



## PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DA ACIARIA – DESAFIOS, MÉTODOS E FERRAMENTAS<sup>1</sup>

Danilo Leite Dalmon<sup>2</sup>  
Patrick Boudinet<sup>3</sup>

### Resumo

A tarefa de realizar o planejamento ou a programação da produção de uma indústria siderúrgica é complexa e ao mesmo tempo vital ao seu funcionamento. Apesar disso, poucas usinas utilizam ferramentas de software que atendem a todos os requisitos dos usuários que atendem exatamente a necessidade da empresa. Ainda assim, por causa da dificuldade do problema, frequentemente decisões sub-ótimas são tomadas. Isso se deve principalmente pela falta de acesso a ferramentas específicas para a solução de problemas considerando todas as restrições de processo. A aciaria possui, em seu processo produtivo, características que a colocam em destaque quanto à dificuldade e relevância de realizar uma programação ótima. Este trabalho apresenta revisões do problema teórico de planejamento, alguns métodos computacionais de resolução, das particularidades da aciaria que a tornam especial e um levantamento de procedimentos utilizados no cotidiano de usinas. Resultados mostram, em geral, que o uso de um sistema computacional de programação fina de aciaria traz uma redução de custos adicionados e um aumento da produção.

**Palavras-chave:** Planejamento; Programação; Software; Inteligência artificial.

### STEELWORKS PRODUCTION PLANNING - CHALLENGES, METHODS AND TOOLS

#### Abstract

Production planning and scheduling is, at the same time, complex and vital for the steel making industry. However, few existing industrial facilities use software tools that meet all the users' requisites or solve the exact planning problem faced by the company. Moreover, because of the problem's difficulty, often sub-optimal choices are made. This is mainly due to the lack of specific problem-solving software tools in the market for each company's problems and probably to the lack of knowledge about the problem's formulation and its effects in the production efficiency. Steelworks has, in its process, characteristics that increase the difficulty and the impact of an optimal planning. This paper reviews the planning problem and some methods used to solve it, presenting relevant steelworks' features and challenges to planning and scheduling, practical and suggested procedures for daily production based on methods and tools. Results show that, in general, the use of a steelworks fine planning software reduces added costs and raises production capacity.

**Keywords:** Planning; Scheduling; Software; Artificial intelligence.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 42º Seminário de Aciaria – Internacional, 15 a 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto de Matemática e Estatística (IME) – Universidade de São Paulo (USP). Rua do Matão 1010, CEP 05508-090, São Paulo - SP. E-mail: ddalmon@ime.usp.br. Incotec S.A. danilo.dalmon@incotec-software.com

<sup>3</sup> Incotec S.A. Solutions Informatiques. 7, Boulevard Gonthier d'Andernach, B.P. 40136, 67404 Illkirch-Graffenstaden Cedex - France. E-mail: patrick.boudinet@incotec.fr



## 1 INTRODUÇÃO

A produção siderúrgica envolve diversas etapas, como redução, metalurgia secundária, lingotamento e laminação. Cada uma dessas etapas é composta de processos físico-químicos complexos, e necessitam, para manter a competitividade, de equipamentos, ferramentas e métodos de alta tecnologia. O gerenciamento de cada etapa é realizado por especialistas, que precisam manter o controle da produção, buscando o aumento da eficiência e a redução de custos, considerando erros, riscos e perdas na produção.

Nesse contexto, o planejamento e a programação da produção possuem um papel essencial.<sup>(1)</sup> O planejamento é realizado para organizar a produção e determinar a relação entre a demanda, muitas vezes apenas prevista, e a produção. Nesse nível são consideradas características gerais do processo de fabricação da etapa produtiva em questão, como capacidade e fornecimento de matéria-prima.<sup>(2)</sup> Em outro nível, a programação da produção é realizada para definir os detalhes operacionais da produção, como disponibilidade de equipamentos, diferentes fluxos, e outras variáveis de processo.<sup>(3)</sup>

A eficiência final do processo produtivo está relacionada com a eficiência prevista durante o planejamento e a programação, e a fidelidade que a produção possui com o planejado.<sup>(4)</sup> Dessa maneira, a determinação de um planejamento otimizado é necessária para a realização de uma boa produção, considerando critérios como *lead time* e custos adicionados. A utilização sistemática de métodos automáticos de planejamento e de programação da produção durante as etapas produtivas pode aumentar consideravelmente a eficiência de uma usina.<sup>(1)</sup> Além disso, o planejamento ótimo global da produção da usina é um objetivo considerado utópico pelos especialistas industriais.<sup>(5)</sup>

Cada etapa de fabricação possui características que o tornam mais fácil ou difícil, com relação a critérios computacionais, para o cálculo de uma solução de planejamento ótima. No caso da produção siderúrgica, a aciaria se destaca com relação à dificuldade para o planejamento. A aciaria é uma das unidades produtivas das usinas siderúrgicas, responsável pelas etapas de refino, metalurgia secundária e lingotamento. Por causa da complexidade de seu processo produtivo, a aciaria necessita de ferramentas e métodos específicos automáticos para a determinação de uma solução que minimiza os custos de produção.

Métodos automáticos de planejamento são alvos de estudos há muito tempo, sendo considerados um dos ramos mais importantes de pesquisa em inteligência artificial aplicada.<sup>(6)</sup> Um problema de planejamento é um modelo matemático que representa algum processo, em geral, produtivo. Assim, algoritmos especializados em problemas de planejamento são aplicados para resolvê-los, ou seja, calcular uma solução de planejamento que seja ótima de uma maneira rápida, na medida do possível. Uma solução é considerada ótima se ela atende a certos requisitos pré-determinados, minimizando tempo e custos. Existem diversos algoritmos para problemas de planejamento, em geral adaptados a grupos de problemas.<sup>(3)</sup>

No caso da aciaria, existem diversas ferramentas computacionais que se propõem a resolver o problema de planejamento da sua produção.<sup>(7-15)</sup> Este trabalho analisa as características do processo de produção da aciaria relevantes para o planejamento e a programação de sua produção, e apresenta uma revisão dos conjuntos de algoritmos e ferramentas que os utilizam que possuem o objetivo de planejar ou programar modelos que representam a produção da aciaria.



A metodologia empregada foi o levantamento sistemático das características do processo de produção da aciaria relevantes ao planejamento durante projetos de implantação de softwares de planejamento em usinas, e o levantamento e comparação dos principais métodos existentes para a resolução de problemas de planejamento segundo critérios pré-estabelecidos. Os resultados apresentados são relatos de empresas que desenvolvem softwares de planejamento de aciaria e de empresas que os utilizam.

O presente texto está organizado da seguinte maneira: a seção 2 faz uma introdução à problemática do planejamento e apresenta os principais desafios da produção da aciaria com relação à modelagem para o planejamento; as seções 3 e 4 apresentam, respectivamente, métodos de planejamento que são aplicados na aciaria e ferramentas que o utilizam; a seção 5 encerra o artigo com as conclusões.

## 2 DESAFIOS DE PLANEJAMENTO NA ACIARIA

Problemas de planejamento são classificados como problemas do ramo da matemática de otimização, e consistem basicamente em ordenar tarefas que respeitam regras de sucessão de um modo a encontrar o menor (ou maior) valor para uma função objetivo.<sup>(16)</sup> Dessa maneira, para formular um problema de planejamento é necessário: a) um conjunto de tarefas; b) um conjunto de regras de sucessão para as tarefas; c) um conjunto de valores associados às sucessões; e d) uma função objetivo que deve ser minimizada (ou maximizada). Podemos encontrar formulações diferentes e diversos exemplos na literatura.<sup>(17,18)</sup>

Para determinar a sequência de tarefas que respeita as regras de sucessão que possui o valor ótimo para a função objetivo são aplicados algoritmos específicos. Dizemos, a grosso modo, que um problema é difícil, chamado de NP-completo na teoria da computação, quando ainda não foi encontrado um algoritmo rápido para resolvê-lo.<sup>(19)</sup> Problemas de planejamento são NP-completos, ou seja, não há um algoritmo rápido para resolvê-los, implicando que para situações grandes, com muitas tarefas, ou muitas restrições, o cálculo de um valor ótimo pode demorar muito tempo se usado um computador com o poder de processamento atual.

Considerando que existem 50 tarefas a serem planejadas, o número de possibilidades de sequência possíveis, sem considerar as restrições, é de  $50!$  vezes, ou seja  $3,04.10^{64}$ . Nesse caso, se pedirmos para um computador encontrar a melhor sequência, ele deverá calcular a função objetivo para cada possibilidade. Um computador atual consegue realizar  $4.10^9$  operações por segundo. Esse computador levará  $7,6.10^{54}$  segundos, no pior caso, para encontrar a melhor sequência, o que equivale a  $2,4.10^{47}$  anos, sendo que o universo possui  $15.10^9$  anos.

As técnicas existentes desenvolvidas hoje em dia conseguem encontrar soluções boas para problemas específicos em pouco tempo, que não são ótimas necessariamente, pois não calculam todas as possibilidades.<sup>(20-22)</sup> Elas usam estratégias que aproveitam as características específicas da formulação do problema para procurar mais rapidamente essas soluções. Porém, há problemas de planejamento que, devido a suas características, ainda não é possível encontrar boas soluções em pouco tempo.<sup>(23)</sup> Algoritmos para solução de problemas de planejamento são apresentados com mais detalhes na seção seguinte.

No caso da aciaria, existem características que tornam o seu processo de produção mais complexo, ou seja, exige um número maior de cálculos para encontrar uma solução ótima, em comparação a outros processos de produção das usinas



siderúrgicas, como a laminação, por exemplo. Segue uma lista e explicações de algumas delas:

- *Os produtos da aciaria possuem características diferentes* – os produtos da aciaria, os lingotes, tarugos, blocos, placas ou perfis possuem características muito diferentes entre si, que vão desde a composição química, tempo em cada estágio, restrições de sequenciamento, dimensões e os fluxos entre os diferentes estágios. Isso faz com que o planejamento desses produtos, ou de suas etapas de produção na aciaria, seja mais complexo, pois os tipos de características que variam são numerosos. Assim, o algoritmo deve ser capaz de considerá-los durante o cálculo de uma sequência de produção.
- *A produção da aciaria possui formas diferentes de fabricar um produto* – um mesmo produto na aciaria pode, às vezes, ser produzido de maneiras diferentes, seja usando tipos de painéis diferentes, ou sendo produzido no forno 1 ou forno 2, passando pelo forno-painel ou não, e até mesmo possuir diversas formas de resfriamento possíveis. Isso aumenta o número de possibilidades e de restrições que o algoritmo de cálculo de sequências deve considerar.
- *A produção da aciaria possui muitas restrições* – as características da produção da aciaria são tais que poucas são as sequências que atendem a todas as restrições do processo, pois elas são muitas e muito rígidas. É possível até que, dado o número de corridas a ser produzido, seja impossível encontrar uma sequência que respeite todas as restrições do processo, por exemplo, contaminação de elementos químicos, ferramentas e equipamentos disponíveis, datas de entrega, número de vazamentos em um lingotamento convencional. O algoritmo deve considerar, além de todas as restrições, pois há restrições que são críticas à produção, margens de segurança para o respeito das restrições, permitindo assim, que os produtos sejam entregues atrasados, mas nunca com a composição errada.
- *O planejamento pode ser feito para diferentes horizontes* – o trabalho de planejamento da aciaria pode ser feito em duas etapas, o planejamento, com um horizonte maior, e a programação, que é responsável pela produção diária. Além disso, de acordo com a demanda, é possível precisar realizar o planejamento ou a programação para diferentes prazos, o que resultará em valores diferentes para a função objetivo. Quando trabalha em um prazo reduzido, o algoritmo deve ser capaz de escolher as corridas prioritárias; quando trabalha em um prazo grande, deve ser rápido o suficiente para considerar as melhores possibilidades.
- *A variação do tempo para o planejamento é “contínua”* – o tempo em que a produção é calculada deve ser “contínuo”, ou seja, possuir um pequeno intervalo entre cada coordenada temporal. O limitante desse parâmetro é a rapidez com que o chão de fábrica atualiza o andamento da produção. Isso permite que um produto seja planejado para ser entregue com um nível de detalhe grande, aproveitando ao máximo as possibilidades, mas também aumentando o trabalho do algoritmo de planejamento.
- *A produção da aciaria possui múltiplos estágios* – para uma corrida ser produzida, ela deve passar por vários equipamentos, desde o forno até o lingotamento. Já que cada ferramenta é considerada como uma etapa independente, o algoritmo deve considerar cada passagem como uma tarefa diferente a planejar, o que aumenta a complexidade do problema.



- *A produção da aciaria possui vários fluxos diferentes* – em uma aciaria é possível produzir corridas que utilizam diferentes fluxos, ou seja, diferentes equipamentos em cada passagem. Em comparação a processos que possuem apenas um fluxo possível, isso aumenta consideravelmente a complexidade dos cálculos. Essa propriedade permite que, de acordo com a demanda, diferentes equipamentos se tornem o gargalo da produção, ou que equipamentos sejam subutilizados.
- *A função objetivo considera múltiplos critérios* – para calcular uma boa sequência de corridas, o algoritmo de planejamento deve possuir uma função objetivo que considera não apenas o custo de produção, mas também o tempo de produção, o tempo de parada, o tempo de atraso, o desgaste dos equipamentos, o sequenciamento em lingotamentos contínuos, entre outros. A consideração de apenas um critério torna o planejamento não otimizado.

A modelagem matemática de processos similares ao da aciaria pode ser encontrada em outros trabalhos.<sup>(24-26)</sup> As características aqui citadas tornam a notação e a modelagem complexa e sua descrição formal está fora do escopo deste artigo.

### 3 MÉTODOS DE SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PLANEJAMENTO

Existem diversos métodos, ou grupos de algoritmos, para a solução de problemas de otimização, como o problema de planejamento. Nesta seção serão apresentados alguns dos mais importantes.

Os algoritmos são descritos como uma série de passos e decisões tomadas ao longo da solução de um problema, de maneira a entrar em um laço (que repete um conjunto de ações usando um contador) ou em uma chamada recursiva (que repete um conjunto de ações repetindo a si próprio) até terminar a solução. Para terminar a solução o algoritmo pode encontrar a solução ótima, encontrar uma solução boa segundo alguns critérios, ter passado um período de tempo estabelecido, ou o algoritmo simplesmente termina quando esgotar as soluções (o que levaria, em certos casos, muito tempo, como explicado na seção anterior).

A classificação desses algoritmos é feita de acordo com a estrutura do algoritmo e com a natureza das estratégias utilizadas. Também são classificados de acordo com o tipo de problema que tratam, é possível modelar problemas de planejamento como problemas de propagação de restrições ou de otimização global, por exemplo.

Os métodos apresentados nesta seção estão ordenados de acordo com a complexidade de utilização e implementação dos métodos, e são métodos utilizados no cotidiano em algumas empresas para realizar o planejamento e a programação da aciaria ou métodos estudados por universidades ou empresas para essa aplicação. Abaixo segue uma lista das classificações dos métodos de otimização e solução de problemas de planejamento, em cada item é feita uma breve descrição dos algoritmos, suas aplicações e limitações com relação a sua utilização no planejamento da aciaria.

- *Métodos Lineares, Simplex* – o algoritmo Simplex<sup>(27,28)</sup> é um algoritmo de otimização para a solução de problemas de programação linear. Esse é um dos métodos mais utilizados para a solução de problemas industriais pelo fato de ser simples e fácil de implementar, podendo ser usado inclusive em sistemas de planilhas eletrônicas. Muitas vezes é usado inclusive para o cálculo de sequências de corridas e de planejamento da produção de aciarias. Porém, para casos em que o processo produtivo é mais complexo ou que a modelagem deve ser mais precisa, esse método não é adaptado, pois



não promove suporte a modelagens complexas como problemas que não são de programação linear (ou seja, são de programação não-linear).

- *Métodos Construtivos ou Iterativos* – são chamados de métodos construtivos ou iterativos os algoritmos de programação não-linear.<sup>(29)</sup> Existem vários métodos dessa categoria que podem ser usados para a solução de problemas de otimização de planejamento. São exemplos: os métodos de Newton, do gradiente<sup>(30)</sup> e do ponto interior.<sup>(31)</sup> Esses métodos são muito especializados e rápidos em encontrar uma solução, mesmo que ela não seja a ótima. Apesar de conseguirem modelar uma produção de aciaria mais complexa quando comparados ao simplex, os tipos de problemas que conseguem resolver com resultados satisfatórios não abrangem os problemas de planejamento multi-critério como é o caso da aciaria.
- *Propagação de Restrições* – os métodos estruturados em árvores, cujo principal representante é o conjunto dos algoritmos de propagação de restrições,<sup>(32)</sup> são algoritmos exatos, como o Simplex. O tipo de problema que resolvem é o problema da satisfação de restrições, ao qual é necessário determinar um conjunto de variáveis que respeita as restrições do problema. Esses algoritmos são basicamente algoritmos de busca que usam certas heurísticas, como a propagação de restrições, para determinar uma solução que resolve o problema.<sup>(33)</sup> Para a sua implementação existem bibliotecas e linguagens interpretadas que facilitam esse processo. Esses métodos são os mais utilizados em sistemas de software industriais para problemas mais complexos que o Simplex não é adaptado, incluindo o problema de planejamento para alguns casos. As limitações desses métodos surgem quando o tamanho dos problemas aumenta, como a consideração de um grande número de restrições, fazendo com que o tempo para o cálculo de uma solução fique muito grande.
- *Metaheurísticas* – além dos algoritmos exatos e dos métodos iterativos, existem métodos que utilizam heurísticas (uma regra que melhora uma solução dada) para a determinação de uma solução ótima, ou de uma boa solução. Esses métodos são chamados de metaheurísticas.<sup>(34)</sup> Várias heurísticas existem, e algumas são utilizadas para resolver problemas de planejamento, como os algoritmos genéticos<sup>(35)</sup>, o arrefecimento simulado<sup>(36)</sup> e a busca tabu.<sup>(37)</sup> Esses métodos são eficientes mesmo quando os problemas são grandes, e por isso são bem adaptados aos casos industriais reais, por isso empresas e universidades tentam integrá-los em sistemas comerciais. Porém, por serem complexos durante a parametrização e serem extremamente especializados a um tipo restrito de problema, sua utilização ainda não encontrou um sucesso reconhecido.
- *Métodos Híbridos* – uma outra abordagem para o desenvolvimento de novas técnicas de otimização é a hibridização, que usa conceitos de outros grupos de métodos para formar novos. Um exemplo é o IOSO,<sup>(38)</sup> criado pela empresa Sigma Technology, um método de otimização que aproxima algoritmos genéticos com métodos de otimização local. Outro exemplo é o motor de propagação metabólica, MPM, apresentado pela empresa Incotec,<sup>(39)</sup> que mistura, por sua vez, algoritmos genéticos com propagação de restrições. O estudo de caso apresentado na seção seguinte mostra resultados da utilização desse último método.



Após os métodos e algoritmos para a solução do problema de planejamento apresentados, a seção abaixo descreve sua utilização no cotidiano das usinas e ferramentas computacionais que os utilizam.

#### 4 FERRAMENTAS PARA O PROBLEMA DE PLANEJAMENTO NA ACIARIA

Apesar de existirem diversos métodos de otimização bem estudados na academia, a realidade de utilização de planejamento automático na indústria não reflete diretamente esses avanços. Para que um método seja sistematicamente utilizado no trabalho diário de uma usina, é preciso haver uma ferramenta robusta e adaptável às necessidades específicas de cada empresa. Esta seção apresenta, portanto, formas de solução para o problema de planejamento da aciaria utilizadas em usinas siderúrgicas do Brasil e da Europa.

Seguindo a mesma estrutura das seções anteriores, abaixo segue uma lista com formas de utilização de ferramentas encontrados para a realização do planejamento e da programação da aciaria. O procedimento é descrito em linhas gerais, assim como os problemas e benefícios de cada abordagem. O estudo considerou o relato de empresas produtoras de aço e fabricantes de softwares de planejamento com relação à situação anterior e posterior a projetos de implantação desses sistemas.

- *Planilha Eletrônica* – no caso da ausência de ferramentas de software especializadas em planejamento, em geral, as usinas utilizam uma planilha eletrônica para realizar as tarefas de planejamento e programação da produção da aciaria. O planejamento pode ser feito de duas maneiras: 1) usando uma macro que realiza alguns cálculos, nesse caso o planejamento é feito na planilha; e/ou 2) em reuniões com especialistas que analisam a demanda e a capacidade e determinam como será o cronograma de produção, nesse caso o planejamento é anotado na planilha. Essa situação possui vantagens e desvantagens: como todas as decisões estão nas mãos dos especialistas, apenas eles têm o controle da produção, o que pode se tornar negativo em situações de impasses e consumindo o tempo que poderia ser gasto com outras atividades. Outra consideração pode ser feita com relação à qualidade da solução proposta, no caso em que nenhuma métrica é utilizada, se torna impossível verificar se outra solução seria mais econômica.
- *Software de Planejamento* – a utilização de um software de planejamento facilita esse procedimento de alguma forma. Existe uma grande variedade de softwares de planejamento, desde genéricas extensões de sistemas ERP a programas especialistas para a siderurgia, inclusive para a aciaria.<sup>(9-15)</sup> Esses softwares recebem as informações do sistema de demanda, geralmente o ERP, e calculam as corridas que devem ser produzidas. Os detalhes desse cálculo variam muito entre as ferramentas. Há ferramentas que calculam parte do cronograma e às vezes pedem intervenção do operador, outras sugerem escolhas para o operador, outras até calculam sozinhas e avisam (ou não) se é possível haver incompatibilidades com o chão de fábrica. Isso ocorre porque esses sistemas não consideram todas as restrições de produção, são sistemas de planejamento de alto nível, e não atentam aos detalhes do chão de fábrica. As principais vantagens da utilização desses sistemas é a integração com os sistemas de gerenciamento de demandas e a facilidade de operação. Porém, para um sistema complexo, como muitas vezes é o caso da aciaria, ganhos relevantes em eficiência podem ser atribuídos a operadores competentes.



- *Software de Programação Fina* – a programação da aciaria também pode ser realizada com a ajuda de um software, porém, essa prática é menos difundida. Um software de programação fina, assim como um bom software de planejamento, deve considerar todos os desafios para a solução do problema de planejamento da aciaria listados na seção 2. O procedimento de utilização de um sistema desse tipo é automatizado, o operador escolhe os parâmetros para a simulação e o sistema calcula automaticamente a solução desejada, enviando-a para o chão de fábrica. Caso a sequência de corridas calculada tenha incompatibilidades com o chão de fábrica, o operador será avisado, podendo modificar os parâmetros e realizar um novo cálculo. Esse cálculo difere dos feitos pelos sistemas de planejamento pelo fato de se aproveitar de cada possibilidade nos detalhes do processo de fabricação da aciaria para aumentar a eficiência de sua produção. Com a utilização de um sistema de programação fina e global, Incoplan, fornecido pela Incotec <sup>(39)</sup>, e um subsequente programa de redução de imprevistos, para aumentar a fidelidade do programado e do produzido, empresas chegam a reduzir em 10% o custo adicionado de seus produtos e a aumentar a capacidade da usina em 5% com relação ao uso de um software de planejamento, como é o caso da usina Ugitech, do grupo Schmolz + Bickenback.

O melhor cenário, portanto, é a utilização do maior número de sistemas de solução automática do problema de planejamento da aciaria, fato que reduz as intervenções humanas e aumenta consideravelmente a eficiência do processo de fabricação. A aciaria é, por causa das suas características, a unidade produtiva que mais pode se beneficiar de sistemas de planejamento e de programação fina.

## 5 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os principais desafios que o processo produtivo da aciaria apresenta com relação à solução automática do problema de planejamento, e em seguida, descreveu os métodos e ferramentas para essa solução. Os procedimentos utilizados hoje em dia pelas empresas para o planejamento e a programação da aciaria pode não utilizar a melhor tecnologia disponível, o que dá margem à obtenção de ganhos de eficiência e redução de custos.

Ao fim, os melhores resultados com relação aos procedimentos de planejamento e programação fina da produção da aciaria foram obtidos com a utilização de ferramentas de software específicas para cada um dos níveis de detalhe: planejamento e programação, como, a redução em 10% do custo adicionado dos produtos da aciaria obtido após a implantação do sistema de programação automática.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à usina Ugitech do grupo Schmolz + Bickenback pelo fornecimento dos dados para o projeto de implantação do software de programação Incoplan, da empresa Incotec.

## REFERÊNCIAS

- 1 L. Tang, J. Liu, A. Rong, A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production, European Journal of Operational, 2001.





- 2 C. Mencía, M. R. Sierra, R. Varela, Partially Informed Depth-First Search for the Job Shop Problem, Proceedings of the 2010 International Conference on Automated Planning and Scheduling, pp. 113-120, 2010.
- 3 E. A. Silver, D. F. Pyke, R. Peterson, Inventory management and production planning and scheduling, John Wiley & Sons, New York, EUA, 1st Ed. 1998.
- 4 P. Beghin, F. Hormiga, R. Perez, G. Alvarez, D. Nuñez, Otimização do fluxo de produção na Sidor com a AIS, Anais do 29º Seminário de Logística, PCP, Suprimentos e Transportes da ABM, 2010.
- 5 S. P. Sethi, W. Suo, M. I. Taksar, Optimal production planning in a multi-product stochastic manufacturing system with long-run average cost, Discrete Event Dynamic Systems, 1998.
- 6 S. Russell, P. Norvig, Artificial intelligence: a modern approach, Prentice Hall, Upper Saddle River, EUA, 3rd Ed. 2009.
- 7 ERP Software., Enterprise Resource Planning, ERP Vendors, ERP Systems, ERP Guide. Disponível em: <http://www.erp.com/>, acessado em janeiro de 2011.
- 8 TECHNOLOGY EVALUATION CENTERS. ERP for Steel Manufacturers: an Overview. Disponível em: <http://www.technologyevaluation.com/research/newsletters/erp-for-steel-manufacturers-an-overview-760-1/>, acessado em janeiro de 2011.
- 9 MANAGING AUTOMATION. Manufacturing Execution Systems (MES).. Disponível em: <http://www.managingautomation.com/error.aspx?url=%2fmanufacturing-execution-systems>, acessado em janeiro de 2011.
- 10 JOMAR SOFTCORP. Products – Manufacturing Execution System. Disponível em: <http://www.jomarsoftcorp.com/p-mes.html>, acessado em fevereiro de 2011.
- 11 BITPIPE.COM. Advanced Planning and Scheduling Software White Papers. Disponível em: <http://www.bitpipe.com/tlist/Advanced-Planning-and-Scheduling-Software.html>, acessado em janeiro de 2011.
- 12 BRONER METALS SOLUTIONS. Case Cosipa. Disponível em: [http://www.bronermetals.com/case\\_cosipa.php](http://www.bronermetals.com/case_cosipa.php), acessado em janeiro de 2011.
- 13 HYPERION. Products. Advanced Planning and Scheduling. Disponível em: <http://www.hyperion.com.cy/en/solutions/manufacturing-operations-management/advanced-planning-a-scheduling-solutions.html>, acessado em janeiro de 2011.
- 14 INCOTEC SOLUÇÕES EM TI. Soluções – Otimização de Cronogramas e Processos. Disponível em: <http://www.incotec-software.com/pt/Otimizacao-avancada/>, acessado em fevereiro de 2011.
- 15 QUINTIQ. Steel: Effective Planning and Scheduling for Complex Steel Production Processes. Disponível em: <http://www.quintiq.com/industries/metals/steel.aspx>, acessado em fevereiro de 2011.
- 16 F. A. Rodammer, K. P. White Jr., A recent survey of production scheduling, Systems, Man and Cybernetics, 2002.
- 17 J. Liu, L. Kuhn, J. de Kleer, R. Zhou: Pervasive Model Adaptation: The Integration of Planning and Information Gathering in Dynamic Production Systems, Proceedings of the 2009 International Conference on Automated Planning and Scheduling, 2009.
- 18 I. G. Rodríguez, C. R. Vela, J. Puente, A. Hernández-Arauzo: Improved Local Search for Job Shop Scheduling with uncertain Durations, Proceedings of the 2008 International Conference on Automated Planning and Scheduling, 2008.
- 19 O. Giménez, A. Jonsson: The Influence of k-Dependence on the Complexity of Planning, Proceedings of the 2009 International Conference on Automated Planning and Scheduling, 2009.
- 20 Z. Bien, J. Lee, A minimum-time trajectory planning method for two robots, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1992.
- 21 K. H. Kim, Y. Park, A crane scheduling method for port container terminals, Operational Research Applications, 2003.
- 22 P. Apkarian, R. J. Adams, Advanced gain-scheduling techniques for uncertain systems, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 1998.



- 23 M. Göbelbecker, T. Keller, P. Eyerich, M. Brenner, B. Nebel, Coming Up With Good Excuses: What to do When no Plan Can be Found, Proceedings of the 2009 International Conference on Automated Planning and Scheduling, pp. 81-88, 2009.
- 24 R. Uzsoy, C. Y. Lee, Uzsoy, R., Lee, C., A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry, Part-II: Shop-Floor control. IIE transactions, 26 (4), pp. 44-55, 1994.
- 25 A. R. Benaskeur, F. Kabanza, E. Beaudry, M. Beaudoin, A Probabilistic Planner for the Combat Power Management Problem, Proceedings of the 2008 International Conference on Automated Planning and Scheduling, pp. 12-19, 2008.
- 26 J. H. P. Medrano, E. H. Enari, J. Medrano, Adequação de conceitos de modelagem e sistemas a eventos discretos na análise do fluxo de materiais produtivos na indústria de equipamentos de GNV, Anais do 28º Seminário de Logística, PCP, Suprimentos e Transportes da ABM, 2009.
- 27 J. A. Nelder, R. Mead, A simplex method for function minimization, The Computer Journal, n. 7, vol. 4, pp. 308-313, 1965.
- 28 M. Chen, W. Wang, A linear programming model for integrated steel production and distribution planning, Journal of Operations & Production, 1997.
- 29 D. P. Bertsekas, Nonlinear Programming, Journal of the Operational Research Society, n. 3, vol. 48, 1997.
- 30 J. B. Rosen, The gradient projection method for nonlinear programming. Part I. Linear constraints, Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 1960.
- 31 R. A. Tapia, T. Tsuchiya, On the formulation and theory of the Newton interior-point method for nonlinear programming, Journal of Optimization, 1996.
- 32 J. Monette, Y. Deville, P. van Hentenryck, Just-In-Time Scheduling with Constraint Programming, Proceedings of the 2009 International Conference on Automated Planning and Scheduling, 2009.
- 33 V. Vidal, A lookahead strategy for heuristic search planning, International Conference on Automated Planning and Scheduling, 2004.
- 34 J. Bibai, P. Savéant, M. Schoenauer, V. Vidal, An Evolutionary Metaheuristic Based on State Decomposition for Domain-Independent Satisficing Planning. Proceedings of the 2010 International Conference on Automated Planning and Scheduling, 2010.
- 35 L. D. Davis, M. Mitchell, Handbook of genetic algorithms, Van Nostrand Reinhold, New York, EUA, 1991.
- 36 P. J. M. van Laarhoven, Simulated annealing: theory and applications, Mathematics and Its Applications, Kluwer Academic Press, Dordrecht, Holanda, 1987.
- 37 F. Glover, Tabu search, Part II, ORSA Journal on Computing, 1990.
- 38 I. N. Egorov, Indirect Optimization Method on the Basis of Self-Organization. Proceedings of International Conference on Optimisation Techniques and Applications, pp. 683-690, 1998.
- 39 **EMPRESA. Título da página.** Disponível em: [www.incotec-software.com](http://www.incotec-software.com), acessado em janeiro de 2011.