

CONTRÔLE DA ESPECIFICAÇÃO DE MANGANÊS EM AÇOS EFERVESCENTES, SEMI-ACALMADOS E ACALMADOS, NA ACIARIA SIEMENS-MARTIN DA COMPANHIA SIDÉRGICA NACIONAL ⁽¹⁾

MÁRIO LÚCIO HASEK ⁽²⁾
EDMUNDO GREES ⁽³⁾
DERSON DE ALMEIDA ⁽⁴⁾

SEBASTIÃO W. BALBI ⁽⁵⁾
CARLOS M. DE ALMEIDA FILHO ⁽⁶⁾
LUIZ CARLOS W. RIBEIRO ⁽⁷⁾

RESUMO

Os Autores, constituídos em Comissão pela Direção Industrial da Usina "Presidente Vargas", relatam os estudos e cálculos a que procederam para efetuarem o contrôle da especificação de manganês nas corridas de aço fabricado pela aciaria Siemens-Martin; apresentam os primeiros resultados obtidos.

1. INTRODUÇÃO

Devido às solicitações do mercado, cada vez mais exigente quanto ao aço carbono com teores de manganês dentro de limites mais estreitos, obrigando a adoção de inúmeras faixas para atendimento de usos específicos, visou-se, neste estudo, criar condições tais que possibilitassem a obtenção das faixas desejadas. Para se obter e controlar a especificação do manganês, fez-se mister elaborar-se um estudo que permitisse um melhor ajuste nas especificações e padronização dos meios de fabricação, pois o processo estava assentado em bases totalmente empíricas e julgamentos pessoais.

-
- (1) Contribuição Técnica n.º 485. Apresentada ao XVII Congresso Anual da ABM; Rio de Janeiro, julho de 1962.
 - (2) Membro da ABM e Engenheiro Chefe da Aciaria da Usina de Volta Redonda da CSN; Volta Redonda, RJ.
 - (3) Membro da ABM e Químico do Departamento de Processos; Volta Redonda, RJ.
 - (4) Membro da ABM e Químico da Linha de Engenharia Industrial; Volta Redonda, RJ.
 - (5) Membro da ABM e Engenheiro Sub-Chefe do Departamento de Aciaria; Volta Redonda, RJ.
 - (6) Membro da ABM e Engenheiro do Departamento de Processos; Volta Redonda, RJ.
 - (7) Membro da ABM e Engenheiro Chefe da Divisão de Combustão da Aciaria; Volta Redonda, RJ.

Assim sendo, procurou-se atingir os seguintes pontos: atendimento das faixas mais estreitas de variação do Mn; ajustagem das adições na panela; melhor distribuição dos constituintes nos lingotes; melhor qualidade do produto acabado; simplificação dos métodos operacionais; tornar possível novos estudos a partir de um produto em boas condições; criar possibilidades econômicas superiores para o produto; possibilitar a programação de acordo com as necessidades do mercado e facilitar, através do controle sistemático, a habilitação do pessoal.

2. CONTRÔLE DE ESPECIFICAÇÃO NA PANELA

Prática de controle — Nos aços comuns ao carbono, base integral da produção da Companhia Siderúrgica Nacional, o controle de especificação se torna mais fácil de conseguir; entretanto, a uniformidade do processo de fabricação é o que se procura obter com este trabalho.

Alcançadas as condições ideais de temperaturas, de agitação do banho metálico, de viscosidade e basicidade da escória e dos teores adequados de alguns elementos, de acordo com os processos utilizados, chega-se ao momento propício para o vazamento.

Nesta ocasião, os elementos, com exceção do fósforo e enxofre, se encontram fora de suas especificações. Os demais necessitarão sofrer uma correção, forte por vezes, como no caso do manganês e silício e, outras vezes fraca, como no caso do carbono. Esta correção efetuada na panela durante o vazamento, se faz por meio de adições de ferro-ligas e moinha de coque. Além da função de trazer os elementos à sua real especificação, as adições na panela apresentam ação desoxidante em maior ou menor escala.

Adições na panela — Na tentativa inicial de se conseguir uma distribuição homogênea dos constituintes em todo o banho, criou-se uma seqüência de adições, que compreende moinha de coque em sacos, alumínio em rosetas, ferro-silício (sacos e silo), ferro manganês (sacos e silo) cal em sacos.

O alumínio, adicionado através de uma tabela baseada em elementos residuais, visa manter as mesmas condições de desoxidação para tôdas as corridas. O efeito sobre o tamanho de grão desta adição é bem reduzido.

A adição de FeMn em saco visa complementar a adição do silo, possibilitando melhor precisão na quantidade a ser adicionada uma vez que se utilizam sacos de 25 quilos, rigorosamente

pesados. Funcionalmente, esta adição conduz quase que unicamente ao controle de especificação, ficando o efeito desoxidante do FeMn relegado a um segundo plano, pois o referido efeito é de pequena intensidade quando comparado aos elementos como Si, Al, Ti, Zr, etc.

A adição da cal é feita durante a queda da escória na panela; com a referida adição procura-se esfriar a escória o mais possível, a fim de evitar reações escória-banho metálico, bem como a atividade da escória sobre o tampão de vedamento da válvula e o revestimento da panela.

Cumprir notar que as adições de FeSi só se verificam nos aços semi-acalmados e acalmados, enquanto que a cal só é utilizada nos aços efervescentes que, por vazarem em temperaturas mais elevadas, estão sujeitos ao fenômeno já descrito.

Anteriormente a este estudo, o processo das adições, de um modo geral, era baseado em experiência adquirida pelo pessoal responsável, ou então, através de formulações empíricas, onde entravam em jogo a percentagem residual do elemento liga, o tamanho da corrida, o teor do elemento liga no ferro-liga, a recuperação deste elemento e a análise final a ser obtida. Estes métodos, de antemão, apresentam suas falhas, quando se atenta para o fato de que, além dessas variáveis aventadas, existem ainda inúmeras outras de real importância, que não foram ponderadas; acresce também a dificuldade de medição de muitas dessas variáveis, pelo menos do ponto de vista prático da operação. O método atual, aqui apresentado, tenta eliminar, o mais possível, as falhas decorrentes da interpretação pessoal dos mestres-fundidores.

A adição na panela ainda é motivo de estudos; mas desde já podemos afirmar que desta forma se consegue a melhor recuperação do elemento liga, uma vez que as reações com escória são diminutas. No caso específico da adição de FeMn produzem-se inclusões, dependendo da quebra do limite do diagrama MnO. As adições dos ferro-ligas FeMn e FeSi devem estar terminadas antes de aparecer a escória de vazamento, pois, o contacto com a mesma ocasiona uma oxidação, fazendo cair o teor dos elementos Mn e Si no banho.

O método e seqüência das adições na panela já atingiu um estágio razoável de aperfeiçoamento, entretanto, ainda não se pode afirmar que se tenha atingido uma padronização ideal.

Fatores que influenciam o processo — A maior dificuldade encontrada na determinação de melhor eficiência no processo é, sem dúvida, a falta de consistência das principais variáveis, algumas delas mensuráveis e outras sem tal possibilidade.

Sob o ponto de vista das adições, podem-se classificar os fatores de influência em anteriores e posteriores. Como anteriores às adições de controle de especificação podem-se citar entre outros, os seguintes:

- a) As condições gerais do banho, de caráter aparente e sem uma definida expressão de medida, podendo apenas oferecer indicação de qualidade.
- b) As condições gerais de escória, mais importantes do ponto de vista prático que o fator anterior, além de favorecer boa indicação, através da viscosidade, e da basicidade, indica, pelo FeO da mesma, o índice de oxidação do banho. O mesmo FeO orienta nas adições de alumínio e mantém estreita relação com os elementos residuais do aço.
- c) A oxidação do banho metálico, indiretamente medida pelo FeO da escória, possibilita efetuar as adições dos agentes desoxidantes necessários na obtenção dos Aços semi-acalmados e acalmados.
- d) A percentagem residual dos elementos componentes do aço ao carbono constitui o mais efetivo fator na obtenção da especificação. Chama-se de residual ao teor dos principais elementos na última análise realizada no refino do banho. O carbono e o manganês, principalmente, são os mais visados, uma vez que, processualmente, o número de pontos de carbono a ser obtido por recarburagem não deve exceder a certos limites e o teor de manganês a ser alcançado é elevado em relação ao residual encontrado.
- e) A temperatura de vazamento que é um fator que confere ao aço às condições necessárias à ação e ao rendimento das adições.
- f) Os tempos de operação, que possuindo variações naturais, também representam uma parcela importante e perfeitamente mensurável para o controle.
- g) O bloqueio efetuado nos aços acalmados e semi-acalmados que visa interromper a queda do carbono do banho durante determinado período, no fim do qual deve ser feito o vazamento, evitando a recarburagem na panela, influencia ainda o controle, uma vez que atinge diretamente os elementos residuais.

Posteriormente às adições efetuadas na panela, surgem também fatores importantes que afetam a estrutura geral do problema; entretanto, se se atentar para o fato de que estes fatores podem ser resumidos ao mínimo pela correção e padronização dos fatores anteriores, deixa-se de considerar cada variável de per-si e passa-se a estudar o comportamento em conjunto das mesmas. Para melhor esclarecimento enumeram-se alguns dos principais:

- a) O vazamento do aço do forno para a panela, com jato descentrado, provoca um turbilhonamento que possibilita a homogenização das adições, bem como auxilia o efeito de desoxidação das mesmas, não permitindo concentrações locais, o que acarretaria irregularidade na distribuição dos elementos nos lingotes.
- b) A granulação do material das adições que igualmente interfere na combinação das mesmas com o banho, pois, se muito grande, prejudica a dissolução e, se muito fina, facilita a oxidação.
- c) A composição química das adições que exerce influência decisiva, tanto na composição química do banho como na qualidade do produto acabado.
- d) O rendimento da adição, que depende da dupla ação dos ferros-ligas como controladores da especificação e desoxidação é que cria o problema da distribuição percentual do total adicionado, para suprir as duas ações em conjunto; em outras palavras, qual a recuperação do ferro-liga como especificador e como desoxidante isoladamente e no conjunto.
- e) O momento em que a adição é efetuada na panela, que importa, precisamente, na distribuição dos constituintes através dos lingotes moldados, pois, a desordenação das adições ocasionaria o acúmulo dos elementos liga em determinados lingotes e propiciaria a formação de reações.
- f) As reações que se desenvolvem na panela, por efeitos vários e que podem acarretar descontrôles, dificilmente ajustáveis no banho metálico. A temperatura, as mudanças na composição do banho por efeito das adições, a quantidade e as condições da escória vazada na panela e o aumento variável de compostos provocados pelos agentes desoxidantes e pelos efeitos erosivos nos refratários da panela criam um clima susceptível ao desequilíbrio químico, que se caracteriza através das reações. Tal fenômeno é rápido e o desequilíbrio cessa, eliminados os efeitos determinadores do mesmo.

Levar, portanto, para a especificação correta o banho metálico, se entende por controlar a ação de todos os fatores em jôgo nos processos comuns de obtenção de um aço de boa qualidade.

3. CONTRÔLE DA ESPECIFICAÇÃO DE MANGANÊS NA PANELA

Como dificilmente se poderia reunir em um único estudo as variáveis que afetam os aços efervescentes, acalmados e semi-acalmados, resolveu-se situar o problema isoladamente para cada um dos tipos de aço supra mencionados.

A Companhia Siderúrgica Nacional, nos anos de 1960 e 1961 produziu cêrca de 68% de aços efervescentes, 25% de semi-acalmados e 7% de aços acalmados, num total de 10.500 corridas; entretanto, a predominância percentual dos desvios deu-se no sentido inverso ao da produção, justamente, devido ao não atendimento de faixas mais restritas, de programação, pedidas para os aços acalmados e semi-acalmados.

A preocupação constante que se tem em mente é a de reduzir ao máximo a incidência dos desvios, e para tal, resolveu-se criar condições satisfatórias e práticas para o contrôle da especificação dos elementos que compõem os aços comuns ao carbono.

Como o teor do elemento manganês se mostrava sujeito a maiores variações, mereceu a prioridade no contrôle com adições padronizadas na panela.

4. CONTRÔLE DA ESPECIFICAÇÃO DE MANGANÊS NA PANELA EM AÇOS SEMI-ACALMADOS

As faixas de manganês para aços semi-acalmados de qualidade especial são as mais estreitas e as que causam maiores dificuldades no cumprimento da especificação. Para justificar tal afirmação, foram levantadas, num período semestral, tôdas as corridas vazadas na faixa 0,45/0,55 de manganês. Tal levantamento apresentou um desvio acentuado, com 32% das corridas fora da faixa especificada, como demonstra a figura 1.

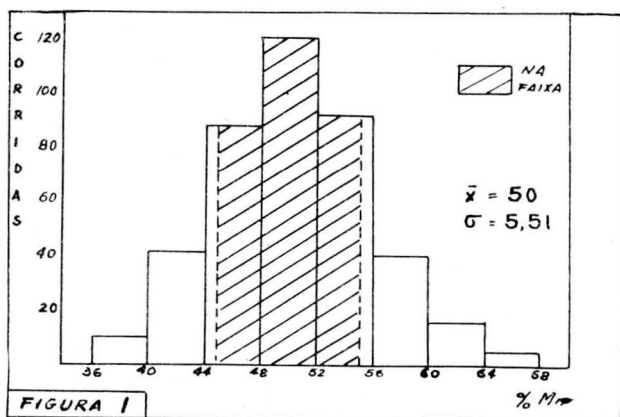


Fig. 1 — Distribuição de freqüência de manganês em aços acalmados. Faixa de 45/55.

Existe mais de uma variável sôbre a qual, naturalmente, se poderia aplicar o contrôle para se atender uma dada faixa, en-

tretanto, procurou-se sintetizar, ao máximo, através do estudo da participação de cada variável, submetendo, posteriormente, o conjunto a ligeiras correções. Prevendo o lado prático operacional, foi escolhida, como principal variável de controle, a quantidade em quilogramas ou sacos de FeMn, a ser adicionada na panela, sendo as demais variáveis obtidas a partir do processamento metalúrgico. Desta forma, optamos pelas seguintes:

- a) Tempo gasto entre a adição de bloqueio e o vazamento. Como se havia salientado, o bloqueio, com FeMn, tem por função de reter a queda de carbono, mas tal efeito cessa a partir do momento em que se vence determinado tempo até vazar a corrida; então, as condições do banho voltam a ser as anteriores, apenas com a temperatura afetada e com o residual do elemento-liga elevado. Portanto, deve-se estabelecer uma limitação para este fator. Este tempo apresenta relação interna forte com as quantidades de FeMn e de recarburante a serem adicionados na panela.

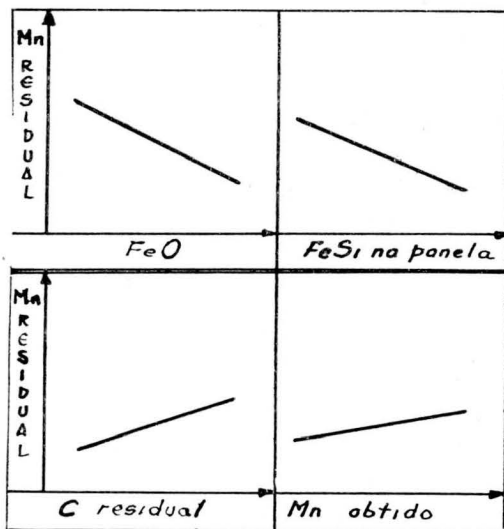


Fig. 2 — Relação esquemática do manganês residual; aços semi-acalmados.

- b) *Manganês residual* — Este elemento mantém estreita relação com os principais fatores processuais, como bem atestam as representações esquemáticas da figura 2, onde se retratam funções metalúrgicas bem determinadas. A função do manganês residual é perfeitamente explicável, pois, o mesmo constitui uma das parcelas da soma que dá o manganês especificado. Devido às condições regulares em que se dá a oxidação do banho metálico, du-

rante o refino, consegue-se uma consistência satisfatória para o manganês residual.

- c) *Teor de FeO da escória* — Já se havia comentado o sentido da determinação do teor de FeO da escória, como sendo o principal elemento identificador da percentagem de oxidação do banho; por outro lado, auxilia na tabulação das adições de alumínio e ferro silício, o que possibilita dar condições análogas a tôdas as corridas.
- d) *Quantidade de FeSi adicionada na panela* — Possuindo maiores possibilidades desoxidantes, em relação ao FeMn, facilita a ação dêste último como integralizador da especificação.
- e) *Carbono da última preliminar* — De valor estacionário, devido ao bloqueio, a variável carbono, da mesma forma que o manganês residual, mantém estreita relação com os demais fatores processuais.
- f) *Última temperatura* — A temperatura do banho, medida com pirômetros de imersão próximo ao vazamento da corrida, fornece uma das várias condições do banho, possíveis de medição. Devido às faixas de temperatura de vazamento existentes, a citada variável possui pequeno campo de variação.
- g) *Quantidade de coque adicionado* — A utilização do recarburante é facultativa, uma vez que se tenha observado os tempos exigidos para perfeita eficiência do bloqueio; ultrapassados os limites de tempo ter-se-á, forçosamente, de utilizá-lo.
- h) *Quantidade de FeMn adicionada na panela* — Embora possuindo duas funções características, o FeMn é utilizado, principalmente para ajustar a percentagem do elemento liga e não para a desoxidação do banho. A

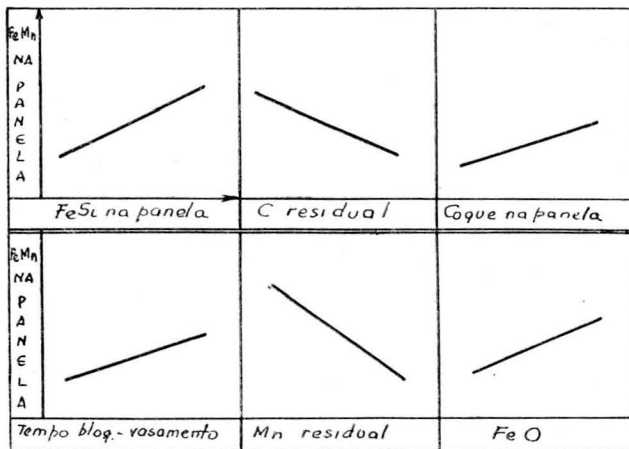


Fig. 3 — Relações esquemáticas do FeMn adicionado na panela; aços semi-acalmados.

quantidade de ferro-liga adicionável à panela depende de todos os fatores acima descritos e, mais ainda, da percentagem do elemento liga no ferro-liga e o poder de recuperação do dito elemento. A dependência desta variável está sumariamente esquematizada na figura 3.

- i) *Tamanho da corrida* — Variável ligada diretamente à quantidade de FeMn a ser adicionada e que se situou entre 190 e 210 t. Tal faixa restringiu o campo de variação da citada variável.

A variável dependente, apoiada pelas variáveis anteriores, é a percentagem especificada de manganês nos poços.

Ao iniciar o estudo, o primeiro cuidado recaiu sobre a obtenção de dados fidedignos, o que levou a se fazer pesagens de FeMn em sacos de 25 kg, anotações rigorosas dos tempos de acompanhamento da fase final de 56 corridas. Efetuada a análise estatística, por intermédio da correlação múltipla das variáveis, foi levantada a equação geral de regressão e determinada a importância relativa de cada variável isoladamente.

Como a maioria dos processos práticos são regulados por quatro ou cinco variáveis mais importantes, teve-se o cuidado de selecionar, metalúrgica e estatisticamente, as melhores e fazer nova análise das mesmas. A seleção implicou na eliminação da quantidade de FeSi a ser adicionada na panela devido à constância dessa adição; a última temperatura medida devido à restrição do campo de variação; a quantidade de coque na panela, devido ao seu caráter facultativo e o FeO da última preliminar, que apesar de ser o indicador de oxidação do banho, tem a sua ação neutralizada pela adição de alumínio na panela, tabulado a partir desta variável, e pela sua restrição processual.

Obteve-se uma equação de regressão, onde a distribuição dos resíduos garante, aproximadamente, 93% das corridas dentro das especificações solicitadas, contra 68%, anteriormente, obtida. Da mesma regressão foi calculada a quantidade de FeMn a ser adicionada na panela e confeccionada a tabela de dupla entrada que se encontra esquematizada na figura 4.

Em caráter experimental a tabela foi colocada em uso, sendo testadas 214 corridas com perfeito sucesso, pois, 75,7% das mesmas se situaram dentro de uma faixa de ± 5 pontos de valor médio pedido na especificação. O gráfico 5 mostra a distribuição obtida para as corridas experimentais, entre o manganês obtido, na operação, e o manganês calculado pela regressão.

Colocada em regime de rotina, a tabela foi controlada ainda através de 135 corridas normais, sendo que apenas 11 deixaram de cumprir integralmente a especificação pedida. A percentagem de 91,9 de corridas, dentro da especificação, atesta a eficiência da tabulação empregada.

C	Mn																													
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
10	30	30	29	28	27	26	25	25	24	23	22	21	20	20	19	18	17	16	16	15	14	13	12	11						
11	30	29	28	28	27	26	25	24	23	23	22	21	20	19	18	18	17	16	15	14	14	13	12	11						
12	30	29	28	27	26	26	25	24	23	22	21	21	20	19	18	17	16	16	15	14	13	12	12	11						
13	29	28	28	27	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	16	15	14	14	13	12	11	10						
14	29	28	27	26	26	25	24	23	22	22	21	20	19	18	17	17	16	15	14	13	12	12	11	10						
15	29	28	27	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	17	15	15	14	13	12	11	10	10						
16	28	27	27	26	25	24	23	22	22	21	20	19	18	17	17	16	15	14	13	13	12	11	10	9						
17	28	27	26	25	25	24	23	22	21	20	20	19	18	17	16	15	15	14	13	12	11	11	10	9						
18	27	27	26	25	24	23	23	22	21	20	19	18	18	17	16	15	14	13	13	12	11	10	9	8						
19	27	26	25	25	24	23	22	21	21	20	19	19	17	16	16	15	14	13	12	11	11	10	9	8						
20	27	26	25	24	23	23	22	21	20	19	19	18	17	16	15	14	14	13	12	11	10	9	9	8						
21	26	26	25	24	23	22	21	21	20	19	18	17	16	16	15	14	13	12	12	11	10	9	8	7						
22	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	16	15	14	14	13	12	11	10	10	9	8	7						
23	26	25	24	23	22	22	21	20	19	18	17	17	16	15	14	13	12	12	11	10	9	8	7	7						
24	25	24	24	23	22	21	20	20	19	18	17	16	15	15	14	13	12	11	10	10	9	8	7	6						
25	25	24	23	22	22	21	20	19	18	18	17	16	15	14	13	13	12	11	10	9	8	8	7	6						
26	25	24	23	22	21	20	20	19	18	17	16	15	15	14	13	12	11	11	10	9	8	7	6	6						
27	24	23	23	22	21	20	19	18	18	17	16	15	14	13	13	12	11	10	9	9	8	7	6	5						
28	24	23	22	21	21	20	19	18	17	16	15	14	14	13	12	11	11	10	9	8	7	7	6	5						
29	23	23	22	21	20	19	19	18	17	16	15	14	14	13	12	11	10	9	9	8	7	6	5	4						
30	23	22	21	21	20	19	18	17	17	16	15	14	13	12	12	11	10	9	8	7	7	6	5	4						
31	23	22	21	20	19	19	18	17	16	15	14	14	13	12	11	10	10	9	8	7	6	5	5	4						
32	22	22	21	20	19	18	17	17	16	15	14	13	12	12	11	10	9	8	8	7	6	5	4	3						
33	22	21	20	20	19	18	17	16	15	15	14	13	12	11	10	10	9	8	7	6	6	5	4	3						
34	22	21	20	19	18	18	17	16	15	14	13	13	12	11	10	9	8	8	7	6	5	4	3	3						
35	21	20	20	19	18	17	16	16	15	14	13	12	11	11	10	9	8	7	6	6	5	4	3	2						

Fig. 4 — Sacos de FeMn a serem adicionados na panela para aços semi-acalmados; faixa 45/55.

A especificação para aços semi-acalmados não pede apenas a faixa de 45/55 de manganês, mas também as faixas 30/60, 50/60 e 55/65. Devido aos bons resultados obtidos, resolveu-se estender o estudo para as demais faixas, utilizando roteiro semelhante ao anterior, e para isso, efetuou-se levantamento das variáveis em 142 corridas.

A equação de regressão obtida possibilitou a confecção de nova tabela, onde generalizou a adição de FeMn na panela para todo e qualquer tipo de aço semi-acalmado.

A tabela esquematizada na figura 6 apresenta as correções a partir da faixa 30/60, para as demais faixas.

A nova tabela foi testada experimentalmente em 95 corridas, apresentando um índice de 91,5% dentro da especificação pedida e 82% dentro de uma faixa restrita de ± 5 pontos de manganês.

A tabela corrigida e esquematizada na figura 6, veio ratificar a excelência da tabulação, uma vez que se baixou, de 32% para 9%, o total de desvios para os aços semi-acalmados de qualidade especial.

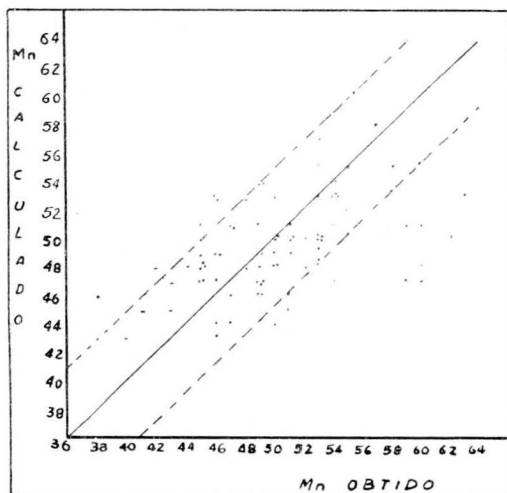


Fig. 5 — Relação entre manganês obtido e manganês calculado; aços semi-acalmados; faixa 45/55.

5. CONTRÔLE DA ESPECIFICAÇÃO DE MANGANÊS EM AÇOS EFERVESCENTES

Tendo em vista os bons resultados obtidos com a tabela experimental, para os aços semi-acalmados, foi decidido estender o estudo para os aços efervescentes. Para tal estudo, foram aventados os fatores que, de certo modo, influenciavam a obtenção de determinado teor final de manganês nos aços efervescentes, como sejam, o tempo entre a última preliminar e o vazamento, teor de manganês, carbono e o FeO na última preliminar considerada, última temperatura, quantidade de FeMn e coque adicionados na panela, tempo de vazamento, tempo de lingotamento, número de corridas na panela, tonelagem total vazada e a tonelagem de cascão formada.

Baseou-se o controle também na quantidade de FeMn a ser adicionada e para os demais fatores houve a preocupação inicial em qualificá-los através de suas distribuições de frequência e desvios padrões. Para o controle de especificação de aços efer-

vescentes evitou-se a restrição a apenas uma faixa, procurando abranger tôdas as faixas existentes entre 25 e 60 pontos de manganês e dentro de um desvio padrão de 6,6 pontos.

C	Mn																													
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
5	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3				
6	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3				
7	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3				
8	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2				
9	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2				
10	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2				
11	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2				
12	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2				
13	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2				
14	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1				
15	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1				
16	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1				
17	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1				
18	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1				
19	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
20	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
21	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
22	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
23	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
24	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0				
26	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0				
27	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0				
28	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0				
29	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0				
30	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0				

ADIÇÕES PARA TEMPO DE BLOQUEIO DIFERENTE DE 10 MINUTOS								ADIÇÕES PARA 45 QUATRO	
BLOQUEIO	SACOS	BLOQUEIO	SACOS	BLOQUEIO	SACOS	BLOQUEIO	SACOS	FAIXAS ESPECIFICADAS	
								FAIXAS	SACOS A COLOCAR
1	-5	6	-2	11	+1	16	+4		
2	-5	7	-2	12	+1	17	+4	30/60	TABELA
3	-4	8	-1	13	+2	18	+5	45/55	TAB + 6 SACOS
4	-4	9	-1	14	+3	19	+6	50/60	TAB + 13 SACOS
5	-3	10	0	15	+3	20	+6	55/65	TAB + 20 SACOS

Fig. 6 — Sacos de FeMn a serem adicionados na panela para aços semi-acalmados; faixas 30/60, 45/55, 50/60 e 55/65.

Após a determinação da importância de cada variável, foram coletados dados de 272 corridas, com faixas de manganês variáveis, perfeitamente normais e sem maiores irregularidades processuais. Para análise estatística através de correlação múltipla contou-se, portanto, com as seguintes variáveis principais:

- a) *Tempo entre a última preliminar e o vazamento* — Fator necessário, uma vez que, devido ao acêrto das condições do banho, êsse tempo aparece influido na queda dos teores dos residuais, bem como, na variação da temperatura.
- b) *Teor dos elementos residuais, carbono e manganês* — Não convém repisar a importância destas variáveis uma vez que são os elementos principais do contrôle.
- c) *Teor de FeO na última preliminar* — Além de registrar o índice de oxidação do banho, fornece as condições ideais de efervescência da corrida. Processualmente, o valor mínimo de FeO é prefixado, ficando, portanto, a variável bloqueada por um dos lados no seu campo de variação. A ação do FeO será de importância capital, desde que não se utilize alumínio, entretanto, no caso em aprêço, existe uma tabela de adição de alumínio baseada no teor de FeO da última preliminar que fornece condições semelhantes de desoxidação em tôdas as corridas.
- d) *Última temperatura antes do vazamento* — Esquemáticamente a variável temperatura tem seus limites estabelecidos, entretanto, a variabilidade do tempo entre a tomada desta temperatura e o vazamento, altera a medida.
- e) *Quantidade de FeMn a adicionar na panela* — Variável chave no processo, pois através da adição dêste ferro-liga controla-se o manganês final da corrida.

A eliminação de determinadas variáveis efetuadas sob o ponto estatístico não tirou a importância metalúrgica das mesmas, fato êste que se pode comprovar, pois, apesar de eliminados os fatôres FeO e manganês residual, verificou-se que os mesmos apresentavam fortes correlações internas com o carbono residual e com a qualidade de FeMn a ser adicionada, como mostra a figura 7.

Desta forma está o carbono residual representando indiretamente a participação das variáveis eliminadas.

Feita nova análise estatística, obteve-se com a equação de regressão, uma distribuição de resíduos, onde se verifica que apenas 74% das corridas estudadas se mantiveram dentro da faixa restrita de mais ou menos 5 pontos de manganês. Para melhor ajustar a equação, foram eliminados os pontos fora desta faixa e calculada nova equação de regressão, para a qual a distribuição dos resíduos forneceu 98,4% de corridas dentro da faixa ± 5 pontos. Uma tabela provisória foi elaborada, e testada em 83 corridas, acusando um rendimento de 75% na faixa restrita desejada.

Dos 25% fora da faixa, metade apresentou adição de FeMn durante o refino, para aquecimento do banho; a outra metade, reação de manganês na panela devido às condições de vazamento. Ligeiras correções foram introduzidas no cálculo da equação e, posteriormente, colocadas na tabela provisória.

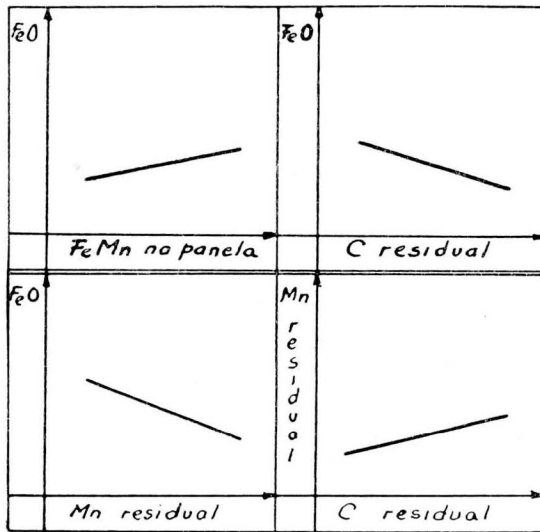


Fig. 7 — Relações esquemáticas em aços efervescentes.

Novamente testada em 207 corridas, obteve-se um rendimento de 72,3%, sendo que de 27,7% das corridas que caíram fora da faixa ± 5 pontos, 12,6% tiveram adições de FeMn durante o refino, para o acerto das condições do banho; 7,9% apresentaram reação na panela e 7,2% não tiveram explicação plausível de caráter processual. Os resultados obtidos se acham esquematizados na figura 8.

Tendo em vista a alteração causada pela adição de FeMn no refino, bem como, pela reação de manganês na panela, foram coletados dados de 70 corridas para estudo da influência do primeiro fator, havendo tendência de se obter mais manganês do que o cálculo pela equação, como mostra a figura 9.

Da mesma forma foram coletados dados de 55 corridas para o estudo da influência de segundo fator, tendo a dis-

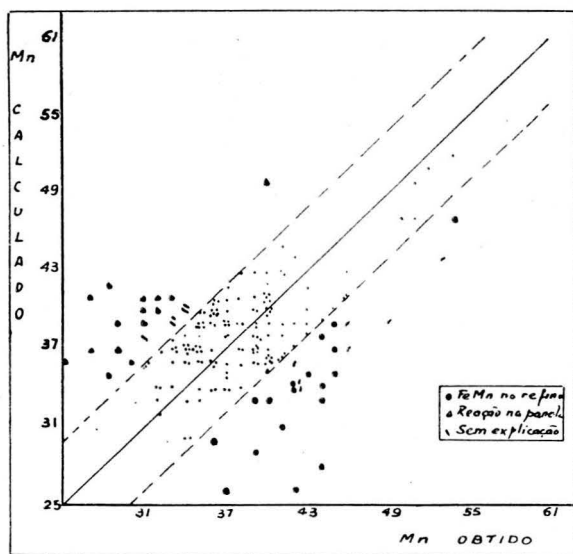


Fig. 8 — Relação entre manganês obtido e manganês calculado; aços efervescentes; tabela experimental.

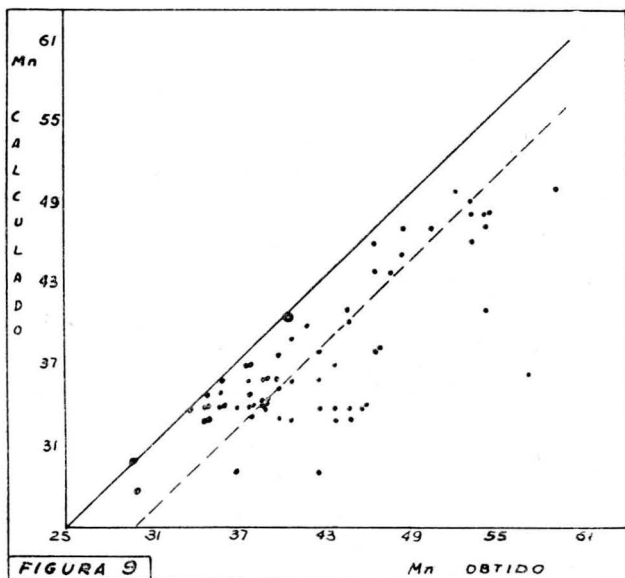


Fig. 9 — Influência da adição de FeMn durante o refino no teor de manganês especificado.

tribuição dos valores de Mn mostrado a tendência para o manganês calculado, em detrimento do manganês obtido, como está esquematizado na figura 10.

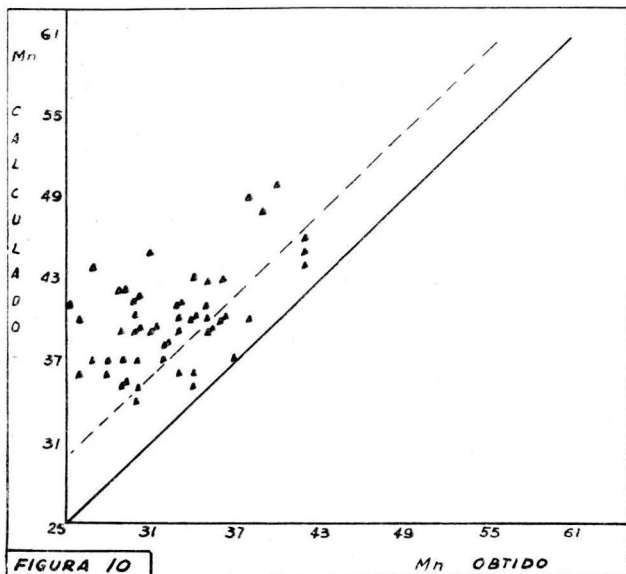


Fig. 10 — Influência da reação na panela sobre o teor de manganês especificado.

Surgiu então o problema da determinação da quantidade a ser adicionada na panela, quando em determinada hora do refino foi efetuada uma adição de FeMn no forno. Desta forma, procurou-se obter a tabela geral, esquematizada na figura 11, a fim de assegurar a recuperação da adição a ser efetuada na panela. O FeMn adicionado no forno, durante o refino, tem a função de elevar a temperatura do banho e reduzir o teor de enxôfre.

As causas da reação de manganês na panela são de mais difícil determinação e uma vez constatada a existência de tal reação se torna impossível fazer qualquer correção na especificação.

A tabela de adição de FeMn em açoes efervescentes testada em caráter experimental, para a correção de possíveis falhas, apresentou para um total de 59 corridas, 88,1% dentro da faixa de ± 5 pontos e 98,3% na faixa especificada. Controlada posteriormente em 304 corridas, apresentou 83,2% das mesmas na

MANGANÊS ESPECIFICAÇÃO	CARBONO NA ÚLTIMA PRELIMINAR																	
	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
25	29	28	28	27	27	26	26	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	
26	30	30	29	29	28	28	27	27	26	25	25	24	24	23	23	22	21	
27	32	31	31	30	30	29	29	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	
28	33	33	32	32	31	31	30	30	29	28	28	27	27	26	26	25	25	
29	35	34	34	33	33	32	32	31	31	30	29	29	28	28	27	27	26	
30	36	36	35	35	34	34	33	33	32	31	31	30	30	29	29	28	28	
31	38	37	37	36	36	35	35	34	34	33	32	32	31	31	30	30	29	
32	40	39	38	38	37	37	36	36	35	35	34	33	33	32	32	31	31	
33	41	41	40	39	39	38	38	37	37	36	35	35	34	34	33	33	32	
34	43	42	41	41	40	40	39	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	
35	44	44	43	42	42	41	41	40	40	39	39	38	37	37	36	36	35	
36	46	45	45	44	43	43	42	42	41	41	40	39	39	38	38	37	37	
37	47	47	46	45	45	44	44	43	43	42	42	41	40	40	39	39	38	
38	49	48	48	47	46	46	45	45	44	44	43	43	42	41	41	40	40	
39	50	50	49	49	48	47	47	46	46	45	45	44	43	43	42	42	41	
40	52	51	51	50	49	49	48	48	47	47	46	46	45	44	44	43	43	
41	53	53	52	52	51	50	50	49	49	48	47	47	46	46	45	45	44	
42	55	54	54	53	53	52	51	51	50	50	49	49	48	47	47	46	46	
43	56	56	55	55	54	53	53	52	52	51	51	50	50	49	48	48	47	
44	58	57	57	56	56	55	54	54	53	53	52	52	51	51	50	49	49	
45	59	59	58	58	57	57	56	55	55	54	54	53	53	52	51	51	50	
46	61	60	60	59	59	58	57	57	56	56	55	55	54	54	53	52	52	
47	62	62	61	61	60	60	59	58	58	57	57	56	56	55	55	54	53	
48	64	63	63	62	62	61	61	60	59	59	58	58	57	57	56	55	55	
49	65	65	64	64	63	63	62	61	61	60	60	59	59	58	58	57	56	
50	67	66	66	65	65	64	64	63	62	62	61	61	60	60	59	59	58	
51	68	68	67	67	66	66	65	65	64	63	63	62	62	61	61	60	59	
52	70	69	69	68	68	67	66	66	65	65	64	64	63	63	62	62	61	
53	71	71	70	70	69	69	68	68	67	66	66	65	65	64	64	63	63	
54	73	72	72	71	71	70	70	69	69	68	67	67	66	66	65	65	64	
55	74	74	73	73	72	72	71	71	70	69	69	68	68	67	67	66	66	
56	76	75	75	74	74	73	73	72	72	71	70	70	69	69	68	68	67	
57	78	77	76	76	75	75	74	74	73	73	72	71	71	70	70	69	69	
58	79	79	78	77	77	76	76	75	75	74	73	73	72	72	71	71	70	
59	81	80	79	79	78	78	77	77	76	76	75	74	74	73	73	72	72	
60	82	82	81	80	80	79	79	78	78	77	77	76	75	75	74	74	73	

Figura 11 — Sacos de FeMn a serem adicionados na panela para aços efervescentes; faixa 25/60.

faixa restrita de ± 5 pontos e 98,6% dentro da faixa especificada. O gráfico referente a este controle, bem como a distribuição dos resíduos, se acham plotados na figura 12.

O resultado de 98,6% vem melhorar de 0,7% a performance conseguida em 1960, que era de 97,9% de corridas EF dentro da especificação pedida. Sendo este o tipo de aço mais vazado

na CSN (68% da produção), esta melhoria implica na perfeita utilização de 24 corridas, que seriam normalmente desviadas.

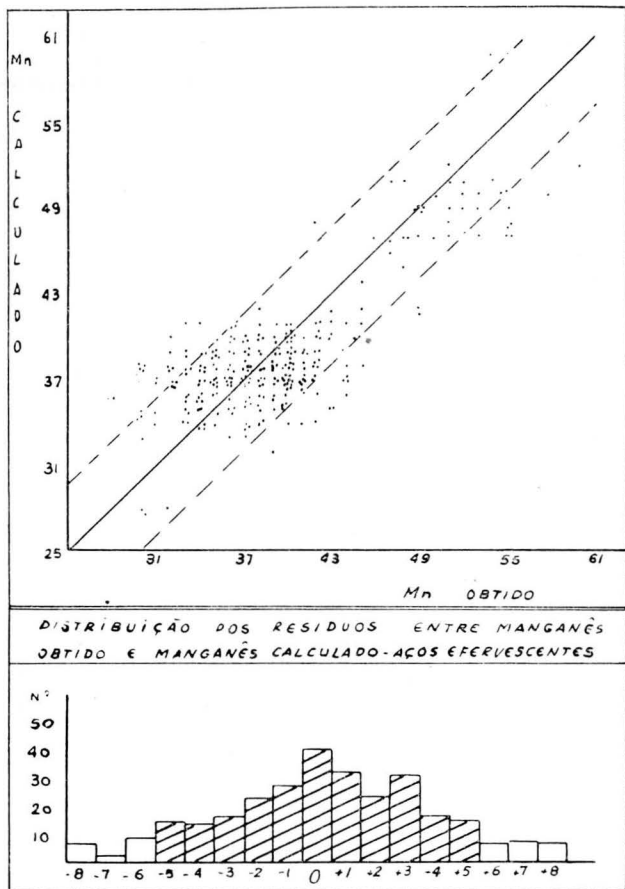


Fig. 12 — Relação entre o manganês obtido e o calculado; aços efervescentes; tôdas as faixas.

6. CONTRÔLE DA ESPECIFICAÇÃO DE MANGANÊS NOS AÇOS ACALMADOS

Ainda que, pelas suas maiores amplitudes, as faixas de manganês para os aços acalmados pudessem ser relegadas a um segundo plano, tal não foi feito, no intuito de levar avante os objetivos de restringir os desvios e padronizar as adições. Sendo um aço de características próprias, onde a ação do desoxidante é o fator de principal importância, a escolha das variáveis têm

de ser feita cautelosamente para que direta ou indiretamente se possa determinar o grau percentual de ação dos desoxidantes em jôgo.

Esquemáticamente, foram escolhidos fatores semelhantes aos utilizados no contrôle para aços semi-acalmados, entretanto, para os aços acalmados, o tempo entre o bloqueio e o vazamento cresceu de importância, enquanto que a importância do fator FeSi diminui, devido à constância da quantidade adicionada.

A tonelagem vazada, de fraca correlação nos aços semi-acalmados, passou a influir nos aços acalmados sem, no entanto, afetar os limites das faixas especificadas, devido à amplitude das mesmas.

Sendo um tipo de aço vazado a temperaturas mais baixas do que os semi-acalmados e efervescentes, torna-se difícil conciliar os elementos variáveis, carbono e tempo de bloqueio a vazamento, pois a queda do carbono e o aquecimento das corridas são fatores evidentes com a cessação do efeito do bloqueio realizado.

X ₂	X ₁	TEMPO DE BLOQUEIO A VASAMENTO - MINUTOS																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
M	5	44	45	46	46	47	47	48	49	49	50	51	61	52	53	53	54	54	55	56	56	57	58	59	59	60	61	61	62	63		
A	6	44	44	45	45	46	47	47	48	49	49	50	50	51	52	52	53	54	54	55	55	56	57	57	58	59	59	60	60	61	62	
N	7	43	43	44	45	45	46	46	47	48	48	49	50	50	51	51	52	53	53	54	54	55	55	56	57	57	58	58	59	60	60	61
C	8	42	42	43	44	44	45	46	46	47	48	48	49	49	50	51	51	52	53	53	54	54	55	56	56	57	58	58	59	59	60	
A	9	41	42	42	43	44	44	45	45	46	47	47	48	48	49	50	50	51	52	52	53	54	54	55	55	56	57	57	58	59	59	
N	10	40	41	41	42	43	43	44	45	45	46	46	47	48	48	49	50	50	51	51	52	53	53	54	55	55	56	57	57	58	58	
E	11	39	40	41	41	42	42	43	44	44	45	46	46	47	48	48	49	49	50	51	51	52	53	54	54	55	56	57	57	58	58	
S	12	39	39	40	40	41	42	42	43	44	44	45	45	46	47	47	48	49	49	50	51	52	52	53	54	54	55	55	56	57	57	
	13	37	38	39	40	40	41	41	42	43	43	44	45	45	46	46	47	48	48	49	50	51	52	52	53	54	54	55	56	56	57	
	14	37	37	38	39	39	40	40	41	42	42	43	44	44	45	46	46	47	48	48	49	50	51	51	52	53	53	54	54	55	55	
R	15	36	37	37	38	39	39	40	40	41	42	42	43	44	44	45	46	46	47	48	48	49	50	51	52	52	53	54	54	55	55	
E	16	35	36	36	37	38	38	39	40	40	41	41	42	43	43	44	45	46	46	47	48	48	49	50	51	52	52	53	54	54	55	
S	17	34	35	36	36	37	37	38	39	39	40	41	41	42	43	43	44	44	45	46	46	47	48	48	49	50	51	52	53	54	54	
I	18	34	34	35	35	36	37	37	38	39	39	40	40	41	42	42	43	44	44	45	46	47	47	48	49	49	50	51	52	52		
D	19	33	33	34	35	35	36	36	37	38	38	39	40	40	41	41	42	43	44	44	45	46	46	47	48	48	49	50	51	51		
U	20	32	32	33	34	34	35	36	36	37	37	38	39	39	40	41	41	42	43	44	44	45	46	46	47	48	48	49	49	50		
A	21	31	32	32	33	34	34	35	35	36	37	37	38	39	39	40	40	41	42	42	43	44	44	45	46	47	47	48	48	49	49	
L	22	30	31	31	32	33	33	34	35	35	36	36	37	38	38	39	40	40	41	41	42	43	43	44	45	45	46	46	47	48	48	
	23	29	30	31	31	32	32	33	34	34	35	36	36	37	37	38	39	39	40	41	41	42	43	43	44	45	45	46	46	47	48	
	24	28	29	30	30	31	32	32	33	34	34	35	35	36	37	37	38	39	39	40	40	41	42	42	43	44	44	45	45	46	47	
	25	28	28	29	30	30	31	31	32	33	33	34	35	35	36	36	37	38	38	39	40	40	41	41	42	43	43	44	45	45	46	
	26	27	27	28	29	30	31	31	32	32	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	41	41	42	43	43	44	45	45	46	47	48	
	27	26	27	28	28	29	30	30	31	32	32	33	34	35	35	36	37	37	38	39	39	40	40	41	41	42	43	44	44	45	46	
	28	25	26	27	28	29	30	30	31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	41	41	42	43	44	44	45	46	
	29	24	25	26	27	28	29	29	30	31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	39	40	41	41	42	43	44	44	45	
	30	23	24	25	26	27	27	28	28	29	30	30	31	32	32	33	34	34	35	35	36	37	37	38	39	39	40	40	41	42	43	

PARA A FAIXA 70/100 ACRESCER
AO VALOR TABELADO + 12 SACOS

Fig. 13 — Sacos de FeMn a serem adicionados na panela para aços acalmados; faixas 60/90 e 70/100.

Na primeira fase da análise dos dados coletados em 161 corridas normais, obteve-se uma equação de regressão com muito pouca consistência, com apenas 55% dos dados dentro da faixa de ± 5 pontos. Tal fato obrigou nova análise para os dados de 217 corridas. Além das variáveis já mencionadas, foi escolhido o tempo entre a última preliminar e o bloqueio, para representar a queda do teor de carbono, no referido tempo, e que era estimada e insegura.

Pela equação deste novo conjunto de variáveis chegou-se à tabela da figura 13, de duas entradas, para a determinação do número de sacos de FeMn a serem adicionados na panela. A nova tabela testada em 122 corridas apresentou 67,2% de corridas dentro da faixa de ± 5 pontos, o que é plenamente satisfatório, sabendo-se que a faixa é de 30 pontos e que não teve nenhuma corrida fora de especificação pedida. Na distribuição dos resíduos obteve-se uma boa consistência, o que atestam os gráficos contidos na figura 14.

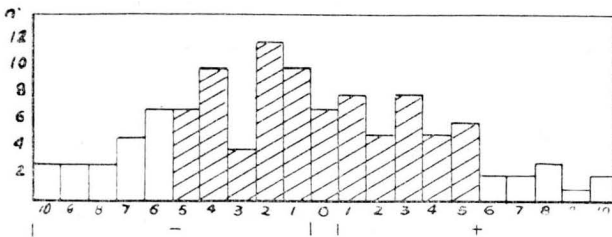
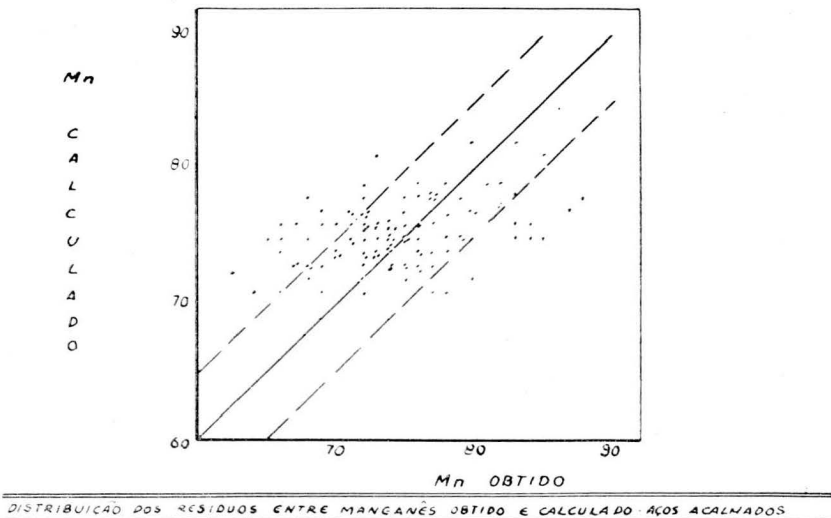


Fig. 14 — Relação entre manganês obtido e calculado; aços acalmados; faixa 60/90.

A tabela, atualmente em testes preliminares, pode ser facilmente utilizável para outras faixas de manganês, com ligeiras correções no total de sacos a adicionar.

7. RESULTADOS GERAIS OBTIDOS

A padronização operacional, bem como o controle da especificação, foram alcançados, plenamente, uma vez que se obrigou a localização das adições na panela através de tempos corrigidos e observância integral da tabela sem desconfianças dos resultados a serem obtidos.

A obtenção da especificação pelo emprego das tabelas facilitou sobremodo ao trabalho da operação, devido à padronização das adições, que possibilitou a obtenção da uniformidade no teor de Mn do aço. As adições de ferro manganês na panela foram efetuadas em duas etapas distintas. A primeira parte, depositada no silo em quantidade previamente pesada e a segunda, em sacos de 25 kg cuidadosamente pesados. A granulação de FeMn variou entre 5 e 10 centímetros. Para maior facilidade das adições e menor consumo de sacos, ficou estabelecido que uma certa quantidade seria colocada no silo. Feito o levantamento para determinação desta quantidade, ficou estipulado que os aços efervescentes deveriam ter no silo 1.000 kg (correspondente a 40 sacos), os semi-acalmados 300 kg (correspondente a 12 sacos) e os acalmados 800 kg (correspondente a 32 sacos).

As tabelas elaboradas não apresentam esta dedução, sendo, portanto, necessário, para os diversos casos, deduzir das tabelas o número de sacos ao peso de FeMn contido no silo. As adições que porventura não atingirem a estes limites deverão ser feitas integralmente em sacos.

A técnica das adições efetuadas em sacos mostrou a possibilidade de um ajuste mais efetivo da especificação e uma melhor distribuição de FeMn, através do banho metálico, durante o vazamento.

O exagêro das adições de FeMn pôde ser evitado com a criação das tabelas, pois foram deduzidos os limites de variação dentro das faixas mais largas de especificação. Corridas, por exemplo, que necessitavam, para obter a especificação no meio da faixa, de um certa quantidade de FeMn, tiveram adições desnecessariamente elevadas, atingindo o limite superior da mesma.

Nas três classes de aços fabricados, a compensação obtida nas adições de FeMn foi da ordem de 20 a 50 kg por corrida, o que num total de 6.000 corridas anuais dá uma tonelagem média aproximada entre 120 e 300 toneladas de FeMn.

A grande quantidade de fatores ligados à obtenção da especificação de Mn criava irregularidades nas adições e, por conseguinte, falta de uniformidade nas corridas de mesma faixa especificada. A criação da tabela localizou os verdadeiros fatores de influência, bem como, facilitou a interligação dos mesmos com o fenômeno em si.

*

Para melhor auxiliar estudos futuros, são apresentadas, a seguir, as variáveis utilizadas na confecção das mesmas:

Para os aços efervescentes:

$$Y = 4,5774 + 0,3554x_1 + 0,0263x_2$$

onde:

Y — Teor de manganês especificado — 0,01%

X₁ — Teor de carbono na última preliminar — 0,01%

X₂ — Quantidade de FeMn a ser adicionada na panela — kg

Para os aços semi-acalmados:

$$Y = 23,8071 - 0,4519x_1 + 0,7629x_2 + 0,0304x_3 + 0,1359x_4$$

onde:

Y — Teor de manganês especificado — 0,01%

X₁ — Tempo entre bloqueio e vazamento — minutos

X₂ — Teor de manganês na última preliminar — 0,01%

X₃ — Quantidade de FeMn a ser adicionada na panela — kg

X₄ — Teor de carbono na última preliminar — 0,01%.

Para os aços acalmados:

$$Y = 94,6259 - 0,3194x_1 - 0,4256x_2 - 0,2199x_3 + 20,3266x_4$$

onde:

Y — Teor de manganês especificado — 0,01%

X₁ — Tempo entre o bloqueio e vazamento — minutos

X₂ — Teor de manganês na última preliminar — 0,01%

X₃ — Tonelagem vazada — t

X₄ — Quantidade de FeMn a ser adicionada na panela — t

Para a elaboração da tabela no caso dos aços semi-acalmados foram fixados a dependente e o tempo de bloqueio a vazamento, fazendo variar as demais. Depois foram criadas tabelas de correção apostas à tabela (fig. 6).

8. CONCLUSÃO

1 — Além das vantagens flagrantes do ponto de vista do processo e da operação, a elaboração das tabelas de adição de FeMn vieram criar maiores facilidades para o desenvolvimento de estudos correlatos, uma vez que, obtendo menor variabilidade na especificação do produto, eliminam-se algumas das variáveis que a afetam.

2 — Da padronização das adições de FeMn chega-se ao acêrto final da especificação e das quantidades de FeMn a serem adicionadas com uma real economia de material e despesas. Como foi frisado anteriormente, o decréscimo de 20 a 50 kg de adição por corridas nas três espécies de aço, ocasionará uma economia anual oscilando entre Cr\$ 4.000.000,0 e Cr\$ 10.000.000,00, pois, o preço da tonelada de FeMn é elevado (Cr\$ 34.000,00) e a produção atinge à casa de 6.000 corridas anuais.

3 — A economia financeira não se situa unicamente no fator menor gasto de ferro manganês, mas também na redução da percentagem dos desvios do produto (os aços efervescentes passaram de 2,1% para 1,4% e os semi-acalmados de 32% para 9%) principalmente aquêles de uso especial e que posteriormente são utilizados para usos gerais internos.

4 — O não atendimento ao cliente no prazo previsto e a quebra de seqüência de programação são dois outros motivos diretamente sujeitos à influência das irregularidades no contrôle da especificação.

*

A noção exata das proporções dêste trabalho, ainda estão sendo cuidadosamente observadas; destas observações advirão com certeza meios suficientes para o prosseguimento de estudos sôbre a padronização e contrôle processo-operacional, na obtenção de aços de melhor qualidade, para suprir o mercado em processo evolutivo.

AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem à Direção da Companhia Siderúrgica Nacional a autorização e as facilidades concedidas para a publicação deste trabalho, e a cooperação dos Srs. Hélio Delgado, Alberto Máximo de Corrêa de Sá e Benevides, Lacy V. Silva e Geraldo Senra Delgado.

BIBLIOGRAFIA

1. "Basic Open Hearth Steelmaking". AIME, 1944.
2. EARNSHAW COOK — "Open Hearth Steel Making". ASM, 1940.
3. JOHN BRAY — "Ferrous Process Metallurgy". Wiley, 1954.
4. AITCHISON e PUMPHREY — "Engineering Steels". Evans, 1953.
5. "Princípios Básicos de Metalurgia". ABM, 1959.
6. "The Making, Shaping and Treating of Steel. USS, 1957
7. NAUJOLKS FABEL — "Forging Handbook". ASM, 1953.
8. "Fundamentals in the Production and Design of Casting". Wiley, 1956.
9. "Plasting Working in Presses". Wiley, 1957.
10. LEFEBRE e DUFLOT — "Leçons de Siderurgie". DEDES, 1957.
11. COLPAERT — "Metalografia Macro e Micrografia dos Produtos Siderúrgicos". ABM, 1951.
12. "Metls Handbook". ABM, 1948.
13. "Corridas em fornos Siemens-Martin". ABM-Boletim, n.º 11, vol. 4, 1948.
14. "Forjamento de aço a quente em matriz fechada". Geologia e Metalurgia n.º 22, 1960.
15. "Aços na fabricação de peças para automóveis". Eng. Min. e Metalurgia, n.º 179, 1959.
16. "Contrôle da especificação de Mn em aços Semi-acalmados". Comissão de Estudos de Aciaria. CSN, 1960.
17. "Medida de temperatura do banho na fabricação do aço em fornos Siemens-Martin". ABM-Boletim, n.º 53, 1958.
18. "Contrôle da temperatura de vazamento em forno Siemens-Martin". ABM-Boletim n.º 62, 1961.
19. "Perfection of Reduction Technology of Rimming Steel". Stal in English, vol. 17, págs. 701 a 707, 1957.
20. KO HASZATI LAPO, K. — "Como reduzir as perdas em desoxidantes e a quantidade de inclusões endógenas na produção de aço nos fornos Siemens-Martin". N.º 5 e 6, 1955.
21. "Contrôle da especificação de manganês em aços efervescentes". Comissão de Estudos da Aciaria — CSN, 1960.

22. JURAN, S. M. — *“Manual de control de la calidad”*. Ed. Barcelona. Reverté S/A., 1955.
23. EZEKIEL, M. — *“Methods of Correlation Analyse”*. Wiley, 1960.
24. *“Aplication of Mathematical Statistics to Problems in Iron and Steel Industry”*. Stahl und Eisen, vol. 78, págs. 14 a 21, janeiro de 1958.



DISCUSSÃO

A. Lemos Rache ⁽¹⁾ — Congratulo-me com o Eng. Carlos Martins de Almeida Filho pela magnífica exposição do trabalho apresentado, em que além da parte científica e de observação aliou a parte prática e econômica, que deve ser sempre um dos principais objetivos da nossa profissão. Franqueio a palavra a quem dela queira fazer uso para solicitar qualquer esclarecimento.

L. Vieira da Silva ⁽²⁾ — Tenho uma dúvida que gostaria fôsse esclarecida. É a seguinte: entendo que o manganês residual é aquele que é retirado da análise ainda no processo. No entanto, no gráfico n.º 2 do trabalho, nota-se que o manganês residual está relacionado ao ferro-silício adicionado na panela. Quero saber se o ferro-silício é adicionado segundo a quantidade do mangês residual?

Carlos M. de Almeida Filho — A relação é quase direta entre as dois elementos, devido principalmente, às tabelas existentes que regulam as adições na panela de ferro-silício e alumínio, através correlação com os fatores FeO da escória e manganês residual. Desta forma subsiste a relação esquematizada no gráfico 2. O mesmo deve acontecer também com FeO da escória e o ferro manganês adicionado na panela.

C. H. Moniz Braga ⁽³⁾ — Gostaria de saber, quanto a êsse aspecto do uso do ferro-liga na panela, se se chegou, por via estatística, a uma tabela, ou a uma fórmula melhor para adições dos que as que as que eram feitas antigamente, em razão das condições de maior experiência e, mesmo, dos cálculos baseados em percentagens de recuperação. Isto é, se os autores têm notícia de que essa abordagem estatística já tenha sido feita anteriormente, e se na bibliografia existe alguma coisa a respeito, ou se foi idéia original.

Carlos M. de Almeida Filho — Foi idéia original, nascida dentro da própria usina. Apenas seguimos determinados métodos iniciais abordados quando da elaboração das tabelas de FeSi e alumínio a serem adicionados na panela, em aços semi-acalmados e efervescentes respectivamente. Atendemos pois, a uma padronização geral tanto na parte de serviço como, também na parte econômica, porque no caso da tabulação de FeMn obtivemos, com esta padronização em decréscimo de

(1) Membro da ABM e Presidente da Comissão “I”; Engenheiro Metalurgista da CSN e Professor; Rio de Janeiro, GB.

(2) Membro da ABM; do Departamento de Pesquisas da Magnesita S/A.; Belo Horizonte, MG.

(3) Membro da ABM; Engenheiro da Fundação Americana S/A.; Rio de Janeiro, GB.

20 a 50 kg na adição de ferro-liga por corrida, que acarreta uma economia variável de 4 a 10 milhões de cruzeiros, devido principalmente ao alto preço desta ferro-liga (Cr\$ 35.000,00/t) e ao número elevado de corridas que temos na CSN. Essa abordagem estatística atualmente em emprêgo efetivo, foi feita anteriormente sem maiores resultados devido às condições de determinados fatores que existiam na prática.

L. Vieira da Silva — Gostaria de obter um esclarecimento para o fato de no caso de atendimento das especificações para aços efervescentes, serem encontrados dados, quanto a manganês obtido, ora abaixo, ora acima do calculado.

Carlos Martins de Almeida Filho — Isso é devido ao fato de haver no caso comum dos aços efervescentes, durante o refino, a introdução de ferro manganês muitas vezes utilizado como dessulfurizante e elemento de elevação de temperatura. Então, no caso das corridas em que houve essa adição, a tabela preliminarmente criada, apresenta pontos fora, mais para o obtido do que para o calculado, devido ao aumento do manganês residual. Tal controle em determinadas ocasiões é mais difícil de se alcançar, pois raramente as adições da ferro-liga se dão próximo a uma preliminar. No caso inverso, isto é, em que os pontos fora estão mais para os calculados do que para os obtidos, ocorre reação de manganês na panela. A reação de manganês na panela, muitas vezes é causada por uma entrada exagerada de escória, muito antes do tempo oportuno, devido ao sistema de abertura do canal de vazamento. A quebra do equilíbrio químico banho metálico-escória facilita também a ocorrência desse fenômeno.

L. Vieira da Silva — A temperatura também não é fator que influencia na reação de manganês?

Carlos M. de Almeida Filho — Quanto a isso, chegamos a seguinte conclusão prática: a temperatura afeta todo o processo metalúrgico; mas como trabalhamos com faixas de temperatura pré-estabelecidas para vazamento, não pudemos chegar a uma conclusão exata sobre o efeito do fator temperatura, sobre a reação de manganês na panela. Apenas pode haver, no caso, uma temperatura em queda, mas esse gradiente de queda, só pode ser obtido através uma medida na panela, o que não fazemos ainda.

L. Vieira da Silva — O teor e a recuperação do elemento liga na ferro-liga não afetaram a obtenção do valor de manganês especificado?

Carlos M. de Almeida Filho — Quanto ao teor de manganês da ferro-liga a relação encontrada variou de 62% a 75%. Levando em consideração a variação encontrada na tonelagem de corridas vazadas e também na recuperação do elemento liga em determinadas corridas, verificamos a não interferência dos mesmos no valor do manganês especificado, devido as oscilações que ora se somam, ora se subtraem, mas são sensivelmente pequenas, quando trabalhamos com uma faixa de tolerância de mais ou menos 5 pontos.

L. Vieira da Silva — Outros fatores que poderiam afetar, como o FeO da escória, não foram levados em conta?

Carlos M. de Almeida Filho — Temos uma tabela de alumínio na panela, feita em função do FeO da escória. Dessa forma, procuramos enquadrar todas as corridas de um mesmo grau de desoxidação, no início do vazamento e antes da adição de ferro-manganês. O FeO portanto, devido a este fato, teve sua ação diminuída.

Hans Maeder (4) — O senhor disse que aplicou, como estudo preliminar, o método de regressão estatística. Queria saber quais as variáveis que foram incluídas nesse método de regressão e quais foram os valores dos coeficientes «B» de significação dessas variáveis.

Carlos M. de Almeida Filho — Procuramos escolher as variáveis, do ponto de vista prático-operacional, e iniciamos o estudo estatístico através correla múltipla para todas as variáveis processuais coletadas.

De um modo geral, necessitamos, para efetuar um controle efetivo de apenas 3 ou 4 variáveis mais importantes, consistentes e mensuráveis do ponto de vista prático. Não adianta, por exemplo, chegar-se a uma equação de N incógnitas, o que dificilmente na prática poderia ser utilizada para obtenção do resultado desejado. A sintetização nas tabelações visou principalmente, possibilitar a utilização das mesmas por qualquer homem habilitado.

Os coeficientes de regressão das equações, para os aços semi-acalmados foi de 0,83; para os aços efervescentes 0,78 e para os aços acalmados 0,67, que apesar de fraco não nos preocupou, devido a amplitude das faixas específicas.

(4) Membro da ABM e Engenheiro da Cia. Siderúrgica Mannesmann; Belo Horizonte, MG.