamado de termo WSPT, o qual busca priorizar tarefas de elevado índice de priorização e reduzido tempo de processamento. Em seguida tem-se o termo de folga, que privilegia as tarefas em atraso, ou com menor tempo de folga e, por último, o termo de preparação, o qual prioriza as tarefas com menor tempo de *setup* (PFUND *et al.*, 2008). Os termos de folga e de preparação são dependentes dos parâmetros de escala k_1 e k_2 ,

os quais regulam a influência dos termos no cálculo do índice de priorização I_j (ANZANELLO e ETCHEVERRY, 2013).

Já Anzanello, Fogliatto e Santos (2014) adaptaram a heurística ATC à realidade de uma indústria de calçados considerando aspectos ergonômicos para sequenciar os lotes de produção. A regra desenvolvida chama-se *Apparent Tardiness Cost with Ergonomics Factors*, ATCE, a qual teve êxito em reduzir o atraso ponderado total ao mesmo tempo que reduziu a alocação de lotes de mesma complexidade no mesmo time de funcionários. O índice de priorização da regra ATCE é dado pela equação (3), na qual f refere-se à família de produto e N ao número de lotes a serem processados.

$$I_j(t) = \frac{w_j}{p_j} \exp \left[-\frac{\max(d_j - p_j - t, 0)}{K_1 \bar{p}} \right] \exp \left(-\frac{N_f}{\bar{p}_f N} \right) \quad (3)$$

Pfund, Fowler, Gadkari e Chen (2008) adaptaram a heurística ATCS propondo a regra *Apparent Tardiness Cost with Setups and Ready Times*, ATCSR, descrita na equação (4). O objetivo é minimizar o atraso total ponderado sequenciando tarefas com data de liberação r_j em máquinas paralelas com *setups* S_j dependentes da sequência de processamento, permitindo que uma máquina permaneça inativa para uma tarefa de alta prioridade que chegará em um momento posterior.

$$I_j(t, l) = \frac{w_j}{p_j} \exp \left[-\frac{\max(d_j - p_j - t, 0)}{K_1 \bar{p}} \right] \exp \left(-\frac{s_{lj}}{K_2 \bar{s}} \right) \exp \left(-\frac{\max(r_j - t, 0)}{K_3 \bar{p}} \right) \quad (4)$$

3. Procedimentos Metodológicos

3.1. Descrição do Cenário

O estudo irá propor um método de sequenciamento em uma fábrica de elevadores pertencente a um grupo mundial líder no setor, com unidades fabris espalhadas pelo mundo. Por meio das mais de 50 filiais no Brasil e dos representantes na América do Sul, os elevadores são vendidos para edifícios comerciais e residenciais, hospitais, indústrias e shoppings do mercado nacional e internacional, principalmente em países da América Latina. Apesar da abrangência do mercado, a unidade fabril em estudo é a única no Brasil e possui uma área total de 94 mil metros quadrados, das quais aproximadamente 26% são de área coberta.

Uma vez que a produção de elevadores ocorre sob encomenda e os produtos são personalizados conforme a necessidade do cliente, o sistema de produção presente na unidade fabril em questão é definido como *Job shop*, caracterizado por um sistema onde cada tarefa ou

peça possui a sua própria rotina entre máquinas (PINEDO, 2008), as quais são descritas nas chamadas Ordem de Fabricação (OF), emitidas pelo Departamento de Planejamento e Controle de Produção (DPCP) e fornecidas à produção. A fábrica possui grupos de máquinas pelas quais as peças são processadas seguindo diferentes sequências e com restrições de tipos de materiais (largura de chapa, por exemplo) ou tamanho de peças. Após o processamento, as peças são encaminhadas para a montagem dos volumes do elevador (volume de portas, volume de cabina, dentre outros) e, posteriormente, o elevador é expedido. Os processos de transformação das peças presentes na unidade em questão são representados na Figura 1.

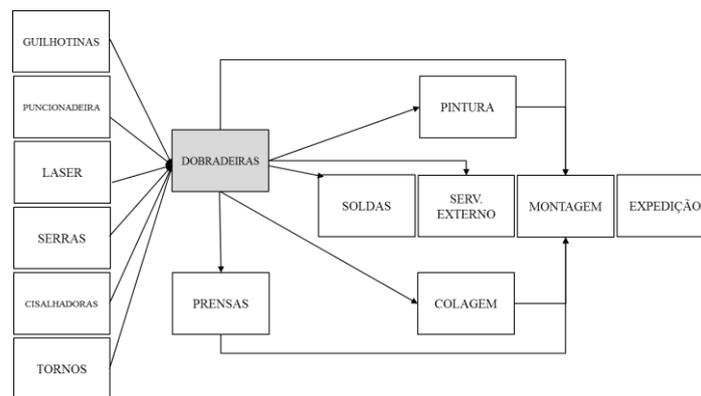


Figura 1- Processos de Transformação
Fonte: Elaborado pelos autores

O processamento das peças inicia-se normalmente em uma ou mais máquinas apresentadas na esquerda na Figura 1 (Guilhotinas, Puncionadeiras, Lasers, Serras, Cisalhadoras, Tornos). O próximo processo descrito na rotina da maioria das peças ocorre nas dobradeiras. Essa etapa é considerada o gargalo da produção, pois os lotes de peças processadas em cerca de vinte diferentes máquinas dos grupos primários são encaminhados para a área das sete dobradeiras aleatoriamente. Em alguns casos, os itens chegam ao processo de dobra assim que são concluídos pelo processo primário; em outros casos, eles ficam perdidos no caminho entre os processos e só chegam às dobradeiras quando algum auxiliar os busca. Além disso, os itens são armazenados na área sem classificação referente à sua prioridade, a qual é decidida quando uma máquina conclui um lote e seu operador questiona o líder sobre qual o próximo lote a ser processado. O líder indica os itens que são prioritários conforme seu entendimento, sem análise técnica aprofundada. No presente cenário, portanto, os itens são processados, às vezes, antes do que o necessário e acabam sendo extraviados nos processos posteriores, gerando reprocessamento de itens e a consequente perda em *setup* para itens urgentes; e outros itens acabam sendo processados em atraso, prejudicando o prazo da montagem dos elevadores e a entrega para o cliente.

3.2. Caracterização do método de pesquisa

A presente pesquisa é caracterizada como de natureza aplicada, sendo a proposição do sequenciamento desenvolvida com base na solução para a etapa gargalo da produção de elevadores da empresa. Quanto à sua abordagem, a pesquisa é de caráter quantitativo, pois busca a criação de um sequenciamento de tarefas com base em informações fornecidas pela empresa, como tempo de processamento e data de entrega. Os objetivos do estudo são definidos como exploratórios, visto que são formuladas hipóteses através do uso de uma heurística conforme restrições fornecidas pela empresa. Finalmente, quanto ao procedimento, o estudo é caracterizado como experimental, uma vez que determina um objeto de estudo, seleciona as variáveis capazes de influenciá-lo e define as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 2007).

3.3. Caracterização do método de trabalho

O presente estudo será realizado em quatro etapas, descritas a seguir.

3.3.1. Coleta de Dados

A coleta de dados será realizada principalmente no banco de dados do sistema interno da fábrica, o qual apresenta a informação de todos os itens e subitens que compõem cada modelo de elevador, bem como dados sobre as máquinas e sobre o planejamento da produção. Os dados a serem levantados incluem tempos de processamento de cada peça ou lotes nas máquinas, disponibilidade das máquinas (calculado como a razão entre tempo de trabalho realizado na máquina e tempo disponível total), prazo de entrega das peças na montagem, escala de priorização (considerando pedidos urgentes ou atrasos, dentre outros). Além de dados do sistema, serão coletadas informações diretamente com os operadores das máquinas, como itens mais críticos, bem como com especialistas do processo, os quais irão explicar os fatores que afetam o tempo de *setup* de máquinas e quais as restrições técnicas e dificuldades do processo.

3.3.2. Alocação das tarefas às máquinas

A partir dos dados coletados, cada tarefa (ou lote de peças) será alocada a cada uma das sete dobradeiras disponíveis para execução do processo de dobra. A priorização dos itens para a posterior alocação entre as máquinas será feita considerando a regra de priorização do Tempo de Folga Restante (TFR), a qual prioriza os itens com menor TFR calculado como o tempo restante antes da data prometida reduzido do tempo restante de processamento. Esse cálculo

será realizado conforme abordagem utilizada pelos especialistas da fábrica em questão, os quais consideram um dia útil para cada processo devido à dificuldade que a fábrica apresenta em aspectos de logística interna e organização. A equação (5) descreve o cálculo do TFR, sendo d_j a data que o item j deve estar disponível na montagem, ppd_j o número de processos pós dobra do item j e t o dia atual.

$$\text{Tempo de folga restante} = d_j - ppd_j - t \quad (5)$$

A alocação será realizada considerando-se primeiro a capacidade técnica da máquina para processar o item de acordo com os dados coletados. Dentre as máquinas capazes de processar o item, será priorizada aquela que apresentar a menor soma de tempo de processamento p_j dos itens já alocados. É importante, portanto, que a alocação das tarefas às máquinas atente ao equilíbrio de tarefas destinadas a cada máquina, de maneira a evitar ociosidade em algumas e super utilização em outras.

3.3.3. Sequenciamento das tarefas alocadas a cada máquina

O objetivo dessa etapa é sequenciar as tarefas alocadas às dobradeiras minimizando o atraso total ponderado, considerando o número de processos pós dobra pelos quais o item passará até chegar na montagem e as ferramentas de dobra utilizadas para cada item. Baseando-se então na heurística ATC de Rachamadugu e Morton (1982), é realizada uma adaptação adicionando-se um termo relativo ao número de processos pós dobra e outros dois relativos às ferramentas, sendo um relativo à matriz e o outro à punção. A regra proposta, denominada ATCPSF (*Apparent Tardiness Cost with Processes and Die&Punch Set Factors*), está descrita na equação (6):

$$I_j(t) = \frac{w_j}{p_j} \exp \left[-\frac{\max(d_j - p_j - t, 0)}{K\bar{p}} \right] \exp \left[-\frac{1}{(1+ppd_j)} \right] \exp \left[-\sqrt{(m_j - m_{j-1})^2} \right] \exp \left[-\sqrt{(r_j - r_{j-1})^2} \right] \quad (6)$$

onde w_j , p_j , d_j representam, respectivamente, a prioridade, o tempo de processamento e a data de entrega do item j . O instante de início de processamento da tarefa, conforme seu lugar na fila das tarefas a serem processadas naquela máquina, é representado por t . Já \bar{p} representa a média do tempo de processamento dos itens ainda não alocados e K é uma constante definida empiricamente, conforme as características do processo. O primeiro termo da equação busca priorizar as tarefas de alta prioridade e baixo tempo de processamento. Já o segundo termo privilegia as tarefas em atraso, ou com menor tempo de folga. O terceiro termo, por sua vez, prioriza as tarefas que passam por mais processos posteriores à dobra

(como solda, pintura ou serviços externos), dado por ppd_j o número de processos que o item j deve passar depois de ser dobrado e antes de estar disponível na montagem. Essas tarefas são priorizadas, pois para cada processo é considerado um dia útil. Assim, tarefas com $ppd_j = 6$ que devem ser entregues no mesmo dia de outras com $ppd_j = 0$ (após dobrar, são encaminhadas direto para a montagem) são priorizadas. Por fim, o terceiro e quarto termo priorizam a tarefa j que utilize a mesma classe de matriz m_j do item anterior m_{j-1} e a mesma punção r_j do item anterior r_{j-1} , respectivamente. Quanto menor for a diferença entre as classes de matriz e a punção, maior será o índice, já que as classes são proporcionais à abertura da matriz e ao raio de dobra. Os dois últimos termos, portanto, buscam priorizar os itens para os quais seja necessário o menor tempo de *setup*.

3.3.4. Validação dos resultados

O sequenciamento resultante da heurística proposta será validado pelos especialistas de produção da empresa. Para tanto, a heurística e sua aplicação serão apresentados para avaliação de sua aplicabilidade e eficácia para o cenário da fábrica. Serão levantadas possíveis dificuldades, limitações e propostas para contribuir com o estudo realizado.

4. Resultados

Esta seção aplica o método de sequenciamento proposto no processo de dobra de peças da fábrica de elevadores em questão. Esse processo é considerado o mais crítico pelos especialistas em função do elevado número de máquinas antecessoras às sete dobradeiras existentes, sendo o sequenciamento dos itens com diferentes datas de entrega e diferentes especificidades técnicas um grande desafio tanto para o líder da área quanto para os programadores das máquinas.

A etapa inicial do método proposto realiza a coleta de dados do problema. Levantaram-se primeiramente os cinco itens considerados mais críticos pelos operadores de cada máquina (representada na Tabela 1 por DOCP “número”), resultando em 35 diferentes lotes de peças críticas (cada lote é identificado por seu código original). A criticidade dos itens é proporcional à frequência com que é necessário reprocessar o lote ou parte dele em função do extravio das peças nos processos posteriores. Tais inconsistências são decorrentes da falta de controle causada pela superprodução por antecipação e à elevada frequência que os itens são demandados como urgência, exigindo parar o lote atual para processar o urgente (tendo-se em vista que se trata de itens faltantes na composição final do elevador a ser expedido naquele

dia). Esses itens foram utilizados na aplicação do método, considerando-se que todos estão na fila das dobradeiras no instante inicial. Na prática, novos itens chegam continuamente, demandando sua inclusão no sequenciamento proposto.

	DOCP 100	DOCP 125	DOCP 130	DOCP 131	DOCP 132	DOCP 140	DOCP 150
1	3Y.0091.G.7	3Y.0090.JM.3	125401-CAP-114	3Y.0447.BX	3Y.0314.EA.10	3Y.0032.NX.9	3X.0091.BW.13
2	3Z.0094.HX.3	3Y.0315.KD	3Y.0280.DR	3Y.0241.FC	3Y.0294.AK.38	3Z.0430.ES.6	3Y.0169.KJ.147
3	3Z.0090.SR.1	3Y.0091.JB.2	3Z.0032.LF.2	124371-TR-012	3Y.0294.EA.111	3Z.0447.AY.5	3X.0295.EA.741
4	3Z.0091.MA.1	3Y.0315.KC.4	3Z.0049.AH.1	3Y.0215.DE	3Y.0312.AA.36	3Z.0446.XP.5	3Y.0295.JS.7
5	3Z.0090.SS.2	3Z.0215.KF	3X.0094.XX.3	3Y.0067.Y.3	3Y.0295.KB.5	3Y.0131.EN	3Y.0294.AH.47

*Tabela 1- Itens mais críticos por máquina
Fonte: Elaborado pelos autores*

Paralelamente, foram levantadas informações sobre as máquinas em relação a turnos de trabalho e disponibilidade média (tempo trabalhado/tempo total de trabalho disponível) dos últimos quatro meses de acordo com o sistema utilizado pela empresa (chamado *P&F Sistemas Industriais*); ver Tabela 2. Esses dados são importantes para a alocação dos itens a cada máquina de acordo com sua capacidade e o tempo de processamento do item.

	Turnos/dia	Horas	Segundos	Média Disp.	Segundos disp./dia
DOCP 100	1	07:59:00	28740	57%	16276,2
DOCP 125	2	15:26:00	55560	59%	32576,2
DOCP 130	2	15:26:00	55560	55%	30824,8
DOCP 131	2	15:26:00	55560	54%	29957,6
DOCP 132	2	15:26:00	55560	48%	26728,2
DOCP 140	2	15:26:00	55560	54%	29801,8
DOCV 150	3	20:22:00	73320	64%	47068,6

*Tabela 2- Dados das dobradeiras
Fonte: Elaborado pelos autores*

Finalmente, especialistas foram consultados sobre quais máquinas são capazes de processar cada item abordado, sendo $x_{ij}=1$ a indicação de que é tecnicamente possível processar o item i na máquina j .

Ainda em relação aos itens, foram levantados os tempos de processamento p , prioridade w , data de entrega d , e número de processos pós dobra até o item estar disponível na montagem ppd , além do tipo de matriz m e raio de punção r utilizados na dobra (dois fatores que afetam diretamente no tempo de *setup*).

Após o levantamento dos dados necessários, partiu-se para a alocação das tarefas às máquinas. Para isso, utilizou-se a regra de priorização do Tempo de Folga Restante (TFR)

adaptada para a realidade da empresa, a qual considera necessário um dia útil para a chegada dos itens em determinada máquina e o seu processamento. A Tabela 4 representa os itens ordenados do menor para o maior Tempo de Folga Restante, ou seja, em ordem de prioridade.

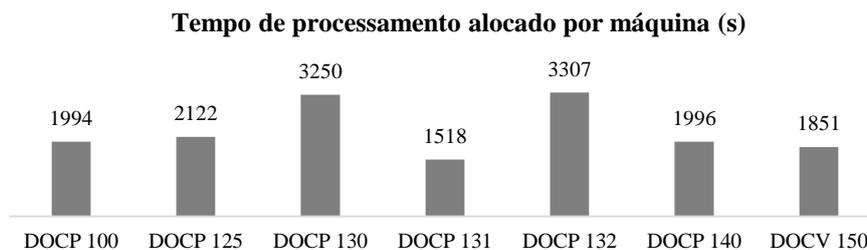
Nro	Item	<i>d</i>	<i>ppd</i>	<i>TFR</i>	Nro	Item	<i>d</i>	<i>ppd</i>	<i>TFR</i>
1	3Y.0032.NX.9	16	6	2	19	3Y.0294.AH.47	21	4	9
2	3X.0295.EA.741	16	5	3	20	3Z.0094.HX.3	23	5	10
3	3Y.0091.G.7	15	3	4	21	3Z.0215.KF	21	3	10
4	3Y.0315.KD	16	4	4	22	3Y.0091.JB.2	19	1	10
5	3Y.0447.BX	16	4	4	23	3Y.0067.Y.3	23	5	10
6	3Y.0169.KJ.147	16	4	4	24	3Z.0447.AY.5	19	1	10
7	3Y.0314.EA.10	16	3	5	25	3Z.0446.XP.5	23	5	10
8	3Y.0312.AA.36	19	6	5	26	3Y.0131.EN	23	5	10
9	3X.0091.BW.13	19	6	5	27	3Z.0090.SR.1	23	4	11
10	125401-CAP-114	16	2	6	28	123371-TR-012	20	1	11
11	3Y.0090.JM.3	16	1	7	29	3Y.0294.EA.111	20	1	11
12	3Y.0294.AK.38	16	1	7	30	3Z.0090.SS.2	22	2	12
13	3Z.0430.ES.6	16	1	7	31	3Y.0215.DE	23	3	12
14	3Y.0315.KC.4	21	5	8	32	3Z.0049.AH.1	22	1	13
15	3Y.0280.DR	19	3	8	33	3Z.0091.MA.1	23	1	14
16	3Z.0032.LF.2	21	5	8	34	3Y.0231.FC	23	1	14
17	3X.0094.XX.3	22	5	9	35	3Y.0295.KB.5	23	1	14
18	3Y.0295.JS.7	23	6	9					

*Tabela 3- Priorização dos itens para alocação nas máquinas
Fonte: Elaborado pelos autores*

A partir do cálculo do Tempo Restante de Folga, os itens foram alocados às máquinas levando em consideração duas premissas: *i*) Todas as peças estavam disponíveis no instante $t=0$; *ii*) Aloca-se o item à máquina com capacidade técnica para processá-lo (conforme Tabela 3) e com menor soma de tempo de processamento dos itens já alocados.

Máquina	DOCP 100	DOCP 125	DOCP 130	DOCP 131	DOCP 132	DOCP 140	DOCV 150
Item1	3Y.0032.NX.9	3Y.0315.KD	3X.0295.EA.741	3Y.0091.G.7	3Y.0169.KJ.147	3Y.0447.BX	3X.0091.BW.13
Item2	3Y.0312.AA.36	3Z.0094.HX.3	3X.0094.XX.3	3Y.0295.KB.5	3Y.0314.EA.10	3Y.0280.DR	125401-CAP-114
Item3	3Y.0294.AK.38	3Y.0131.EN			3Z.0032.LF.2	3Y.0295.JS.7	3Y.0090.JM.3
Item4	3Y.0315.KC.4	3Z.0090.SR.1			3Y.0294.AH.47	3Z.0215.KF	3Z.0430.ES.6
Item5	3Y.0294.EA.111	3Y.0215.DE				3Y.0067.Y.3	3Y.0091.JB.2
Item6	3Z.0090.SS.2	3Z.0049.AH.1					3Z.0447.AY.5
Item7	3Z.0091.MA.1						3Z.0446.XP.5
Item8	3Y.0231.FC						123371-TR-012

*Tabela 4- Alocação dos itens às máquinas
Fonte: Elaborado pelos autores*



*Gráfico 1- Distribuição do tempo de processamento dos itens alocados
Fonte: Elaborado pelos autores*

Observa-se que algumas máquinas concentraram menor número de lotes de peças com maior tempo de processamento, enquanto que outras máquinas concentraram um maior número lotes de peças diferentes, porém com tempo de processamento menor. Tal condição mostra a diversidade de itens processados decorrentes da complexidade presente em uma fábrica de produtos customizados.

Feita a alocação dos itens às máquinas, iniciou-se a etapa 3 do método, a qual aborda o sequenciamento dos itens alocados a cada máquina. Para tanto, utilizou-se a heurística proposta ATCPSF; ver equação (6). Dessa forma, foi calculado um índice de priorização para cada item alocado à máquina e, a cada alocação, recalculou-se o índice atualizando-se o t e, a partir da segunda interação, comparando-se a matriz e punção utilizada na tarefa anterior. As Tabelas 6, 7 e 8 mostram as iterações para o sequenciamento dos itens da máquina DOCP132, escolhida para ilustrar o método no presente trabalho em função de não exigir alto número de iterações.

t =		0										
	DOCP 132	p	w	D	Dias úteis total	Proc. pós dobra	Dias disp.real	d seg	Termo WSPT	Termo folga	Termo Proc pós dobra	Índice
1	3Y.0169.KJ.147	79	1	42201	7	4	3	80184,52	0,012658	0,907654	0,778800783	0,008948
	3Y.0314.EA.10	136	2	42201	7	3	4	106912,7	0,014706	0,87884	0,716531311	0,009261
	3Z.0032.LF.2	133	1	42206	10	5	5	133640,9	0,007519	0,850879	0,818730753	0,005238
	3Y.0294.AH.47	2959	1	42206	10	4	6	160369	0,000338	0,826632	0,778800783	0,000218

*Tabela 5- Iteração 1 Máquina 132
Fonte: Elaborado pelos autores*

Observa-se na Tabela 6 que o item 3Y.0341.EA.10 tem o maior índice calculado. Essa tarefa será então a primeira a ser processada pela máquina DOCP 132. Na próxima interação (Tabela 7), observa-se que a matriz e o raio de punção passam a ser considerados.

Percebe-se que, na segunda interação, o item 3Z.0032.LF.2 tem o maior índice calculado. Observa-se também que sua matriz e punção são as mais próximas às do lote anterior, seu tempo de processamento está entre os tempos dos dois outros itens, assim como os dias reais disponíveis.

		t = 136										
2	DOCP 132	p	w	d	Dias úteis total	Proc. pós dobra	Dias disp. real	d seg	Matriz	Matriz lote anterior	Punção	Punção lote anterior
	3Y.0169.KJ.147	79	1	42201	7	4	3	80184,52	11	2	10	3
	3Z.0032.LF.2	133	1	42206	10	5	5	133640,87	5	2	4	3
	3Y.0294.AH.47	2959	1	42206	10	4	6	160369,04	10	2	11	3

Termo WSPT	Termo folga	Termo Proc pós dobra	Termo Matriz	Termo Punção	Índice
0,012658	0,927134	0,778801	0,000123	0,000912	1,02856E-09
0,007519	0,881456	0,818731	0,049787	0,367879	9,93831E-05
0,000338	0,861748	0,778801	0,000335	0,000335	2,55241E-11

Tabela 6- Iteração 2 Máquina 132
Fonte: Elaborado pelos autores

		t = 269										
3	DOCP 132	p	w	d	Dias úteis total	Proc. pós dobra	Dias disponíveis real	d seg	Matriz	Matriz lote anterior	Punção	Punção lote anterior
	3Y.0169.KJ.147	79	1	42201	7	4	3	80184,5195	11	5	10	4
	3Y.0294.AH.47	2959	1	42206	10	4	6	160369,039	10	5	11	4

Termo WSPT	Termo folga	Termo Proc pós dobra	Termo Matriz	Termo Punção	Índice	Item	p
0,01265823	0,9271341	0,778800783	0,00247875	0,00247875	5,6158E-08	3Y.0169.KJ.147	79
0,00033795	0,86174761	0,778800783	0,00673795	0,00091188	1,3936E-09	3Y.0294.AH.47	2959

Tabela 7- Iteração 3 Máquina 132
Fonte: Elaborado pelos autores

Finalmente, a terceira e última iteração da máquina prioriza o item 3Y.0169.KJ.147, cuja quantidade de dias disponíveis real é a metade do outro item a ser priorizado; além disso, sua punção é mais próxima a do lote anterior e seu o tempo de processamento é menor.

O cálculo e iterações foram realizados de forma análoga para as outras máquinas, chegando-se ao sequenciamento apresentado na Tabela 9.

Sequência	DOCP 100	DOCP 125	DOCP 130	DOCP 131	DOCP 132	DOCP 140	DOCV 150
1	3Y.0032.NX.9	3Z.0094.HX.3	3X.0295.EA.741	3Y.0295.KB.5	3Y.0314.EA.10	3Y.0447.BX	3X.0091.BW.13
2	3Y.0231.FC	3Y.0315.KD	3X.0094.XX.3	3Y.0091.G.7	3Z.0032.LF.2	3Z.0215.KF	3Y.0090.JM.3
3	3Y.0312.AA.36	3Y.0215.DE			3Y.0169.KJ.147	3Y.0280.DR	3Z.0446.XP.5
4	3Y.0315.KC.4	3Z.0090.SR.1			3Y.0294.AH.47	3Y.0295.JS.7	3Z.0447.AY.5
5	3Y.0294.AK.38	3Y.0131.EN				3Y.0067.Y.3	3Z.0430.ES.6
6	3Z.0091.MA.1	3Z.0049.AH.1					3Y.0091.JB.2
7	3Y.0294.EA.111						125401-CAP.114
8	3Z.0090.SS.2						123371-TR-012

Tabela 8- Resultado do sequenciamento por máquina
Fonte: Elaborado pelos autores

Concluída a aplicação da sistemática proposta, os resultados foram apresentados aos especialistas da fábrica. O trabalho foi então aprovado e pretende-se utilizar a heurística proposta para sequenciar primeiramente os itens que passam pelas dobradeiras e depois ampliar a regra para o sequenciamento dos demais grupos de máquinas, de acordo com as restrições técnicas particulares a cada grupo. Atualmente, o sequenciamento das dobradeiras é realizado empiricamente, e uma regra com embasamento em uma análise técnica aprofundada é algo inovador para a fábrica.

Para viabilizar tal aplicação, a fábrica deverá garantir que a base de dados do sistema relativa a tempos e restrições técnicas dos itens esteja correta. O segundo passo será programar a lógica em um sistema, de preferência já utilizado pela produção. E, finalmente, investir em recursos, como um coletor para leitura de código de barras da Ordem de Fabricação dos lotes que chegam à área, viabilizando a inserção facilitada dos dados da tarefa no sistema.

Em relação à frequência de recalcular a fila de itens da máquina, os especialistas sugerem que seja a cada meio turno, de forma que a fila não mude com elevada frequência. Dessa forma, pretende-se reduzir a frequência de troca de ferramentas das máquinas, considerada a principal fonte de perda no processo.

5. Conclusões

Empresas fabricantes de produtos customizados com mercado focado em custos baixos e prazo de entrega devem de fato investir esforços no planejamento e controle de produção. O sequenciamento dos itens a serem processados deve ser definido por um estudo lógico aprofundado, considerando características individuais de cada processo e do sistema fabril como um todo. Para isso, a utilização de heurísticas como ATC adaptadas à realidade em questão é capaz de gerar bons resultados.

Esse artigo apresentou um método para sequenciamento de tarefas baseado nas restrições técnicas do processo e das características da fábrica de elevadores do estudo. Tais aspectos referem-se à capacidade técnica das máquinas para processar determinados itens, ferramentas utilizadas pelas máquinas e passagem dos itens através do sistema produtivo em questão, impactando diretamente no cumprimento do prazo de entrega dos produtos aos clientes. A proposta aplicada no processo de dobra do arranjo de máquinas *Job shop* buscou sequenciar os itens minimizando o atraso ponderado para a montagem do produto final. Após a coleta de dados, os itens levantados foram alocados às máquinas e posteriormente sequenciados de acordo com a heurística proposta (ATCPSF). O método foi apresentado aos especialistas, os

resultados foram analisados e a sua aplicação foi aprovada, levando-se em consideração a importância e o desafio de levantar dados corretos para alimentar o cálculo.

Desdobramentos futuros incluem a priorização do processamento de itens de famílias iguais, ou seja, que compõe a mesma peça final soldada ou montada. Para tanto, deveria ser feita uma análise de dependência entre os itens na montagem e um novo termo na heurística ATCPSF poderia ser adicionado.

6. Referências

ANZANELLO, M.J., ETCHEVERRY, G.V. **Minimização do adiantamento e atraso de tarefas em máquinas paralelas com tempos de setup dependentes da sequência.** XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, 2013.

ANZANELLO, M.J., FOGLIATTO F.S., SANTOS L., 2014. **Learning dependent job scheduling in mass customized scenarios considering ergonomic factors**, Int. J. Prod. Econ. 154 136–145.

ANTUNES, J.A.V. **A lógica das perdas nos Sistemas de Produção: uma análise crítica.** Anais do XIX ENANPAD, João Pessoa, [s.n.], 1995. 1 CD-ROM. P. 375-371.

CARDOSO, Jomar. **Recuo na construção preocupa setor de elevadores**, Da Redação, original Folha de S. Paulo, 2014.

CHASE, R.B.; JACOBS, F.R.; AQUILANO, N.J. (2006) **Administração da produção e operações para vantagens competitivas.** 11 Ed., Mc Graw Hill: São Paulo.

ELSAIED, E.A. & BOUCHER, T.O. (1994). **Analysis and Control of Production Systems.** 2nd Ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

GHINATO, Paulo. **Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente Just-in-time.** Caxias do Sul: Editora da UCS, 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. Ed. são Paulo: Atlas, 2007.

KAYSER, Detlev. **Identificação e redução de perdas segundo o sistema Toyota de Produção: Um estudo de caso na área de revestimento de superfícies**, Dissertação do Mestrado Profissional em Eng. De Produção – PPGEP, UFRGS. Porto Alegre, 2001.

KRAJEWSKI L. J., RITZMAN L. (2002) **Operations management: strategy and analysis**. 6 ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.

LEE Y. H., BHASKARAN K., e PINEDO M., 1997. **A Heuristic to Minimize the Total Weighted Tardiness with Sequence Dependent Setups**, IIE Transactions, Vol. 29, pp. 45–52.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, 1997.

PFUND, M. E., FOWLER, J. W., GADKARI, A. e CHEN, Y. **Scheduling jobs on parallel machines with *setup* times and ready times**. Computers & Industrial Engineering, v.38, 189-202, 2008.

PINEDO, Michael L. **Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems**, 2008.

RACHAMADUGU, R.V. e MORTON, T. E.. **Myopic heuristics for the single machine weighted tardiness problem**. Working Paper, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 30-82-83, 1982.

SLACK N., CHAMBERS S., JOHNSTON R. (2009) **Administração da produção**. 3 Ed., Atlas: São Paulo.

VOTTO, R., FERNANDES, F. **Produção enxuta e teoria das restrições: proposta de um método para implantação conjunta na Indústria de Bens de Capital sob Encomenda**, Revista Gestão & Produção, vol.21 no.1 São Carlos Jan./Mar. 2014.