

SISTEMA DE OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DAS PANEAS DE AÇO DA ACIARIA DA V&M DO BRASIL¹

Gabriel Lenna²
Alexandre Pimentel²
Leonardo Muradas³
Diogo Passagli⁴
Geraldo Cruz⁵

Resumo

Na Aciaria da V&M do Brasil são produzidas diferentes qualidades de aço e esta diversificação gera grandes restrições quanto à utilização das panelas de aço para o atendimento da demanda de produção. Além dos limites operacionais das panelas quanto à vida, tempo com aço, necessidade de troca de dispositivos, entre outros, existem restrições causadas pela possibilidade de contaminação da panela em um ciclo onde é necessário produzir diferentes qualidades de aço entre as seqüências de lingotamento contínuo. Desta forma torna-se essencial um sistema capaz de planejar de forma adequada à seqüência de utilização das panelas atendendo a demanda de produção da aciaria e respeitando restrições operacionais. Evitar a utilização de panelas contaminadas por uma determinada qualidade de aço em uma corrida onde a composição química que se deseja atingir para o aço não pode apresentar elementos químicos presentes na panela contaminada é o grande desafio para o sistema de planejamento. Em um longo prazo o sistema de otimização de utilização das panelas define o grupo de panelas que deverá ser utilizado para as próximas seqüências de corridas com um horizonte de até uma semana. No curto prazo, no caso para a seqüência seguinte, define as atividades de preparação das panelas entre os intervalos de corrida buscando maximizar a condição térmica e agendar os tempos de manutenção e de troca de dispositivos. Para a solução do problema no longo prazo, o sistema utiliza técnicas heurísticas onde uma função de scoring é responsável pela definição da melhor solução e no curto prazo a definição das atividades de preparação é solucionada através do método simplex.

Palavras-chave: Otimização; Preparação de panelas de aço; Aciaria; Simplex; Heurísticas.

STEEL LADLE SELECTION OPTIMIZATION SYSTEM

Abstract

The steel ladle selection in a steel plant is directly related to the production demand. To increase the production quality and productivity the steel ladle availability must be very hi to prevent production delays during a sequence of heats and also to allow a good production rhythm. A good ladle thermal condition also is very important to prevent steel thermal losses during the ladle operation and to minimize the energy consumption on the ladle furnace. So a steel ladle selection optimization system can be a very good tool to plan the best ladle sequence respecting process and operational restrictions and guaranteeing the production demand.

Key words: Optimization; Steel plant; Steel ladles; Simplex.

¹ Trabalho técnico apresentado ao X Seminário de Automação de Processos, 4 a 6 de outubro de 2006, Belo Horizonte – MG.

² Engenheiro Controle e Automação, Engenheiro de Projetos da VAI-Ingdesi Automation (VIA).

³ Engenheiro Mecatronico, Engenheiro de Projetos da VAI Ingdesi Automation (VIA).

⁴ Engenheiro Metalurgista da V&M do Brasil

⁵ Supervisor Operacional da Área de Preparação de Panelas da Aciaria da V&M do Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o sistema de planejamento de produção da aciaria da V&M (Sistema DISPO) não leva em consideração restrições de produção relacionadas à disponibilidade e condições operacionais das panelas de aço. O setor de preparação de panelas é hoje o setor responsável pelo planejamento da utilização das panelas para o atendimento da demanda de produção. Devido a grande variedade de qualidades de aço a serem produzidos e o grande número de restrições operacionais das panelas nem sempre um ser humano é capaz de avaliar todas as situações e condições para a tomada das decisões que vão definir a seqüência de utilização das panelas de forma a otimizar o atendimento da produção.

Desta forma, um sistema de otimização capaz de auxiliar os operadores na tomada de decisões quanto à utilização das panelas é muito importante. A aciaria da V&M conta com um sistema de gestão de panelas capaz de fornecer informações em tempo real com relação ao estado térmico e operacional das panelas que é utilizado como alimentação do sistema de otimização. Com base nestas informações e alguns inputs do operador o sistema gera dinamicamente as restrições operacionais que compõe o cenário atual das panelas na aciaria e calcula resultados sugerindo ao operador e melhor seqüência de panelas a ser utilizada no longo prazo; em um prazo mais curto gera um cronograma de atividades para as panelas visando reduzir os tempos preparação e melhorar a condição térmica das mesmas.

2 METAS PARA O SISTEMA DE OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DAS PANELAS DE AÇO DA ACIARIA DA V&M DO BRASIL

- Atendimento da demanda de produção da Aciaria
- Melhoria da condição térmica das panelas
- Melhoria da disponibilidade de panelas para atendimento da demanda de produção.
- Aumento de produtividade da Aciaria
- Ganho operacional com relação à gestão de panelas na área de preparação.
- Aumento da vida útil das panelas.

3 ESTRATÉGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Para resolução do problema definimos uma estratégia que busca uma solução através de duas etapas; em um primeiro momento (longo prazo) o sistema busca inicialmente definir grupos de panelas para atender as seqüências de produção da máquina de lingotamento considerando um horizonte de até uma semana e garantindo o atendimento da demanda de produção. Esta é a etapa que chamamos de macro planejamento. Em um segundo momento, uma vez definido os grupos de panelas para atendimento de uma seqüência, uma segunda ferramenta é utilizada para organizar a seqüência de preparação e utilização das panelas considerando os tempos disponíveis para preparação, aquecedores de panelas disponíveis, manutenções planejadas entre outros, buscando maximizar a condição térmica das panelas e reduzir os tempos de preparação. Esta é a etapa que chamamos de micro planejamento.

3.1 Solução para o Problema no Largo Prazo (Macro Planejamento)

No largo prazo são consideradas duas Heurísticas (regras) para busca de uma solução de tempo computacional aceitável:

A primeira delas leva em consideração a vida e a disponibilidade das painelas no momento de execução da seqüência. De forma empírica foi verificado que quando existem painelas com a vida distribuída entre diferentes faixas, ou seja, se existirem painelas novas, painelas de vida média e painelas em fim de campanha disponíveis para a produção, esta condição é capaz de eliminar grande parte das restrições relacionadas à vida das painelas. Ex: Algumas qualidades de aço devem ser produzidas somente com a utilização de painelas consideradas novas.



Figura 1. Exemplo de distribuição de painelas entre faixas de vida (número de corridas realizadas na campanha).

A Figura 1 apresenta uma condição favorável a aciaria da V&M para o atendimento da demanda já que existem painelas disponíveis para produção localizadas em diferentes faixas de vida. Ex: (Painela 13 com 11 corridas, Painela 12 com 21 corridas, Painela 15 com 31 corridas, Painela 10 com 44 corridas, Painela 3 com 54 corridas...).

A segunda Heurística (regra) determina que tentar utilizar na próxima seqüência de corridas a maior parte das painelas que estão trabalhando na seqüência atual é uma solução que maximiza a condição térmica das painelas em operação (maior tempo em contato com o aço), reduz as perdas térmicas do aço para as painelas e desta forma aumenta a produtividade da aciaria.

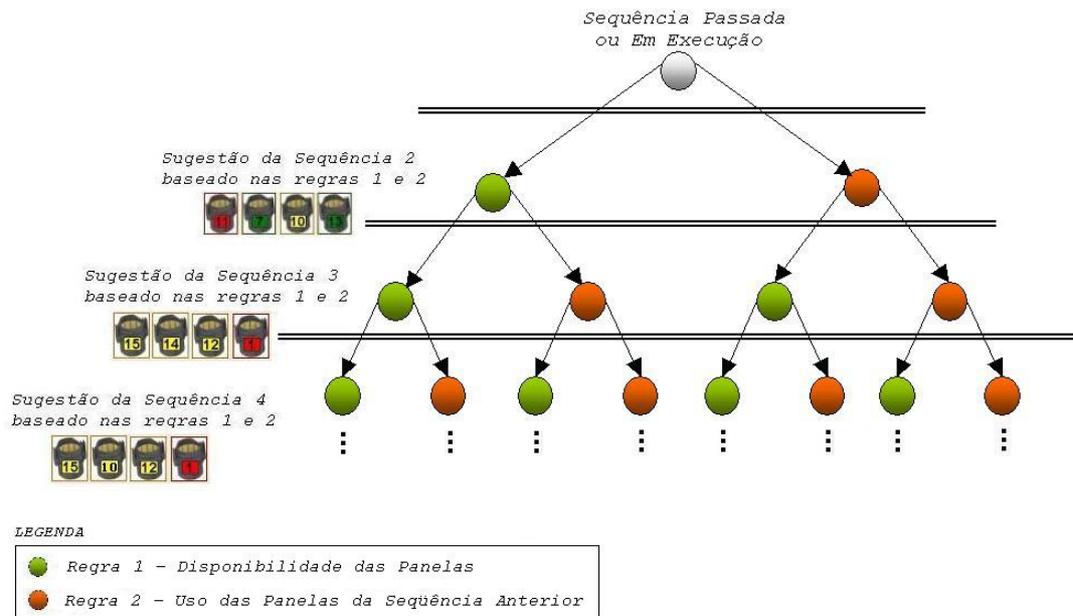


Figura 2. Diagrama de solução do problema no longo prazo

A Figura 2 representa um esquema simplificado da filosofia de resolução do problema no longo prazo; cada uma das linhas representadas é referente a uma seqüência de corridas que se deseja produzir. Em uma seqüência normalmente o número de corridas pode variar e o número de painelas utilizadas pode ser de 3 a 5 conforme o ritmo de produção da aciaria.

O algoritmo toma como ponto de partida as condições de produção atuais da aciaria considerando uma seqüência de corridas em execução.

Com base no instante inicial o algoritmo gera duas soluções uma com base na heurística de que é importante tentar manter a vida das painelas entre faixas bem distribuídas (heurística 1) e uma segunda solução buscando sempre utilizar painelas que foram aproveitadas na seqüência anterior a fim de garantir uma boa condição térmica para as painelas (heurística 2).

Para cada solução de seqüência gerada são geradas duas novas soluções tomando como base à solução definida na seqüência anterior e levando novamente em consideração as duas heurísticas já apresentadas. Além das heurísticas, entre o calculo da solução entre seqüências é também necessário que o sistema verifique restrições operacionais das painelas como manutenções planejadas, limite de corridas e problemas de contaminação da panela por qualidades distintas entre corridas.

Desta forma para cada seqüência a ser calculada sempre existe um número maior de soluções que cresce na ordem do número de seqüências ao quadrado. Este número crescente de soluções nos impõe um limite computacional para a solução do problema que neste caso esta limitado pelo número máximo de seqüências para a resolução do problema. Atualmente este número é igual a 15 o que equivale a aproximadamente uma semana de produção com um tempo máximo para resolução do problema de 2 minutos. É possível aumentar o horizonte de soluções, porém o tempo total para a resolução do problema será maior.

Uma vez montada a arvore de possíveis soluções para o problema, o algoritmo verifica qual dos ramos apresentou o maior somatório de pontuação de soluções (grupos de painelas geradas para solução de cada seqüência) através de uma função de scoring. A função de scoring leva em consideração a condição térmica e a disponibilidade das painelas para a execução das seqüências de corridas demandadas pela produção.

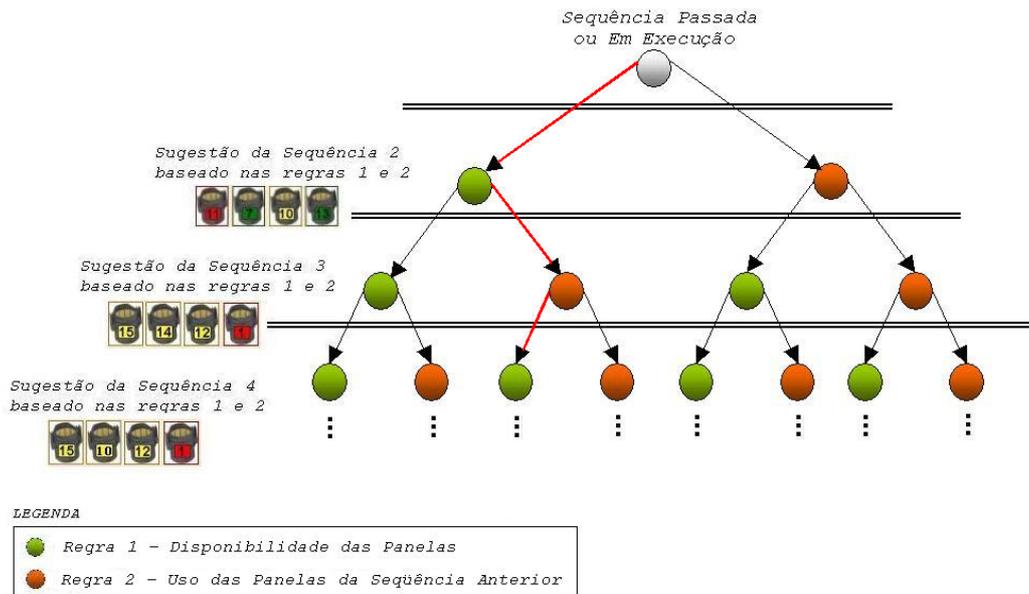


Figura 3. Solução encontrada para o longo prazo.

A Figura 3 apresenta através das setas em vermelho a solução para a seqüência de utilização de painelas no longo prazo encontrada com base na função de scoring. Uma vez encontrada uma solução, esta é apresentada ao operador para que ele possa utiliza-la como plano de produção ou para que possa fazer novas simulações alterando alguns parâmetros de resolução do problema.

CPA - Relatório Planejamento de Produção - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Home Search Favorites Refresh Print Mail Print Preview Help

Address C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\CPA_Relatorio_Planejamento_Producao.htm

Planejamento de produção gerado por: Geraldo Cruz em 02/05/2006 10:31:03

Data	Qualidade	Bitola	Ciclo	Nº de Corridas	Painelas(número de corridas)	Situação das painelas ao término da seqüência									
						01	02	03	04	11	12	13	14	15	16
02/05/06	AQAComum	194	4	13	01(4);03(3);15(3);16(3)	63	36	64	0	13	0	23	80	0	0
						ciclo	reserva ciclo VD	ciclo	aquec.	reserva ciclo VD	reserva	reserva ciclo VD	em manut.	ciclo	
03/05/06	AQAComum	230	4	28	01(7);03(7);04(7);16(7)	70	36	71	7	13	0	23	80	0	
						ciclo	reserva ciclo VD	ciclo	ciclo	reserva ciclo VD	aquec.	reserva ciclo VD	em manut.	ciclo	
04/05/06	AQAComum	230	4	25	03(7);04(6);12(6);16(6)	70	36	78	13	13	6	23	80	0	
						reserva ciclo	reserva ciclo VD	ciclo	ciclo	reserva ciclo VD	ciclo	reserva ciclo VD	em manut.	ciclo	
05/05/06	AQAComum	230	4	27	03(2);04(5);11(7);12(7);16(6)	70	36	80	18	20	13	23	0	0	
						reserva ciclo	reserva ciclo VD	ciclo	ciclo	ciclo	ciclo	reserva ciclo VD	reserva	ciclo	
06/05/06	AQAComum	230	4	27	01(7);02(7);12(7);16(6)	77	43	80	18	20	20	23	0	0	
						ciclo	ciclo	em manut.	reserva ciclo VD	reserva ciclo VD	ciclo	reserva ciclo VD	reserva	ciclo	

Imprimir

Figura 4. Exemplo de relatório gerado pelo sistema para resolução do problema no longo prazo (Macro Planejamento).

A Figura 4 apresenta um exemplo de resultado encontrado para o atendimento da demanda de produção da aciaria da V&M por um período de quatro dias. No lado esquerdo da tela é possível verificar os tipos de aço a serem produzidos com a data para produção, bitola, número de painelas a serem utilizadas no ciclo e o número de

corridas de cada seqüência a ser produzida. Através do campo “Painelas(número de corridas)” o operador tem o resultado sugerido pelo sistema com o grupo de painelas que deve ser utilizada em cada seqüência para garantir o atendimento da demanda de produção com uma previsão da vida da painela ao final de cada uma das seqüências de corridas solucionadas. O campo “Situação das painelas ao término da seqüência” dá ao operador uma previsão detalhada da situação de cada uma das painelas da aciaria durante a execução de cada uma das seqüências a serem produzidas.

3.2 Solução para o Problema no Curto Prazo (Micro Planejamento)

O Micro Planejamento é uma ferramenta do sistema que tem como objetivo auxiliar os operadores da área de preparação de painelas a planejar as atividades de manutenção e preparação das painelas para entrada no ciclo. Este planejamento deve ocorrer respeitando as restrições operacionais das painelas garantindo uma condição térmica mínima da painela para a sua entrada no ciclo. Ao mesmo tempo deve permitir que todas as manutenções e trocas de dispositivos sejam realizadas sem a ocorrência de atrasos para a produção da aciaria.

As restrições levadas em consideração para a resolução do problema são o número de aquecedores de painela disponíveis, o número de painelas que serão utilizadas no ciclo, a necessidade de troca de dispositivos como válvulas, plugs, etc... e os tempos disponíveis para a realização das atividades. Os tempos disponíveis são variáveis que dependem do sistema de planejamento da produção da aciaria que gera as seqüências de corridas e os tempos de cada um dos processos. O número de aquecedores disponíveis é muito importante para garantir uma condição térmica mínima para as painelas antes de sua entrada no ciclo. Normalmente a aciaria trabalha com quatro aquecedores, porém, o operador tem a opção de informar ao sistema que deseja trabalhar com um número menor de aquecedores caso seja conveniente para ele.



Figura 5. Espaço de soluções para resolução do problema no curto prazo.

A Figura 5 representa o espaço de soluções para resolução do problema de utilização das painelas no curto prazo. Existem diversos espaços de soluções capazes de solucionar o problema do ponto de vista de restrições distintas, porém somente o espaço marcado em vermelho é capaz de solucionar o problema atendendo a todas as restrições levantadas.

Para solucionar o problema o sistema deve gerar as restrições dinamicamente tomando como base o atual cenário da Aciaria da V&M do Brasil. O algoritmo

adotado para resolução utiliza o método simplex, porem, este é ainda um pouco mais complexo, pois é necessário buscar informações em tempo real para montar dinamicamente o conjunto de restrições que constituem o cenário atual da aciaria. A função objetivo baseia-se nos tempos de aquecimento e de resfriamento da panela nos intervalos entre corridas e entre seqüências. Vale lembrar que estes tempos são também determinados ou limitados pelas necessidades de troca de dispositivos entre corridas:

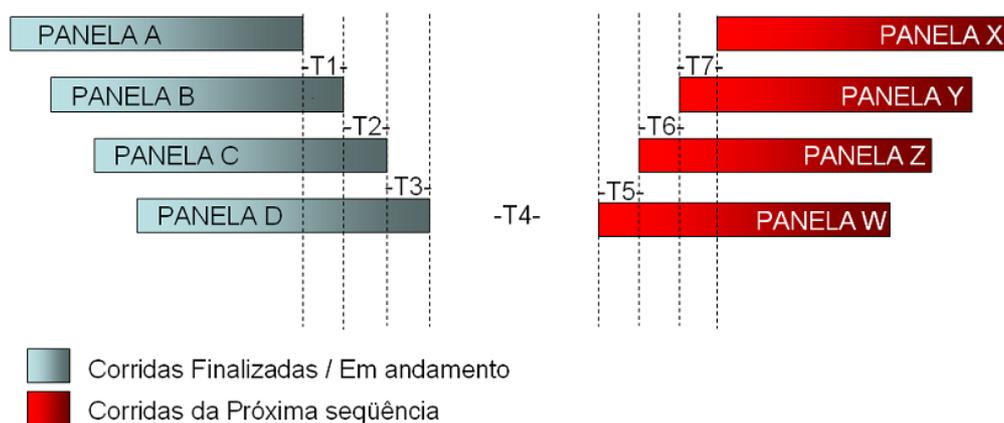


Figura 6. Seqüência de corridas em andamento e seqüência de corridas futura.

A Figura 6 representa uma seqüência de corridas em andamento e uma seqüência futura; para a seqüência futura o algoritmo deve determinar qual a melhor seqüência de utilização das panelas e nos intervalos de tempo, T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7 deve informar ao operador quais são as atividades a serem realizadas com as panelas de forma a manter uma boa condição térmica e ao mesmo tempo atender as restrições de tempo e de necessidade de troca de dispositivos. Entre cada um dos intervalos de tempo é verificados o número de aquecedores de panela disponíveis e a necessidade ou não de troca de dispositivos; desta forma as restrições vão sendo montadas dinamicamente. Se no intervalo de tempo T1 existe apenas um aquecedor de panelas disponível e é necessário aquecer apenas uma panela então para o intervalo T1 teríamos:

Tempo total de aquecimento disponível = T1 * número de aquecedores disponíveis

Tempo de aquecimento da Panela + Tempo de resfriamento da Panela <= T1.

Se no intervalo T2 existe um aquecedor de panela disponível e duas panelas A e B a serem preparadas:

Tempo total de aquecimento disponível = T2 * número de aquecedores disponíveis.

Tempo Aquec. Panela A + Tempo Aquec. Panela B <= Tempo total de aquecimento.

Desta forma as restrições relacionadas aos tempos de aquecimento disponíveis são montadas dinamicamente e os intervalos de tempo de espera da panela entre corridas podem apresentar valores mínimos devido à necessidade da realização de troca de dispositivos ou de manutenções previamente planejadas. A função objetivo trabalha com uma taxa de aquecimento que leva em consideração o tempo total de aquecimento das panelas nos aquecedores e uma taxa de resfriamento que leva em consideração o restante do tempo onde as panelas não estiveram em fase de aquecimento.

Função Objetivo = Max (Taxa Aquecimento * (∑ (Tempo de aquecimento das Panelas)) – Taxa de Resfriamento * (∑ (Tempo de manutenção das Panelas))

Para garantir uma condição térmica mínima o sistema leva em consideração restrições individuais de cada panela a fim de obter um índice de encharque mínimo. O índice de encharque é um índice utilizado na aciaria para avaliar a condição térmica de uma panela. Desta forma, ao iniciar uma corrida uma panela deve apresentar no mínimo um índice $\geq 60\%$.

$((\text{Tempo Total de Aquecimento Panela A} * \text{Taxa de aquecimento}) - ((\text{Tempo de manutenção Panela A} * \text{Taxa de resfriamento})) + \text{Índice de Encharque inicial} \geq 60)$.

Observando na figura 6 as corridas da próxima seqüência e sendo $P = \{10,14,12,13\}$ o conjunto de panelas sugeridas pelo sistema de macro planejamento para o atendimento da seqüência, existem $4!$ combinações possíveis de panelas a serem utilizadas como soluções para as panelas X, Y, Z e W; $\{10,14,12,13\}$, $\{10,14,13,12\}$, $\{14,10,12,13\}$ etc... Desta forma é necessário que o algoritmo faça a resolução do problema para cada uma das combinações possíveis e ao final de sua execução verifique qual das combinações apresentou o melhor resultado para a função objetivo.

4 RESULTADOS OBTIDOS COM A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Com a implantação do sistema foi possível atingir todas as metas almejadas no início do projeto:

- O planejamento da utilização das panelas na aciaria permite o atendimento da demanda de produção com um horizonte de até uma semana.
- Houve melhoria no planejamento de panelas otimizando sua disponibilidade para produção e melhorando sua condição térmica.
- Melhoria da gestão de panelas na área de preparação.
- O sistema permite a análise de diferentes cenários e estratégias de utilização das panelas para o atendimento da demanda de produção.
- Redução de sobretemperatura das corridas do forno panela para o lingotamento contínuo.
- Aumento da vida útil das Painelas devido ao maior controle sobre as etapas de resfriamento e aquecimento, minimizando desta forma o desgaste causado por choques térmicos aos quais as panelas de aço são submetidas durante o processo.

7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos até o momento permitem aos operadores da área de preparação de panelas um maior controle das atividades a serem realizadas durante a fase de preparação das panelas (Micro Planejamento) e garante o atendimento da demanda de produção no médio e longo prazo com um horizonte de até uma semana (Macro Planejamento). A busca do sistema por soluções que otimizam a condição térmica das panelas tem sido também muito importante, já que este fator reduz consideravelmente a perda de temperatura do aço para a panela, evitando desta forma a necessidade de se liberar corridas do forno panela para os equipamentos seguintes com acréscimos de temperatura com o objetivo de compensar as perdas térmicas causadas por uma panela em má condição térmica. Atualmente tem se observado uma queda na taxa de sobretemperatura nas corridas do forno panela para o lingotamento contínuo o que significa também uma considerável redução do consumo de energia elétrica do forno panela.

BIBLIOGRAFIA

- 1 FERREIRA, N. F.; *Controle da Temperatura do Aço Líquido em uma Aciaria Elétrica*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais – PPGEM, UFRGS. Porto Alegre, Abril de 2000. 127p
- 2 GOLDBARG, M. C. ,LUNA, H. P. L; *Otimização Combinatória e Programação Linear, Editora campus – 2005..*
- 3 WITTEN, I. H.; *Data Mining – Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations*. University of Waikato, New Zeland, 1999.
- 4 SAITO KAKU, C. M, *Sistemas Inteligentes em Controle e Automação de Processos*.