

CRIAÇÃO DE UM MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO PARA MELHORIA DO FLUXO DE PROCESSO DE BOBINAS EM LINHAS DE TIRAS A FRIO E REVESTIMENTO¹

Fernando Martineli Loureiro²

Katiani da Conceição³

Dalvio Ferrari Tubino⁴

Resumo

O processo de produção de aço laminado a frio e revestido é um processo de complexo, composto de muitos processos, que tem origem no recebimento de bobinas laminadas a quente. Os processos a jusante do Laminador de Tiras a Quente são, em sua maioria, desbalanceados e a regulação do fluxo torna-se fundamental para evitar paradas por falta de material adequado para compor seqüências de produção e/ou excesso de estoque nos equipamentos. Portanto, a programação desempenha papel fundamental na regulação do processo produtivo e um método de programação apropriado é extremamente necessário, que é objeto desse trabalho.

Palavras-chave: Laminação; Programação; Regras heurísticas.

BUILDING A METHOD FOR SCHEDULING TO IMPROVE THE COIL FLOW IN THE COLD ROLLING AND COATING PROCESS

Abstract

The cold rolling and coating production is a complex process, with many different job steps starting from the hot rolled coil receiving. Most of downstream process from the hot strip mill is not balanced and controlling the flow must be essential for avoiding starving equipments due not suitable coils for creating production sequences and/or stock excess. Therefore, scheduling is a critical task to control the production process and a method to achieve an optimized schedule is extremely necessary and it is the aim of this paper.

Key words: Rolling; Scheduling; Heuristics rules.

¹ *Contribuição técnica ao 46º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 27 a 30 de outubro de 2009, Santos, SP.*

² *Mestre e UFSC/SEED.*

³ *Mestre e UFSC/UDESC.*

⁴ *Doutor e UFSC.*

1 INTRODUÇÃO

O trabalho apresenta um método baseado em regras heurísticas aplicadas em programação dos equipamentos de linhas de acabamento de aço para melhorar o fluxo de bobinas no processo, partindo de laminação de tiras a frio até as etapas de revestimento. O método tem como objetivo gerenciar os estoques intermediários de bobinas, ajustando o fluxo para melhor combinação de tipos de bobinas, assim como seus níveis de estoque.

O trabalho é uma extensão de alguns trabalhos na área de programação, especialmente o trabalho de Okano et al.⁽¹⁾ que focou na programação de um processo de galvanização de aços a partir da laminação a quente. Contudo, como esse próprio trabalho descreve, não existe literatura disponível sobre a aplicação de métodos de programação para esse tipo de processo envolvendo vários equipamentos das linhas de acabamento de aços, apesar do processo ser considerado muito complexo.

A maioria dos trabalhos, segundo os mesmos autores se relacionam apenas a otimizações ou programações de um único equipamento, o que na prática pode levar a ineficiências, estoques excessivos e paradas não programadas. Embora esses trabalhos sejam limitados, eles podem ser úteis no aproveitamento da modelagem de cada processo envolvido. Dentre esses trabalhos, pode-se citar o de Yasuda et al.⁽²⁾ que se concentrou nos processos de lingotamento contínuo e a laminação de tiras a frio. Eles definem um processo de programação em duas fases, onde a primeira define uma programação, ainda que não detalhada, de campanha do laminador baseado em larguras, espessuras e temperatura de reaquecimento. A segunda fase aloca as placas a serem laminadas às ordens, sequenciando as mesmas de acordo com a programação feita na etapa anterior.

Outros aspectos do trabalho de programação foram abordados em parte por outros artigos, como o de Knoop e Van Nerom⁽³⁾ que se concentraram na determinação da melhor sequência de carregamento dos fornos de reaquecimento de placas para o laminador de tiras a quente – LTQ, a fim de minimizar o consumo de energia necessário para execução do processo em função da sequência de espessuras a serem laminadas, que é importante no modelo usado nesse trabalho. O ganho do processo foi resultado de uma melhor programação de placas e nos aspectos logísticos existentes no abastecimento do laminador de tiras a quente.

Outra área importante, porém não contemplada nesse trabalho e que merece ser visto em revisões e extensões do mesmo pode ser vista no trabalho de Venkata e Suryanarayanaa,⁽⁴⁾ que focou na minimização do tempo de *setup* dos laminadores de tiras a frio – LTF através dos ajustes de parâmetros de operação. Os ganhos de *setup* são integralmente transformados em uma maior capacidade produtiva do processo.

Ainda, existem alguns outros trabalhos que trataram do problema de estabilidade global do sistema, utilizando ferramentas computacionais como a aplicação de agentes remotos. Um exemplo dessa abordagem é o trabalho de Ouelhadj et al.⁽⁵⁾ que tenta através de correções do processo ao longo de sua execução por agentes remotos, manter o sistema produtivo sempre ajustado. Esses agentes serão utilizados no modelo proposto para controlar o fluxo de bobinas a fim de balancear a carga dos equipamentos. Cowling, Ouelhadj e Petrovic⁽⁶⁾ propõe o mesmo tipo de ferramenta aplicado ao conceito de agentes remotos em laminadores de tiras a quente.

Com relação ao uso de algoritmos de otimização aplicados ao processo de laminação, o trabalho de Liebling⁽⁷⁾ trata o problema de programação em uma planta de produção de alumínio aplicando técnicas de otimização baseadas em *tabu search*. Os resultados dos estudos foram encorajadores segundo seus autores. Contudo, o artigo se prende a análise do laminador sujeito a restrições de capacidade de fornos, considerando problemas de programação de ligas metálicas. Esse artigo concentra-se, então, apenas na otimização de um processo específico, o que é pouco em relação ao sistema aqui estudado. Com relação aos processos de revestimento de aço, Kapanoglu⁽⁸⁾ concentrou-se na utilização de algoritmos genéticos para otimizar o processo de acabamento de aço, focando no revestimento e galvanização de tiras. O Trabalho de Yuncan⁽⁹⁾ focou a otimização no processo de lingotamento contínuo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho teve como início na constatação da necessidade de se regular os fluxos produtivos de plantas que operem linhas desbalanceadas em um esquema de produção por processo, onde o desbalanceamento é uma característica importantíssima que deve ser gerenciada de maneira adequada, uma vez que, ele irá levar a falta ou excesso de estoque entre equipamentos. A simples tentativa de regular o processo por meios de investimento nos equipamentos é uma alternativa além de muita cara, absolutamente inócua, pois além do tempo médio de produção, a variação desses tempos, isto é, o desvio padrão dos tempos de processo, iria novamente levar o sistema a situações de excesso ou falta de material ao longo de algum tempo.

Portanto, identificou-se a enorme oportunidade de se regular o fluxo através da programação dos equipamentos, seqüenciando a entrada de lotes nos equipamentos, que além de não ser necessário nenhum investimento elevado em equipamento, a sua aplicação seria mais robusta, permitindo o sistema se reequilibrar sempre pela seqüência de produção. A certeza de que a forma mais econômica para tratar o desbalanceamento vem das inúmeras aplicações de teoria das restrições, onde através da submissão dos demais equipamentos, pelas cordas, aos gargalos, também chamados de tambores, o fluxo seria balanceado e mantido assim.



Figura 1. Etapas do projeto.

Quanto à escolha do processo a ser estudada, esta recaiu sobre plantas de laminação de aço que trabalhassem com linhas de revestimento, uma vez que se tratava de processos mais complexos onde a automação do processo de programação seria de fundamental importância para um melhor aproveitamento do processo. O estudo de caso foi feito sobre uma planta mostrada na Figura 1. O processo começa com a chegada de bobinas laminadas a quente (BQ). Essas bobinas são decapadas para serem laminadas a frio. A taxa de chegadas de bobinas BQ é de 1160 t/dia. A parte dessas bobinas decapadas, em torno de 257 t/dia, é enviada para outros processos que não estão envolvidos nesse estudo. Parte do fluxo tem necessidade de efetuar tratamento térmico em fornos de recozimento em caixa. Parte se direciona diretamente para as linhas de galvanização. As bobinas recozidas são enviadas então aos laminadores de encruamento. Para finalização, as bobinas podem ser vendidas dessa forma, ou cortadas em forma chapas fina a frio e zincadas.

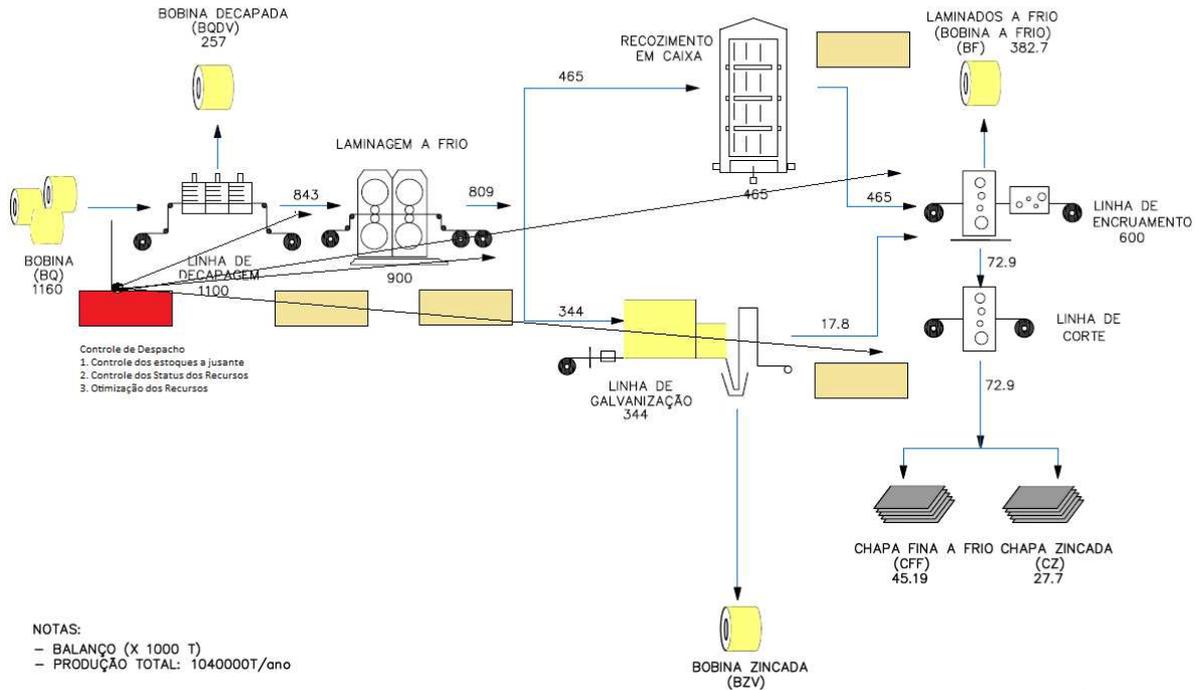


Figura 2. Planta de laminação de aço que trabalham com linhas de revestimento.⁽⁹⁾

O segundo passo foi analisar os equipamentos envolvidos. Conseguiu-se classificar em três grandes grupos, que são:

- *Equipamentos que trabalhem sob campanha:* são equipamentos que possuem ciclos definidos de trabalho em função das bobinas que entram. Nesses grupos estão os laminadores, tanto a frio, quanto os laminadores de encruamento, ou *skin-pass*, pois os mesmos necessitam que uma campanha, ou instrução de laminação seja criada para o aproveitamento do conjunto de cilindros de laminação. Nesses equipamentos, a seqüência deve observar saltos de largura e espessura, seguindo uma redução de largura de laminação.

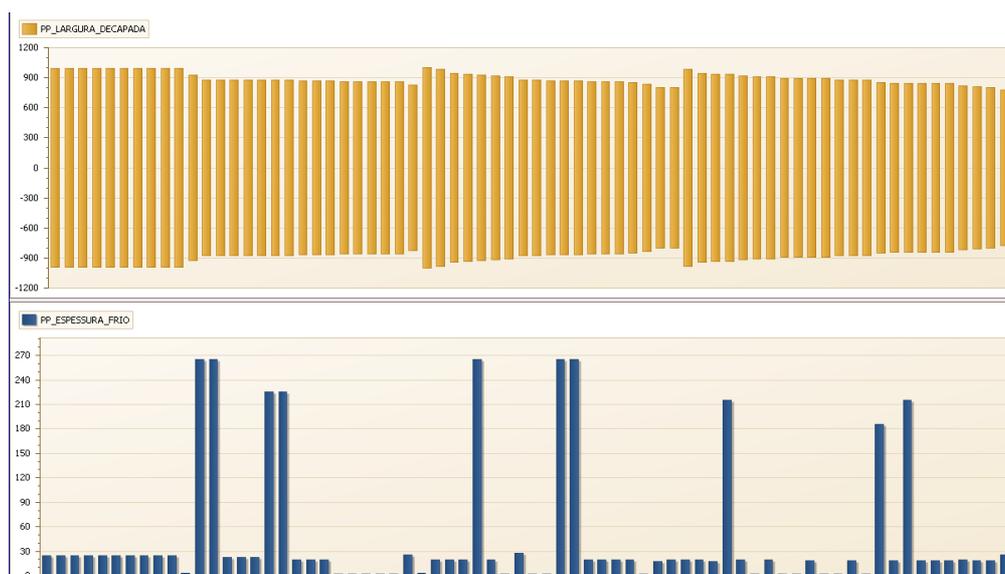


Figura 3. Seqüência de largura e espessura das campanhas.

- *Equipamentos contínuos:* são equipamentos onde não há ciclo e onde bobinas são unidas continuamente, uma após a outra, por soldagem, fazendo que o processo nunca pare. São exemplos, as linhas de tratamento térmico, as linhas de revestimento ou de galvanização. Nesses equipamentos, a seqüência deve observar apenas os saltos. Contudo, o sentido de redução ou aumento de largura é constantemente invertido.

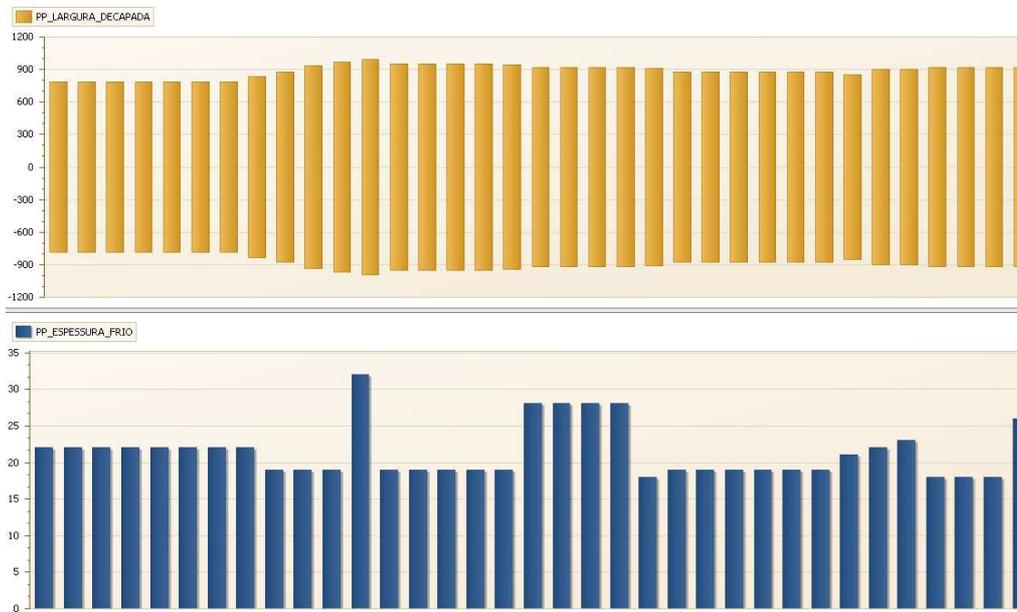


Figura 4. Sequência de produção.

- *Equipamentos que trabalham em batelada:* são os fornos de recozimento, em caixa. Nesse caso, determinou-se que os mesmos poderiam ser tratados de forma mais simplificada, como *lead times* de processo.

As regras foram classificadas em:

- *Regras de Campanha:* são utilizadas nas linhas de tiras a frio e em linhas de encruamento. Elas são usadas para selecionar as bobinas que irão ser produzidas usando um mesmo conjunto de cilindros de laminação. As seqüências normalmente são feitas começando pelas bobinas de larguras maiores para larguras menores, observando saltos de espessuras permitidos.
- *Regras de Seqüência:* são aplicadas em linhas de processamento contínuo, como as linhas de galvanização. Essas regras são usadas, uma vez que o processo seja contínuo. As bobinas devem ser unidas uma as outras através de soldas. Portanto, deve-se reduzir a largura, observando-se os saltos de espessuras permitidos, mantendo-se na medida do possível as larguras, para uma vez mais, de forma contínua inverter o sentido, aumentando dessa forma as larguras das bobinas a serem processadas
- *Regras de fluxo:* não basta apenas observar as regras de cada equipamento, é necessário manter o fluxo equilibrado, retendo ou adiantando bobinas necessárias para a continuidade dos fluxos ou evitando excesso de estoque nos equipamentos.

Por fim foi definido o macro processo de planejamento, que são:

- *Plano Mestre de Produção*: feito para nivelar os pedidos contra a capacidade da planta. Ele considera as macro-restrições dos processos, sem entrar no detalhe da seqüência a produzir. Pela definição da APICS - American Desempenho and Inventory Society, é um compromisso entre a produção e vendas. Ele deve ser otimizado para melhor atendimento dos clientes e maior utilização da planta, considerando, portanto, os custos de processo.
- *Programação*: é a administração do Plano de Produção definida na etapa. Ele define as seqüências e sincroniza os processos, mantendo os fluxos abastecidos. Administra em termos diários, os problemas que forem acontecendo entre as gerações dos planos de produção.
- *Abastecimento dos equipamentos*. Em princípio deve seguir o programa de produção, mas deve administrar eventos que não podem ser programados, e.g., problemas de qualidade, tempos de processos divergentes etc.

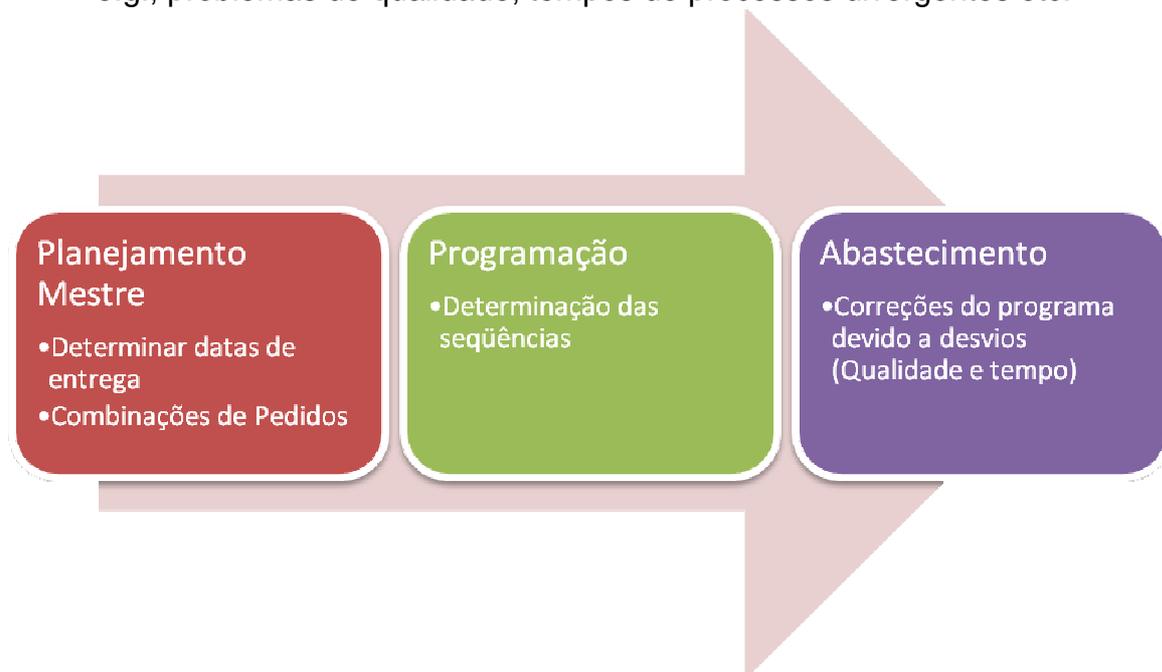


Figure 5. Fluxograma de planejamento.

Escolheu-se dois indicadores importantes:

- *Carregamento dos equipamentos*: estratificados por equipamentos contínuos e os laminadores e em janelas de tempo de 12, 24 e 48 horas. Indicam se há parada de equipamento e a utilização da capacidade instalada. Em termos de tempo, indica a progressão dos lotes no sistema. Além de 48 horas, perde-se importância uma vez que bobinas podem ser decapadas para complementar as seqüências de processo.
- *Folga entre operações*: indica se as bobinas estão tendo que passar com muita velocidade ou ficando retidas nos equipamentos. Velocidade alta leva a maiores riscos de parada. Velocidade baixa pode levar a problema de oxidação das bobinas.

Quanto à ferramenta escolhida, optou-se devido a complexidade e aos volumes de dados associados ao problema, quer era necessário usar ferramentas computacionais com capacidade de cálculo e modelagem do processo. Dessa forma, a escolha recaiu sobre um sistema conhecido como APS – Advanced Planning & Scheduling, que permitiu uma modelagem detalhada e orientada a

objetos dos equipamentos e regras, além de trabalhar nos níveis de planejamento mestre e programação da produção.

3 RESULTADOS

Os resultados foram avaliados com foco nos dois indicadores escolhidos. Na Tabela 1, mostra-se a ocupação dos recursos em percentual para as próximas 12, 24 e 48 horas. Os resultados todos muito próximos a 100% indicam uma alta taxa de ocupação, indicando que o algoritmo empregado conseguiu produzir uma excelente programação das linhas.

Tabela 1. Ocupação dos equipamentos dentro das janelas de tempo

Equipamentos	Ocupação %		
	12 horas	24 horas	48 horas
Laminadores	99,96	99,40	99,38
Linhas Contínuas	100	99,99	99,85
Linhas Revestimento	100	100,00	99,70
Geral	99,98	99,83	99,77

O segundo indicador usado foi relativo à troca de cilindros dos laminadores. As trocas dos equipamentos de tiras a frio, mantiveram-se dentro de uma média histórica. O mesmo foi verdadeiro com relação aos laminadores de encruamento. Contudo, para esses últimos, as trocas de são mais freqüentes, pois os equipamentos trabalham com campanhas menores.

Tabela 2. Média de trocas no período (acumulado)

Equipamentos	Troca de Campanhas (Acumulado)		
	12 horas	24 horas	48 horas
Lam. Tiras a Frio	0,5	2	2
Laminadores Encruamento	1,33	3,33	5

Por fim, plotou-se um histograma para verificar o tempo de folga, i.e., o tempo corrido entre o fim de uma operação e o início da próxima. Como se pode verificar, a freqüência maior ficou em cerca de 30 minutos e 50,88 minutos. Esse valor é suficiente para movimentar as bobinas, bem como para absorver alguns problemas durante o processo. Poucas bobinas tiveram um intervalo maior que 100 horas. Acima desse valor, é arriscado haver perda de material por problema de oxidação do metal. Portanto o resultado, uma vez mais se mostrou bastante satisfatório.

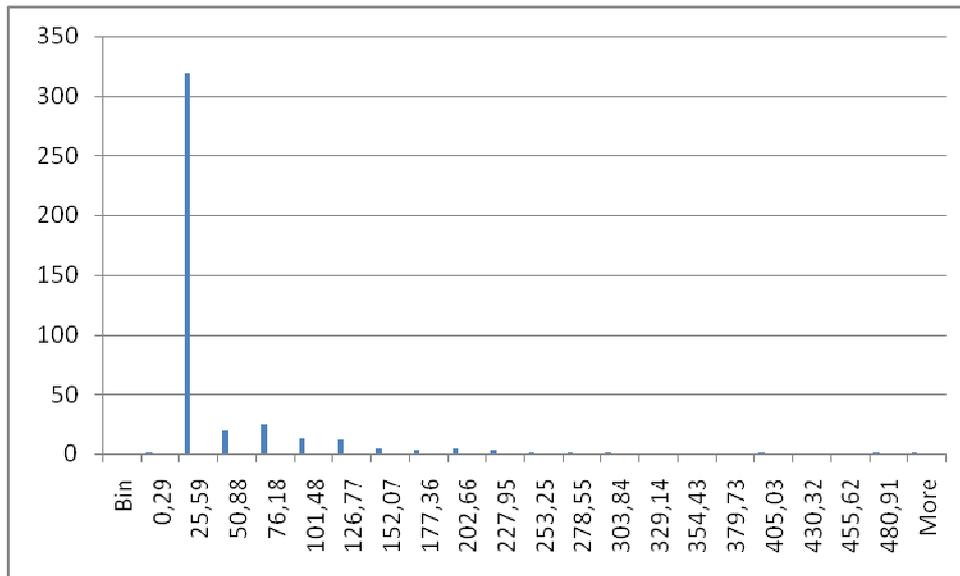


Figure 6. Histograma das folgas entre operações em minutos.

4 DISCUSSÃO

Não há na literatura disponível, como afirmam Okano et al.⁽¹⁾ para comparar os resultados. Ainda, esses mesmos autores demonstraram o algoritmo usado, mas não expuseram os dados e resultados obtidos. Portanto, a comparação dos resultados com outras formas de programação não pode ainda ser feita, mas espera-se que com esse trabalho, outros possam ser apresentados.

Quanto aos resultados, todos foram bastante encorajadores, atingindo resultados extraordinariamente bons, dentro dos parâmetros operacionais necessários, comprovando que as regras heurísticas aplicadas produziram um excelente resultado. Tanto os carregamentos dos equipamentos, quanto o intervalo de tempo entre operações se mantiveram em valores extremamente bons.

5 CONCLUSÃO

A forma de planejamento em conjunto com o algoritmo apresentado, i.e., as regras heurísticas, demonstraram a viabilidade do método e da ferramenta escolhida. Contudo, recomenda-se aprofundar em mais cenários, testando a planta contra carregamentos baixos dos equipamentos, bem como submeter o mesmo a excesso de carga. Além disso, novas configurações de planta deveriam ser testadas, a fim de comprovar a estabilidade do método. Recomenda-se, ainda, testar novas regras ao mesmo tempo em que relaxar as existentes, a fim de tentar obter resultados ainda melhores, sobretudo no aumento das campanhas dos laminadores.

REFERÊNCIAS

- 1 OKANO, H., DAVENPORT, A., TRUMBO, M., REDDY, C., YODA, K., AMANO, M., Finishing Line Scheduling. IBM Journal of Research and Development, vol. 48, no. 5/6, pp 811-829, Sep-Nov, 2004.
- 2 YASUDA, H., TOKUYAMA, K., TANIMOTO, Y., NAKANO, M. Two Stage Algorithm for Production Scheduling of Hot Strip Mill. Operational Research, vol. 32, pp 695-707, 1984.
- 3 KNOOP, P., VAN NEROM, L. 2003. Scheduling requirements for hot charge optimization in an integrated steel plant. Brussels : IEEE, pp. 74- 78 . Vol. 1, 2003

- 4 VENKATA, N., SURYANARAYANAA, G. 2001. A set-up model for tandem cold rolling mills. *Journal of Materials Processing Tech.* Vol. 116, 2001.
- 5 OUELHADJ, D., PETROVIC, S., COWLING, P.I., MEISELS, A.. Inter-agent cooperation and communication for agent-based robust dynamic scheduling in steel production. *Advanced Engineering Informatics.*, Vol. 18, 3, pp. 161-172 , July 2004,
- 6 COWLING, P.I., OUELHADJ, D., PETROVIC, S. 2003. A multi-agent architecture for dynamic scheduling of steel hot rolling. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 14, 5. LIEBLING, 2003
- 7 KAPANOGLU, M., KOC, I. 2006. Multi-population Parallel Genetic Algorithm for Highly Constrained Continuous Galvanizing Line Scheduling. *Hybrid Metaheuristics*. Berlin : Springer, 2006.
- 8 YUNCAN, X, QIWEN, Y E HUIHE, A. 2004. Optimum cast plan for steelmaking-continuous casting production scheduling. Yuncan Xue; Qiwen Yang; Huihe Shao. 2004.
- 9 COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. 2008. Catálogo de Produtos Laminados a Frio. <http://www.csn.com.br>. [Online] 2008. [Citado em: 29 de Abril de 2008.]