

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA E
DOS
MATERIAIS - PPGEMM

DESFOSFORAÇÃO OXIDANTE DO AÇO INOXIDÁVEL
COM FLUXOS A BASE DE BÁRIO

por

ÂNGELA BEATRIZ COELHO ARNT

Químico Tecnológico

Trabalho realizado no Departamento de Metalurgia da
Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais
- PPGEMM.

Porto Alegre

1994

DESFOSFORAÇÃO OXIDANTE DO AÇO INOXIDÁVEL
COM FLUXOS A BASE DE BÁRIO

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica e dos Materiais - PPGEMM, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Metalurgia Extrativa

por

Ângela Beatriz Coelho Arnt

Químico Tecnológico

1994

ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA

II

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Metalúrgica, Área de Concentração: Metalurgia Extrativa e aprovada, em sua forma final, pelo orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Antônio C. F. Vilela
Eng. Metalúrgico, prof. Dr. Ing.
PPGEMM/UFRGS

Banca Examinadora: Arno Müller
Eng. Metalúrgico, Prof. Dr.
PPGEMM/UFRGS

Nestor Heck
Eng. Metalúrgico, Prof. Dr.
DEMET/UFRGS

Guilherme O. Verran
Eng. Metalúrgico, Prof. Dr.
UDESC

Antônio C. F. Vilela
Eng. Metalúrgico, Prof. Dr. Ing.
PPGEMM/UFRGS

Coordenador do PPGEMM:
Telmo Roberto Strohaecker
Dr., PPGEMM/UFRGS

Ao Fred pela convivência

A Mariana, razão de tudo

AGRADECIMENTOS

Ao professor Antônio Cezar Faria Vilela pela orientação recebida durante o trabalho.

Ao CNPq e à PROPESP pelo apoio financeiro.

Ao PADCT e à FINEP pelos recursos para a execução deste trabalho.

A Aços Finos Piratini pelo material concedido e pelas análises químicas efetuadas.

Ao Laboratório de Fundição do Centro de Tecnológica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul representado pelo coordenador Prof. Dr. Arno Müller e extensiva ao Prof. Dr. Marlos Diehl, ao engenheiro metalúrgico Carlos Ferreira e ao engenheiro mecânico José Vanderlei Feltrin.

A ACESITA pelo material bibliográfico fornecido, na pessoa do Sr. Ricardo Saueressig (Porto Alegre).

Ao engenheiro metalúrgico Carlos Olivério Arnt.

A todos alunos, bolsistas de iniciação científica que colaboraram para a execução deste trabalho.

Aos colegas do LASID/LAMET.

A minha família.

A todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XIV
RESUMO	XVII
ABSTRACT	XIX
1 INTRODUÇÃO	001
2 OBJETIVOS	003
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	004
3.1 Generalidades sobre aços inoxidáveis	004
3.1.1. Definições	004
3.1.2. Grupos de aços inoxidáveis	004
3.1.2.1. Austeníticos	004
3.1.2.2. Ferríticos	005
3.1.2.3. Martensíticos	005
3.1.2.4. Ferríticos - Austeníticos	005
3.1.2.5. Ferríticos - Martensíticos	006
3.2 Produção de aço inoxidável	007
3.3 Desfosforação	010
3.4 Desfosforação redutora	017
3.5 Desfosforação oxidante	021
3.5.1. Componentes do fluxo desfosforante	021
3.5.1.1. Agente oxidante	021
3.5.1.2. Agente estabilizante	022
3.5.1.3. Agente fluidizante	024
3.5.2. Fluxos desfosforantes	026
3.5.3. Fluxos desfosforantes a base de bário	030

3.5.4.	Condições para a desfosforação	036
3.6	Operações adicionais à desfosforação oxidante	040
3.6.1.	Dessiliciação	040
3.6.2.	Dessulfuração	041
3.6.3.	Desnitritificação	042
3.6.4.	Descarburação	043
3.7	Comportamento dos elementos de liga na desfosforação	044
3.7.1.	Carbono	044
3.7.2.	Cromo	047
3.7.3.	Manganês	049
3.7.4.	Oxigênio	050
3.7.5	Silício	051
3.7.6.	Nitrogênio	052
3.7.7.	Níquel	053
4	GRAUS DE DESFOSFORAÇÃO	054
5	PARTE EXPERIMENTAL	057
5.1	Materiais	058
5.1.1.	Materiais utilizados na preparação do forno	058
5.1.2.	Materiais utilizados na preparação dos fluxos	058
5.1.3.	Materiais utilizados na elaboração do banho metáli co.....	059
5.2	Equipamentos	060
5.3	Procedimento Experimental	062
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	067
7	CONCLUSÕES	079
8	SUGESTÕES	082
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	084
	ANEXOS	090

ANEXO A	TABELAS	091
ANEXO B	FIGURAS	111
ANEXO C	PROCESSO DE FABRICAÇÃO- ACESITA	135
ANEXO D	COQUILHA	138
ANEXO E	FUSÕES ADICIONAIS	140
ANEXO F	ESTRUTURA DAS ESCÓRIAS	141
ANEXO G	TABELAS E CURVAS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	147
ANEXO H	REGISTRO DE CORRIDAS	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição química do refratário MgO (MAGMIX e STAMPMAG) em %	91
Tabela 2	Composição química do concreto aluminoso em %	91
Tabela 3	Composição química das pelotas de Fe_2O_3 em %	91
Tabela 4	Composição química do óxido de cálcio em %	91
Tabela 5	Composição química do cloreto de bário em %	92
Tabela 6	Composição química da sucata (1) de inox em %	92
Tabela 7	Composição química da sucata (2) de inox em %	93
Tabela 8	Composição química do grafite (1) em %	93
Tabela 9	Composição química do grafite (2) em %	93
Tabela 10	Fluxo de dessiliciação	63
Tabela 11	Fluxo de desfosforação	63
Tabela 12	Composição Química do aço inox obtido (F_1 a F_5)	94
Tabela 13	Composição química do aço inox obtido (F_5 (cont.) a F_9)	95
Tabela 14	Composição química do aço inox obtido (F_9 (cont.) a C_3)	96
Tabela 15	Composição química do aço inox obtido (C_3 (cont.) a C_7)	97
Tabela 16	Composição química do aço inox obtido (C_7 (cont.) a C_{11})	98
Tabela 17	Composição química do aço inox obtido (C_{12} a C_{16})	99
Tabela 18	Composição química do aço inox obtido (C_{16} (cont.) a C_{20})	100
Tabela 19	Composição química do aço inox obtido (C_{20} (cont.) a C_{24})	101

Tabela 20	Composição química da escória obtida (F ₁ a F ₅)	102
Tabela 21	Composição química da escória obtida (F ₅ (cont.) a F ₉)	103
Tabela 22	Composição química da escória obtida (F ₉ (cont.) a C ₃)	104
Tabela 23	Composição química da escória obtida (C ₃ (cont.) a C ₇)	105
Tabela 24	Composição química da escória obtida (C ₇ (cont.) a C ₁₁)	106
Tabela 25	Composição química da escória obtida (C ₁₂ a C ₁₆)	107
Tabela 26	Composição química da escória obtida (C ₁₆ (cont.) a C ₂₀)	108
Tabela 27	Composição química da escória obtida (C ₂₀ (cont.) a C ₂₄)	109
Tabela 28.	Composição química da escória (observações)	110
Tabela 29	Tabela dos valores de G.P., Temperatura, G.S., NCr, %FeO e %C	70
Tabela 30	ANEXO G Tabela da análise granulométrica do CaO (diluído em água)	147
Tabela 31	ANEXO G Tabela da análise granulométrica do BaO (diluído em acetona)	148
Tabela 32	ANEXO G Tabela da análise granulométrica do BaCl ₂ (diluído em acetona)	148

LISTA DAS FIGURAS

Figura 1	Relação de equilíbrio entre o C e Cr para várias temperaturas e pressões de CO (ACE-SITA, Aspectos Metalúrgicos da Fabricação dos aços inoxidáveis)	111
Figura 2	Mudanças na [P] durante o tratamento de desfosforação com diversos fluxos (Takahashi et al, 1983)	111
Figura 3	Efeito do oxidante no G.P. do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985)	112
Figura 4	Comparação de vários haletos, usados como agentes fluidizantes no sistema CaO-BaO (Inoue et al, 1988)	112
Figura 5	Efeito do teor de BaO no G.P. (Inoue et al, 1988)	113
Figura 6	Efeito da composição de fluxos a base de bário na desfosforação do aço inoxidável (Yamamoto et al, 1984)	113
Figura 7	Efeito da temperatura no G.P. do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985)	114
Figura 8	Efeito do teor de C no G.P. do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985)	114
Figura 9	Efeito do teor de Cr na desfosforação do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985)	115
Figura 10	Efeito do teor de Si na desfosforação do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985)	115
Figura 11	Diagrama que representa os fatores que influenciam a desfosforação oxidante	57
Figura 12	Esquema explicativo do forno de indução utilizado nos experimentos de desfosforação	60
Figura 13	Fotografia do forno de indução	116
Figura 14	Fotografia da operação de medição da temperatura	117
Figura 15	Fotografia dos pinos de sílica	118
Figura 16	Fotografia da coquilha de ferro fundido, pintada com concreto refratário alumino- SO	118
Figura 17	Fotografia da preparação do molde de areia,	

	com misturador de mós	119
Figura 18	Fotografia da homogeneização do banho com bastões de aço	120
Figura 19	Fluxograma do tratamento de desfosforação oxidante	121
Figura 20	Fotografia da sucata de aço inoxidável num pré-aquecimento na parte superior do forno (anel)	122
Figura 21	Fotografia da retirada de amostra de escória .	123
Figura 22	Fotografia do vazamento de aço inoxidável em coquilha	123
Figura 23	Variação do %P X Amostras retiradas do banho para diferentes agentes estabilizantes ($\text{BaCO}_3 + \text{CaO}$, $\text{BaO} + \text{CaO}$ e BaO). Fluxo de desfosforação (100g/kg-metal), agente oxidante (Fe_2O_3) e agente fluidizante (BaCl_2)	124
Figura 24	%G.P. X Temp. (°C). Fluxo: BaO (40%) + BaCl_2 (60%) + Fe_2O_3 (10g/kg-metal)	125
Figura 25	%P X Amostras retiradas do banho, para diferentes tempos de reação fluxo - banho (0, 2, 4 e 5min). Fluxo: BaO (30%) + CaO (10%) + BaCl_2 (60%) + Fe_2O_3 (10g/kg-metal)	126
Figura 26	%P X Amostras retiradas do banho, para diferentes teores de carbono (1,5 e 2,0%). 2,0%). Fluxo: BaO (30%) + CaO (10%) + BaCl_2 (60%) + Fe_2O_3 (10g/kg-metal)	127
Figura 27	%P X Amostras retiradas do banho, para a redução em 50% do valor inicial dos componentes do agente estabilizante. Fluxo: BaO (30%) + CaO (10%) + BaCl_2 (60%) + Fe_2O_3 (10g/kg-metal)	128
Figura 28	%P X Amostras retiradas do banho, para diferentes tempos de reação fluxo - banho (2, 4, 5 e 8 min.). Fluxo: BaO (40%) + BaCl_2 (60%) + Fe_2O_3 (10g/kg-metal)	129
Figura 29	%G.P. X %C (0,053; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0%). Fluxo: BaO (40%) + BaCl_2 (60%) + Fe_2O_3 (10g/kg-metal)	130
Figura 30	%P X Amostras retiradas do banho, para a redução em 50% do valor inicial do agente estabilizante. Fluxo: Fluxo: BaO (40 para 20%) + BaCl_2 (60%) + Fe_2O_3 (10g/kg-metal)	131

Figura 31	%P X Amostras retiradas do banho, para os grupamentos de variáveis (3%C + 75% do valor inicial de BaO e 3%C + 6 min). Fluxo: BaO (40%)+BaCl ₂ (60%)+Fe ₂ O ₃ (10g/kg-metal)	132
Figura 32	%G.P. X %C, para o grupamento de variáveis: 3%C+ 6min. Fluxo: BaO (40%)+BaCl ₂ (60%)+Fe ₂ O ₃ (10g/kg-metal)	133
Figura 33	% Elemento (C, Mn, Si, S e P) X Amostras retiradas do banho. Fluxo:BaO(40%)+BaCl ₂ (60%)+Fe ₂ O ₃ (10g/kg-metal) ..	134
Figura 34	ANEXO C Roteiro de fabricação de aço inoxidável na ACESITA	137
Figura 35	ANEXO D Esquematização em proporção da coquilha de ferro fundido usada para a retirada das amostras de aço	139
Figura 36	ANEXO G Curva da análise granulométrica do CaO	149
Figura 37	ANEXO G Curva da análise granulométrica do BaO	149
Figura 38	ANEXO G Curva da análise granulométrica do BaCl ₂	150

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

a: Atividade

aprox.: Aproximadamente

atm: Atmosfera

C: Corrida

cal: Caloria

Cp: Capacidade fosfática

Cont.: Continuação

Dessiliciação: Redução do teor de silício

FEA: Forno Elétrico a Arco

G.P.: Grau de desfosforação

Inox: Inoxidável

K-BOP: Kawasaki Basic Oxygen Process

KMS: Klöckner Maxhütte Stahlherstellung

Liq.: Líquido

log: Logaritmo.

Lp: Coeficiente de partição

min: Minuto

OBM/Q-BOP: Oxygen Basic Maxhütte

P.F.: Ponto de fusão

p.p.: Pressão parcial

p: Pressão

PO₂: Pressão de Oxigênio

ppm: Parte por milhão

s: Sólido

t: Tonelada

VOD: Vacuum oxygen Decarburization

VODC: Vacuum Oxygen Decarburization Converter

wt: Peso percentual

°C: Graus Celsius

α : Alfa

Ba: Bário

β : Beta

Ca: Cálcio

CaC₂: Carbetto de cálcio

SiC: Carbetto de silício

BaCO₃: Carbonato de bário

Li₂CO₃: Carbonato de lítio

K₂CO₃: Carbonato de potássio

Na₂CO₃: Carbonato de sódio

CaCl₂: Cloreto de cálcio

FeCl₂: Cloreto de ferro

KCl: Cloreto de potássio

[S]: Concentração de enxofre no banho metálico

[P]: Concentração de ferro no banho metálico

CaCrO₄: Cromato de cálcio

Cr: Cromo

CO₂: Dióxido de carbono

ΔG° : Entalpia

ΔS° : Entropia

Fe: Ferro

CaF₂: Fluoreto de cálcio - Fluorita

Ba₃(PO₄)₂: Fosfato de bário

Ca₃(PO₄)₂: Fosfato de cálcio

PH₃: Fosfina

Ba(OH)₂: Hidróxido de bário

>: Maior

<: Menor

CO: Monóxido de carbono

AlN: Nitreto de alumínio

Ni: Níquel

Al₂O₃: Óxido de alumínio

CaO: Óxido de cálcio

Cr₂O₃: Óxido de cromo

FeO: Óxido de ferro II

Fe₂O₃: Óxido de ferro III

H₂O: Óxido de hidrogênio

Li₂O: Óxido de lítio

MgO: Óxido de manganês

Na₂O: Óxido de sódio

P₂O₅: Óxido de fósforo

O₂: Oxigênio

Ba₂SO₄: Sulfato de bário

Na₂SO₄: Sulfato de sódio

RESUMO

O processo de desfosforação oxidante do aço inoxidável, neste trabalho, apresentou fases distintas com relação ao uso do agente estabilizante do fluxo de desfosforação.

Inicialmente, a etapa de desfosforação, foi feita com o uso do óxido de bário (BaO-30%) combinado com óxido de cálcio (CaO-10%), como agentes estabilizante do P_2O_5 na escória. Os demais componentes do fluxo de desfosforação (100g/kg-metal), os agentes oxidante (Fe_2O_3 -10g/kg-metal) e fluidizante ($BaCl_2$ -60%), foram mantidos constantes em todas as etapas do trabalho. As variáveis estudadas com a combinação BaO+CaO foram: tempo de reação fluxo-banho (tempo zero, 2, 4 e 5 minutos), teor de carbono do banho (1,5 e 2,0%) e redução do teor do agente estabilizante (BaO-15%+CaO-5% e BaO-30%+CaO-5%). Com estas variáveis chegou-se a um grau de desfosforação (G.P.) de aproximadamente 30%.

Na segunda etapa do trabalho, com o uso de BaO-40% como agente estabilizante, foram estudadas as variáveis: tempo de reação fluxo-banho (2, 4, 5 e 8 minutos), teor de carbono do banho (0,053; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0%) e a redução do teor de BaO (de 40 para 10% e de 40 para 20%). Foram obtidos com o uso de BaO-40%, valores em torno de 40% de G.P..

A terceira etapa da desfosforação oxidante caracterizou-se pelo grupamento das variáveis: teor de carbono do banho (3%) com a redução do teor do agente estabilizante (de 40 para 30%-BaO), e teor de carbono do banho (3%) com o tempo de reação fluxo-banho (6 minutos). Com o grupamento de variáveis chegou-se a valores de aproximadamente 50% de G.P..

Todos os experimentos foram realizados num forno de indução de alta frequência com capacidade de 7,5kg e refratário a base de MgO.

A sucata de aço inoxidável, com teor inicial de fósforo de 0,043%, num total de 5kg, foi primeiramente fundida e "dessiliciada", para depois receber o tratamento de desfosforação.

ABSTRACT

The oxidant desphosphorization process of stainless steel, in the present work, shows distinct phases in relation to the use of stabilizants agents of desphosphorization flux.

The first stage, desphosphorization, was conducted using barium oxide (BaO-30%) combined with calcium oxide (CaO-10%) as stabilizant agents of P_2O_5 in slag. Others components of desphosphorization fluxes, (100g/Kg-metal), oxidants agents (Fe_2O_3 -10g/Kg-metal) and fluidizants ($BaCl_2$ -60%), were kept constant in all work stages. The variables studied with the combination of BaO+CaO were: Reaction time flux-bath (zero time, 2, 4 and 5 minutes), bath carbon content (1,5 and 2,0%) and reduction content of stabilizant agent (BaO-15%+CaO-5% + BaO-30%+CaO-5%). With these variables, desphosphoration degrees (G.P.) around 30% were achieved.

In the second work stage, using BaO-40% as stabilizant agent, the following variables were studied: reaction time (2, 4, 5 and 8 minutes) bath carbon content (0,053; 1,0; 1,5; 2,0 and 3,0%) and content reduction of BaO (from 40 up to 10% and from 40 to 20%). Using BaO-40% values around 40% of G.P. were obtained.

The third desphosphorization oxidant stage was characterized by assembly of the following variables: carbon bath content (3%) with reduction of stabilizant agent (from 40 to 30% BaO) and carbon bath content(3%) with reaction time flux-bath (6 min). With variables assembly the values were obtained next to 50%.

All experiments were made in a high frequency induction furnace with capacity of 7,5 Kg and crucible of MgO.

The stainless steel scrap, with a 0.043% phosphorus initial content, in a total of 5 Kg, was first of all melting and dessiliconized, and afterwards was submitted to the desphosphorization treatment.

1 INTRODUÇÃO

O descobrimento dos aços inoxidáveis, ou simplesmente aços inox, é atribuído ao inglês Jaime Brearly em 1912. No mesmo ano, na Alemanha, Eduardo Maurer afirmava que uma liga ferro-cromo elaborada por Beno Strauss resistiu por vários meses aos vapores agressivos no laboratório onde trabalhavam. Um histórico mais detalhado pode ser visto em Padilha, 1989.

Os aços inox descobertos por Brearly e Strauss são basicamente, os tipos conhecidos hoje como ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) 420 e ABNT 302. Na mesma época, foram feitos tratamentos térmicos a altas temperaturas para conseguir boa ductibilidade (no tipo ABNT 302) e alta dureza (no tipo ABNT 420).

Os aços inox Fe-Cr (17%Cr) e Fe-Cr-Ni (18%Cr e 8%Ni) foram amplamente usados nos anos 1920/1930 nos Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha em fábricas de amônia e ácido nítrico. Iniciou-se a produção dos aços inox logo após a 1ª Guerra Mundial. Atualmente estes aços tem largo uso em diversas áreas, pois possuem às propriedades mecânicas, físicas e metalúrgicas necessárias a um número bastante variado de aplicações. Existe a tendência no sentido de especialização dentro das "especificações" do aço, tais como: qualidade mais alta e uniforme, controle de impurezas, limites de composição mais estreitos, controle de elementos residuais e formas econômicas de produzir.

Nota-se na indústria siderúrgica um crescente interesse, relacionado ao controle de impurezas, na obtenção de aço inox.

Com relação a estas impurezas, a presença do fósforo (P), abre um leque de técnicas e ensaios para a sua redução a teores que mantenham o aço competitivo

Teores elevados de fósforo ($\%P > 0.04$), são prejudiciais as propriedades mecânicas do aço. Aumentam a tendência ao trincamento atribuído à corrosão sob tensão e aumentam a tendência a fragilização na soldagem. Este aumento de fósforo no aço, é devido a atual deficiência de matérias-primas que provocam o uso de materiais recicláveis (sucatas) na indústria siderúrgica.

A desfosforação do aço inox tem sido um tema muito importante dentro do ramo siderúrgico. Abrangendo uma área de crescente interesse, o Laboratório de Siderurgia (LASID-UFRGS-PPGEMM), vem atuando mais especificamente no desenvolvimento de técnicas de desfosforação oxidante e redutora.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por principal objetivo a redução do teor de fósforo no aço, através da desfosforação oxidante, a valores em torno ou abaixo de 0,02%.

Com o uso de um fluxo desfosforante composto por três agentes, um oxidante, um estabilizante e um agente fluidizante, serão estudadas às variáveis: tempo de reação fluxo-banho, teor de carbono no banho de aço e tipo e teor do agente estabilizante.

O efeito de cada variável sobre o grau de desfosforação (G.P.) será estudado de maneira separada e combinada.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Generalidades sobre aços inoxidáveis

3.1.1. Definições

Os aços inox são basicamente ligas de ferro-cromo. Outros metais atuam como elementos de liga, mas o cromo é o mais importante e sua presença é indispensável para conferir resistência à corrosão.

O efeito inibidor de corrosão é devido a possibilidade do cromo formar densas camadas de óxidos e hidróxidos. Mesmo que a resistência dos aços inox seja inerente a própria liga, a importância da passivação caracteriza-se pela formação de um filme fortemente aderente à superfície do metal. Este processo de passivação consiste no mergulho da peça ou equipamento em uma solução ligeiramente aquecida de ácido nítrico com um sal oxidante.

Teores de carbono são normalmente mantidos em até 0.20%, exceto quando se requer alta dureza. As propriedades inoxidáveis poderão ser mantidas mesmo havendo aumento do teor de carbono, desde que se aumente também os teores de cromo. Há adição de outros elementos como níquel, molibdênio, nióbio, titânio, selênio e outros que conferem propriedades especiais.

3.1.2 Grupos de aços inoxidáveis

3.1.2.1 Austeníticos

São considerados aqueles que seu teor mínimo de cromo seja de 17%, e o teor de níquel de 8%. Apresentam boa ductibilidade e possuem maior resistência à corrosão, que está relacionada

com a mudança na estrutura promovida pela presença de níquel. Dentro desses aços, o inox ABNT 304 é o mais popular. Não são magnéticos.

3.1.2.2 Ferríticos

São aqueles com teor de cromo de 13% a 30% e baixo teor de carbono. Não são temperáveis e são magnéticos. O teor de cromo é maior que os martensíticos, o que melhora a resistência à corrosão em diversos meios e prejudica a resistência ao impacto.

3.1.2.3 Martensíticos

São aços ao cromo (12-17%), com teor carbono suficientemente alto (0,1-0,6%) para torná-los austeníticos a altas temperaturas. São magnéticos, quando temperados são muito duros e pouco dúcteis e é precisamente nesta condição que são resistentes a corrosão.

Adições de outros elementos de liga, podem ser feitas nesses aços ao cromo:

- Níquel - melhora a resistência a corrosão.
- Molibdênio - aumenta a resistência à pites, à ação de ácidos diluídos, ácidos orgânicos, etc.
- Selênio - melhora sensivelmente a usinabilidade.

3.1.2.4 Ferríticos-Austeníticos

São aqueles onde o teor aproximado de cromo é de 26% e o de níquel 5%. Estes aços, em comparação com os austeníticos, têm resistência mecânica superior e melhor resistência a corrosão sob tensão.

3.1.2.5 Ferríticos-Martensíticos

Apresentam combinação de propriedades: limite de escoamento, cerca do dobro do limite dos inox austeníticos e ferríticos mais comuns, maior plasticidade que a dos inox martensíticos e que a dos inox endurecidos por precipitação, excelente resistência a corrosão intergranular, resistência a corrosão localizada (pitting corrosion) e resistência à corrosão sob tensão.

3.2 Produção de aço inoxidável

Para a produção de aço inox, as matérias-primas utilizadas são normalmente ferro-cromo e níquel, sob a forma de ferro-níquel ou níquel eletrolítico.

O equilíbrio entre o carbono e o cromo é básico para a fabricação do aço e está representado pela reação (1).



Cabe salientar que um aumento da temperatura ou uma diminuição da pressão parcial (p.p.) do monóxido de carbono (CO) favorecem a remoção do carbono na presença de cromo. Este aspecto é comum ser utilizado em procedimentos quando a fusão e refino se realizam em fornos elétricos, a utilização do aumento da temperatura favorece a descarburização sem perda de cromo. Na Figura 1, observa-se a relação de equilíbrio entre o carbono e o cromo para várias temperaturas e pressões de CO.

Para produzir aços com baixos teores de carbono, em altas temperaturas, ocorre grande oxidação de cromo, que deverá ser eliminada (reduzida) da escória mediante adições de ferro-ligas, ou pela adição de um teor de carbono compatível com o equilíbrio Carbono/Cromo, acrescentando ferro-cromo baixo carbono para atingir o teor de cromo desejado.

Quando a fusão da carga (sucata + ligas) é feita em fornos elétricos a arco, e o refino em outros equipamentos, utiliza-se a diminuição da p.p. do CO para favorecer a descarburização. Esta redução, poderá ser feita através dos seguintes processos de refino:

- Processo a gás com sopro por baixo: AOD, OBM/Q-BOP.
- Processo a gás com sopro combinado: K-BOP, KMS.
- Processo a vácuo: VODC, VOD.

A diferença básica entre estes conversores seria na maneira de introdução dos gases oxigênio, argônio e hidrogênio no banho.

A combinação FEA + AOD é a mais utilizada. Onde no AOD sopra-se uma mistura de argônio-oxigênio diretamente no metal líquido através das ventaneiras situadas lateralmente no conversor.

A função do gás inerte soprado é a diluição do CO baixando a sua pressão, acontecendo assim o deslocamento do equilíbrio termodinâmico das reações do oxigênio com o carbono e com o cromo. Baixando os teores de carbono, mesmo em temperaturas não muito elevadas, se permite a remoção do carbono na presença de altos teores de cromo.

Feito o refino e a redução do óxido de cromo presente na escória, geralmente pelo silício, ocorre a dessulfuração usando escória básica.

No AOD o refino é de alta produtividade, ligado a alta velocidade de descarburização, que permite níveis maiores de carbono no metal líquido proveniente do FEA, economizando ferro-cromo com baixo carbono na fase de fusão.

Os ajustes necessários na composição química são feitos no processo de refino.

Em processos a gás com sopro combinado, o tempo de

processo é reduzido, pois os gases são soprados simultaneamente por cima e por baixo, no metal líquido, ocorrendo maior agitação no banho.

Em processos a vácuo, a p.p. de CO é abaixada a valores extremamente reduzidos. Neste caso, o VOD é o mais empregado para a produção de aço inox. O refino do metal líquido é feito na panela dentro de uma câmara de vácuo, o oxigênio é introduzido por uma lança enquanto o argônio é injetado através de um plugue poroso pelo fundo da panela. Consegue-se baixos teores de carbono com pouca perda de cromo para a escória. Sua produtividade é menor do que nos processos a gás, porque a velocidade de descarburização é menor, devido as taxas de injeção de oxigênio.

Na comparação entre os processos a gás e a vácuo, obtém-se alta produtividade e baixo custo, com o primeiro e aços com valores extremamente baixos de carbono, nitrogênio e hidrogênio, com o segundo.

A obtenção de uma melhor homogeneidade da composição química, temperatura e pureza, pode ser obtida também com o incorporação do forno-panela ao fluxo de produção.

Um exemplo da combinação FEA + AOD + Forno-Panela pode ser vista no Anexo C, no processo de fabricação da ACESITA.

Informações mais detalhadas sobre este processo de fabricação, como também informações adicionais de processos em geral, puderam ser encontradas em Mundim, 1985; Padilha, 1989, ACESITA, Aspectos Metalúrgicos da Fabricação de Aços Inoxidáveis e Chiaverini, 1982.

3.3 Desfosforação

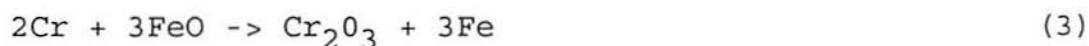
Matsuo et al, 1985, apresentam a desfosforação como uma das mais importantes reações de refino do aço, ocorrendo na interface metal-escória. Um detalhamento sobre o comportamento dos íons presentes na escória; ou seja, a sua estrutura encontra-se no Anexo F.

O fósforo no aço inox é considerado uma impureza, acarretando ao mesmo maior tendência ao trincamento atribuído a corrosão sob tensão e aumento da tendência a fragilização na soldagem. Com a reciclagem de escórias aumenta o seu teor no aço. (Matsuo et al, 1985 e Inoue et al, 1988).

Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, ilustram a dificuldade de desfosforar um gusa contendo cromo, salientam a necessidade de se promover a reação (2):



E ao mesmo tempo o controle tanto quanto possível da reação (3):



A medida para a oxidação do banho de ferro é o controle da oxidação do cromo.

Fujiwara et al, 1990, acrescentam às condições para uma efetiva desfosforação:

- baixa temperatura;
- alto potencial de oxigênio (μO_2) e
- alta basicidade da escória.

Em aços contendo cromo, o alto μO_2 deverá ser eliminado, pois ocasiona a perda de cromo por oxidação, como pode ser visto pela reação (4):



Inoue et al, 1980, salientam que a redução do fósforo em operações de fusão, é feita através da sua oxidação. Esta operação torna-se dificultada devido a oxidação preferencial do cromo, quando usado escória convencional. Matsuo et al, 1984, também enfocam a oxidação preferencial do cromo, como problema para a técnica convencional do refino do inox a partir da oxidação do fósforo.

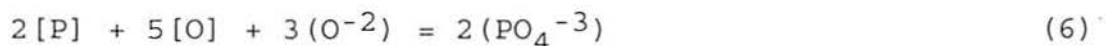
Conforme comentam Min e Sano, 1989, a desfosforação do aço pode ser por oxidação ou redução, no primeiro caso sendo mais efetiva com o uso de fluxos a base de bário (Ba), devido a sua basicidade, e no segundo caso com fluxos a base de Cálcio (Ca).

Burton e Mitchell, 1982, ilustram que a termodinâmica do fósforo em aços e escórias convencionais sob condições oxidantes, são estabelecidas como que, uma escória ácida comporta-se como um ácido de Lewis fraco, prontamente aceitando O^{-2} a partir das bases. Reação (5)



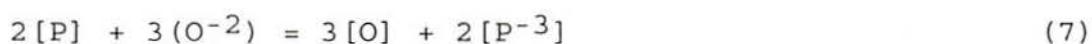
O íon fosfato resultante é instável em altas temperaturas e o μO_2 permanece alto o bastante para prevenir sua decomposição. Em sistemas de baixo μO_2 , ocorre a reversão do fósforo da escória para o aço. Se o (PO_4^{-3}) contido na escória não for removido antes do sistema ser desoxidado, então a reação (6) procederá no sentido da direita para a esquerda,

havendo o retorno do fósforo para o aço.



Em condições redutora um sistema diferente é observado.

Reação (7)



Esta reação ocorre quando o μ_{O_2} é suficientemente baixo para decompor PO_4^{-3} e conseqüentemente estabilizar P^{-3} . O μ_{O_2} requerido para a remoção do fósforo a níveis baixos é o aproximado do equilíbrio Fe/FeO.

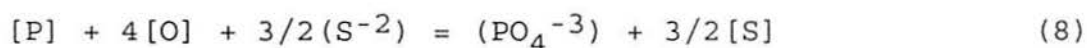
Momokawa e Sano, 1982, apresentam que as concentrações de fosfato e de fosfito são em função da p.p. do oxigênio, dependendo da temperatura, composição da escória e p.p. do fósforo. Os autores investigaram o fosfito e o fosfato formado no sistema CaO-Al₂O₃ em baixa pressão de O₂. Quando a PO₂ é mais alta do que 10⁻¹⁸atm, o fosfato é predominante no fundido, e quando a PO₂ é mais baixa, o fosfito é que predomina.

Takahashi et al, 1983, realizaram investigações sobre a desfosforação oxidante e redutora com diversos fluxos. Na Figura 2 poderá ser visto estes fluxos, com maior ênfase para CaCl₂-20%CaF₂. Neste caso o teor de cromo foi vantajoso para a desfosforação.

Balajiva e Vajragupta, 1947, afirmam que qualquer relação empírica é independente da composição da escória, dentro dos parâmetros examinados, e que o controle da prática de desfosforação no banho de aço será considerado simplificado, desde que se ache para uma dada temperatura os valores

principais controlados que são os teores de CaO, FeO e P₂O₅ da escória.

Em Takenouchi, 1978, Takenouchi, 1979 e Ohguchi, 1984, citados por Turkdogan, 1985, p.75, é enfatizado que devido a ligação entre o sulfeto e o fosfato como pode ser visto na reação (8), a desfosforação acompanhada da dessulfuração ocorre numa razão mais rápida.



Os íons fluoretos na escória baixam o coeficiente de atividade do P₂O₅ e aumentam a atividade do óxido de Fe (FeO). Desta maneira exercem efeito favorável na desfosforação, conforme comenta Turkdogan, 1985.

Em relação a SiO₂, Campos, 1985, acrescenta que a sua presença na escória neutraliza os radicais básicos, necessários a desfosforação. Partindo-se desta constatação, procura-se trabalhar com escórias cada vez mais básicas, não só com o objetivo de atingir teores cada vez menores de fósforo como também por motivos econômicos. A utilização de escórias básicas permite atingir maior índice de (P₂O₅/[P]).

Matsuo et al, 1990, observam que o aumento da basicidade da escória, aumenta o coeficiente de partição ((P)/[P]). Como escórias muito básicas são geralmente viscosas, as pesquisas procuram encontrar escórias que sejam básicas e fluídas, além disso terem poder desfosforante e dessulfurante.

O efeito da composição da escória sobre a desfosforação e dessulfuração do aço, obedece às seguintes características, segundo Takenouchi, Suzuki e Hara, 1979 citado por Campos,

1985, p.58.

- a mais alta basicidade possível;
- alta fluidez em temperaturas moderadas;
- que promovam a desfosforação e a dessulfuração simultaneamente.

A fusão de escória e metal juntos, numa temperatura de 1558°C, foi aplicada por Balajiva, Quarrell e Vajragupta, 1946. Onde salientam que a desfosforação é primeiramente uma oxidação direta do fósforo no ferro a partir do óxido de ferro, formando P_2O_5 que é instável e vaporiza a altas temperaturas. O P_2O_5 livre não pode existir na escória, mas de maneira combinada como fosfato de ferro no sistema puro.

Em Maurer e Bischoff, citado por Balajiva, Quarrell e Vajragupta, 1946, é salientado que não se pode determinar qualquer equilíbrio como definitivo a partir de dados experimentais; mas conseguiram uma descrição prática nas condições de equilíbrio com a introdução do fator de distribuição $(P_2O_5)/[P]$.

Balajiva, Quarrell e Vajragupta, 1946, relacionam às condições para a desfosforação:

- óxido de Fe (FeO) é necessário para a oxidação do fósforo na fase metal.
- óxido de cálcio (CaO) é necessário para a desfosforação.
- como a reação do fósforo é exotérmica, a desfosforação decresce com o aumento da temperatura.
- a proporção do fósforo no metal após a desfosforação é

dependente do teor de óxido de fósforo (P_2O_5) na escória e o seu menor valor é melhor para o começo de desfosforação.

- constituintes que participam da reação do fósforo e afetam indiretamente a desfosforação por simples diluição ou a partir de combinação com outro constituinte, devem ser controlados.

O FeO e o CaO são essenciais para a desfosforação. Em escórias contendo um dado %FeO, o fator de distribuição aumenta próximo ao teor de CaO. Para uma dada razão de CaO/SiO_2 , fixando os teores do fluxo, qualquer aumento de (FeO) pode causar um decréscimo no teor de CaO e vice-versa. Quanto maior o teor de CaO na escória maior é o aumento do fator $(P_2O_5)/[P]$, para um dado aumento de FeO.

No caso do FeO, Balajiva, Quarrell e Vajragupta, 1946, acrescentam que assim como o seu teor da escória é aumentado o teor de fósforo no metal rapidamente decai, obtendo um mínimo de 0.03% em peso em 14-16% por peso de FeO. Isto para experimentos levados em $1585 \pm 10^\circ C$, com uma série de escórias contendo diversas quantidade de fluxo, e com CaO/SiO_2 nas razões 2,8; 2,4; 3,5 e 4.0 respectivamente. Quando o FeO é aumentado, o teor de fósforo no metal aumenta, mas em baixa proporção. O efeito do aumento do teor do Al_2O_3 para cada razão de CaO/SiO_2 , causa marcadamente decréscimo no fator de distribuição $(P_2O_5)/[P]$.

É salientado que % P_2O_5 e %FeO no metal são diretamente proporcionais aos teores totais de (P_2O_5) e (FeO) na escória.

Conhecendo a afinidade do CaO por P_2O_5 na formação de um

fosfato estável, parece lógico investigar o efeito do CaO sob a constante de equilíbrio. Os resultados obtidos em exame da escória e de padrões para a fase sílica-fosfato conduzem para às seguintes conclusões:

- 1- Toda a SiO_2 e todo o P_2O_5 contidos na escória é na forma de sílica-fosfato.
- 2- Se o CaO presente é suficiente, a cal sílica-fosfato, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot X (3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5)$ é formada.
- 3- Quando há deficiência de CaO, o óxido de magnésio (MgO) pode preencher algum CaO como sílica-fosfato.
- 4- A sílica-fosfato geralmente formado em escórias temperadas processa estruturas α hexagonal.
- 5- Quando o teor de P_2O_5 na escória é baixo, a sílica-fosfato ocorre como uma solução sólida de $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ e $\beta 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, e é possível que seja formado como resultado da transformação durante o aquecimento à forma α hexagonal.
- 6- Em $\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2=1$, a sílica-fosfato a partir do temperado consiste de uma mistura de forma α hexagonal com sílica-carnotite.

Também acrescentam que o efeito do óxido de manganês (MnO), é de mera diluição dos componentes ativos da escória.

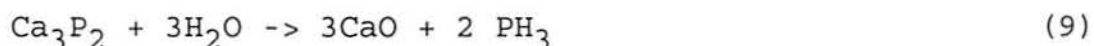
Nassarala, Fruehan e Min, 1991, observam que processos alternativos de remoção do fósforo estão sendo estudados.

3.3.1 Desfosforação Redutora

Matsuo et al 1985, apresentam o método de desfosforação redutora com o uso de Ca-CaF₂, CaC₂-CaF₂ e CaC₂, onde o fósforo é removido como Ca₃P₂ na escória. Mas este método apresenta desvantagem durante o tratamento da escória, pois o seu contato com a água libera de H₃P (fosfina), um gás tóxico.

Para Matsuo et al, 1984, a desfosforação redutora de uma liga de ferro contendo cromo, pode ser desenvolvida de duas maneiras: usando um fluxo a base de Ca-CaF₂, ou um fluxo a base de CaC₂-CaF₂. Também salientam que quaisquer dos fluxos usados o produto será Ca₃P₂ que libera H₃P, sendo um problema difícil de resolver.

Conforme apresentam Yamauchi e Maruhashi, 1983, a fosfina é obtida a partir da seguinte reação:



Como ilustram Matsuo et al, 1985, maior atenção tem-se dado na investigação da remoção do fósforo através da desfosforação oxidante. Neste método não há a liberação de fosfina.

A desfosforação redutora necessita de atmosfera neutra ou redutora e o cálcio na escória como agente desfosforante, salientam Yamauchi e Maruhashi, 1983.

Leal e Torrsell, 1986, apresentam, às condições ideais para a desfosforação redutora:

- baixa atividade do carbono;
- alto teor de cromo;

- uso de refratário de magnésia e
- mais do que 25kg de CaC_2 /t de aço.

Conforme apresentado por Katayama et al, 1979, o teor CaF_2 é dependente da temperatura de fusão do aço, ou seja 5-20% em 1500-1650°C e 30-40% em 1500-1550°C. Se o teor de CaF_2 é muito alto o G.P. decresce sob a influência da erosão do refratário.

Em seus experimentos, Takahashi et al, 1983, atingiram alto G.P. com um fluxo de CaC_2 -20% CaF_2 (500g) com alto teor de cromo (20%). Neste caso ao alto teor de cromo é vantajoso.

Katayama et al, 1979, acrescentam que se o teor de carbono antes do tratamento é menor do que 0,5%, a decomposição do CaC_2 procede mais rapidamente e o cálcio produzido em excesso evapora. Após 15min, a quantidade residual de CaC_2 e a quantidade de escória decrescem, baixando a capacidade de desfosforação. Por outro lado, se o teor de carbono antes do tratamento é cerca de 2%, a quantidade residual de CaC_2 aumenta; mas o teor de cálcio decresce. Ao testar como desfosforante um fluxo a base de CaC_2 - CaF_2 , num forno de indução, com teor de carbono entre 0,5 a 1,8% e 18%Cr, observaram mudanças típicas na composição do fundido após a adição do fluxo. Nota-se que a aceleração da descarburização e da desfosforação, após a adição do fluxo é dependente do teor de carbono do aço fundido. Alto G.P. foi obtido com carbono em torno de 0,5 a 1,8. Há um aumento no grau de dessulfuração (G.S.) quando o teor de carbono aumenta.

Takahashi et al, 1983, colocam que uma melhor desfosforação é obtida, com injeção de CaC_2 , quando a atividade

do carbono é baixa.

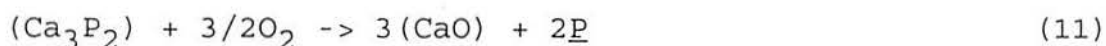
Katayama et al, 1988, salientam que a partir da adição do fluxo os teores de fósforo, enxofre, oxigênio e nitrogênio são decrescentes, o teor de carbono aumenta e os teores de cromo e manganês permanecem constantes. O teor de silício aumenta fracamente, devido a impurezas no CaC_2 (SiC) ou na redução de SiO_2 . O efeito dos elementos de liga como o níquel, não é vantajoso e o molibdênio não exerce influência. A adição de MgO , decresce o G.P., que pode ser devido ao aumento do teor de cálcio na escória, representado pela seguinte reação:



Katayama et al, 1979, analisaram o G.P. e o G.S., com o uso de vários refratários, como magnésia, Mag-dolo, Mag-chro e obtiveram os mesmos graus. Com o uso do refratário a base de alumínio, houve um decréscimo no G.P.. Isto deve-se ao fato da alumina entrar em contato com a escória a partir da reação com o CaO , acelerando a sua oxidação.

Leal e Torssell, 1986, concluíram que a desfosforação redutora em aço-cromo pode ser efetiva a partir da injeção de CaC_2 , com um baixo μO_2 no sistema e sem perdas de cromo. O trabalho experimental também mostrou que elementos como o nitrogênio, estanho, argônio e antimônio podem ser simultaneamente removidos. O antimônio é removido preferencialmente ao argônio. O estanho, fósforo e o enxofre são removidos preferencialmente ao nitrogênio. A desfosforação não torna-se importante até que o teor de estanho seja menor do que 0,035%.

Para prevenir a formação da fosfina (H_3P), Katayama et al, 1979, acrescentam que é necessário oxidar o fósforo que esta sob a forma de fosfina na escória. Para isso foram conduzidos experimentos de oxidação da escória. O fósforo existe na escória como fosfito é oxidado e evaporado como fósforo elementar ou subóxidos, a quantidade de fosfito decresce, como decresce o $\%CaC_2$. Para prevenir a formação do PH_3 é necessário oxidar a escória decrescendo o $\%CaC_2$ a 0,1% ou mais baixo. A reação de oxidação da fosfina esta representada em (11).



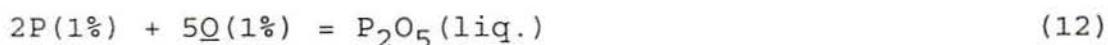
Yamamoto et al, 1984, acrescentam que o tratamento de escórias após a desfosforação oxidante é mais fácil, do que após a desfosforação redutora e raramente afeta a atmosfera ambiente.

Um estudo mais detalhado sobre metodologias de desfosforação redutora encontra-se em Moraes, 1991.

3.5 Desfosforação oxidante

O processo da desfosforação oxidante, necessita da adição de fluxos, para que se formem condições favoráveis no banho líquido para a redução do fósforo. (Matsuo et al, 1984)

Turkdogan e Pearson, 1954, demonstram que o fósforo é removido do aço por oxidação através da reação:



O G.P. é definido por Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, a partir da seguinte razão:

$$\frac{[\%P] (\text{antes do tratamento}) - [\%P] (\text{após o tratamento})}{[\%P] (\text{antes do tratamento})} \times 100\% \quad (13)$$

3.5.1. Componentes do fluxo desfosforante

O fluxo desfosforante é formado por três agentes, que apresentam às seguintes funções: oxidar o fósforo no banho, formando P_2O_5 (agente oxidante), fixar na escória o óxido formado (agente estabilizante) e aumentar a fluidez da escória favorecendo as reações (agente fluidizante). (Matsuo et al, 1984)

3.5.1.1 Agente oxidante

Em relação ao agente oxidante, Matsuo et al, 1985, acrescentam que óxidos de ferro e cromo e minério de cromo podem ser usados, pois não têm influência na composição da liga.

Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, salientam que o uso em torno de 5 a 50% de um óxido de ferro ou níquel (especificadamente FeO , Fe_2O_3 , NiO) para oxidar o metal no banho, é preferível que seja através do minério, que deverá ser determinado a partir de como sua presença influenciará na oxidação do cromo no banho metálico. Quando o teor de óxido usado for inferior a 5% a oxidação do banho é satisfatória e com teor de 50% a fluidez da escória é prejudicada.

Em Katayama et al, 1979, é salientado que quando o óxido de ferro é usado como agente oxidante a evaporação do fósforo é fortemente observada.

Na Figura 3, pode se ver o efeito do oxidante na desfosforação do aço inox. Observa-se que para evitar a oxidação do cromo (Cr_2O_3), o oxidante usado deve ter um maior potencial de oxigênio (μO_2) que o Cr_2O_3 . (Matsuo et al, 1985)

3.5.1.2 Agente Estabilizante

Matsuo et al, 1984, comentam que para estabilizar o P_2O_5 , que é um óxido ácido, há a necessidade de um óxido básico (usado como agente estabilizante). O uso de um óxido de metal alcalino terroso com alto ponto de fusão, é uma contribuição efetiva que a reação necessita para obter uma escória fluída sem baixar a atividade do óxido básico. O teor do óxido de metal alcalino terroso adicionado ao banho, deve ser na faixa de 20 a 60%. Quando este teor for muito baixo, a escória mantém-se em condições fundidas, mas baixa a estabilidade do P_2O_5 , e conseqüentemente o poder desfosforante. Quando o teor for maior que 60%, há a dificuldade da escória manter-se em

condições fundidas, com perda do poder desfosforante. É preferível a faixa de trabalho de 30 a 50%. O uso de pelo menos 40% de um óxido ou carbonato de metal alcalino terroso formam escórias de baixa fusão, porque são materiais que apresentam alto P.F.. Quando usados em combinação com qualquer fluoreto ou cloreto de metal alcalino terroso, óxidos de ferro e alumínio, são materiais básicos e não prejudicam a capacidade desfosforante e desnitrificante da escória. O óxido de metal alcalino terroso usado como agente estabilizante do P_2O_5 , poderá ser de MgO , SrO , ou BaO . Como o CaO é mais usado na fabricação de aço, os óxidos de BaO e CaO ficam como os mais apropriados para serem usados no tratamento da desfosforação; porque o MgO é menos eficiente e o SrO é muito caro. A vantagem do uso de CaO está no ponto de vista do custo, facilidade do manuseio e por ser proveitoso para a proteção do refratário básico, agindo contra os efeitos prejudiciais do SiO_2 . A adição em grande quantidade deste componente aumenta a temperatura de fusão da escória, solidificando-a, quase proibindo a desfosforação. O CaO tem afinidade por óxidos de ferro (ferro para produzir cálcio-ferrítico), aumentando a solubilidade do óxido de ferro na escória, este fenômeno é vantajoso para a oxidação do fósforo; por outro lado aumenta a solubilidade do óxido de cromo.

O óxido usado (agente estabilizante), poderá ser proveniente da decomposição térmica de seu hidróxido ou carbonato correspondente. Neste caso um dos produtos destas reações poderia servir de agente oxidante. Os carbonatos como $CaCO_3$ e $MgCO_3$ são imediatamente convertidos em óxidos na temperatura de

refino gerando CO_2 .

Para Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, os carbonatos, óxidos, hidróxidos de sódio e potássio melhoram a fluidez da escória e tem poderosa afinidade com SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 e Cr_2O_3 , com ótimos efeitos na desfosforação. Em relação a facilidade de uso, os carbonatos são preferidos porque a maior parte deles são convertidos em ácidos, produzindo CO_2 após submetidos a temperatura de fusão do aço.

Inoue et al, 1988, apresentam que há um aumento no G.P., com o uso de BaO , como agente estabilizante, para teores de até 55%.

3.5.1.3 Agente fluidizante

Conforme Matsuo et al, 1985, o uso do agente fluidizante, evita o endurecimento da escória.

Baseados em seus experimentos Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, apresentam os fluoretos ou cloretos de metais alcalinos terrosos (haletos) como compostos essenciais para a desfosforação e desnitrificação. Numa faixa de 30 a 70% promovem a fluidez da escória. Por exemplo, CaF_2 , CaCl_2 , MgF_2 , MgCl_2 , etc. Sendo que, para o CaF_2 a faixa mais adequada é de 40 a 60%. Estes compostos podem ser selecionados de acordo com suas propriedades físico-químicas como: ponto de fusão, volatilidade, higroscopia e também seu custo.

Matsuo et al, 1985, com o uso de BaCl_2 como agente fluidizante da escória observaram que a solubilidade do óxido de cromo formado foi maior no fluxo a base de bário ($\text{BaO}-\text{BaCl}_2$) do que no fluxo a base de cálcio ($\text{CaO}-\text{CaCl}_2$). Com CaCl_2

e MgCl_2 um baixo G.P. foi atingido apesar de seus pontos de fusão serem mais baixos do que o do BaCl_2 , que são 772°C , 714°C e 962°C respectivamente. Usando BaF_2 o G.P. foi o mesmo. Para os autores, o elemento que constitui o óxido (agente estabilizante) deve ser o mesmo que constitui o haleto usado.

Inoue et al, 1988, comparam agentes fluidizantes usados, na Figura 4. Para eles os íons fluoretos são mais efetivos do que os cloretos na desfosforação.

Em Suito e Inoue, 1982, o efeito do CaF_2 ($1\sim 4\text{wt}\%$), entre o ferro líquido e a escória, a base de $\text{MgO}_{\text{saturado}}-\text{CaO}-\text{FeO}_x-\text{SiO}_2$, é suficiente para decrescer o coeficiente de atividade do P_2O_5 , na mesma extensão o da cal, e aumentar o coeficiente do FeO .

Matsuo et al, 1984, salientam que como agente fluidizante da escória, é empregado o uso de um haleto de metal alcalino terroso como CaCl_2 , BaCl_2 ou BaF_2 .

Iwase et al, 1981, colocam que os íons cloretos melhoram a fluidez da escória, mas que influenciam de alguma maneira na basicidade. Baseados em seus resultados, dizem que íons cloretos baixam a basicidade da escória.

O efeito dos íons cloretos na basicidade da escória pode ser comparado com dos íons fluoretos, de acordo com Herasymenko e Speight, 1985 citado por Iwase et al, 1988, p.74, onde focalizam que os íons fluoretos provavelmente atuam nos íons fosfatos baixando sua atividade. Este efeito seria causado por reações químicas entre os fluoretos e fosfatos, resultando na formação de um complexo forte entre esses íons. A desvantagem do BaF_2 em comparação ao BaCl_2 , seria o ponto de

fusão do fluoreto (1250°C) para o ponto de fusão do cloreto (960°C). Maior fluidez se consegue com o uso de BaCl₂ do que com BaF₂.

3.5.2 Fluxos desfosforantes

Matsuo et al, 1985, acrescentam que vários fluxos têm sido usados para a desfosforação oxidante.

Um dos fluxos usados para desfosforar é o CaCrO₄, onde a sua dissociação gera oxigênio, e tem alta basicidade (Shirota et al, 1987).



Com uma análise dos fluxos usados, Matsuo et al, 1981, resumem que o uso do fluxo CaO-FeCl₂ quando aplicado ao aço inox numa temperatura de 1450°C não há desfosforação e ocorre o endurecimento da escória entre 3 e 6 min após a adição do fluxo. Acrescentam que há oxidação do FeO (representado na reação 16), e o endurecimento da escória devido ao alto teor de Cr₂O₃.



Fuwa, 1981, salienta que o Na₂CO₃ por si mesmo pode ser eficiente para a desfosforação, e que a adição de óxidos de ferro, gases (oxigênio) ou sulfeto de sódio (Na₂SO₄) não aumentam o G.P.. Turkdogan et al, 1985, acrescentam que com o uso de Na₂CO₃, no fluxo desfosforante, há a remoção de fósforo, enxofre e silício, para altos teores de carbono.

Yamauchi e Maruhashi, 1983, comparam o tratamento de

desfosforação usando Na_2CO_3 e Li_2CO_3 . Observam que com o uso de Na_2CO_3 a basicidade da escória é menor. Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, acrescentam que o μO_2 atingido é mais alto com o uso de Na_2CO_3 do que com Li_2CO_3 . No caso da adição de Na_2CO_3 , é suposta que a perda de sódio por vaporização é maior e o cromo e ferro são facilmente oxidado. Também comentam que a desfosforação é efetiva com escórias contendo compostos de lítio e outros compostos de metais alcalino.

De acordo com Turkdogan, 1985, o uso de escórias e fluxos a base de Na_2CO_3 para a desfosforação e dessulfuração em temperaturas de 1325 e 1275°C, respectivamente é efetivo. A razão da distribuição do fósforo e do enxofre obtidos com o tratamento a base de Na_2CO_3 no metal quente, não podem ser valores verdadeiros (reais) do equilíbrio, porque continua a mudança na composição da escória causada pela vaporização do sódio via a seguinte reação:



É salientado que em experimentos laboratoriais prolongadas reações de escórias a base de sódio com ferro líquido, resulta na reversão do fósforo e enxofre da escória para o metal. Selim, Dong e Wu, 1990, comentam que a alta capacidade de eliminação de fósforo e enxofre, pode ser a partir de uma escória que combine alta fluidez com alta habilidade de ligá-los quimicamente. Acrescentam, que para maior controle do fósforo no aço, contendo cromo, é o conhecimento da atividade do P_2O_5 na escória.

Com adição de 30g Na_2CO_3 , para teores iniciais de fósforo e enxofre de 0,09% e 0,04% respectivamente, Turkdogan, 1985,

determinou em atmosfera de argônio na temperatura de 1300°C, que há uma rápida remoção de fósforo e enxofre do metal para a escória, seguindo da reversão para o metal, sendo mais pronunciada no fósforo. Um comportamento similar foi observado em Inoue e Suito, 1983, citado por Turkdogan, 1985, p75, com a oxidação do silício, vanádio e nióbio.

Após repetidos experimentos Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, apresentam que a escória constituída por compostos a base de lítio (Li_2O ou Li_2CO_3), de um fluoreto ou cloreto de metal alcalino terroso e um óxido de ferro ou níquel é efetiva para a desfosforação, como também para a desnitrificação. Na presença de Cr_2O_3 a afinidade da escória contendo compostos a base de lítio com o P_2O_5 , é maior do que para compostos a base de potássio e sódio.

Com um fluxo a base de $\text{CaO-CaF}_2\text{-SiO}_2$, a desfosforação ocorreu, mantendo-se baixo μ_{O_2} e temperatura de 1300°C. O μ_{O_2} foi fixado a partir do equilíbrio entre o grafite e a atmosfera de CO em 1atm, e é dada pelo equilíbrio:



$$\Delta G^\circ = -27340 - 20.50T \text{ cal}$$

acrescentando que:

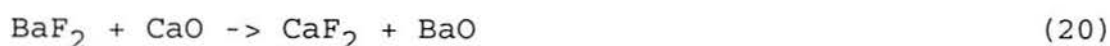
$a_{\text{C}}=1$, $P_{\text{CO}}= 1\text{atm}$ e 1300°C aplicado para $P_{\text{O}_2}= 2.77 \times 10^{-17}\text{atm}$ (Selin, Dong e Wu, 1980)

Inoue e Suito, 1985, apresentam a distribuição do fósforo entre fluxos a base de soda (Na_2O) e cal (CaO) e carbono saturado em ferro fundido nas temperaturas entre 1430 e 1550°C. Seus resultados foram comparados com outros obtidos por

investigadores a partir do uso do teor da capacidade fosfática (Cp).

$$C_p = (\%P) / [a_p \cdot a_o^{5/2}] \quad (19)$$

Quando Na₂O é substituído por (CaO, BaO) com o teor de SiO₂ constante no sistema Na₂O-SiO₂-MgO (CaO, BaO), o log de Cp decresce gradualmente na ordem de Ba>Ca>Mg; o fato é que a substituição Na₂O por BaO baixa o valor de Cp, o que indica que o log Cp no líquido puro Na₂O é maior do que no líquido puro BaO. Os valores de Cp no sistema BaF₂-CaO são menores do que no sistema BaF₂-BaO e no sistema CaF₂-MgO são menores do que no sistema CaF₂-CaO, isso pode ser explicado, porque os valores de log Cp nos óxidos puros decrescem na ordem BaO>CaO>MgO. O fato dos valores para Cp no sistema CaF₂-BaO serem menores do que no sistema CaF₂-CaO não pode ser explicado a partir da diferença no log Cp para óxidos puros. Os pontos experimentais das composições das escórias no sistema CaF₂-BaO, foram recalculados a partir da reação (20) e supõe-se que 1 mol de CaO foi formado a partir de 1 mol de BaO, e que é cerca de 4% em peso de CaO formado a partir de 10% em peso teor básico de BaO.



$$\Delta G^\circ = 6140 + 1,95T(\text{cal})$$

Nassarala, Fruehan e Min, 1991, colocam que a adição de uma pequena quantidade de Na₂O para escórias a base de CaO, aumenta grandemente a capacidade fosfática.

Inoue et al., 1988, acrescentam que um aumento no teor de óxido de cromo baixa a Cp da escória.

Com a adição de um fluxo a base de $\text{CaO-CaCl}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3$, numa temperatura de 1450°C só um pequeno G.P. foi alcançado. Matsuo et al, 1985, a partir disto, apresentam que com um fluxo a base de CaO e usando Cr_2O_3 como agente oxidante, não se consegue estabilizar o P_2O_5 na escória. Portanto para se atingir um maior G.P., um óxido mais básico deve ser usado como agente estabilizante. Os óxidos de metais alcalinos são mais básicos. Quando usados como agente estabilizante do P_2O_5 há um aumento de óxido de cromo (Cr_2O_5) na escória, e conseqüentemente maior μO_2 no banho.

3.5.3 Fluxos desfosforantes a base de bário

Segundo Matsuo et al, 1984, o óxido de bário (BaO), que é um óxido básico, é o que mais se iguala com um metal alcalino e não tem por si mesmo alto μO_2 . Com BaO no fluxo a escória é mais básica e dissolve mais óxido de cromo formado do que uma escória a base de CaO . A influência do teor de BaO no G.P. poderá ser vista na Figura 5.

Matsuo et al, 1984, acrescentam que quando o óxido selecionado (agente estabilizante) for o BaO é preferível que o haleto usado seja com o similar metal, como por exemplo, BaCl_2 ou BaF_2 , e poderá ser usado não só um, mas a combinação dos dois.

Conforme comentam Yamamoto et al, 1984, a troca de BaO por BaCO_3 , torna o processo mais barato e também a perda de cromo por oxidação decresce, devido a decomposição térmica do carbonato gerar BaO e o relativo baixo ponto eutético do sistema BaO-BaCO_3 .

Matsuo et al, 1984, acrescentam que uma alternativa para o uso de um óxido de metal alcalino, seria a partir do seu carbonato ou sulfato correspondentes. Por exemplo, o BaCO_3 (21) ou Ba(OH)_2 (22). Tanto um como o outro, a partir da sua decomposição térmica geram CO_2 e H_2O , agindo como poderosos gases oxidantes (agente oxidante).



O efeito da composição dos fluxos poderá ser visto na Figura 6 (Yamamoto et al, 1984).

Matsuo et al, 1985, em relação a troca do óxido (BaO) pelo carbonato (BaCO_3) acrescentam, que o uso do óxido é mais efetivo do que o uso do carbonato, pois a sua decomposição térmica gera apenas 78,66% de BaO apesar de ser uma reação endotérmica causando a queda da temperatura no banho líquido.

Fujiwara et al, 1990, realizaram experimentos com técnica eletroquímica para investigar os efeitos dos íons Ca^+ na atividade do P_2O_5 no fluxo $\text{BaO}+\text{BaCl}_2+\text{P}_2\text{O}_5$. Observa-se que existe uma significativa dependência sobre a razão de $X(\text{Ba}^{+2})/X(\text{Ca}^+)$, e que a substituição do íon Ca^+ por Ba^{+2} tem efeito no aumento da atividade do P_2O_5 , porque a atividade do P_2O_5 no fluxo $\text{BaO}+\text{BaCl}_2+\text{P}_2\text{O}_5$ é mais baixa do que no fluxo $\text{CaO}+\text{CaCl}_2+\text{P}_2\text{O}_5$. A partir da substituição de Ca^+ por Ba^{+2} numa razão de 50%, a atividade de P_2O_5 aumenta numa ordem de 2,0 para 2,5.

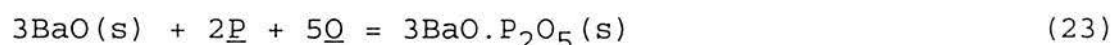
Iwase et al, 1988, reafirmam que o conhecimento da atividade do P_2O_5 na escória será a chave para o controle do

nível de fósforo, mas a carência de dados termodinâmicos dificulta este conhecimento.

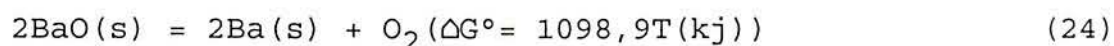
De acordo com Inoue, Li e Suito, 1988, em experimentos com Fe líquido, contendo cromo em $MgO_{\text{saturado}}-BaO-Cr_2O_3-Fe_tO(BaF_2)$ para temperaturas de 1500 a 1650°C, a distribuição do fósforo aumenta com o teor de BaO ou com o decréscimo de cromo. A Cp aumenta com o teor de BaO ou com o decréscimo da temperatura, e o G.P. aumenta com o teor de carbono até um valor crítico.

As reações para diferentes compostos de bário, podem ser vistas a seguir:

ΔG° para:



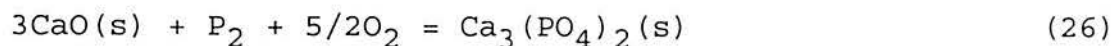
Valores de $\Delta H_{298^\circ} = -409,2 \text{ kJ/mol}$ para $Ba_3(PO_4)_2(s)$ e ΔG° para a reação:



O valor de ΔG°_1 para a reação (26) é estimado:

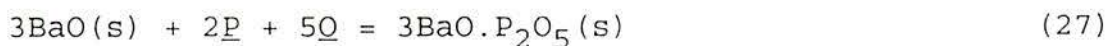


$\Delta G^\circ_1 = -2443,6 - T(\Delta S^\circ_1 = 0,2848)(\text{kJ})$, onde ΔS°_1 é a entropia de formação do $Ba_3(PO_4)_2(s)$.



$$\Delta G^\circ_2 = -2313,8 + 0,5565T(\text{kJ})$$

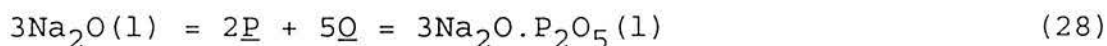
A partir de valores de ΔG° para $1/2O_2 = \underline{Q}$ e $1/2P_2 = \underline{P}$ é assumido que a mudança de entropia para a reação (25) é igual para a reação (26), o ΔG° para a reação (27) é dado a partir de:



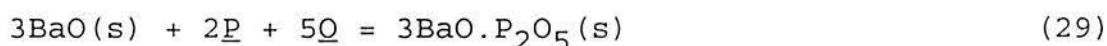
$$\Delta G^\circ = -1613,5 + 0,6096T(\text{kJ})$$

Segundo Nassarala, Fruehan e Min, 1991, para fluxos a base de cal a 1400°C, a atividade do BaO é muito menor para baixos teores do óxido, todavia para $X_{\text{BaO}} > 0,29$ o seu coeficiente de atividade aumenta significativamente.

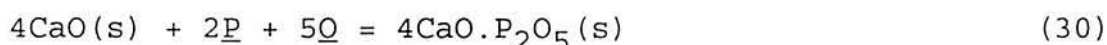
Inoue, Li e Suito, 1981, ao estudarem a desfosforação a partir de diferentes óxidos básicos consideram às seguintes reações:



$$\Delta G^\circ = -1825,4 + 0,6050T(\text{kJ})$$



$$\Delta G^\circ = -1613,5 + 0,6096T(\text{kJ})$$



$$\Delta G^\circ = -1336,6 + 0,5468T(\text{kJ})$$

Min e Sano, 1989, enfatizam que a desfosforação do aço é possível com o uso de fluxos a base de bário, e que a pressão de vapor do bário é mais básica que a do cálcio. De acordo com Nassarala, Fruehan e Min, 1991, a comparação da Cp de BaO-BaF₂, CaO-CaF₂ e CaO-FeO-SiO₂, habilita o fluxo BaO-BaF₂ à remoção do fósforo de no mínimo 10⁷ vezes maior do que no sistema CaO-FeO-SiO₂.

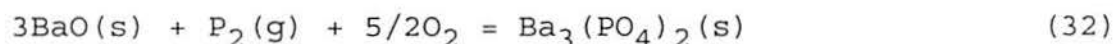
Conforme apresentado por Min e Sano, 1989, os produtos da desfosforação usando fluxos a base de bário são Ba₃P₂⁽³¹⁾ ou Ba₃(PO₄)₂⁽³²⁾. Os autores enfatizam discussões em relação ao

mecanismo de reação dos constituintes, mas os poucos dados em relação a energia padrão de Gibbs da formação dos compostos de bário dificultam o entendimento.

A reação de formação do $Ba_3P_2(s)$ é expressa por:



A reação de formação de $Ba_3(PO_4)_2(s)$ é expressa por:

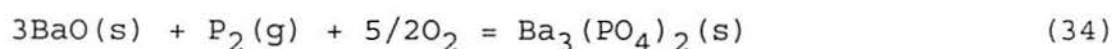


A pressão parcial crítica do oxigênio divide-se em regiões de Ba_3P_2 e $Ba_3(PO_4)_2$ e pode ser estimada com o uso de dados termodinâmicos conhecidos de alguns compostos de Ba.

A energia de formação de Gibbs desses compostos tem sido medida por técnicas de equilíbrio químico. Os resultados estão expressos a seguir:

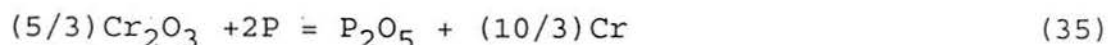


$$\Delta G^\circ = -732,000 + 156,1T(+/-12,800) \text{ (j/mol)}$$



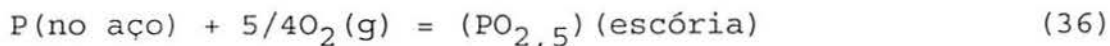
$$\Delta G^\circ = -2.533,00 + 580,0T(+/-16,600) \text{ (j/mol)}$$

Em Matsuo et al, 1985 é evidente que a desfosforação do metal contendo cromo pode ser realizada usando um fluxo a base de $BaO+BaCl_2+Cr_2O_3$. Fujiwara et al, 1990, expressam a reação com este fluxo da seguinte maneira:



A alta basicidade é necessária para a desfosforação. O óxido de bário permite esta basicidade e decresce o coeficiente de atividade do $PO_{2,5}$, que também é usado para calcular a

habilidade do fluxo. Isto é definido como:



$$\Delta G^\circ = -154,313 + 64,75 \text{ cal/mol}$$

$$f_{PO_{2,5}} = \frac{k f_p [\text{pct P}] M_{PO_{2,5}}}{(\text{pct P}) M_p} \quad (37)$$

Onde: pct P: concentração do fósforo

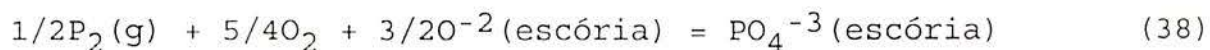
f_p : coeficiente de atividade do fósforo

M: peso molecular

k: constante

$f_{PO_{2,5}}$: coeficiente de atividade do $PO_{2,5}$

Isto é, a escória tem habilidade de manter uma quantidade de fósforo em baixo μ_{O_2} , por isto o óxido de bário pode ser usado na desfosforação com alto carbono e cromo, sem perda de cromo. Usando um fluxo a base de BaO, Nassaralla et al, 1991, ainda constata que a remoção do fósforo do banho é mais efetiva em baixa temperatura, na ordem de 1400°C. O coeficiente de atividade do $PO_{2,5}$ decresce com o aumento de BaO, o que significa que a presença de BaO aumenta a habilidade do fluxo de segurar o fósforo. A C_p do CaO-CaF₂ é menor do que BaO-BaF₂; também o coeficiente de atividade do $PO_{2,5}$ é mais alto no sistema CaO-CaF₂, o que indica que o fosfato no BaO é mais estável do que no sistema CaO. O fluxo BaO-BaF₂ é melhor desfosforante do que o fluxo CaO-CaF₂. A adição de óxidos altamente básicos aumenta a $C_{pPO_4}^{-3}$ (capacidade fosfática) do fluxo, como é definida a partir da seguinte reação:



A adição de uma pequena quantidade de BaO (<40pct) em fluxos a base de cal com a constante de CaO/CaF₂ em torno de 0,19 a 0,21 em temperaturas de 1400°C, não há efeito na Cp. Para altos teores de BaO, é observado um grande aumento na Cp (C_{PO4}⁻³).

Inoue, Li e Suito, 1988, enfatizam que a Cp aumenta com o teor de bário ou com o decréscimo da temperatura.

Conforme verificaram Inoue et al, 1988, o aumento do teor de BaO, até valores de 50% no fluxo aumenta o G.P a valores acima de 80%.

Iwase et al, 1981, salientam que o poder desfosforante de escórias contendo BaO é maior do que escórias contendo CaO. Por medidas das atividades de Fe_xO no fluxo BaO+BaCl₂+Fe_xO, os μ_{O2} no fluxo deve ser baixo para evitar a perda de cromo por oxidação. Conseqüentemente, BaO baixa o coeficiente de atividade do P₂O₅, assim que a escória influencia uma quantidade de fósforo para baixo em relativamente baixo μ_{O2}. Isto seria a janela para desfosforação sem perda de cromo. A atividade do P₂O₅ tem uma significativa dependência na fração molar XBaO/XBaCl₂, a substituição do BaCl₂ por BaO aumenta a atividade do P₂O₅. (Selim, Dong e Wu, 1990).

3.5.4 Condições para a desfosforação

Em relação às condições para a desfosforação, Shirota et al, 1987, concluíram que o aumento do teor carbono, a diminuição do teor de cromo e o decréscimo da temperatura, são necessários para a remoção do fósforo do banho metálico.

Matsuo et al, 1984, enfatizam que a efetiva remoção do fósforo se dá com alta basicidade da escória e baixo μO_2 no banho.

Nassaralla, Fruehan e Min, 1991, acrescentam que especial atenção deve ser dada ao controle do μO_2 , que deve ser mantido a níveis baixos, devido a oxidação preferencial do cromo.

Em relação a oxidação do cromo, Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980 dizem que a redução do μO_2 pode ser realizada pelo aumento de silício no banho. Mas salientam, que o aumento de silício causa a sua oxidação, formando SiO_2 , que influencia as propriedades da escória. Um aumento do teor de carbono é preferido.

Segundo Matsuo et al, 1984, a presença de elementos de liga, como por exemplo, o silício que tem forte afinidade por oxigênio, deverão ser mantidos em baixos teores ($<0,1$) no banho metálico.

Para Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, fica evidenciado, que a desfosforação será satisfatória ou não, se o μO_2 no banho de ferro for suficientemente baixo para controlar a oxidação do cromo.

Inoue, Li e Suito, 1988, acrescentam que durante a desfosforação o μO_2 deve ser controlado para evitar a oxidação do cromo, e a basicidade da escória deve ser a mais alta possível.

A agitação do banho também foi lembrada por Matsuo et al, 1984, como um dos fatores responsáveis pelo aumento do G.P.. Podendo ser feita pelo método tradicional, usando impulsores,

ou através de borbulhamento com argônio ou nitrogênio, ou qualquer outro método de agitação.

Com relação ao tempo de reação fluxo-banho, Takahashi et al, 1983, usando um fluxo a base de bário ($BaO-BaCl_2$) atingiram maior G.P. com 20 minutos de reação. Para Yamauchi et al, 1983, com 5 minutos de reação já observa-se uma desfosforação que vai num crescente até o intervalo de 25 minutos, para teores de cromo no banho acima de 18%. Matsuo et al, 1985, apresentam que para teores de cromo na faixa de 16 a 17%, é necessário um tempo de 20 minutos de reação para se atingir um G.P. de 60%.

Em relação a variável temperatura Matsuo et al, 1985, concordam que o aumento da temperatura do banho diminui o G.P., e maiores graus de desfosforação poderam ser obtido com a temperatura menor de $1500^{\circ}C$. Cabe salientar que a temperatura acima de $1600^{\circ}C$, torna o produto da desfosforação instável, decompondo-se. O efeito da temperatura no G.P. poderá ser visto na Figura 7. Yamauchi e Maruhashi, 1983, salientam que para obter-se alto G.P., há a necessidade do controle da temperatura em torno de $1480^{\circ}C$, pois qualquer mudança significativa ocasiona a solidificação da superfície do banho.

Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, apresentam que SiO_2 e Cr_2O_3 formados são prejudiciais para a desfosforação, devido a sua reação com o material refratário do forno. Para minimizar este efeito o uso de CaO ou $CaCO_3$ em torno de 40% é aplicado (ou seja, um óxido, hidróxido ou carbonato de um metal alcalino terroso). O uso de CaO é preferido em relação ao custo, a proteção do material refratário, ao ajuste da basicidade, da

temperatura de fusão e da viscosidade da escória. Matsuo et al, 1984, acrescentam que o fluxo quando contém impurezas, como SiO_2 ou Al_2O_3 , baixa a atividade da escória e dificulta a estabilidade do P_2O_5 .

A partir do ponto de vista termodinâmico, maior G.P. pode ser obtido, com a maior razão molar possível para BaO/BaCl_2 . Para selecionar a razão molar do BaO/BaCl_2 no fluxo, é importante considerar a fluidez de escória. (Iwase, Fujiwara e Ichise, 1988)

Matsuo et al, 1985, a partir de dados experimentais, acrescentam que com o método AOD obtém-se aço inox ultra-baixo fósforo. Os autores também salientam que o teor de fósforo removido do aço deve ser comparado com o teor de fósforo na escória.

3.6 Operações adicionais à desfosforação oxidante

3.6.1 Dessiliciação

Campos, 1985, resume o processo da dessiliciação como um preparo para a desfosforação, com a utilização de escórias oxidantes. É aconselhável diminuir propositalmente a temperatura do gusa, neste caso é usado óxido de ferro ou de manganês como agentes oxidantes sob a forma de carepa, sinter, pó de minério de ferro ou de manganês. É salientado que há uma forte queda do teor de óxidos de ferro (na composição da escória resultante), que são os principais fornecedores de oxigênio ao sistema, independe de quantidade FeO carregado a escória final irá conter aproximadamente 10% de FeO o que seria o teor próximo do equilíbrio com o silício residual final.

Kawauchi et al, citado por Campos, 1985, p.31, enfatiza que a reação de dessiliciação é controlada pela taxa de suprimento de oxigênio ao banho, ou seja, quanto maior esta taxa maior a sua velocidade. Existe para cada método de adição oxidante, um teor crítico de silício abaixo do qual cai severamente a velocidade de dessiliciação. Tudo indica que o teor de silício crítico é relativo ao método de injeção de oxigênio, no qual existe maior agitação do sistema. Se o processo de desfosforação for posterior, deve-se baixar a temperatura e não permitir a presença de escórias ácidas no ambiente. Para teores de silício menores de 0,50%, a dessiliciação pode ser realizada no mesmo ambiente que a desfosforação. Se o teor de silício for mais elevado é conveniente separá-las para obter-se escórias mais básicas e

evitar o alto consumo de cal.

Turkdogan, 1985, acrescenta que se o teor de silício no banho for de 0,1%, deve-se primeiramente reduzi-lo, e somente após a remoção da escória dessiliciada, proceder ao tratamento de desfosforção, a partir da injeção de oxigênio.

3.6.2 Dessulfuração

Campos, 1985, caracteriza a dessulfuração pela formação de sulfetos estáveis, tais como: CaS, MgS, Na₂S, CeS, etc e pode ser equacionado a partir do metal e do enxofre:



X= elemento dessulfurante

A introdução desse elemento dessulfurante, pode ser feita de várias maneiras:

a) pela injeção, por exemplo, de CaC₂:



b) pela imersão, por exemplo, de Mg e coque:



c) pelo vazamento de uma escória em cima do banho:



Inoue et al, 1980, enfatizam que o processo de dessulfuração é requerido a ser adicional à desfosforação.

Yamauchi e Maruhashi, 1983, atingiram um grau de dessulfuração (G.S.) maior que 80% num ferro gusa contendo 18%Cr, com fluxo a base de Li₂CO₃.

Conforme apresentado por Yamamoto et al, 1980, é conhecido o poder dessulfurante em condições oxidantes do Na_2CO_3 , mas salientam que ele volatiliza, pois seu ponto de fusão é em torno de 850°C .

Segundo Turkdogan, 1985, escórias com fluxos de CaF_2 tem pequeno ou nenhum efeito na capacidade sulfídrica.

Inoue, Li e Suito, 1988, acrescentam que com fluxo a base de bário, a capacidade sulfídrica aumenta, com o decréscimo do teor de Cr_2O_3 e com o aumento da temperatura.

A dessulfuração pelo CaO (CaCO_3), é usado porque a cal é o reagente de menor custo (CaC_2 , Mg , NaCO_3), não se funde na temperatura do gusa, mas pode formar escórias que são líquidas nesta temperatura.

Fuwa, 1981, ilustra que há muitos anos o Na_2CO_3 é usado como agente dessulfurante e que sua quantidade de uso fica em torno de 5kg por tonelada de metal. Ao compará-lo com um fluxo a base de CaO é mais caro e ao ser adicionado no metal provoca formação de densas fumaças.

Matsuo et al, 1983, apresentam que com o fluxo 30% CaO -70% CaCl_2 e 15g de óxido de cromo e teor de carbono de 6,2%, obtiveram G.S. de 90%. Com fluxo a base de bário o G.S. foi de 87% sem perda de cromo.

3.6.3 Desnitrificação

A reação de desnitrificação do aço inox é dificultada porque o cromo aumenta a solubilidade do nitrogênio no ferro e a saturação de carbono no banho, promove preferencialmente a

reação de desnitrificação. (Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980).

Em Kawarada, Kaneko e Sano, 1982, citado por Turkdogan, 1985, 80% de grau de desnitrificação foi atingido com K_2CO_3/KCL (1:1), 4%C, 18%Cr e temperatura de 1300°C.

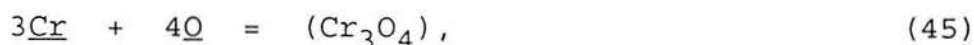
3.6.4 Descarburização

Ikeda et al, 1981, apresentam que a reação de descarburização é promovida a partir da redução da p.p. do CO.

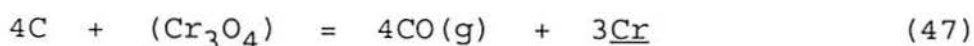
A relação entre a descarburização e a oxidação do cromo, em Schmidt et al, citado por Ikeda et al, 1981, p.433, a partir do equilíbrio entre o oxigênio, carbono e cromo no aço líquido esta representada nas reações (44) e (46), e o equilíbrio entre carbono e cromo na reação (48).



$$\log K_1 = \log P_{CO} / a_C \cdot a_O = 1168/T + 2,07 \quad (44)$$



$$\log k_2 = \log a_{Cr_3O_4} / a_{Cr}^3 \cdot a_O^4 = 53520/T - 23,96 \quad (46)$$



$$\log k_3 = \log P_{CO}^4 \cdot a_{Cr}^3 / a_C^4 \cdot a_{Cr_3O_4} = -48800/T + 32,2 \quad (48)$$

Que pode ser reescrita como:

$$[\%C]^4 = (1/k_3) f_{Cr}^3 [\%Cr]^3 (P_{CO}^4 / a_{Cr_3O_4}) / f_C^4 \quad (49)$$

onde:

a = atividade do elemento em peso percentual ou atividade do óxido em fração molar e

f = coeficiente de atividade do elemento.

As reações (48) e (49), mostram que o teor de carbono no aço pode ser reduzido com o aumento da temperatura, e a p.p. do CO decresce ou a atividade do Cr_3O_4 aumenta.

As mudanças na composição do metal e da escória durante o refino do aço com 18%Cr são calculados em condição que a reação proceda como possuindo um estado de equilíbrio. O teor de oxigênio é determinado a partir do teor de carbono até a atividade do óxido de Cr (Cr_2O_3) obter a unidade, e então o carbono no aço pode ser reduzido sem o decréscimo no teor de cromo. A eficiência do oxigênio para a descarburização decresce no período onde o fluxo não é adicionado.

3.7. Comportamento dos elementos de liga que mais influem na desfosforação

3.7.1 Carbono

O carbono é oxidado como um gás, CO, o qual não é solúvel na escória e a oxidação do carbono pode, e da lugar na interface metal-escória. O fato é que o teor de carbono no banho é usualmente maior do que no equilíbrio com o μO_2 do metal na interface. A remoção do carbono a partir do ferro é controlada por um processo de nucleação, indicada por uma súbita evolução de gás, a qual pode estabelecer-se quando o banho é agitado. O carbono dissolvido é incapaz de reduzir o μO_2 no banho, a reação é suficientemente forte para prever a partir da escória um aumento μO_2 para um valor em equilíbrio com o FeO na escória. Acrescenta-se que o teor de carbono no aço não é um indicador que o μO_2 existe no banho-metal ou na

interface metal-escória, onde outras reações tem lugar. O gás produzido (CO), não tem influência nas propriedades da escória. (Turkdogan e Pearson, 1954).

Em Matsuo et al, 1985, para um fluxo a base de BaO-BaCl₂-Cr₂O₃, o efeito do teor do carbono é mostrado na Figura 8. Observa-se que o aço inox é desfosforado com um teor de carbono não menos de 2%. Em até 2%C, o G.P. tem um valor discreto, com 3% o G.P. fica praticamente estável e acima de 3%, decresce.

Inoue et al, 1988, com um fluxo de 20%CaO-55%BaO-20%CaF₂-5%Cr₂O₃, carbono na faixa de 0,2 a 4%, concluíram que quanto menor o teor de carbono menor foi o G.P. obtido, e quanto maior o teor de carbono no banho maior a temperatura. Mas salientam que a redução do teor de carbono é importante durante a desfosforação, pois facilita o tratamento de descarburização.

Yamauchi, Hasegawa e Maruhashi, 1983, apresentam que com teor de carbono no metal perto da saturação, maior será o G.P., para o fluxo 10%Li₂CO₃-14%CaO-47%CaF₂-29%FeO. Com teor de carbono menor de 3,5%, há perda de cromo por oxidação e o G.P. decresce em 20%.

A análise termodinâmica da desfosforação do aço contendo cromo, indica que o G.P. cresce com o teor de carbono até um valor crítico e decresce mais tarde, segundo Inoue, Li e Suito, 1988, para escórias de MgO_{saturado}-BaO-Cr₂O₃-Fe_tO(-BaF₂).

Shirota et al, 1987, em seus experimentos, usando 4,5%C num fluxo de 14%CaCrO₄-14%CaO-72%CaF₂, chegaram a um G.P. máximo de 44%.

Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, salientam que a

redução do teor de carbono no aço inox diminui a tendência à corrosão. O carbono em teores de aproximadamente 2%, decresce a solubilidade do nitrogênio e previne a formação de Cr_2O_3 , mantendo também a escória em bom estado. Para o controle da oxidação do cromo, é enfatizado que o teor de carbono não deve ser inferior a 2%, para uma escória contendo 30-70% em peso de um fluoreto ou cloreto (haleto) de metal alcalino terroso, 1,5-30% em peso de um óxido, hidróxido e carbonatos de sódio ou potássio, 5-50% em peso de um óxido de ferro ou níquel e 0-40% em peso de um óxido ou carbonato de metal alcalino terroso.

Yamauchi e Maruhashi, 1983, em experimentos com o uso de cadinho de grafite, com a adição de Li_2CO_3 , e 18% de cromo, apresentam que com teor de carbono de 3,5%, há maior oxidação de cromo e perda de fluidez da escória, como também a redução de óxido de ferro formado na escória. Com teor de 2%C, em cadinho de magnésia, a desfosforação não ocorreu e houve maior perda de cromo por oxidação. Também foi observado que com o uso de cadinhos de grafite pode haver a redução de óxidos de cromo presentes na escória.

Matsuo et al, 1984, acrescentam que o teor de carbono na faixa de 1 a 6%, mostrou-se efetiva para desfosforação. Com teor de carbono em torno de 1,5% e fluxo a base de bário 63% de G.P. foi obtido.

Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, apresentam que quando o teor de carbono no banho de ferro é alto, as concentrações dos óxidos de ferro e níquel tendem gradualmente a decrescer, com baixo μO_2 no banho.

3.7.2 Cromo

O efeito do cromo pode ser observado pela Figura 9. Num fluxo a base de BaO-BaCl₂-Cr₂O₃, com aumento de cromo, decresce o G.P. e há o endurecimento da escória. O decréscimo no G.P. para alto %Cr (25%), foi menor em testes com AOD do que em escala de laboratório. Isto é explicado pela forte agitação com AOD, segundo Matsuo et al, 1985.

Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, observaram que o cromo combina-se mais facilmente com o oxigênio do que o fósforo e o ferro, isto comprova que a reação de desfosforação é extremamente difícil. Sabe-se que a priore do processo de desfosforação resulta na oxidação do cromo. Se o fósforo é oxidado, o cromo é oxidado ainda mais.

As reações de oxidação do fósforo, cromo, e ferro são mostradas a seguir:



A redução da p.p. de CO da atmosfera, pode ser o controle para a redução da oxidação do cromo. O controle da oxidação do cromo é efetivo a partir do abaixamento do μO_2 no banho e, a relação da concentração do carbono, cromo e temperatura do banho é representada pela seguinte diferença:

$$1850^\circ\text{C} \geq t^\circ\text{C} \geq [-35960 / \{\log([\%Cr]^2 / [\%C]^3) - 21,88\} - 273]^\circ\text{C}$$

O controle da oxidação do cromo pode ser feita através do decréscimo do μO_2 do banho de ferro, que poderá ser alcançado

com o aumento do teor de silício no banho, mas isto não pode ser considerado, uma vez que o silício é oxidado para SiO_2 , que baixa a basicidade da escória.

De acordo com Matsuo et al, 1984, a importância do controle da oxidação do cromo, é a sua direta colaboração para a solidificação da escória, dificultando o processo de desfosforação.

Maruhashi et al, 1981, também enfatizam que a reação de oxidação do cromo é preferencial à, do fósforo, e a reação de desfosforação é extremamente difícil. A formação de Cr_2O_3 também é a causa da diminuição do poder desfosforante da escória, pois Cr_2O_3 age como um óxido ácido combinando-se com os materiais que fixam o P_2O_5 . Acrescentam, a necessidade da redução da p.p. do CO da atmosfera.

Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, utilizaram em experimentos, uma liga de 2Kg de ferro com 18,2%Cr, que foi fundida em cadinho de óxido de magnésio (MgO) num forno Tammann em temperatura de 1450°C . O fluxo usado foi composto de 40%-BaO-60%BaF₂ e 10g de Cr_2O_3 , como agente oxidante e foi agitado com pulsos de grafite. O percentual dos elementos constituintes da liga não se alteraram, exceto o fósforo que de 0,052 baixou para 0,018% e o enxofre de 0,031 para 0,003%.

Iwase et al, 1983, acrescentam que pela medida da atividade do Fe_xO no fluxo BaO+BaCl₂+ Fe_xO , o μO_2 neste fluxo pode evitar a perda em excesso de cromo.

Com um fluxo de $\text{MgO}_{\text{saturado}}$ -BaO- Cr_2O_3 - Fe_xO (-BaF₂), com cromo de 0 a 16%, Inoue, Li e Suito, 1988, determinaram que a

desfosforação a partir de um fluxo a base de BaO, pode ser eficiente se o teor de cromo for baixo.

Foi obtida por Yamauchi e Maruhashi, 1983, uma perda de cromo por oxidação menor de 0,5%, num ferro gusa (18%Cr), com adição de Li_2CO_3 .

Matsuo et al, 1984, salientam a importância do cromo no banho. A sua oxidação em grande número diminui a solubilidade da escória devido ao alto ponto de fusão. O uso de um óxido de cromo, como agente oxidante, seria mais vantajoso, pois resultaria em menor tendência de solidificação da escória. A solubilidade do óxido de cromo na escória, depende da sua composição e temperatura de tratamento. Com um fluxo de 30-50% de BaO e 70-50% de BaCl_2 , numa temperatura de tratamento de 1450 a 1500°C, a solubilidade do cromo é de 6 a 8%.

Martinez e Sano, 1980, acrescentam que ao adicionarmos o agente oxidante, independente da sua composição, deve-se tomar cuidado para que não promova a oxidação do cromo ao invés do fósforo.

3.7.3 Manganês

Segundo Takahashi et al, 1983, o Mn não exerce influência no processo de desfosforação.

Turkdogan, 1954, estudou o equilíbrio do teor de manganês do aço, e apresenta que a transferência de manganês entre o aço e a escória é relativamente um processo seguro, sendo o equilíbrio reestabelecido dentro de um curto período, após qualquer adição (de minério, cal, etc), ou qualquer mudança da temperatura.

Witten, citado por Turkdogan e Pearson, 1954, p. 59 a 60, salienta que o cálculo e a determinação dos valores de [Mn], são independentes do teor de carbono no metal.

Suito, Inoue e Takada, 1981, apresentam que a solubilidade do MgO aumenta com a temperatura.

3.7.4 Oxigênio

Chipman e Floridis, 1958, examinaram o efeito dos elementos de liga na atividade do oxigênio no banho de aço, através da mistura contida de vapor d'água, hidrogênio e argônio que foi passada sobre a superfície do metal líquido, mantido num cadinho de MgO ou Al_2O_3 e aquecido por indução. O fundido foi mantido em temperatura constante, por um longo período sob atmosfera controlada, em seguida temperado por uma corrente de hélio frio, tirado e analisado para oxigênio, através do método de fusão a vácuo. É ressaltado que o efeito de um elemento adicionado no coeficiente de atividade do oxigênio, não depende somente sobre a banda de energia para o oxigênio, mas também sobre as interações com os átomos de ferro dissolvidos.

Distin, Whiteway e Masson, 1969, apresentam que a solubilidade do oxigênio no metal é proporcional a fração molar do óxido do ferro na escória.

3.7.5 Silício

Segundo Matsuo et al, 1985, para se atingir um alto G.P. é necessário a remoção do silício para teores menores de 0,05% antes do tratamento de desfosforação. O efeito do teor de silício na desfosforação do aço inoxidável, poderá ser vista na figura 10.

Campos, 1985, enfatiza que a presença do silício é prejudicial sob vários aspectos:

- oxida-se antes do fósforo inibindo portanto a sua extração;
- forma a sílica que consome radicais básicos na sua neutralização, aumentando o custo do tratamento;
- a presença da sílica também provoca o retorno do fósforo.

Baseados em seus resultados Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, apresentam que o teor de silício no banho de ferro não deverá ser maior que 0,2% para a efetivação da desfosforação. A reação do silício é preferencial a do fósforo, e forma SiO_2 que se combina com o agente fixador do fósforo, decrescendo a basicidade da escória, resultando num pobre refino. O teor de silício num banho de ferro contendo cromo, deverá ser menor que 0,05% para evitar a sua oxidação.

Em seus experimentos, para um gusa contendo Cr (18%), Takahashi et al, 1983, observaram que o silício foi predominantemente oxidado cerca de 0,5%, quando a quantidade de Li_2CO_3 adicionada ao banho foi maior do que 100g/kg-metal, o

G.P. para um alto teor de silício, não foi menor do que, para um baixo teor de silício. Mas quando o carbonato adicionado foi de 60g/kg-metal, o G.P. decresceu com o aumento do teor de silício, para um banho saturado de carbono.

3.7.6 Nitrogênio

Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, salientam que a redução do teor de nitrogênio no aço inox, diminui a tendência a corrosão pelo craqueamento de esforço.

Conforme comentam, Martinez e Sano, 1990, a dissolução do nitrogênio em escórias de multicomponentes tem sido grandemente avançada, através da consideração que duas espécies de nitrogênio na escória são possíveis, isto é, nitretos livres e incorporados

Min e Sano, 1989, enfatizam que níveis de nitrogênio devem ser controlados, e há sua absorção a partir do ar em muitos processos de fabricação de aço. Todavia neste ponto não é necessário removê-lo. O método de desgaseificação à vácuo pode ser usado para remover pequena quantidade de nitrogênio, quando o teor de enxofre é muito baixo (<20ppm). A solubilidade do nitrogênio e a capacidade de nitretos de vários sistemas de escórias têm sido explorados na possibilidade de remoção, a partir do aço, através do tratamento da escória. A dissolução do nitrogênio, depende da basicidade da escória.

O procedimento termodinâmico do nitrogênio em escórias BaO-B₂O₃ e CaO-B₂O₃ foi investigado a partir das medidas das capacidades de seus nitretos. Em ambos sistemas há componentes ácidos e básicos. Para um exame da possibilidade de

desnitrogenação do aço com B_2O_3 não há uma literatura com dados termodinâmicos para o nitrogênio presente nas escórias. A capacidade de nitretos é um método convencional para comparar a solubilidade dos nitretos de várias escórias sob diferentes condições.

3.7.7 Níquel

Segundo Matsuo et al, 1985 na desfosforação oxidante do aço inox a presença do elemento níquel não afeta, e ligas a base de níquel puderam ser desfosforadas.

Matsuo et al, 1984, comentam que como elemento de liga, o níquel não é problema para a desfosforação, devido a sua baixa afinidade com o oxigênio, portanto, a mesma não é impedida quando tivermos uma liga a base de níquel.

4 GRAUS DE DESFOSFORAÇÃO

Com os seguintes fluxos $\text{BaO-BaCl}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3$ ou $\text{BaCO}_3\text{-BaCl}_2$, Matsuo et al, 1985, obtiveram 60% de G.P., com um teor de carbono não menor que 2%, de 10 a 15% de cromo e silício não menor do que 0,1% a uma temperatura de 1450°C . Também foi obtido o mesmo G.P. com a substituição do agente fluidizante.

Inoue et al, 1988, obtiveram aproximadamente 90% de G.P. com um fluxo de $25\%\text{CaO-55\%BaO-15\%CaF}_2\text{-5\%Cr}_2\text{O}_3$, com 2%C, 15%Cr e temperatura na faixa de 1400°C a 1550°C .

Com o conversor BOF e um fluxo composto de 40% a 50% do minério de ferro e 10% de fluorita, o teor de fósforo de 0,11% baixou para 0,013, com um período para estabilizar a reação de 50 minutos. Com o aumento do percentual do fluxo de 40 para 70kg/t, com adições de CaO para controlar a basicidade da escória, o %P foi reduzido para 0,007%, a uma temperatura de 1300°C . (Matsuo et al, 1990).

De acordo com Yamauchi, Hasegawa e Maruhashi, 1983, 70% de G.P., pode ser obtido com um gusa de 18%Cr e 8%Ni, usando o fluxo composto por $10\%\text{Li}_3\text{CO}_3\text{-14\%CaO-47\%CaF}_2\text{-29\%FeO}$, com alto teor de carbono (perto da saturação no metal) e baixo teor de silício numa temperatura de 1400°C .

Em escala de laboratório, usando um forno de redução de alta frequência, Yamamuchi e Maruhashi, 1983, atingiram um G.P. de 80%, para um gusa com 18%Cr, com adição de Li_2CO_3 (60 a 125g/kg-metal) e temperatura de 1480°C .

Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, num processo de desfosforação de ferro gusa com percentuais de cromo variando

de 12, 18 e 25%, obtiveram diferentes graus de desfosforação. Para 12%Cr o fluxo usado foi 15%K₂CO₃-10%CaO-50%CaF₂-25%FeO e com teores de 18 e 25%Cr o fluxo usado foi 15%Na₃CO₃-10%CaO-50%CaF₂-25%FeO, numa relação de 70g/kg-metal. Os graus de desfosforação obtidos foram:

com 12%Cr e 5%C, para 1350°C foi < 50%

com 12%Cr e 5%C, para 1400°C foi ≥ 50%

com 18%Cr e 5,5%C, para 1380°C foi < 50%

com 18%Cr e 5,5%C, para 1430°C foi ≥ 50%

com 18%Cr e 5,5%C, para 1580°C foi ≥ 50%

com 18%Cr e 5,5%C, para 1750°C foi < 50%

com 25%Cr e 6%C, para 1400°C foi < 50%

com 25%Cr e 6%C, para 1480°C foi ≥ 50%

Foi obtido um G.P. de 65%, num forno Tammann, com uma liga de ferro contendo 18,2%Cr e carbono em saturação, quando se utilizou um fluxo composto de 30%CaO-70%CaCl₂ e 15g de minério de Cr. Com um fluxo composto de 40%BaO-60%BaF₂ e 10g de Cr₂O₃, num total de 200g por 2 kg de liga de ferro, contendo 16,9%Cr a 1450°C, o G.P. obtido foi de 61%, para um carbono inicial (C_i) de 1,42%. Com as mesmas condições, numa temperatura de 1500°C, agitando o meio com impulsores de MgO, sem o uso de agente oxidante e um %C_i de 0,98%, o G.P. foi de 69%. Com carbono saturado (6,2%), numa temperatura de 1340°C, com 200g de fluxo (30%BaO-70%CaCl₂ e 15g de Fe₂O₃), agitando o banho, o G.P. foi de 50%. (Matsuo et al, 1984)

kawarada, Kaneko e Sano, 1982, citado por Turkdogan, 1985,

obtiveram um G.P. de 60%, com a desfosforação do ferro líquido contendo 4%C e 18%Cr na temperatura de refino de 1300°C, com a mistura K_2CO_3/KCl (1:1).

Foi obtido um G.P. de 63%, por Matsuo et al, 1984, com um fluxo de 40%BaO-60%BaCl₂, e borbulhamento de gás oxigênio (0,1l/min, a partir de um tubo de MgO por 25 min).

Em condições experimentais Takahashi et al, 1983, obtiveram um G.P. de 85,4%, com um inox com 10%Cr e 2%C numa temperatura de 1400°C, usando um fluxo de 40%BaO-55%BaCl₂-5%Cr₂O₃.

Nakao et al, 1987, chegaram a valores 65% de G.P. para a razão de 1,5 para 2,5 de CaF₂/CaO.

Em um forno a indução de alta frequência, Maruhashi et al, 1980, atingiram aproximadamente 52% de G.P., com 18%Cr, 6%C e silício menor que 0,05%. O fluxo foi de 0,5kg de Li₂CO₃, 1kg de CaO, 3kg de CaF₂ e 3,5kg de FeO, para um total de 100 kg de aço.

Nakao et al, 1987, chegaram ao valor máximo de 50% de G.P., com um fluxo de 14%CaCrO₄-14%CaO-72%CaF₂ (wt), 16%Cr, carbono entre 4,2 a 4,6% e temperatura de 1400°C.

Num forno de indução, foi obtido por Katayama et al, 1985, um G.P. de 50 a 80%. O fluxo utilizado foi a base de CaC₂-CaF₂, carbono de 0,5 a 1,8% e 18%Cr.

5 PARTE EXPERIMENTAL

Conforme já foi salientado, o Laboratório de Siderurgia (LASID) vem realizando estudos teóricos-prático com relação a desfosforação oxidante. Este estudo, de maneira esquemática, pode ser visto na Figura 11, onde o fluxo desfosforante e o banho de aço se inter-relacionam, não somente, pelo tempo de reação (t), mas também por cada fator que os influencia separadamente.

DIAGRAMA DA DESFOSFORAÇÃO OXIDANTE DO AÇO INOXIDÁVEL

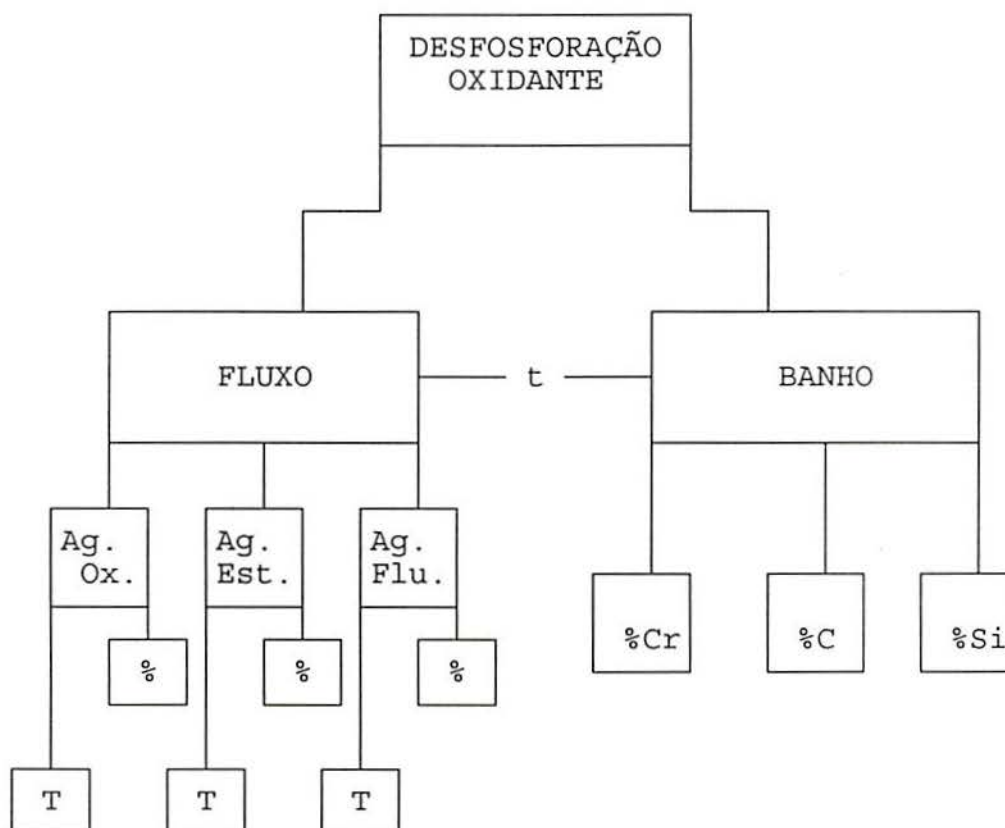


Fig.11 Diagrama que representa os fatores que influenciam a desfosforação oxidante. Onde: Ag. Ox.: agente oxidante; Ag. Estab.: agente estabilizante; Ag. Flu.: agente fluidizante; %: teor em porcentagem no fluxo e T: temperatura.

A seguir serão descritos os materiais, os equipamentos e

o procedimento experimental utilizados na execução deste trabalho.

5.1 Materiais

Neste ítem são descritos os materiais utilizados na preparação do forno, dos fluxos e na elaboração do banho metálico.

5.1.1 Materiais utilizados na preparação do forno

- MgO refratário, para a preparação do forno;
- Concreto refratário aluminoso, para reparos na bobina e pintura das coquilhas e colheres, tipo escumadeiras;
- Chapa de amianto nas dimensões do forno;
- Camisa metálica em aço carbono, para molde na formação do cadinho;
- Bastões de aço, para homogeneização do banho e limpeza do forno ;
- Silicato de sódio líquido, para o acabamento do anel do forno.

A composição química dos dois primeiros materiais encontra-se nas tabelas 1 e 2 respectivamente.

5.1.2 Materiais utilizados na preparação dos fluxos

- Fe_2O_3 , pelotas moídas entre 0,42 e 0,84mm;
- CaO(p.a), com granulometria média de 15,15um;
- BaO(p.a), com granulometria média de 17,51um;
- BaCl_2 (p.a), com granulometria média de 127,53um.

As tabelas da composição química dos materiais (Fe_2O_3 , CaO e BaCl_2), encontram-se no Anexo A, de 3 a 5 respectivamente.

As curvas e as tabelas da análise granulométrica dos materiais CaO , BaO e BaCl_2 encontram-se nos Anexo G.

5.1.3 Materiais utilizados na elaboração do banho metálico

- Sucata de aço inoxidável, pedaços que variavam de 10 a 20cm de comprimento por 2 a 4cm de largura;
- Grafite com granulometria de 0,074 a 1,68mm.

A quantidade de grafite usada foi calculada de acordo com a variável em estudo.

A composição química dos materiais encontra-se nas tabelas de 7 a 10 respectivamente.

5.2 Equipamentos

Os ensaios de desfosforação oxidante foram executados no forno esquematizado na Figura 12.

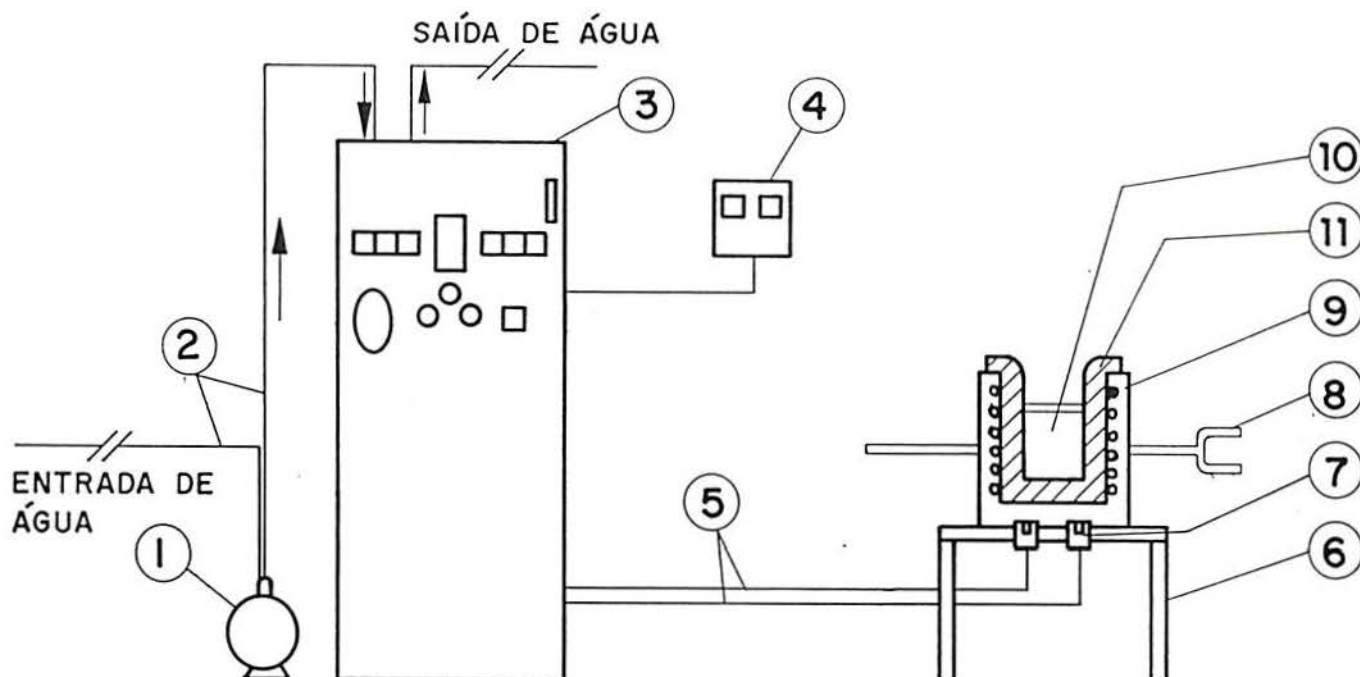


Fig. 12 Esquema do forno à indução usado nos ensaios de desfosforação.

O banho metálico (10) composto por 5000g de sucata de inox, num cadinho com 83mm de diâmetro e 190mm de altura, revestido de refratário a base de óxido de magnésio (11), sustentado por uma base (6) onde encontra-se duas poças de mercúrio (7) as quais tem contato com o gabinete do forno (3). A bomba de água (1), a partir da canalização (2), tem a finalidade de refrigerar a bobina (9) e esta é conectada

diretamente ao gabinete (3), no qual também conectada está a chave geral do equipamento (4) e os cabos de ligação elétrica entre o forno e o gabinete (5). O forno possui braços para facilitar na operação de vazamento (8). O forno pode ser visto na Figura 13.

A operacionalização do forno, como também os cuidados a serem observados durante a realização dos experimentos estão descritos detalhadamente em Moraes, 1991.

Para a medição da temperatura do metal líquido usou-se um indicador digital portátil e como sensor um termopar descartável tipo S (Fig.14).

Para a retirada das amostras de escória, durante o experimento usou-se uma colher tipo escumadeira (pintada com concreto refratário aluminoso). As amostras de aço foram retiradas, com o forno levemente basculado, através da inserção de pinos de sílica (Fig.15) no banho ou com coquilhas (Fig.16). Após o término do tratamento o metal restante é vazado em molde de areia previamente preparado a partir de um misturador de mós (Fig.17).

O uso de bastões de aço (Fig.18) tem a finalidade de homogeneizar o banho.

Para a pesagem da carga usada para carregar o forno foi usada uma balança com capacidade de 4Kg, e para a pesagem dos fluxos foi utilizada uma balança analítica digital.

5.3 Procedimento experimental

O tratamento da desfosforação oxidante teve início a partir de fusões de sucata de inox, cujo fluxograma encontra-se na Figura 19.

Primeiramente o forno é carregado com a primeira parte da sucata (previamente dividida em 3kg e 2kg respectivamente).

O acerto do teor de carbono (carburação) é calculado de acordo com o teor desejado no banho. O grafite é colocado junto com a primeira parte da sucata. A dedução para o cálculo de grafite a ser adicionado ao banho de aço, encontra-se em Moraes, 1991.

Com o carregamento do forno (3kg de sucata + grafite) a operação de aquecimento é iniciada. O controle maior do aquecimento é feito pela potência do forno, que é constantemente aferida e pela temperatura da água que refrigera a bobina.

Durante a fusão da primeira carga, o restante da sucata (2kg), é colocado sobre a parte superior do forno (anel) para sofrer um pré aquecimento (Fig.20). Após a sua completa fusão (aproximadamente 45min), coloca-se com a ajuda de tenazes o restante da carga (2kg).

Com a fusão total da carga (5kg), mede-se a temperatura do banho e inicia-se a etapa de dessiliciação.

O fluxo de dessiliciação num total de 300g (60g/kg-metal) é composto de:

Tabela 10 FLUXO DE DESSILICIAÇÃO

Fe_2O_3	CaO	BaCl_2
15g(5%)	195g(65%)	90g(30%)

Este fluxo é adicionado ao banho líquido e após a sua fusão, mede-se a temperatura e marca-se o tempo de 5 minutos. Passado este tempo, mede-se novamente a temperatura, desliga-se o forno e retira-se as amostras de escória e aço, E_1 e P_1 respectivamente. Terminada esta operação, a etapa de desfosforação é iniciada.

O fluxo de desfosforação num total de 500g (100g/kg-metal), é composto por três agentes:

Tabela 11 FLUXO DE DESFOSFORAÇÃO

Ag. Ox.	Ag. Estab.		Ag. Flu.
Fe_2O_3	CaO	BaO	BaCl_2
10g/kg-metal	10%	30%	60%
10g/kg-metal		40%	60%

Primeiramente este fluxo é pesado e dividido em três partes, para facilitar a sua reação com o banho líquido. A primeira parte (1/3) do fluxo é adicionado ao banho, observada a sua completa fusão, mede-se a temperatura do banho e marca-se o tempo de reação fluxo-banho em estudo. Passado este tempo,

mede-se novamente a temperatura (que não deve ultrapassar 1500°C), desliga-se o forno e retira-se as amostras E₂ (Figura 21) e P₂ (Figura 22).

Com as duas partes restantes do fluxo procede-se da mesma maneira, retirando E₃, P₃ e E₄ e P₄. Após estas retiradas, deixa-se um tempo de reação de 5 minutos e às últimas amostras são retiradas (E₅ e P₅). A fusão termina com o restante do aço, vazado no molde de areia.

O trabalho experimental apresentou fases distintas em relação ao agente estabilizante do fluxo de desfosforação.

Iniciou-se com o uso de BaO (óxido de bário), ao invés do BaCO₃, anteriormente usado nos experimentos de investigação da desfosforação oxidante no LASID.

Com o agente estabilizante composto de BaO+CaO, foram estudados os seguintes tempos de reação fluxo-banho:

- tempo "zero", isto é tempo de fusão do fluxo;
- 2 minutos;
- 4 minutos e
- 5 minutos.

O teor de carbono com o uso deste agente oxidante, foi testado em 1,5 e 2%C.

O percentual dos dois óxidos que compõem o agente estabilizante foi reduzido em 50% ou seja, 15%BaO e 5%CaO.

Com a substituição total por BaO (40%), foram estudadas as variáveis: teor de carbono, tempo de reação, percentual do

agente estabilizante e grupamento de variáveis.

Os tempos de reação fluxo-banho estudados, foram:

- 2 minutos;
- 4 minutos;
- 5 minutos e
- 8 minutos de reação.

Outra variável estudada foi o teor de carbono no banho, nos seguintes valores:

- 0,053% (teor da sucata);
- 1,0%;
- 1,5%;
- 2,0% e
- 3,0%.

O agente estabilizante foi reduzido à 25 e 50% do valor inicial.

Quando uma variável estava sendo estudada, as demais ficavam mantidas constantes ou seja, teor de carbono (2%), tempo de reação (5min) e percentual do agente estabilizante (40%).

A necessidade de obtenção de melhores resultados, isto é graus de desfosforação maiores e mais próximos dos valores da literatura, conduziu ao que se chamou de grupamento de variáveis. A variável teor de carbono (3%), foi estudada ao mesmo tempo que a variável tempo de reação (6min), e o teor de carbono (3%) com a redução do percentual de BaO de 25% do seu

valor inicial.

A otimização e rapidez dos resultados da análise química, como também a redução de material para a análise, fez com que houvesse a procura de uma maneira mais ágil de retirada de amostras. Com esta intenção optou-se para o uso de uma coquilha de dimensões menores (40mm de diâmetro e espessura de 4mm), que proporciona uma análise rápida da amostra de aço, por emissão de Raio X, através do Quantômetro de emissão ótica ARL.3560 AES. A coquilha de base retangular usada para retirar a P₅, também foi substituída. O desenho da coquilha com suas medidas em proporções se encontra no Anexo D.

A escória foi analisada em todas as fusões, através de um Quantômetro de Raio X ARL 72000.

Todas as análises de aço e escória, foram executadas no laboratório da Aços finos Piratini.

O forno de indução é preparado para a fusão, a partir de sua sinterização a cada 10 corridas, ou quando houve a necessidade de recuperação do refratário. A sequência completa do procedimento de sinterização do forno encontra-se em Moraes, 1991.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais estão divididos de acordo com os parâmetros e variáveis estudados.

O grau de desfosforação foi calculado a partir de P_i (%P na sucata de inox).

O grau de dessulfuração seguiu o mesmo raciocínio de cálculo do G.P, com relação ao teor de enxofre (S).

As análises da composição química do aço e escória, e as respectivas temperaturas de reação, encontram-se nas Tabelas de 12 a 28 respectivamente.

Os registros de corrida encontram-se no Anexo H.

As corridas onde a retirada das amostras foi feita com o uso de pinos de sílica, estão representadas por F_1 a F_{11} , com o uso de coquilha por C_1 a C_{24} .

Inicialmente foi feita uma comparação do %P para diferentes agentes estabilizantes, ou seja, $BaCO_3+CaO$, $BaO+CaO$ e BaO .

Os valores das amostras obtidas, com o uso de $BaCO_3+CaO$ estão na corrida de número 37 em Moraes, 1991. Os parâmetros usados com todos os agentes estabilizantes foram os mesmos.

Na Figura 23, pode-se observar a ação do $BaCO_3+CaO$ do $BaO+CaO$ e da substituição total por BaO .

Com o uso de $BaCO_3+CaO$, chega-se a valores de 0,032%P na P_4 (com o teor de P_i de 0,040%). Com $BaO+CaO$, valores médios de 0,033%P na P_4 (F_1 , F_9 e C_{11}), são alcançados (%P na sucata de 0,043%). Um melhor resultado de 0,031%P na P_3 (C_{11}).

Com a substituição total por BaO (40%), chega-se a valores médios de 0,03%P na P₄ (C₃ e C₁₂), e um melhor valor de 0,026%P na P₄ (F₁₀). As variáveis tempo de reação (5min), teor de carbono (2%) e teor do agente estabilizante (40%) foram mantidas constantes.

A troca apenas do carbonato pelo óxido não se mostrou efetiva, valores esperados de desfosforação, como obtidos na literatura (60-80%), não foram alcançados. Mesmo com a decomposição térmica do BaCO₃ gerar apenas 78,66% de BaO.

Uma justificativa seria as altas temperaturas atingidas com o uso de BaO, em torno de 1500°C (na P₄), comparadas com as temperaturas obtidas com o uso de BaCO₃, em torno de 1440°C (na P₄). Pode-se observar que o controle da temperatura com o uso de BaO torna-se mais crítico, como salientado por Matsuo et al, 1985. O uso de BaCO₃ provoca uma queda na temperatura do banho de aço, devido a reação endotérmica de decomposição. Outro ponto a salientar em relação as altas temperaturas com o uso de BaO, que mesmo sendo um óxido forte (proporciona alta basicidade com baixo μO_2), a temperatura alta torna o produto da desfosforação (P₂O₅) instável, com seu retorno para o banho líquido, como foi apresentado por Matsuo et al, 1984, sendo mais pronunciada nas retiradas P₄ e P₅, onde houve uma refosforação.

Na Figura 24, pode-se ver o %G.P. em função das temperaturas de amostragem. Observa-se um decréscimo no G.P. com o aumento da temperatura, ou seja a influência da temperatura no G.P. torna-se um fator marcante, como foi

ênfatizado por Nakao et al, 1987.

Com o uso de BaO (30%)+CaO (10%), partiu-se para o estudo da variável tempo de reação.

Pela Figura 25, observa-se a variação do %P no banho, em função das amostras retiradas, para os tempos de reação fluxo-banho de 0, 2, 4 e 5 minutos. A partir do gráfico, nota-se que com um tempo de 2 minutos há um menor %P no aço líquido. Os valores médios para tempo zero de reação, ou seja, simplesmente fusão do fluxo, foram de 0,035%P na P₄ (F₂ e F₃), e o melhor resultado de 0,033%P na P₂ (F₃). Com tempo de 2 minutos, valores médios de 0,031%P na P₄ (F₄ e F₅) e o melhor valor de 0,028%P na P₄ (F₄). Com 4 minutos de reação fluxo-banho, foram obtidos, valores de 0,040%P na P₃ (F₆). Com 5 minutos de reação, foram obtidos valores médios de 0,035%P na P₄ (F₁, F₉, C₂ e C₁₁) e um melhor valor de 0,031%P na P₄ (C₁₁).

Uma comparação dos valores de G.P., Temperatura, G.S, NCr, %FeO e %C para zero tempo de reação, 2, 4 e 5 minutos, pode ser vista na Tabela 29.

Tabela 29 Tabela dos valores de G.P., Temperatura, G.S, NCr, %FeO e %C para a variável Tempo de reação

Tempo de reação	tempo zero	2 min	4 min	5 min
G.P(%)	23,25%	34,9%	7%	27,9%
T(°C)	1343°C	1412°C	1509°C	1519°C
G.S(%)	30%	81,8%	18,2%	30%
NCr(%)	-	-	-	90%
FeO(%)	-	0,30	19,6	5,58
C(%)	2,38	2,35	1,90	1,90

Onde: G.P. (grau de desfosforação); T (temperatura de amostragem em °C); G.S. (grau de dessulfuração); NCr (rendimento de cromo), %C (teor de carbono do banho) e %FeO (potencial de oxigênio do banho).

Como se observa, quanto mais baixo o %FeO (μO_2 do banho), maior o G.P. Como foi enfatizado por Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1980, a desfosforação é satisfatória ou não, se o μO_2 do banho for suficientemente baixo para controlar a oxidação do cromo. O que justificaria o índice de 34,9% de G.P., com 2 minutos de reação, quando comparado com o tempo de 5 minutos de reação de apenas 27,9%. Com relação a perda de cromo por oxidação, não foi possível uma comparação, pois os valores para os tempos zero de reação, 2 e 4 minutos não foram obtidos através da análise química.

Através da análise dos dados da tabela, um alto G.P., pode ser obtido a partir do somatório de condições favoráveis à desfosforação. Ou seja, temperatura, teor de carbono do banho, μO_2 e NCr, acompanhados de alto G.S.. Outro fator de influência seria o %C do banho para estes dois tempos de reação. Com 2

minutos foi de 2,35% e com 5 minutos foi de 1,90%. Segundo Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi, 1991, o teor de carbono de aproximadamente 2% é suficiente para prevenir a formação de Cr_2O_3 e obter-se uma discreta desfosforação, com 3%C atinge-se uma desfosforação acima de 60%. Mesmo com a etapa de carburação (adição de grafite), para se atingir 2% de carbono no banho, com 5 minutos observa-se uma leve descarburização (NC: 95%), possivelmente provocada pela alta temperatura de vazamento, que também influenciou o baixo G.P..

Com tempo de 2 minutos de reação foi onde se atingiu condições mais favoráveis de desfosforação, quando comparado com o tempo de 5 minutos. É de se esperar que com maior controle do μO_2 (%FeO), consiga-se atingir maior G.P. com o tempo de 5 minutos, acompanhado de baixa temperatura, mínima perda de cromo por oxidação e alto G.S..

A variável teor de carbono, foi investigada com teores de 1,5 e 2,0% para um tempo de 5 minutos. Com 1,5%, o %P foi de 0,037 na P_4 (C_9), para 0,031%P na P_4 (C_{11}) com 2%C. Estes teores de fósforo em função das amostras retiradas para 1,5 e 2,0%C, estão representados na Figura 26. Fica evidente que o aumento do teor de carbono, aumenta o G.P.. Como foi salientado por Shiroya et al, 1987, o aumento do teor de carbono é condição para a desfosforação. Mesmo com a temperatura de amostragem de 1519°C para 2%C, contra 1454°C para 1,5%C, nestes experimentos, o teor de carbono no banho não foi condição de desfosforação mais necessária do que a temperatura atingida pelo banho de aço. Os %FeO foram de 5,47 e 5,58%, respectivamente, necessário para que a perda de cromo por

oxidação, com 2%C fosse de 8,49% menor do que 11,8%, para 1,5%C.

Através do cálculo do coeficiente de partição ($(\%P)/[\%P]$), para os teores de carbono 1,5 e 2,0%, chegou-se a valores de 3,97 e 9,58, respectivamente. Ou seja, o aumento do L_p é diretamente proporcional ao aumento do %C. Segundo Inoue et al, 1988, aumenta-se o coeficiente de atividade do fósforo, quando aumenta-se o teor de carbono do banho.

O teor de fósforo no banho, em relação as amostras retiradas, para as reduções dos teores dos agentes estabilizantes, estão representadas na Figura 27.

Com a redução em 50% (de 10 para 5%) de CaO, o teor de fósforo foi de 0,036%P na P_4 (F_7), para 0,040%P na P_4 com a redução em 50% (de 40 para 20%) de BaO (F_8).

Com a redução de 50% do valor inicial de CaO (de 10 para 5%), e mantendo-se o %BaO (30%), observa-se pela Figura, que menor %P do banho é obtido, quando comparado com a redução em 50% do valor inicial de BaO (de 30 para 15%). Mesmo com o %FeO (10,8) alto, mantendo o %BaO, a temperatura foi baixa (1422°C) e o teor de carbono se manteve em 2,04%. Para a redução de CaO, a temperatura foi de 1531°C e o %C de 1,95%. Neste caso, o G.P. de apenas 16,3%, com 30% de BaO, foi determinado pelo baixo teor do agente estabilizante. Com enfatizado por Matsuo et al, 1984, o teor do agente estabilizante deve ser de no mínimo 40% para se atingir uma efetiva desfosforação. Também é importante salientar, que o fosfato formado a partir de BaO, é mais estável do que no sistema CaO. O que justificaria um maior

valor de %P com a redução de BaO. (Nassarala, Fruehan e Min, 1991).

Com a substituição total por BaO (40%), o melhor resultado foi de 0,026%P na P_4 (F_{10}), para um valor médio de 0,028%P na P_4 (F_{10} , C_3 e C_{12}).

Mesmo com o uso de um óxido constituído de um metal alcalino, que proporciona as condições oxidantes para um alto G.P., os valores obtidos foram de 39,5%.

A Figura 28, mostra a variação do teor de fósforo no banho em função das amostras retiradas para diferentes tempos de reação fluxo-banho, com o uso de 40% de BaO.

Os tempos de reação estudados foram: 2, 4, 5 e 8 minutos.

Com 2 minutos, foram obtidos, valores de 0,032%P na P_4 (C_{17}), com 4 minutos 0,033%P na P_4 (C_{16}), com 5 minutos 0,026%P na P_4 (C_{12}) e com 8 minutos 0,030%P na P_4 (C_{24}). Com maior tempo de reação, era de se esperar um aumento no valor do G.P.. Mesmo com os teores de FeO (5,45%) e Cr_2O_3 (9,59%) maiores, quando comparados com os teores obtidos com 8 minutos (FeO=2,55% e Cr_2O_3 =5,95%, o G.P. para o tempo de 5 minutos foi de 39,5%, para um G.P. de 30,2% com 8 minutos. Outra observação sobre o gráfico, seria a partir dos cinco primeiros minutos de reação após a adição do fluxo desfosforante, onde já se observa uma discreta desfosforação (confirmada pelo % P_2), e vai num crescente até 15 minutos. Este comportamento também foi citado por Yamauchi, Hasegawa e Maruhashi, 1983.

A Figura 29, mostra a variação do teor de óxido fósforo (P_2O_5), presente na escória, em função das amostras retiradas, para diferentes teores de carbono.

Com 0,053%C (teor da sucata), o G.P. foi de 11,6% (C_8), com 1%C o G.P. foi de 16,3% (C_4), 1,5%C o G.P. foi de 37,2% (F_{11}), 2%C o G.P. foi de 39,5% (C_{12}) e com 3% o G.P. foi de 32,6% (C_{22}).

Neste caso a baixa temperatura de desfosforação ($1428^{\circ}C$), para 2%C, foi melhor condição de desfosforação. Mesmo com menor %FeO (3,0%), que proporcionou menor perda de cromo por oxidação (4,40%), com 3% de carbono não atingiu-se os valores citados na literatura. Estes valores talvez possam ser atingidos com a redução do μO_2 do banho.

Foi estudado a redução dos teores de BaO para 25% (C_{19}) e 50% (C_{18}) do valor inicial. Com a redução de 25% (de 40 para 10%), não houve desfosforação, foram obtidos altos teores de FeO (8,87%), com temperatura na faixa de $1470^{\circ}C$. A Figura 30 mostra o teor de fósforo no banho em função das amostras retiradas, para a redução em 50% do valor inicial de BaO. Com esta redução (de 40 para 20%), o %FeO foi de 4,31 (caracterizando um menor μO_2), que não foi suficiente para proporcionar um menor teor de fósforo. A temperatura ficou em torno de $1400^{\circ}C$.

Para Nassarala, Fruehan e Min, 1991, com o teor de BaO (<40%), não há efeito na C_p (capacidade fosfática). Já Inoue et al, 1988, enfatizam que com o aumento do teor de BaO até 55% no fluxo, o G.P. alcança valores de 80%.

Como valores de G.P. de 80% ou próximos não foram obtidos partiu-se para o grupamento de variáveis.

Primeiramente com as variáveis teor de carbono de 3% e teor de BaO de 75% do valor inicial (de 40 para 30%), seguida do teor de carbono (3%) e tempo de reação de 6 minutos, chegou-se as curvas da Figura 31. Com o primeiro grupamento (C₂₀), valores de 0,036%P₄ foram obtidos, com temperatura de 1520°C e NCr de 83,8%; com o segundo grupamento de variáveis (C₂₃), foi obtido 0,023%P₄, para uma temperatura de 1479°C e NCr de 80%.

Com 6 minutos de reação e 3%C no banho, atingiu-se um G.P. de 46,5% contra um G.P de 16,3% com o grupamento 3%C e 75% de BaO.

Apresentando menores valores (nas amostras E₄) de %FeO (5,01) e %Cr₂O₃ (7,51), em comparação com o primeiro grupamento (%FeO= 7,41 e %Cr₂O₃= 10,2), o valor de G.P. de aproximadamente 50% foi obtido com um NC de 95% e temperatura de amostragem de 1479°C. Neste caso o %C do banho, a temperatura de amostragem, o alto NC, o %BaO de 40% e o %FeO (que justificou uma menor perda de cromo por oxidação), proporcionaram ao banho condições mais favoráveis de desfosforação. Com o primeiro grupamento, o %BaO usado foi de apenas 30% do valor inicial, o que justifica um valor maior do %P na amostra P₄. Neste caso o %BaO (<40%) contribuiu para o baixo G.P.. Como anteriormente salientado com %BaO <40%, não há efeito na capacidade fosfática. (Nassarala, Fruehan e Min, 1991), somado com a alta temperatura de amostragem de 1520°C

Na Figura 32, poderá ser vista a relação do teor de óxido

de fósforo (P_2O_5) formado em função de diferentes teores de carbono, para a corrida C_{23} (melhores resultados).

Como observa-se pela Figura no intervalo de 2,78 a 2,85°C, atinge-se maior G.P. Neste intervalo, foram obtidos, menores teores de FeO (5,01%) e de Cr_2O_3 (5,87%), suficientes para reduzir o %P no banho de aço.

Segundo Matsuo et al, 1985, o aço inox é desfosforado com um teor de carbono não menor de 2%, onde tem um valor discreto, com 3% fica praticamente estável e acima decresce. O que não foi observado pelo gráfico, mesmo com as temperaturas de amostragem na ordem de 1400°C, alto G.P. (acima de 60%), não foi obtido com 3%C, devido ao alto μO_2 (%FeO acima de 12%), no banho metálico. Os teores de FeO e Cr_2O_3 de todos os pontos de amostras da C_{23} , encontram-se na Tabela 27.

Comparando-se os %C no banho com os % Cr_2O_3 formados na escória (a partir da amostra E_3), quanto maior foi o %C no banho maior foi o % Cr_2O_3 obtido na escória. Neste caso o %C não foi suficiente para inibir a oxidação do cromo, devido ao alto %FeO obtido, que proporcionou um alto μO_2 . Dentro desse ensaio o carbono variou de 3,12 a 2,78.

A influência dos elementos de liga, C, Si, Mn e S na desfosforação para 5 minutos de reação fluxo-banho, teor de carbono de 2% e 40% de BaO no fluxo (C_{12}), poderá ser vista na Figura 33.

Observa-se que em menor %P (P_4), há uma leve descarburização, acompanhada de baixa redução do enxofre e pouca alteração no teor de manganês, o %Si manteve constante ao longo

do experimento.

A relação do %Cr com o %Cr₂O₃, para 3%C e tempo de reação de 6 minutos, foi analisada a partir dos dados das tabelas 19 (C₂₃) e 27 (C₂₃), respectivamente.

A medida que há perda de cromo por oxidação, há um aumento do %Cr₂O₃ na escória. O alto %Cr₂O₃ formado é devido ao alto %FeO (μO_2), pois o controle da oxidação do cromo no banho é efetivo a partir do abaixamento do μO_2 no banho, como enfatizado por Maruhashi, Hasegawa e Yamauchi et al, 1980. A formação de Cr₂O₃, causa diminuição no poder desfosforante da escória, o que justifica o teor de apenas 46,5% de G.P.. Mesmo com o uso de BaO, que proporciona a basicidade necessária para a desfosforação (Matsuo et al, 1985).

Os valores obtidos, com as corridas onde os parâmetros usados seguiram a bibliografia consultada (5 min de reação, teor de carbono de 2% a 3%C e teor do agente estabilizante não inferior a 40%), não foram os esperados.

Os melhores valores obtidos com o grupamento de variáveis (3%C e 6 min), ficaram em faixas de desfosforação até então não atingidas pelo LASID (aprox. 50%) ou seja, o uso de BaO com a obtenção de maior basicidade no banho, somado a um maior tempo de reação (6min) e ao teor de carbono de 3%, o que também foi enfatizado na bibliografia.

As variações decorrentes da temperatura, baseiam-se no difícil controle da potência do forno, que mesmo mantendo-as iguais, valores bem diferentes eram alcançados. Isto poderá ser melhor observado nas tabelas de registro de corridas (Anexo H).

Com um controle maior da temperatura de vazamento e das condições oxidantes do banho (%FeO, responsável pela oxidação do Cr), poderia se atingir maiores graus de desfosforação e dessulfuração.

Como salientado pela literatura, é mais fácil obter-se alto G.P., acompanhado de alto G.S.. Esta condição não foi uma constante durante os experimentos, mesmo quando a temperatura de reação foi alta (acima de 1500°C) e o %FeO baixo, condições favoráveis para a dessulfuração.

7 CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados obtidos, num forno de indução, chegou-se às seguintes conclusões:

- A substituição do carbonato de bário (BaCO_3) pelo óxido de bário (BaO), não apresentou os resultados esperados, graus de desfosforação de 60 a 80% não foram atingidos.

- Para o agente estabilizante composto de BaO (30%) - CaO (10%), com teor de carbono no banho de 2% e tempo de reação de 5 minutos, maiores graus de desfosforação obtidos foram em torno de 30%.

- O aumento da temperatura acima de 1480°C provoca decréscimo no G.P.

- Quanto mais baixo o %FeO na escória (μO_2), maior foi o G.P..

- O aumento do %C no banho até 2% aumentou o G.P., para o fluxo composto de 40%BaO.

- Com teores de carbono de 3% obteve-se um G.P. acima de 32%, para o fluxo composto de 40%BaO.

- Com temperaturas em torno de 1500°C e teor de carbono de 2% obteve-se uma desfosforação discreta. (G.P.= 30%).

- Para teores de carbono de 1,5 e 2,0%C, com o agente estabilizante composto de BaO (30%)+ CaO (10%), quanto menor o %FeO menor é a perda de cromo por oxidação.

- O teor do agente estabilizante no fluxo de desfosforação não deve ser inferior a 40%, para se atingir um G.P. em torno de 30%.

- O tempo de reação fluxo-banho de 5 minutos mostrou-se o mais efetivo para a desfosforação com 40% de BaO e 2%C.

- Um rendimento de carbono (NC) de 95%, proporcionou um G.P. de aproximadamente 50%.

- Com o uso de apenas 50g do óxido (BaO), que constitui o agente estabilizante, não se observa desfosforação.

- Valores altos de FeO (acima de 12%) inibiram a ação do carbono no controle de oxidação do cromo.

- O tratamento de dessiliciação ao longo dos experimentos mostrou-se efetivo. Após o tratamento, %Si (em média de 0,04%) obtido, não teve influência na desfosforação.

- A medida que houve perda de cromo por oxidação, foi observado maior %Cr₂O₃ na escória, nas condições de 3%C, 6 minutos de reação e 40% de BaO.

- Tanto para o agente estabilizante composto de BaO (30%)+CaO (10%) ou BaO (40%), maior perda de cromo por oxidação (Cr₂O₃), foi acompanhada de maior temperatura do banho.

- Com o uso de BaO (40%), como agente estabilizante, o controle da temperatura na desfosforação deve ser mais rigoroso.

- Mesmo com o uso de BaO (40%) proporcionando maiores temperaturas no banho, o G.P. foi acima de 46%.

- O uso de 100g/kg-metal de fluxo foi necessário para a desfosforação. Com a redução dos percentuais dos óxidos que constituíram o agente estabilizante o G.P. máximo obtido foi

de apenas 23%.

8 SUGESTÕES

Após a execução dos experimentos e análise dos resultados, chegou-se às seguintes sugestões, visando melhores resultados.

- Promover experimentos com o uso de óxido de bário, como agente estabilizante em teores acima de 40%.

- Usar BaCO_3 , como agente estabilizante, com grupamento das variáveis teor de carbono no banho (3%) e tempo de reação fluxo-banho (6min).

- Usar carbonato ou sulfato de bário, como agentes estabilizantes, cuja decomposição térmica gera CO_2 e H_2O , respectivamente.

- Usar como agente oxidante a combinação de dois óxidos, por exemplo Fe_2O_3 e Cr_2O_3 .

- Dividir o fluxo de desfosforação em mais partes (5), visando uma maior reação no banho líquido.

- Testar como agentes estabilizantes do fósforo, fluxos a base de lítio e sódio.

- Promover experimentos com tempos de reação fluxo-banho de 7 minutos.

- Promover novos grupamentos de variáveis, por exemplo teor do agente estabilizante e temperatura do banho.

- Utilizar um sistema ou equipamento que permita a injeção de gases por baixo do forno, proporcionando maior agitação no banho com maior oxidação de fósforo (P_2O_5).

- Trabalhar com condições mais homogêneas, ou seja, temperatura do banho e teores dos elementos de liga (por exemplo: P, S, Si e C).

- A partir do material vazado, promover o cálculo do

balanço de massa.

- Efetuar medições de temperatura em mais vezes ao longo do experimento.

- Procurar trabalhar com equipamentos que forneçam a análise química das amostras, simultaneamente com o realização do experimento.

- Com o uso de compostos a base de bário como agente estabilizante do P_2O_5 , testar o uso de BaF_2 como agente fluidizante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACESITA. *Aspectos metalúrgicos da fabricação dos aços inoxidáveis*. Itabira, [199_].
- ACESITA. *Manual técnico de aços inoxidáveis - características básicas e cuidados*. Itabira, [199_].
- ACESITA. *Barras de aços especiais - Aços inoxidáveis*. Itabira, [199_].
- ACESITA. *Corrosão em aços inoxidáveis*. 2.ed. Itabira, [199_].
- ARAÚJO, L.A.A. *Manual de siderurgia*. São Paulo: Distribuidora Cultural Brasileira, 1979. v.3.
- BALAJIVA, K; QUARRELL, A.G; VAJRAGUPTA, P. A laboratory investigation of the phosphorus reaction in the basic steelmaking process. *Journal of the Iron and Steel Institute*, v.153, n.34, p.115-145, 1946.
- BALAJIVA, K; VAJRAGUPTA, P. The effect of temperature on the phosphorus reaction in the basic steelmaking process. British Iron and Steel Research Association. *Journal of the Iron and Steel Institute*, v.155, p.563-567, 1947.
- BURTON, C; MITCHELL, A. Some observations on phosphorus behaviour in ESR. In: *The Iron and Steel Institute of Japan INTERNATIONAL CONFERENCE ON VACUUM METALLURGY*, 17, Tokyo, 1982, p.1231-1236.
- CAMPOS, V.F. *Curso sobre pré-refino de ferro gusa*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Metalúrgica da UFMG, 1984.
- CAMPOS, V.F. *Tecnologia de fabricação do aço líquido*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Metalúrgica de UFMG, 1985, v.1.
- CAVALLANTE, F.L. Aspectos cinéticos da desoxidação e da dessulfuração de aços sob vácuo. *Metalurgia - ABM*, v.41, n.334, p.505-508, set. 1985.
- CHATTOPADHYAY, S; MITCHELL, A. Thermochemistry of calcium oxide and calcium hydroxide in fluoride slags. *Metallurgical Transactions B.*, v.21, p.621-627, Aug. 1990.
- CHIAVERINI, V. *Aços e Ferros Fundidos*. 5ª.ed. São Paulo: ABM, 1982.
- CHIPMAN, J; FLORIDIS, T. P. Activity of oxygen in liquid iron alloys. *Transactions of the Metallurgical Society of AIME*, p.549-553, Aug. 1958.

- DISTIN, P A; WHITEWAY, S.G; MASSON, C.R. Solubility of oxygen in liquid iron from 1785^o to 1960^oC. a new technique for the study of slag-metal equilibria. *Canadian Metallurgical Quarterly*, v.10, n.1, p.13-18, [196_].
- FERNANDES, W.M.A; NEVES, J.C. *A Produção de Aços Inoxidáveis e de Aços ao Silício na Aciaria*, Itabira: ACESITA, [199-]. p.1-23.
- FUJIWARA, H et al. Effects of Ca²⁺ ion on the activities of P₂O₅ in BaO + BaCl₂ + P₂O₅ fluxes. *Transactions of the I&SM*, p.51-56, Feb. 1990.
- FUWA, T. Dephosphorization in liquid iron and steel. In: *The 1981 Howe Memorial Lecture (Part I)*, I&SM, Sendai, p.18-25, June 1981.
- HARASHIMA, K. et al. *Dephosphorization and rephosphorization of iron melt with CaF₂, CaCl₂ or CaF₂-CaCl₂ containing iron oxide.*
- HEALY, G.W.A New look at phosphorus distribution. *Journal of the Iron and Steel Institute*, p.664-668, July, 1970.
- ILDA, Y; NOZAKI, T; SUDO, F. Control of inclusions by injection metallurgy. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON REFINING OF IRON AND STEEL BY POWER INJECTION*, 3., 1983.
- IKEDA, T. et al. Some thermochemical discussions on the oxidizing refining of steel. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, v.21, p.433-443, 1981.
- INDUCTOTHERM, *Vip power trake vip power melt para equipamentos de indução: fornos para fusão de metais ferrosos, não ferrosos e preciosos.* São Paulo, [198_]. 144p. Manual de manutenção e operação.
- INOUE, H. et al. Simultaneous desulfurization and dephosphorization of hot metal by CaCl₂-CaO flux. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON INJECTION METALLURGY*, 2., p.1-14, Jun.12-13, 1980.
- INOUE, R; LI, H; SUITO, H. Dephosphorization equilibrium between liquid iron containing Cr and BaO-Cr₂O₃-Fe_tO slags. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, Tokyo, v.28, p.179-185, 1988.
- INOUE, R; SUITO, H. Phosphorus distribution between soda- and lime-based fluxes and carbon-saturated iron melts. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, Tokyo, v.25, p.118-126, 1985.
- INOUE, S. et al. Dephosphorization of chromium - containing iron with various oxide-halide fluxes. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, Tokyo v.28, p.192-197, 1988.

- IWASE, M; FUJIWARA, H; ICHISE, E. Thermodynamic study of BaO-BaCl₂-P₂O₅ liquid slags formed at the later stages of dephosphorization of chromium hot metal. *Transactions of the I&SS*, Kyoto, p.69-70, May. 1988.
- JIAO, Q; THEMELIS, N.J. Correlations of electrical conductivity to slags composition and temperature. *Metallurgical Transactions B*, v.19, p.133-140, Feb. 1988.
- KATAYAMA, T. et al. Dephosphorization of high Chromium Molten Steel with CaC₂ - CaF₂ Flux, *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, v.19, p.635-643, 1979.
- KITAMURA, K. et al. Production of low Phosphorus Stainless Steel by the Reducing Dephosphorization Process. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, Tokyo, v.24, p 631-638, 1984.
- KOBAYASHI, W.T. *Aspectos termodinâmicos e cinéticos da desoxidação e da dessulfuração. Reação metal-escória*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica, 1989. Seminário de área.
- LEAL, C; TORSSELL, K. Dephosphorization of chromium steels by injection calcium carbide. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, V.15, p.265-272, 1986.
- PLÖCKINGER, E; ETTERICH, O. *Electric furnace steel production*. In: Stellworks Committee of the VDEH. German, 622p, 1985.
- MARTINEZ, E R; SANO, N. Nitrogen solubility in CaO-CaF₂-SiO₂ melts. *Metallurgical Transactions B*, V.21, p.105-109, Feb. 1990.
- MARUHASHI, S; HASEGAWA, M; YAMAUCHI, T. A process for dephosphorization and denitrification of chromium - containing iron. Int. CL³. C21C7/076/7/064. UK Patent n.8020244. 11p, Jun.20, 1980.
- MARUHASHI, S; HASEGAWA, M; YAMAUCHI, T. Process for dephosphorization and denitrification of chromium-containing pig iron, Int. CL³. C21C7/02; C22B9/10, US Patent, n.159.097, 12p, Jun.13, 1980.
- MASSON, C.R. Thermodynamics and constitution of silicate slags. *Journal of the Iron and Steel Institute*, Sheffield, p 89-96, Feb. 1972.
- MATOS, M. de. et al. *Tecnologia de fabricação de aço inox*. Belo horizonte: UFMG, v.4, 1985.
- MATSUO, T. et al. Dephosphorization and desulfurization method for molten iron alloy containing chromium. Int. CL³. C 21C7/02. US Patent n.4, 450, 0004. Mar 2, 1983; May. 22, 1984. 5p.

- MATSUO, T. et al. Dephosphorization of crude stainless steel. *The Sumimoto Search*, n.31, p.13-20, Nov. 1985.
- MATSUO, T. et al. Development of new hot metal. Dephosphorization process in top and bottom blowing converter. *The Sumimoto Search*, n.44, p.103-112, Dec. 1990.
- MIN, D.J; FRUEHAN, R.J. Nitrogen solution in BaO-B₂O₃ and CaO-B₂O₃ slags. *Metallurgical Transactions B*, v.21, p.1025-1028, Dec. 1990.
- MIN, D.J; SANO, N. Determination of standard gibs energies of formation of Ba₃P₂ and Ba₃(PO₄)₂. *Metallurgical Transactions B*, v.20, p.871-877, Dec. 1989.
- MOMOKAWA, H; SANO, N. The effect of oxygen potential on phosphorus in the CaO-Al₂O₃ system. *Metallurgical Transactions B*, v.13B, p.643-648, Dec. 1982.
- MORAES, C.A.M. *Desfosforação do aço inoxidável*. Porto Alegre: Escola de Engenharia, PPGEMM, 236p, 1991.
- MUNDIN, J.M. *Tecnologia da fabricação do aço inoxidável*. Belo Horizonte: Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais (USIMINAS), .v.2, 255p, 1985.
- NAKAO, R. et al. . Dephosphorization of crude stainless steel melt by CaCrO₄-CaO-CaF₂ flux. *Transactios of the Iron and Steel Institute of Japan*, v.27, 1987.
- NASSARALA, C; FRUEHAN, R. J; MIN, D.J. A thermodynamic study of dephosphorization using BaO-BaF₂, CaO-CaF₂, and BaO-CaO-CaF₂ systems. *Metallurgical Transactions B*, .v.22, p.33-38, Feb. 1991.
- Nickel - Aço inoxidável e criatividade. *Nickel*, São Paulo, v.4, n.16,7p., 1991.
- OETERS, F. *Metalurgie der stahlherstellung*. Düsseldorf: Verlag *Stahleisen*, 1989. 276 Abbildungen, 1989. Springer - Terlag Berlin , Heidelberg, New York, London, Paris, Tóquio, Hon Kong, Verlag Stahleisen Düsseldorf.
- OLIVEIRA, S.P; FERNANDES, W,M.A; MARTINS, T.B. Experiência da ACESITA em AOD e VOR. *Metalurgia*, São Paulo, ABM, v.40,p.550-556, 1984.
- PADILHA, A.F. *Algumas observações sobre o descobrimento dos aços inoxidáveis*. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DO AÇO INOXIDÁVEL. Anais, São Paulo: ABM, p. ,1889.
- SELIN, R; DONG, Y; WU, Q.A. Uses of lime-based fluxes for simultaneous removal of phosphorus and sulphur in hot metal pretreatment. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, n.19, p. 98-109, 1990.

- SELINES, R.J; MEHLMAN, S.K. AOD Refining for wrought carbon and low alloy steels. **ELECTRIC FURNACE CONFERENCE**, 40, 1982, Kansas City. p.91-99.
- SILVEIRA, R.C. da; FIGUEIRA, R.M; CASTRO, L.F.A. de. **Tratamento térmico em aço inoxidável** . v.3, 1985.
- SHIROTA, Y. et al. Phosphate capacity of $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ slags by levitation melting. **Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan**, v.25, p.1132-1142, 1985.
- SUITO, H; INOUE, R; TACADA, M. Phosphorus distribution between liquid iron and MgO saturated slags of the system $\text{CaO-MgO-FeO}_x\text{-SiO}_2$. **Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan**, v.21, p.250-259, 1981.
- SUITO, H; INOUE, R. Effect of calcium fluoride on phosphorus distribution between MgO saturated slags of the system $\text{CaO-MgO-FeO}_x\text{-SiO}_2$ and liquid iron. **Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan**, v.22, p.869-877, 1982.
- SUITO, H; INOUE, R. Effects of Na_2O and BaO additions on phosphorus distribution between $\text{CaO-MgO-Fe}_t\text{O-SiO}_2$ slags and liquid iron. **Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan**, v.24, p.47-53, 1984.
- SUITO, H; INOUE, R. Phosphorus distribution between MgO - saturated $\text{CaO-Fe}_t\text{O-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-MnO}$ slags and liquid iron. **Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan**, v.24, p.40-46, 1984.
- TAGUCHI, K; TACHIBANA, K; OGURA, Y. Application of secondary steelmaking to seamless production in NKK. **London: The Institute of Metals**, p.145-152, 1985..
- TAKAHASHI, I. et al. . Dephosphorization of stainless steel and high Cr - high Ni - high Mo alloys. **Tetsu-to-Hagane**, n.18, p.17-38, 1983.
- TAKENOUCHI, T. **Dephosphorization under Reducing conditions**. Tokyo: Muroran Research Laboratory, the Japan Steel Works Kid, p.335-356, 1989.
- TOOP, G.W; SAMIS, C.S. Activities of ions in silicate melts. **Transactions of the Metallurgical Society of Aime**, v. 224, p.878-887, Oct. 1962.
- TURKDOGAN, E.T. Slags and fluxes for ferrous ladle metallurgy. **Ironmaking and Steelmaking**, v.12, n.2, p.64-78, 1985.
- TURKDOGAN, E.T; PEARSON, J. Reaction equilibria between metal and slag in acid and basic. Open-Hearth steelmaking. **Journal of Iron and Steel Institute**, p.59-63, Jan. 1954.
- UEDA, T; MARUKAWA, K; SHIROTA, Y. **Sumitomos Sharp process**. Hot metal pretreatment. **Steel Times International**. p.46-48, Mar. 1985.

- WRAMPPELMEYER, J.C; JANKE, D. Partition equilibria of phosphorus between pure iron and CaO - saturated slags at 1600° C. *INTERNATIONAL IRON AND STEEL CONGRESS*, 5., 1986, Washington , p. 653-659.
- YAMAMOTO, K. et al. Dephosphorization of crude stainless steel using barium carbonate based fluxes. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, v.24, 1984.
- YAMAMOTO, S. et al. Development of new steelmaking process using soda ash (Na_2CO_3). *Nippon Steel Technical Report*. n.15, p.94-103, June. 1980.
- YAMAUCHI, T. HASEGAWA, M; MARUHASHI, S. Dephosphorization of molten chromium - containing pig iron by $\text{CaO-CaF}_2\text{-FeO}$ flux with addition of Li_2CO_3 . *Tetsu-to-Hagane*, n.69, p.99-105, 1983.
- YAMAUCHI, T; MARUHASHI, S. Desphosphorization of molten pig iron containing chromium by lithium carbonate. *Transactions of Iron and Steel Institute of Japan*, v.23, p.752-758, 1983.
- YAMAUCHI, T.T. et al. . Process for Producing low P Chromium-containing steel. *Pacific Metals & Co. Ltd. Nisshen Stell Co. Ltd: both of Japan*, p.1-10, May.1984.

ANEXOS

ANEXO A TABELAS

Tabela 1 Composição química do refratário MgO em %

	MgO	Al ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
MAGMIX	87-92	0,4	0,4	2,5	4,5-7,0
STAMPMAG	92-95	0,3-0,7	0,3-0,7	1-2	1,8-2,6

Tabela 2 Composição química do concreto aluminoso em %

Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
94-97	3-5	0,1-0,5	0-0,02	0-0,01

Tabela 3 Composição das pelotas de Fe₂O₃ em %

Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	Ganga
95	0,96	0,38	0,84	0,23	0,002	0,0021	2,4141

Tabela 4 Composição química do óxido de cálcio em %

CaO	SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	MgO	S	Reatividade
1	1,2	0,021	2,7	1,24	0,084	392
Perda ao fogo						
3,39						

Tabela 5 Composição química do cloreto de bário em %

Matérias Insolúveis	máximo 0,005
Substâncias Oxidantes	
(como NO ₃)	máximo 0,005
Cálcio (Ca)	máximo 0,05
Metais Pesados	
(como Pb)	máximo 0,0005
Ferro (Fe)	máximo 0,0002
Estrôncio (Sr)	máximo 0,1

Tabela 6 Composição química da sucata(1) de inox em %

C	0,053	P	0,043
Ni	8,86	Co	0,14
Al	0,011	Nb	0,019
Si	0,59	S	0,011
Cr	18,89	V	0,04
Sn	0,014	Mo	0,20
Mn	2,01	Ti	0,002
W	0,026	Cu	0,21

Esta sucata foi utilizada de F₁ a F₁₁ e da C₁ a C₁₀.

Tabela 7 Composição química da sucata(2) de inox em %

C	0,061	P	0,043
Ni	9,14	Co	0,15
Al	0,009	Nb	0,017
Si	0,45	S	0,010
Cr	19,39	V	0,04
Sn	0,012	Mo	0,13
Mn	1,99	Ti	0,002
W	0,024	Cu	0,20

Esta sucata foi utilizada de C₁₁ em diante.

Tabela 8 Análise imediata do grafite (1) em %
(base seca)

Cinzas	M. Volátil	Umidade	C. Fixo
11,64	1.62	0,51	86,74

Esta grafite foi utilizada de F₁ a F₁₁ e da C₁ a C₁₄.

Tabela 9 Análise imediata do grafite (2) em %
(base seca)

Cinzas	M. Volátil	Umidade	C. Fixo
6,64	2,09	traços	91,27

Esta grafite foi utilizada a partir da C₁₅.

12-TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Nc	Ncr	Ti.(C)	total	Ta.(C)	OBSERVAÇÕES
Fusão 1	P1	2	-	-	,040	,003	-	-	-	-	-	100	-	1504	5	1492	Ba0+Ca0+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	-	-	-	,039	-	-	-	-	-	-	-	-	1491	5	1550	5 min - 2%C - pinos
	P3	-	,02	-	,032	-	-	-	-	-	-	-	-	1557	5	1544	sucata 1
	P4	1,96	,04	-	,035	,002	-	-	-	-	-	98	-	1513	5	1527	
	P5	2,06	,057	,80	,035	,006	12	3,4	,14	,02	,12	-	53,29	-	5	1537	
Fusão 2	P1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1607	1	1567	Ba0+Ca0+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	2,26	,04	-	-	,004	-	-	-	-	-	-	-	1481	1	1472	sem tempo - 2%C - pinos
	P3	2,16	,02	-	,038	-	14	-	-	-	-	-	73,83	1378	1	1348	sucata 1
	P4	2,16	,02	-	,037	-	14	-	-	-	-	-	73,83	1356	1	1357	
	P5	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	63,29	-	5	1380	
Fusão 3	P1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1623	5	1554	Ba0+Ca0+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	2,38	-	-	,033	,002	-	-	-	-	-	-	-	1441	-	1441	sem tempo - 2%C - pinos
	P3	-	,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1386	1	1386	sucata 1
	P4	2,35	,02	-	-	,001	-	-	-	-	-	-	-	1348	1	1343	
	P5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1348	
Fusão 4	P1	2,43	-	-	,028	,004	-	-	-	-	-	-	-	1547	5	1572	Ba0+Ca0+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	2,35	,01	-	,029	,002	-	-	-	-	-	-	-	1447	2	1447	2 min - 2%C - pinos
	P3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1464	2	1410	sucata 1
	P4	2,41	,01	-	,028	,002	-	-	-	-	-	-	-	1420	2	1412	
	P5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1400	
Fusão 5	P1	2,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1640	5	1610	Ba0+Ca0+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	2,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1600	2	1600	2 min - 2%C - pinos

13- TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOX OBTIDO
 " PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX " (%)

CORRIDA	PROVA	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Nc	Ncr	Ti (°C)	t (min)	Ta (°C)	OBSERVAÇÕES
	P3	2,07	-	-	,036	-	-	-	-	-	-	-	-	1630	-	1640	sucata 1
	P4	2,04	-	-	,034	-	-	-	-	-	-	-	-	1770	1	1760	
	P5	2,04	,04	-	,034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1730	
Fusão 6	P1	-	,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1480	5	1474	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,99	,04	-	,041	,011	-	-	-	-	-	99,5	-	-	4	1246	4 min - 2%C - pinos
	P3	1,90	,04	-	,040	,009	-	17,2	-	-	-	95	-	-	4	1614	sucata 1
	P4	1,90	,04	-	,041	,009	-	-	-	-	-	95	-	-	4	1509	
	P5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1580	
Fusão 7	P1	2,01	,08	-	,040	-	-	-	-	-	-	-	-	1591	5	1608	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,85	,04	-	,039	,009	-	-	-	-	-	97,5	-	1510	5	1443	5 min - 2%C - pinos
	P3	-	,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1405	5	1379	50 % CaO
	P4	1,95	,01	-	,036	,010	-	-	-	-	-	97,5	-	1548	5	1531	sucata 1
	P5	-	,01	-	,035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1530	
Fusão 8	P1	2,13	,04	-	,040	,006	-	-	-	-	-	-	-	1563	5	1552	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	2,04	,04	-	,040	,006	-	-	-	-	-	-	-	1476	5	1521	5 min - 2%C - pinos
	P3	2,04	,04	-	,040	,006	-	-	-	-	-	-	-	1400	5	1423	50 % BaO
	P4	2,04	,04	-	,040	,003	-	-	-	-	-	-	-	1378	5	1422	sucata 1
	P5	-	-	-	,041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1424	
Fusão 9	P1	1,99	-	-	,039	-	-	-	-	-	-	99,5	-	1620	5	1641	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,92	-	-	,040	,011	-	-	-	-	-	96	-	1516	5	1550	5 min - 2%C - pinos
	P3	-	,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1434	5	1567	200 g BaCl ₂
	P4	1,83	,01	-	,038	,033	-	-	-	-	-	95	-	1504	5	1545	sucata 1

14- TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOX OBTIDO
 " PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX " (%)

CORRIDA	PROVA	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Nc	Ncr	Ti (°C)	t (min)	Ta (°C)	OBSERVAÇÕES
	P5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1527	
Fusão 10	P1	-	-	-	,040	-	-	-	-	-	-	-	-	1456	5	1483	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	-	-	-	,040	-	-	-	-	-	-	-	-	1460	5	1464	5 min - 2%C - pinos
	P3	1,93	,04	1,71	,038	,009	19,1	8,36	,22	,02	,19	96,5	-	1500	5	1509	sem CaO
	P4	1,90	,04	-	,026	-	-	-	-	-	-	95	-	1517	5	1509	sucata 1
	P5	-	,04	-	,030	,009	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1560	
Fusão 11	P1	1,56	,04	-	,036	,009	19,1	-	,21	,01	-	-	-	1580	5	1558	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1355	5	1375	5 min - 1,5%C - pinos
	P3	1,33	,04	-	,027	,009	19,1	-	,20	-	,20	88,6	-	1451	5	1408	sem CaO
	P4	1,33	,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1380	5	1372	sucata 1
	P5	1,33	,04	1,71	,036	,007	19,1	8,67	,23	,01	,20	88,6	-	-	5	1422	
C.1	P1	2,00	,04	1,60	,040	,009	17,5	8,85	,18	,04	,19	-	92	1525	5	1492	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,99	,04	1,55	,039	,009	17,5	8,85	,18	,02	,19	99,5	92	1391	5	1450	5 min - 2%C - coquilha
	P3	2,00	,04	1,55	,032	,007	17,4	8,81	,18	,01	,19	100	91,9	1357	5	1544	sucata 1
	P4	2,00	,04	1,53	,035	,006	17,4	8,81	,18	,01	,19	100	91,8	1520	5	1427	
	P5	1,85	,04	1,53	,035	,006	17,4	8,80	,18	,01	,19	92,5	91,7	-	5	1427	
C.2	P1	2,01	,04	1,40	,040	,011	17,5	8,90	,18	,04	,19	-	92	1591	5	1600	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,95	,04	1,36	,037	,009	17,5	8,88	,18	,04	,19	97,5	92,2	1512	5	1443	5 min - 2%C - coquilha
	P3	1,95	,04	1,36	,037	,009	17,4	8,71	,18	,04	,19	97,5	91,8	1400	5	1379	sucata 1
	P4	1,95	,04	1,34	,037	,009	17,4	8,64	,18	,01	,19	97,5	91,8	1364	5	1531	
	P5	1,86	,04	1,34	,037	,008	17,4	8,60	,18	,01	,19	93	91,7	-	5	1530	
C.3	P1	2,06	,04	1,64	,040	,010	17,9	8,54	,24	,03	,21	-	94,4	1315	5	1309	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃

15- TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Nc	Ncr	Ti (C)	t (min)	Ta (C)	OBSERVAÇÕES
	P2	2,00	,04	1,64	,040	,009	17,9	8,54	,24	,01	,21	100	94,1	1510	5	1550	5 min -2%C - coquilha
	P3	1,95	,04	1,52	,038	,009	17,7	8,41	,24	,01	,21	97,5	93,6	1563	5	1567	sem CaO
	P4	1,90	,04	1,45	,031	,009	17,5	8,35	,24	,01	,21	95	92,3	1594	5	1545	sucata 1
	P5	1,84	,04	1,30	,028	,009	17,3	8,21	,24	,01	,21	92	91,2	-	5	1527	
C.4	P1	1,01	,07	1,60	,043	,020	19,5	8,92	,23	-	,20	-	-	1474	5	1462	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,01	,07	1,58	,042	,017	19,3	8,93	,23	-	,20	-	-	1533	5	1520	5 min -1%C - coquilha
	P3	1,00	,04	1,56	,034	,011	19,1	8,91	,23	-	,20	100	-	1515	5	1510	sucata 1
	P4	,99	,04	1,50	,036	,009	19,0	8,92	,23	-	,20	99	-	1510	5	1524	
	P5	,93	,04	1,44	,037	,009	18,9	8,98	,23	-	,20	93	99,8	-	4	1520	
C.5	P1	,92	,04	1,55	,044	,017	19,5	8,92	,23	,03	,20	92	-	1450	5	1414	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	,92	,04	1,43	,043	,013	19,3	8,93	,23	,01	,20	92	-	1400	5	1403	5 min -1%C - coquilha
	P3	,92	,04	1,34	,042	,010	19,1	8,90	,23	,02	,20	92	-	1374	5	1381	sucata 1
	P4	,91	,04	1,16	,038	,009	19,0	8,94	,23	,01	,20	91	-	1458	5	1459	
	P5	,85	,04	1,05	,039	,009	19,0	8,99	,23	,01	,20	85	-	-	5	1490	
C.6	P1	1,63	,22	1,78	,041	,019	19,5	8,69	,21	-	,20	-	-	1474	5	1468	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,58	,15	1,70	,039	,016	19,0	8,56	,20	-	,20	-	-	1409	5	1408	5 min -1,5%C - coquilha
	P3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1403	5	1405	sucata 1
	P4	1,61	,04	1,59	,039	,007	19,2	8,82	,20	-	,20	-	-	1325	5	1358	
	P5	1,62	,04	1,56	,039	,007	19,3	8,71	,20	-	,20	-	-	-	4	1356	
C.7	P1	1,61	,24	1,71	,041	,020	19,5	8,70	,20	-	,20	-	-	1584	5	1591	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,54	,12	1,70	,039	,020	19,1	8,64	,20	-	,20	-	-	1507	5	1512	5 min - 1,5%C - coquilha
	P3	1,48	,10	1,70	,039	,015	19,0	8,82	,20	-	,20	98,6	-	1374	5	1379	sucata 1

16- TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Nc	Ncr	Ti (°C)	t (min)	T (°C)	OBSERVAÇÕES
	P4	1,40	,04	1,61	,038	,009	19,2	8,74	,20	-	,20	93,3	-	1364	5	1364	
	P5	1,49	,04	1,59	,037	,009	19,4	8,70	,20	-	,20	99,3	-	-	5	1530	
C.8	P1	,06	,04	1,74	,041	,009	19,3	9,95	,22	-	,20	-	-	1795	5	1800	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	,07	,04	1,64	,040	,009	19,0	8,97	,22	-	,20	-	-	1664	5	1662	5 min -,053%C -coquilha
	P3	,07	,06	1,58	,040	,008	18,9	9,00	,22	-	,20	-	99,9	-	5	1598	sucata 1
	P4	,06	,04	1,48	,038	,007	18,8	9,01	,22	-	,20	-	99,2	1484	5	1482	
	P5	,06	,05	1,40	,038	,007	18,6	9,05	,22	-	,20	-	98	-	5	1732	
C.9	P1	1,53	,04	1,81	,041	,013	19,6	8,77	,20	-	,20	-	-	1569	5	1570	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,54	,04	1,74	,040	,010	19,6	8,75	,20	-	,20	-	-	1479	5	1476	5 min - 1,5%C - coquilha
	P3	1,53	,04	1,70	,039	,007	19,2	8,82	,20	-	,20	-	-	1468	5	1462	com CaO
	P4	1,49	,04	1,66	,037	,007	19,0	8,84	,20	-	,20	99,3	-	1460	5	1454	sucata 1
	P5	1,43	,04	1,62	,037	,007	18,6	8,89	,20	-	,20	95,3	98,3	-	5	1437	
C.10	P1	2,01	,16	1,70	,041	,017	19,6	8,80	,22	,04	,20	-	-	1412	5	1414	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	2,04	,09	1,68	,042	,013	19,8	8,74	,22	,04	,20	-	-	1415	2	1403	2 min - 2%C - coquilha
	P3	1,99	,04	1,69	,040	,010	20,0	8,64	,22	,03	,20	99,5	-	1398	2	1381	com CaO
	P4	2,05	,04	1,66	,036	,008	19,4	8,79	,22	,02	,20	-	-	1484	2	1459	sucata 1
	P5	1,98	,04	1,61	,039	,007	19,4	8,78	,22	,02	,20	99	-	-	2	1490	
C.11	P1	2,00	,04	1,50	,043	,010	17,5	9,10	,15	,04	,20	100	90,2	1458	5	1430	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,98	,04	1,44	,039	,008	18,0	9,12	,15	,02	,20	99	93	1410	5	1426	5 min - 2%C - coquilha
	P3	2,00	,04	1,44	,036	,008	17,2	9,12	,15	,01	,20	100	8,8	1415	5	1434	sucata 2
	P4	1,90	,04	1,39	,031	,007	17,5	9,07	,15	,01	,20	95	90	1500	5	1519	
	P5	1,83	,04	1,35	,031	,007	17,1	9,19	,15	,01	,10	91,5	88,2	-	5	1512	

17-TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Nc	Ncr	Ti (°C)	t (min)	Ta (°C)	OBSERVAÇÕES
C.12	P1	2,08	,04	1,54	,044	,009	17,8	9,08	,28	,03	,20	-	91,5	1410	5	1442	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,99	,04	1,43	,038	,008	17,3	9,36	,28	,01	,21	99,5	89,3	1544	5	1538	5 min - 2%C - coquilha
	P3	1,94	,04	1,35	,034	,008	17,1	9,29	,27	,01	,21	97	88	1560	5	1572	sucata 2
	P4	1,86	,04	1,33	,026	,008	16,6	9,37	,28	,01	,20	93	85,8	1632	3	1428	
	P5	1,80	,04	1,31	-	,008	16,8	9,12	,28	,01	,20	90	86,6	-	-	1449	
C.13	P1	1,50	,04	1,43	,043	,021	17,6	8,12	,16	,03	,19	100	91	1539	5	1541	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,54	,04	1,35	,043	,015	17,4	8,13	,15	,03	,19	-	89,5	1489	5	1473	5 min - 1,5%C - coquilha
	P3	1,47	,04	1,25	,041	,010	16,9	8,10	,16	,02	,19	98	87,4	1441	5	1467	sucata 2
	P4	1,44	,04	1,13	,037	,008	16,4	8,22	,15	,02	,19	96	84,8	1367	5	1477	
	P5	1,38	,04	1,06	,036	,007	16,8	8,37	,16	,01	,19	92	86,6	-	5	1489	
C.14	P1	1,92	,04	1,55	,044	,017	18,3	9,41	,24	,03	,20	92	94,4	1545	5	1526	BaO+BaCl ₂ + Fe ₂ O ₃
	P2	,92	,04	1,43	,043	,013	17,9	9,16	,24	,03	,20	92	92,2	1454	5	1498	5 min - 1%C - coquilha
	P3	,92	,04	1,34	,042	,010	17,7	9,48	,24	,01	,20	92	91,2	1523	5	1549	sucata 2
	P4	,91	,04	1,16	,038	,008	17,3	9,58	,24	,01	,20	91	89,1	1407	5	1492	
	P5	,85	,04	1,05	,040	,009	17,2	9,56	,24	,01	,20	85	88,6	-	5	1543	
C.15	P1	1,94	,08	1,50	,042	,018	19,6	8,63	,23	,04	,20	97	-	1584	2	1714	BaO+BaCl ₂ + Fe ₂ O ₃
	P2	2,04	,03	1,39	,042	,016	19,6	8,68	,24	,04	,20	-	-	1678	2	1605	2 min - 2%C - coquilha
	P3	1,96	,04	1,25	,038	,012	19,0	8,88	,24	,03	,20	98	97,6	1341	2	1356	sucata 2
	P4	1,92	,01	1,12	,033	,009	17,9	8,76	,15	,03	,20	96	92,3	1534	2	1501	
	P5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1583	
C.16	P1	2,11	,02	1,52	,042	,017	19,5	8,67	,16	,02	,20	-	-	1485	4	1485	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	P2	1,99	,01	1,30	,041	,012	19,9	8,60	,17	,02	,20	99,5	-	1527	4	1463	4 min - 2%C - coquilha

18 - TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Nc	Ncr	Ti (°C)	t (min)	T (°C)	OBSERVAÇÕES
	P3	2,02	,01	1,15	,039	,010	19,88	97,17	,02	,20	-	-	1408	4	1408	sucata 2	
	P4	1,98	,01	,95	,033	,010	19,29	11,17	,01	,20	99	99,1	1485	4	1485		
	P5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C.17	P1	2,0	,04	1,62	,043	,019	19,68	40,28	,04	,20	100	-	1522	2	1438	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃	
	P2	2,0	,01	1,59	,042	,012	19,58	66,27	,03	,20	100	-	1450	2	1450	2 min - 2%C - coquilha	
	P3	1,97	,01	1,53	,037	,010	19,38	73,27	,02	,20	98,5	-	1369	2	1369	sucata 2	
	P4	1,92	,01	1,47	,032	,010	19,58	63,28	,01	,20	96	-	1354	2	1360		
	P5	1,89	,01	1,28	,033	,010	19,18	71,28	,01	,20	94,5	99	-	2	1390		
C.18	P1	1,91	,004	1,61	,043	,020	16,88	78,37	,04	,19	95,5	86,9	1515	5	1503	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃	
	P2	1,91	,04	1,46	,043	,020	16,58	87,36	,03	,19	95,5	-	1500	5	1494	5 min - 2%C - coquilha	
	P3	1,91	,04	1,40	,042	,017	16,38	76,37	,03	,19	95,5	84,2	1499	5	1499	50% BaO	
	P4	1,88	,04	1,26	,042	,016	16,18	78,38	,03	,19	94	82,9	1434	5	1440	sucata 2	
	P5	1,88	,04	1,10	,042	,016	15,98	73,37	,03	,19	94	81,8	-	5	1517		
C.19	P1	2,07	,04	1,51	,043	,022	17,38	96,52	,04	,20	-	89,4	1392	5	1392	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃	
	P2	2,03	,04	1,45	,043	,020	17,19	12,50	,03	,20	-	88,3	1510	5	1506	5 min - 2%C - coquilha	
	P3	2,03	,04	1,39	,043	,019	16,79	10,51	,03	,20	-	86,3	1538	5	1522	25% BaO	
	P4	1,97	,04	1,29	,043	,017	16,78	95,54	,03	,20	98,5	86,3	1454	5	1469	sucata 2	
	P5	1,97	,04	1,23	,043	,017	16,78	96,53	,03	,20	98,5	86,2	-	5	1406		
C.20	P1	3,15	,05	1,70	,037	,012	17,58	73,46	,04	,19	-	90,3	1348	5	1602	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃	
	P2	3,02	,05	1,69	,039	,010	16,98	63,48	,04	,19	-	87,2	1490	5	1443	5 min - 3%C - coquilha	
	P3	2,90	,05	1,64	,038	,010	16,68	59,48	,03	,19	96,6	83,8	1458	5	1403	75% BaO	
	P4	2,77	,05	1,62	,036	,010	16,28	81,47	,02	,19	92,3	83,8	1515	5	1520	sucata2	

19-TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOX OBTIDO
 " PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX " (8)

CORRIDA	PROVA	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Nc	Ncr	Ti (C)	t (min)	T (°C)	OBSERVAÇÕES
	P5	2,69	,05	1,58	,036	,010	16,2	8,87	,46	,02	,19	89,3	83,8	-	5	1502	
C.21	P1	2,28	,07	1,48	,043	,011	18,0	8,80	,43	,04	,16	-	92,8	1526	5	1423	BaCO ₃ +CaO+BaCl ₂ + Fe ₂ O ₃
	P2	2,24	,03	1,38	,043	,010	17,5	8,90	,43	,04	,16	-	90,3	1465	5	1483	5 min - 2%C - coquilha
	P3	2,20	,01	1,36	,041	,008	17,2	9,00	,43	,04	,16	-	88,7	1477	5	1445	150g BaCO ₃ /50g CaO
	P4	2,18	,01	1,30	,041	,008	16,9	9,00	,42	,04	,16	-	87,2	1444	5	1504	sucata 2
	P5	2,12	,01	1,28	,039	,008	16,9	9,00	,42	,04	,16	-	87,2	-	5	1483	
C.22	P1	3,1	,05	1,52	,036	,010	17,3	8,60	,28	-	,19	-	89,2	1460	5	1463	BaO+BaCl ₂ + Fe ₂ O ₃
	P2	3,1	,07	1,50	,039	,009	17,1	8,70	,30	-	,19	-	88,2	1413	5	1434	5 min - 3%C - coquilha
	P3	3,1	,10	1,53	,037	,008	17,0	8,70	,30	-	,19	-	87,7	1412	5	1468	sucata 2
	P4	3,0	,03	1,33	,029	,008	16,9	8,70	,30	-	,19	100	87	1436	5	1459	
	P5	3,0	,03	1,31	,031	,008	16,8	8,70	,30	-	,19	100	86,6	-	5	1460	
C.23	P1	3,12	,05	1,32	,042	,011	16,5	8,36	,51	,04	,19	-	85,2	1441	6	1423	BaO+BaCl ₂ + Fe ₂ O ₃
	P2	3,12	,05	1,25	,035	,010	16,4	8,49	,50	,03	,19	-	84,4	1393	6	1400	6 min - 3%C - coquilha
	P3	2,99	,05	1,23	,026	,010	16,2	8,48	,50	,01	,19	99,6	83,3	1371	6	1313	sucata 2
	P4	2,85	,05	1,16	,023	,010	16,1	8,56	,49	,01	,19	95	83,2	1365	6	1479	
	P5	2,78	,05	1,21	,025	,010	16,2	8,39	,51	,01	,19	92,6	83,6	-	6	1383	
C.24	P1	2,19	,01	1,20	,043	,010	18,0	8,30	,25	,04	,15	-	92,8	1781	8	1608	BaO+BaCl ₂ + Fe ₂ O ₃
	P2	2,14	,01	1,23	,041	,008	17,5	8,3	,24	,03	,15	-	90,3	1340	8	1410	8 min - 2%C - coquilha
	P3	2,14	,01	1,15	,036	,007	17,0	8,30	,24	,01	,15	-	87,7	1449	8	1508	sucata 2
	P4	2,04	,01	1,07	,030	,007	16,5	8,30	,24	,01	,16	-	85,1	1676	8	1417	
	P5	2,05	,01	1,07	,030	,007	16,5	8,30	,24	,01	,16	-	85,1	-	8	1456	

20-TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	S	BaO	BAS	Ti(°C)	t(min)	Ta(°C)	OBSERVAÇÕES
Fusão 1	E1	49,46	65	1,85	1,07	3,09	33	,052	,14	,10	,13	,20	-	-	1504	5	1492	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	12,38	62	1,51	1,11	,35	01	,017	,01	,35	,23	,060	-	-	1491	5	1550	5 min - 2%C - pinos
	E3	4,42	3,01	,13	,90	1,23	01	,043	,01	,47	,21	,035	-	-	1557	5	1544	sucata 1
	E4	11,86	54	,73	,94	,24	01	,007	,01	,36	,20	,040	-	-	1513	5	1527	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1537	
Fusão 2	E1	33,07	09	,64	1,02	2,17	26	,048	,11	,17	,13	,20	-	-	1607	1	1567	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	7,90	5,20	,25	,91	,06	01	,015	,01	,40	,21	,041	-	-	1481	1	1472	sem tempo - 2%C - pinos
	E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1380	sucata 1
	E4	5,60	2,52	,03	,90	2,11	01	,066	,10	,46	,20	,040	-	-	1356	1	1357	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1380	
Fusão 3	E1	33,68	83	1,21	1,07	1,02	01	,027	-	,21	,13	,720	-	-	1623	5	1554	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1441	-	1441	sem tempo -2%C-pinos
	E3	7,79	3,13	,19	,74	,87	01	,023	-	,46	,20	,39	-	-	1386	1	1386	sucata 1
	E4	9,08	2,72	,08	,79	,87	01	,028	-	,44	,29	,66	-	-	1348	1	1343	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1348	
Fusão 4	E1	37,04	70	,85	1,72	1,92	01	,076	-	,19	,13	,17	-	-	1547	5	1572	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1447	2	1447	2 min - 2%C - pinos
	E3	12,62	7	,13	,81	,30	01	,027	-	,44	,19	,065	-	-	1464	2	1410	sucata 1
	E4	11,12	56	,13	,73	,43	01	,024	-	,43	,29	,100	-	-	1420	2	1412	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1400	
Fusão 5	E1	-	-	-	-	-	-	,076	-	-	-	-	-	-	1640	5	1610	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1600	2	1600	2 min - 2%C - pinos

21-TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	S	BaO	BAS	Ti(°C)	t(min)	To(°C)	OBSERVAÇÕES
	E3	-	-	-	-	-	-	,027	-	-	-	-	-	-	1630	-	1640	sucata 1
	E4	-	-	-	-	-	-	,024	-	-	-	-	-	-	1770	1	1760	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1730	
Fusão 6	E1	24,0	7,99	19,1	1,90	1,26	,31	,012	,68	,20	,12	,192	-	-	1480	5	1474	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1246	4 min - 2%C - pinos
	E3	5,83	3,60	2,08	1,24	19,6	3,07	,052	1,29	,38	.17	.123	-	-	-	4	1614	sucata 1
	E4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1509	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1580	
Fusão 7	E1	36,7	20,95	5,68	5,67	2,4	,55	,017	,66	,15	,18	,46	-	-	1591	5	1608	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1510	5	1443	5 min - 2%C - pinos
	E3	7,39	5,57	12,5	,97	2,25	,63	,010	,90	,38	,19	,09	-	-	1405	5	1379	50% CaO
	E4	3,58	1,66	,64	1,02	9,09	2,38	,024	12,0	,92	,20	,16	-	-	1548	5	1531	sucata 1
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1530	
Fusão 8	E1	26,8	8,78	3,5	1,47	3,52	1,10	,050	3,31	,32	,14	,332	-	-	1563	5	1552	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1476	5	1521	5 min - 2%C - pinos
	E3	9,49	1,93	,93	,97	10,8	1,25	,119	9,63	,53	,16	,154	-	-	1400	5	1423	50% BaO
	E4	5,90	,96	,88	,98	11,8	1,34	,190	10,3	,66	,16	,087	-	-	1378	5	1422	sucata 1
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1424	
Fusão 9	E1	5,48	13,7	-	4,48	1,02	2,29	,023	2,34	.29	,28	,180	-	-	1620	5	1641	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1516	5	1550	5 min - 2%C - pinos
	E3	5,36	3,72	5,36	1,71	11,2	2,94	,091	12,1	,57	,20	,137	-	-	1434	5	1567	200g BaCl ₂
	E4	2,81	1,62	2,81	1,59	-	2,51	,151	13,1	,69	,18	,114	-	-	1504	5	1545	sucata 1

22-TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	S	BaO	BAS	Ti(°C)	t _{at} (min)	Ta(°C)	OBSERVAÇÕES
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1527	
Fusão 10	E1	23,7	13,0	2,24	1,77	4,42	5,30	0,043	5,27	2,227	1,170	2,214	-	-	1456	5	1483	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	7,25	6,16	1,85	1,57	2,88	2,16	0,052	4,58	4,428	1,197	2,200	-	-	1460	5	1464	5 min - 2%C - pinos
	E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1500	5	1509	sem CaO
	E4	,56	2,06	5,04	,94	3,77	1,48	1,176	5,32	7,18	2,235	1,125	-	-	1517	5	1509	sucata 1
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1560	
Fusão 11	E1	20,6	5,47	8,77	1,18	6,13	1,95	0,088	4,89	3,308	1,136	2,216	-	-	1580	5	1558	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	14,9	2,28	,516	1,06	6,27	1,67	0,097	6,17	5,578	2,207	1,127	-	-	1355	5	1375	5 min - 1,5%C - pinos
	E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1451	5	1408	sem CaO
	E4	13,8	2,11	,471	1,01	6,25	1,42	1,101	6,20	6,625	2,625	2,209	-	-	1380	5	1372	sucata 1
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1422	
C.1	E1	12,0	2,74	,714	,899	9,50	,847	,220	8,49	,451	,139	,141	-	-	1525	5	1492	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	11,8	2,60	,707	,881	7,10	,877	,222	8,51	,564	,147	,138	-	-	1391	5	1450	5 min - 2%C - coquilha
	E3	11,8	2,55	,531	,851	6,01	,871	,399	8,64	,727	,157	,146	-	-	1357	5	1544	sucata 1
	E4	10,2	2,31	,428	,830	5,99	,469	,297	8,49	,634	,173	,082	-	-	1520	5	1427	
	E5	9,7	1,90	,201	,801	5,01	,377	,309	8,71	,706	,179	,092	-	-	-	5	1427	
C.2	E1	12,1	2,76	,720	,799	9,50	,861	,224	8,61	,451	,158	,131	-	-	1591	5	1600	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	11,9	2,54	,680	,781	7,15	,845	,226	8,74	,564	,141	,124	-	-	1512	5	1443	5 min - 2%C - coquilha
	E3	11,8	2,51	,524	,761	6,04	,711	,225	8,51	,721	,162	,115	-	-	1400	5	1379	sucata 1
	E4	11,5	2,39	,311	,753	5,74	,662	,228	8,57	,701	,174	,098	-	-	1364	5	1531	
	E5	10,8	1,64	,240	,784	5,36	,401	,285	8,69	,629	,193	,094	-	-	-	5	1530	
C.3	E1	2,10	5,11	2,54	,996	6,01	1,69	,130	11,0	,514	,154	,421	-	-	1315	5	1309	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃

23- TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO — DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (8)

CORRIDA	PROVA	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	S	BaO	BAS	Ti(°C)	t(mn)	Ta(°C)	OBSERVAÇÕES
	E2	3,46	4,27	,721	,851	5,94	1,54	,128	9,05	,569	,151	,317	-	-	1510	5	1550	5 min - 2%C -coquilha
	E3	,721	3,51	,744	,813	5,88	1,51	,291	8,95	,604	,191	,198	-	-	1563	5	1567	sem CaO
	E4	,624	1,43	,158	,796	5,79	1,39	,399	8,86	,758	,154	,101	-	-	1594	5	1545	sucata 1
	E5	,421	1,32	,121	,754	5,46	1,37	,654	8,16	,916	,121	,081	-	-	-	5	1527	
C.4	E1	30,81	2,0	2,06	6,29	10,93	3,00	,064	6,66	,120	,120	,145	-	-	1474	5	1462	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	12,25	,34	,906	1,49	2,91	1,59	,033	3,95	,360	,170	,091	-	-	1533	5	1520	5 min - 1%C -coquilha
	E3	2,52	2,77	,377	,623	3,88	1,89	,081	7,20	,680	,210	,114	-	-	1515	5	1510	sucata 1
	E4	-	1,87	,293	,333	2,29	1,95	,190	6,69	,880	,220	,087	-	-	1510	5	1524	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4		
C.5	E1	27,59	,04	1,94	6,34	10,03	3,04	,051	6,61	,15	,130	,100	-	-	1450	5	1414	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	13,16	,99	1,04	1,39	3,94	1,60	,063	3,95	,30	,120	,090	-	-	1400	5	1403	5 min - 1%C -coquilha
	E3	2,61	5,01	,904	,900	2,92	1,94	,061	7,20	,71	,170	,135	-	-	1374	5	1381	sucata 1
	E4	,991	3,95	,796	,611	3,84	2,04	,094	6,54	,64	,210	,091	-	-	1458	5	1459	
	E5	4,01	3,61	,601	,409	2,15	1,99	,091	8,01	1,01	,220	,099	-	-	-	5	1490	
C.6	E1	27,11	3,9	2,74	1,14	1,72	2,24	,034	1,31	,190	,120	,215	-	-	1474	5	1468	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	12,48	8,88	1,66	,925	1,88	1,51	,029	1,71	,360	,200	,140	-	-	1409	5	1468	5 min - 1,5%C -coquilha
	E3	1,81	3,95	,755	,279	1,56	,768	,034	1,64	,540	,210	,111	-	-	1403	5	1405	sucata 1
	E4	1,47	3,32	,617	,243	3,06	1,56	,077	4,41	,610	,190	,089	-	-	1325	5	1358	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1356	
C.7	E1	31,41	3,9	2,74	1,16	1,70	2,24	,036	1,31	,200	,190	,215	-	-	1584	5	1591	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	15,68	8,88	1,61	,991	1,89	1,51	,037	1,71	,240	,210	,140	-	-	1507	5	1512	5 min 1,5%C-coquilha
	E3	2,69	4,90	,994	,544	1,49	,776	,034	1,60	,410	,200	,131	-	-	1374	5	1379	sucata 1

24- TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	S	BaO	BAS	Ti(°C)	t(min)	Ta(°C)	OBSERVAÇÕES
	E4	1,45	3,51	,86	1,30	1,30	1,63	,064	3,40	,590	,200	,090	-	-	1364	5	1364	
	E5	1,39	3,39	,70	,104	3,03	1,74	,081	3,98	,660	,180	,088	-	-	-	5	1530	
C.8	E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1795	5	1800	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	2,63	6,88	5,09	2,81	1,09	3,41	,040	9,05	,520	,390	,026	-	-	1664	5	1662	5 min -,053%C-coquilha
	E3	-	2,29	,245	,213	2,74	1,54	,065	5,76	,600	,220	,023	-	-	-	5	1598	sucata 1
	E4	,139	2,34	,389	,304	2,93	2,25	,131	10,2	,600	,201	,043	-	-	1484	5	1482	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1732	
C.9	E1	23,8	8,82	1,70	,924	2,42	1,79	,055	4,84	,330	,140	,250	-	-	1569	5	1570	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	5,43	3,32	,720	,329	3,99	1,90	,065	8,78	,530	,180	,093	-	-	1479	5	1476	5 min-1,5%C-coquilha
	E3	3,89	2,30	,461	,184	3,96	1,51	,108	9,64	,650	,180	,092	-	-	1468	5	1462	com CaO
	E4	3,18	1,92	,293	,250	5,47	2,51	,147	11,8	,650	,190	,070	-	-	1460	5	1454	sucata 1
	E5	5,09	2,26	,413	,188	3,61	,837	,183	-	,760	,190	,096	-	-	-	5	1437	
C.10	E1	34,8	7,92	1,08	1,24	6,76	2,47	,120	1,66	,149	,125	,212	-	-	1412	5	1414	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	6,17	3,32	,301	,803	6,95	,825	,057	2,96	,418	,173	,161	-	-	1415	2	1403	2 min - 2%C - coquilha
	E3	7,98	2,90	,603	,930	7,50	,980	,203	4,13	,486	,182	,127	-	-	1398	2	1381	com CaO
	E4	4,07	1,81	,253	,818	10,1	,713	,245	7,90	,695	,188	,098	-	-	1484	2	1459	sucata 1
	E5	5,61	9,55	,241	1,06	9,09	3,91	,116	10,2	,464	,186	,089	-	-	-	2	1490	
C.11	E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1458	5	1430	BaO+CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	12,7	2,64	,707	,895	9,23	,847	,222	8,51	,564	,147	,138	-	-	1410	5	1426	5 min - 2%C - coquilha
	E3	11,4	2,10	,532	,886	6,77	,874	,227	8,64	,727	,157	,146	-	-	1415	5	1434	sucata 2
	E4	9,06	1,98	,427	,864	5,58	,468	,297	8,49	,634	,173	,082	-	-	1500	5	1519	
	E5	7,28	1,40	,184	,791	5,42	,377	,309	8,71	,706	,179	,092	-	-	-	5	1512	

25-TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	S	BaO	BAS	Ti(°C)	t(min)	Ta(°C)	OBSERVAÇÕES
C.12	E1	20,05	15,15	2,46	,965	5,92	1,53	,130	10,6	,413	,125	,325	-	-	1410	5	1442	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	3,48	1,86	,625	,797	5,37	1,38	,342	8,99	,902	,177	,122	-	-	1544	5	1538	5 min - 2%C - coquilha
	E3	,826	1,45	,218	,788	7,89	1,55	,209	8,05	,599	,177	,039	-	-	1560	5	1572	sucata 2
	E4	,475	1,32	,137	,779	5,45	1,61	,393	9,59	,721	,208	,039	-	-	1632	3	1628	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1449	
C.13	E1	38,31	12,7	2,35	,678	3,59	2,81	,071	5,64	,16	,07	,378	-	-	1539	5	1541	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	12,15	10	1,05	,236	10,4	2,48	,131	11,7	,45	,14	,285	-	-	1489	5	1473	5 min - 1,5%C - coquilha
	E3	3,21	3,15	,611	,030	3,27	2,99	,189	10,6	,86	,19	,269	-	-	1441	5	1467	sucata 2
	E4	,037	2,29	,566	,001	3,12	3,23	,248	10,6	,79	,19	,115	-	-	1367	5	1477	
	E5	1,02	3,21	,688	,013	2,76	4,61	,158	13,7	,70	,18	,117	-	-	-	5	1489	
C.14	E1	27,56	6,01	1,01	,153	3,68	2,55	,077	9,34	,29	,10	,200	-	-	1545	5	1526	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	13,64	4,51	,780	,001	3,45	2,35	,079	11,1	,53	,14	,186	-	-	1454	5	1498	5 min - 1%C - coquilha
	E3	2,99	2,49	,534	,001	3,12	2,80	,191	11,6	,66	,19	,125	-	-	1523	5	1549	sucata 2
	E4	,970	3,03	,572	,315	2,98	3,35	,171	11,7	,75	,23	,082	-	-	1407	5	1492	
	E5	3,69	3,66	,598	,070	2,82	3,84	,109	13,7	,65	,19	,072	-	-	-	5	1543	
C.15	E1	31,8	13,1	5,09	,828	5,12	3,80	,072	9,21	0,25	0,12	,455	-	-	1584	2	1714	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	11,1	6,76	3,01	,555	5,96	3,01	,104	8,74	0,80	0,17	,231	-	-	1678	2	1605	2 min - 2%C - coquilha
	E3	1,95	3,62	6,96	,650	8,96	2,47	,187	9,55	0,70	0,24	,124	-	-	1341	2	1356	sucata 2
	E4	8,05	2,96	2,28	,425	8,40	2,62	,252	11,1	,080	0,12	,094	-	-	1534	2	1501	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1583	
C.16	E1	26,2	7,0	,79	,89	5,10	2,0	,09	5,10	,26	,13	,18	-	-	1485	4	1485	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	3,3	4,0	,43	,79	12,5	2,4	,25	10,5	,83	,19	,17	-	-	1527	4	1463	4 min - 2%C - coquilha

26- TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	S	BaO	BAS	Ti(°C)	t _{min}	Ta(°C)	OBSERVAÇÕES
	E3	-	3,1	,09	,78	10,6	1,9	,22	8,4	,78	,20	,06	-	-	1408	4	1408	sucata 2
	E4	-	3,2	,11	,88	12,3	2,2	,22	10,1	,60	,18	,03	-	-	1485	4	1485	
	E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C.17	E1	37,0	7,59	9,01	,58	4,20	2,66	,104	6,32	,01	,03	,345	-	-	1522	2	1438	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	1,55	2,38	2,06	,01	24,6	1,85	,282	13,6	,70	,16	,258	-	-	1450	2	1450	2 min - 2%C - coquilha
	E3	,01	1,59	,94	,01	16,7	1,51	,258	10,5	,69	,20	,062	-	-	1369	2	1369	sucata 2
	E4	,01	1,34	,60	,01	12,4	1,37	,274	9,27	,75	,22	,074	-	-	1354	2	1360	
	E5	,01	1,73	,85	,01	8,91	2,73	,275	11,3	,77	,21	,082	-	-	-	2	1390	
C.18	E1	35,0	12,7	6,71	1,24	2,27	2,24	,052	2,71	,16	,10	,337	-	-	1515	5	1503	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	7,99	5,87	2,53	,575	2,91	2,48	,051	4,97	,42	,20	,074	-	-	1500	5	1494	5 min - 2%C - coquilha
	E3	7,16	5,68	5,17	,579	2,95	2,49	,025	8,26	,44	,20	,090	-	-	1499	5	1499	50% BaO
	E4	2,45	4,56	1,34	,327	4,31	2,33	,041	7,53	,51	,19	,076	-	-	1434	5	1440	sucata 2
	E5	11,4	6,92	6,89	,419	2,93	2,71	,017	9,11	,37	,17	,110	-	-	-	5	1517	
C.19	E1	25,5	7,35	2,34	2,25	8,64	2,56	,054	6,30	,22	,125	,276	-	-	1392	5	1392	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	11,5	3,69	2,70	1,12	11,8	1,93	,059	9,24	,36	,159	,165	-	-	1510	5	1506	5 min - 2%C - coquilha
	E3	5,60	,82	,55	0,90	7,4	2,00	,056	9,13	,47	,187	,101	-	-	1538	5	1522	25% BaO
	E4	4,35	,73	,64	0,84	8,87	2,00	,053	10,0	,47	,199	,083	-	-	1454	5	1469	sucata 2
	E5	4,32	1,30	,63	0,92	9,78	2,67	,042	11,6	,454	,192	,083	-	-	-	5	1406	
C.20	E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1348	5	1602	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1490	5	1443	5 min - 3%C - coquilha
	E3	2,18	,98	2,29	,86	5,54	2,58	,145	10,4	,74	,20	,090	-	-	1458	5	1403	75% BaO
	E4	1,13	,26	1,62	,74	7,41	2,09	,184	10,2	,79	,22	,051	-	-	1515	5	1520	sucata 2

27- TABELA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DO AÇO INOX OBTIDO
 "PROJETO - DESFOSFORAÇÃO DE AÇO INOX" (%)

CORRIDA	PROVA	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	S	BaO	BAS	Ti(°C)	t(min)	Ta(°C)	OBSERVAÇÕES
	E5	1,92	,93	1,93	,93	6,17	2,74	,099	12,8	,66	,20	,046	-	-	-	5	1502	
C.21	E1	18,2	15,2	14,2	2,1	,91	1,9	,01	,92	,22	,13	,050	-	-	1526	5	1423	BaCO ₂ +CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	5,3	5,6	4,2	1,1	1,2	,85	,02	1,5	,45	,20	,030	-	-	1465	5	1483	5 min - 2%C - coquilha
	E3	2,9	1,8	2,2	,84	6,0	1,1	,06	6,5	,54	,20	,050	-	-	1477	5	1445	150g BaCO ₃ /50g CaO
	E4	2,3	,26	,75	,73	8,3	,92	,16	8,2	,71	,19	,040	-	-	1444	5	1504	sucata 2
	E5	1,7	,26	,53	,73	8,3	1,4	,10	9,0	,59	,16	,020	-	-	-	5	1483	
C.22	E1	12,3	8,6	3,5	1,8	,28	,70	,013	,007	,34	,17	,08	-	-	1460	5	1463	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	2,3	2,8	2,0	1,1	2,1	,44	,05	1,35	,58	,24	,08	-	-	1413	5	1434	5 min - 3%C - coquilha
	E3	-	13,2	1,2	,88	3,7	,88	,12	3,50	,74	,24	,04	-	-	1412	5	1468	sucata 2
	E4	-	,26	,61	,83	3,0	1,3	,32	4,40	,89	,25	,015	-	-	1436	5	1459	
	E5	-	0,61	,87	,89	3,6	2,3	,22	6,0	,79	,26	,012	-	-	-	5	1460	
C.23	E1	20,2	,26	11,1	,93	12,2	3,30	,052	8,90	,25	,13	,032	-	-	1441	6	1423	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	5,60	1,52	4,79	,84	8,53	2,43	,250	10,6	,72	,19	,062	-	-	1393	6	1400	6 min - 3%C - coquilha
	E3	2,51	,32	2,91	,78	7,11	2,16	,470	10,6	,89	,20	,016	-	-	1371	6	1313	sucata 2
	E4	,81	,26	,52	,73	5,01	1,48	,453	7,51	,98	,24	,013	-	-	1365	6	1479	
	E5	8,83	,26	7,19	,76	7,55	1,13	,248	5,47	,59	,18	,056	-	-	-	6	1383	
C.24	E1	2,68	6,63	2,73	1,01	1,35	1,84	,013	4,18	,58	,22	,042	-	-	1781	8	1608	BaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃
	E2	-	,26	1,13	,88	3,86	2,11	,207	7,01	,104	,23	,066	-	-	1340	8	1410	8 min - 2%C - coquilha
	E3	-	,26	,28	,73	3,62	1,62	,335	5,70	1,32	,24	,047	-	-	1449	8	1508	sucata 2
	E4	-	,26	,21	,73	2,55	1,74	,315	5,95	1,02	,24	,019	-	-	1676	8	1417	
	E5	-	,41	,71	,81	8,20	2,26	,176	6,97	,84	,023	,013	-	-	-	8	1456	

ANEXO B FIGURAS

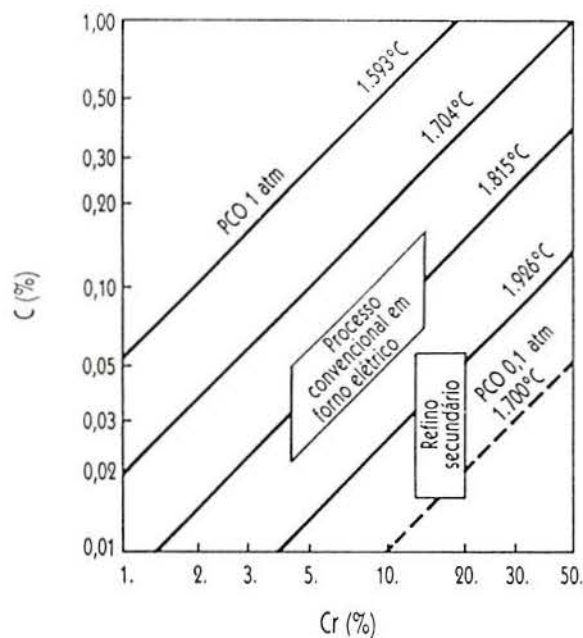


FIGURA 1 Relação de equilíbrio entre o C e o Cr para várias temperatura e pressões de CO (Acesita, Aspectos metalúrgicos da fabricação dos aços inoxidáveis).

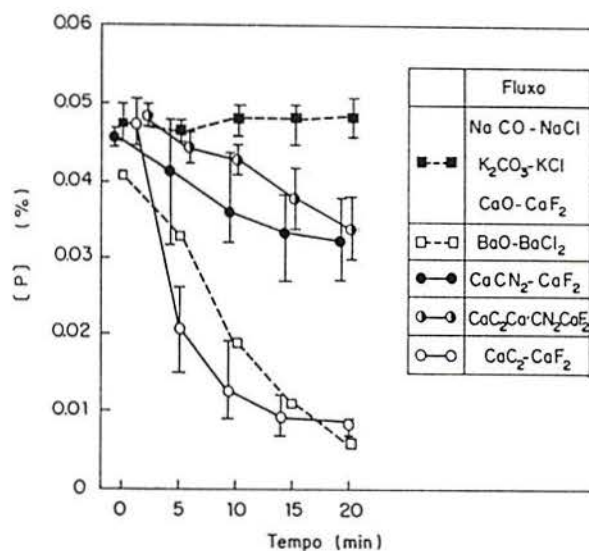


FIGURA 2 Mudanças na [P] durante o tratamento de desfosforação com diversos fluxos (Takahashi et al, 1983).

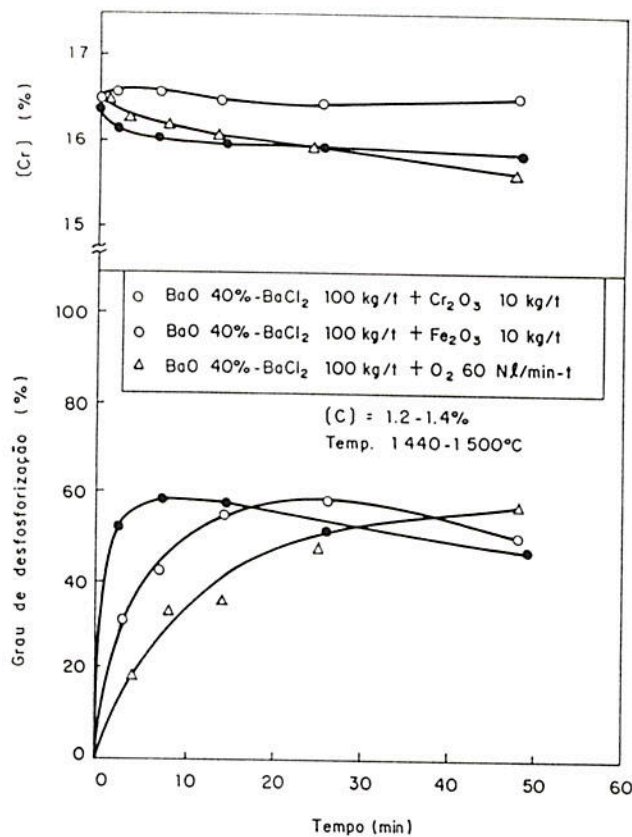


FIGURA 3 Efeito do oxidante no G.P. do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985).

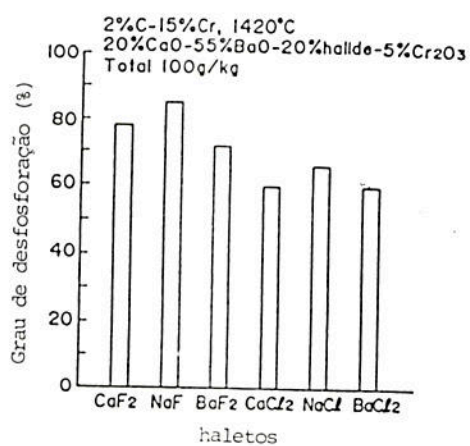


FIGURA 4 Comparação de vários haletos, usados como agentes fluidizantes no sistema CaO-BaO (Inoue et al, 1988).

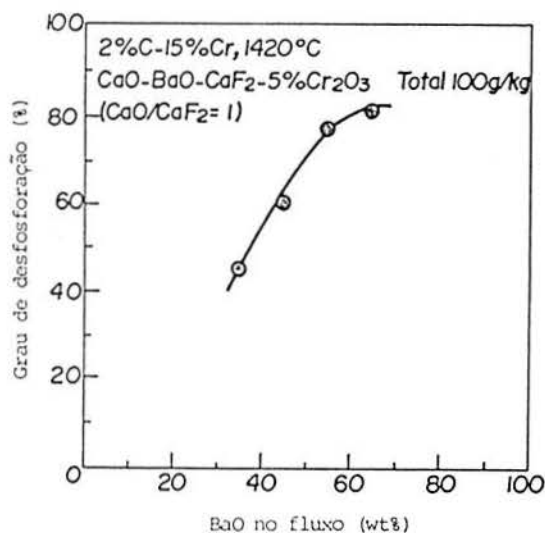


FIGURA 5 Efeito do teor de BaO no G.P. (Inoue et al, 1988).

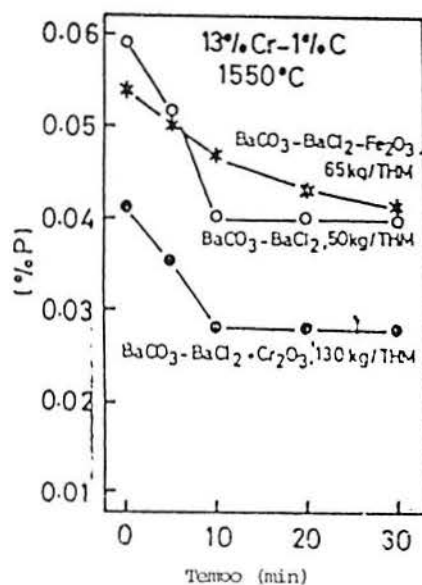


FIGURA 6 Efeito da composição de fluxos a base de bário na desfosforação do aço inoxidável (Yamamoto et al, 1984).

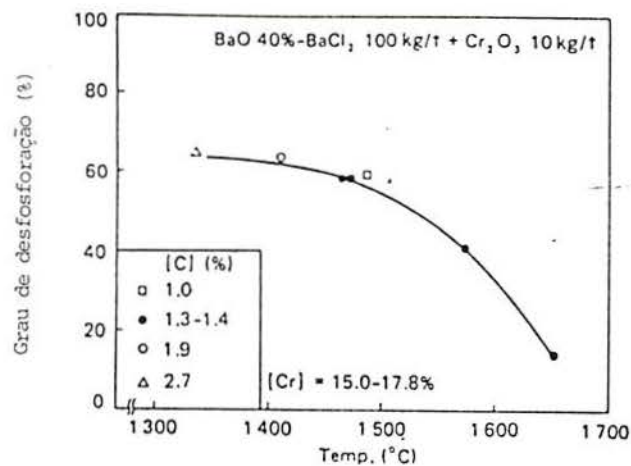


FIGURA 7 Efeito da temperatura no G.P. do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985).

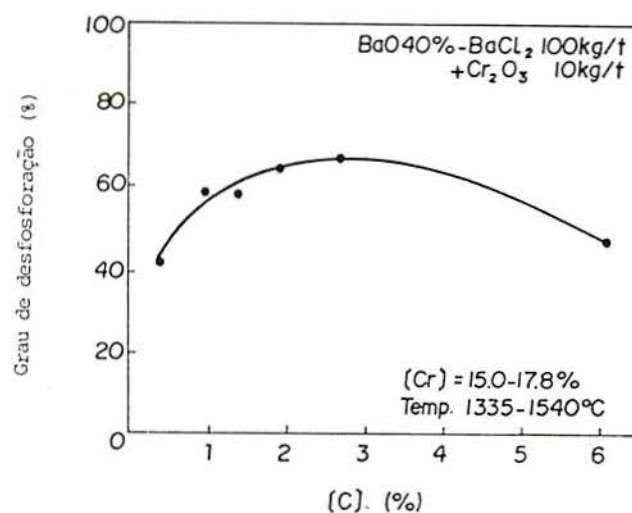


FIGURA 8 Efeito do teor de C no G.P. do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985).

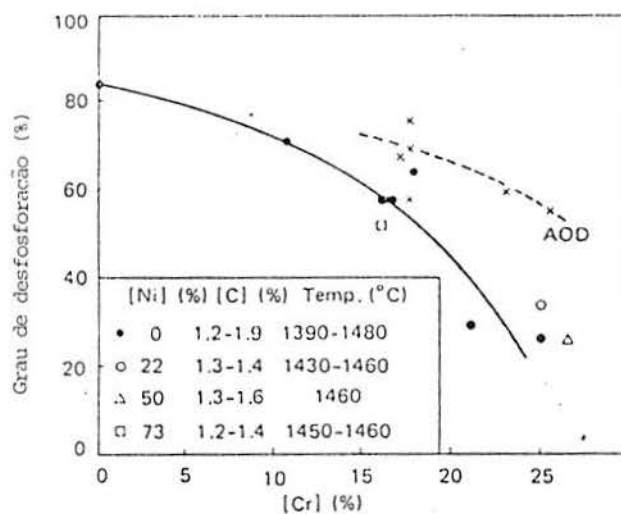


FIGURA 9 Efeito do teor de Cr na desfosforação do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985).

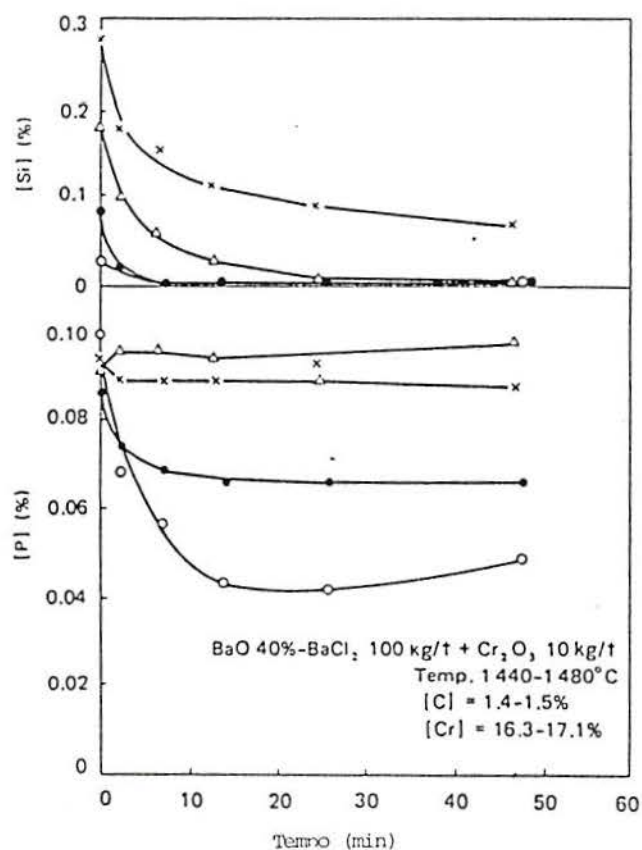


FIGURA 10 Efeito do teor de Si na desfosforação do aço inoxidável (Matsuo et al, 1985).

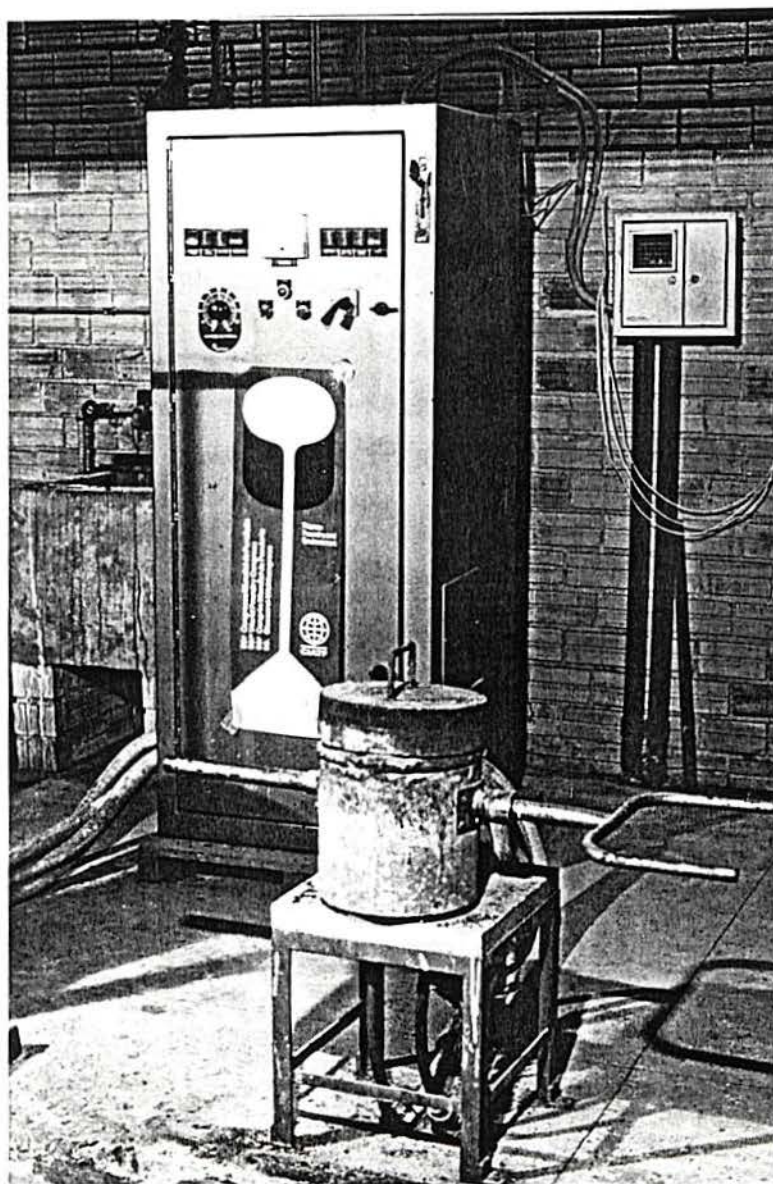


FIGURA 13 Fotografia do forno de indução.

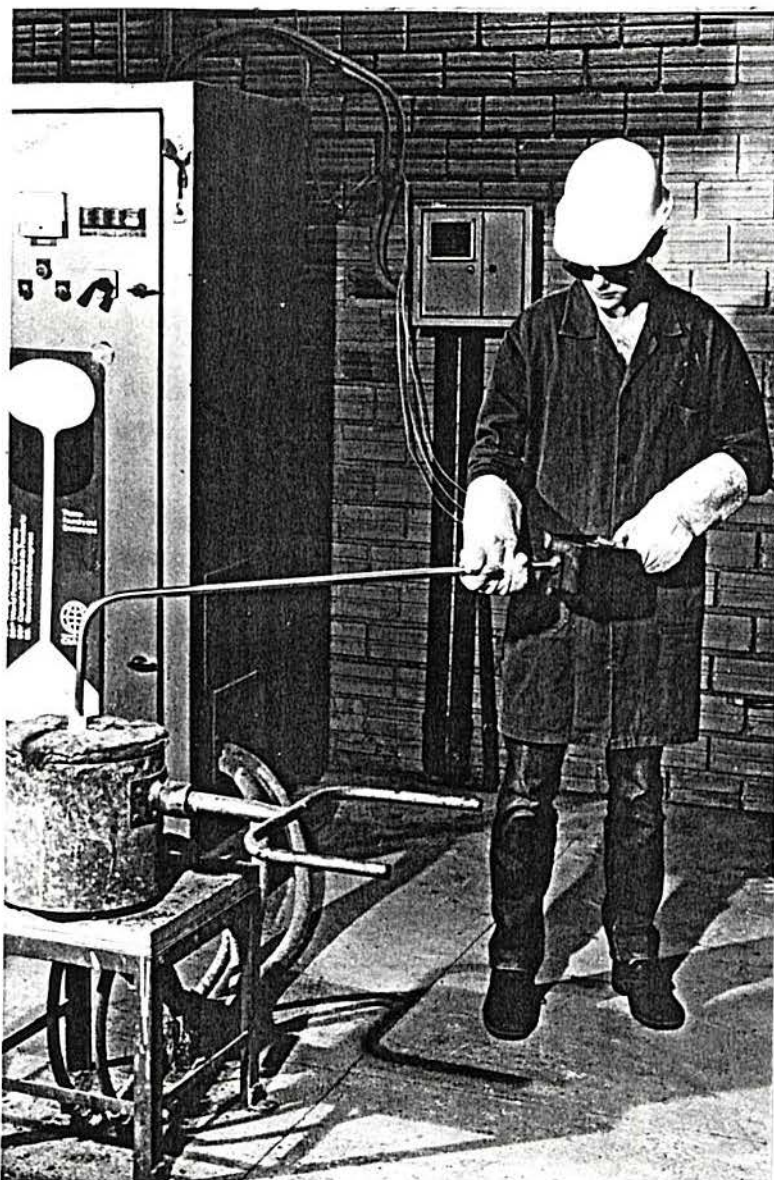


FIGURA 14 Fotografia da operação de medição da temperatura.

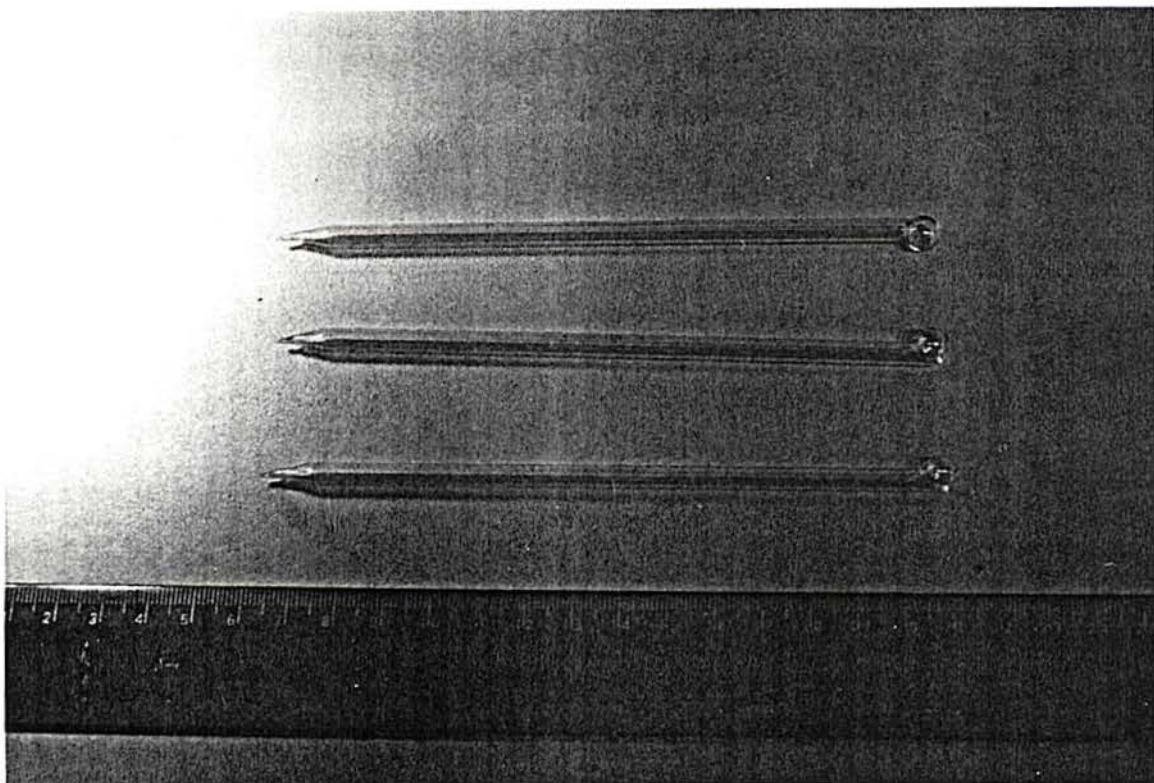


FIGURA 15 Fotografia dos pinos de sílica.

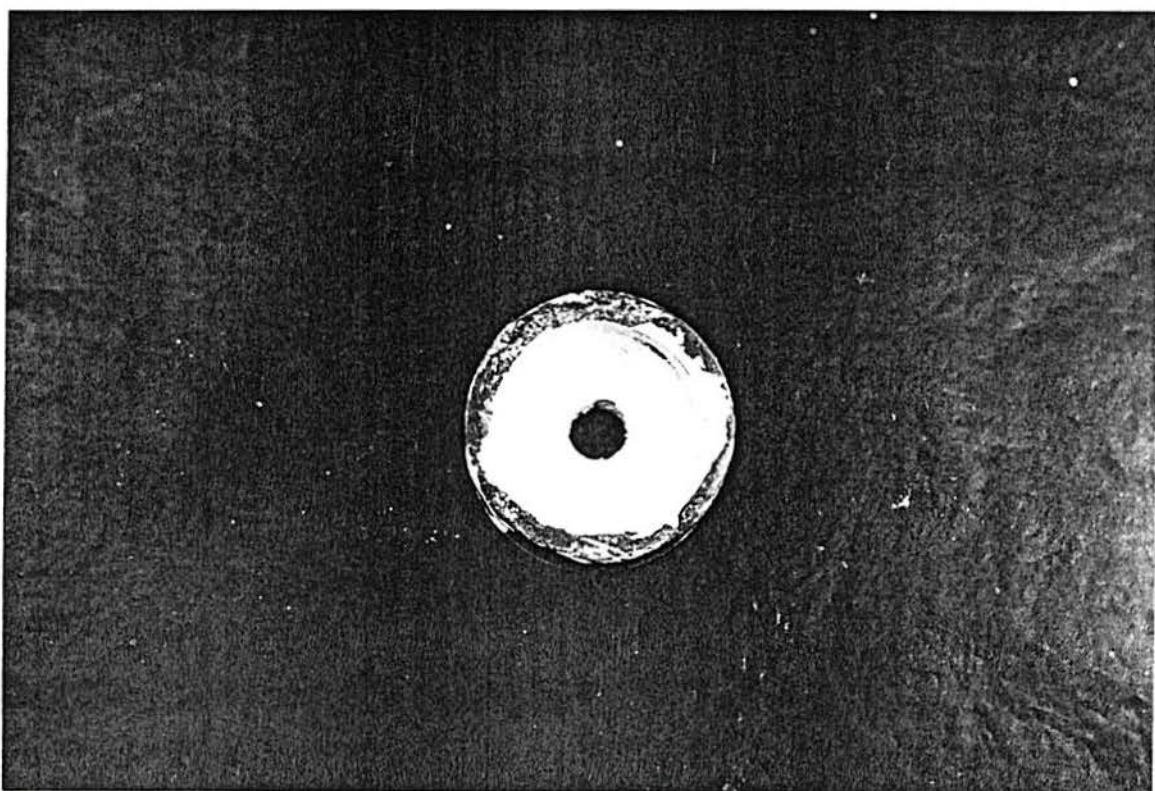


FIGURA 16 Fotografia da coquilha de ferro fundido, pintada com concreto refratário aluminoso.



FIGURA 17 Fotografia da preparação do molde de areia, com misturador de mãos.



FIGURA 18 Fotografia da homogeneização do banho com bastões de aço.

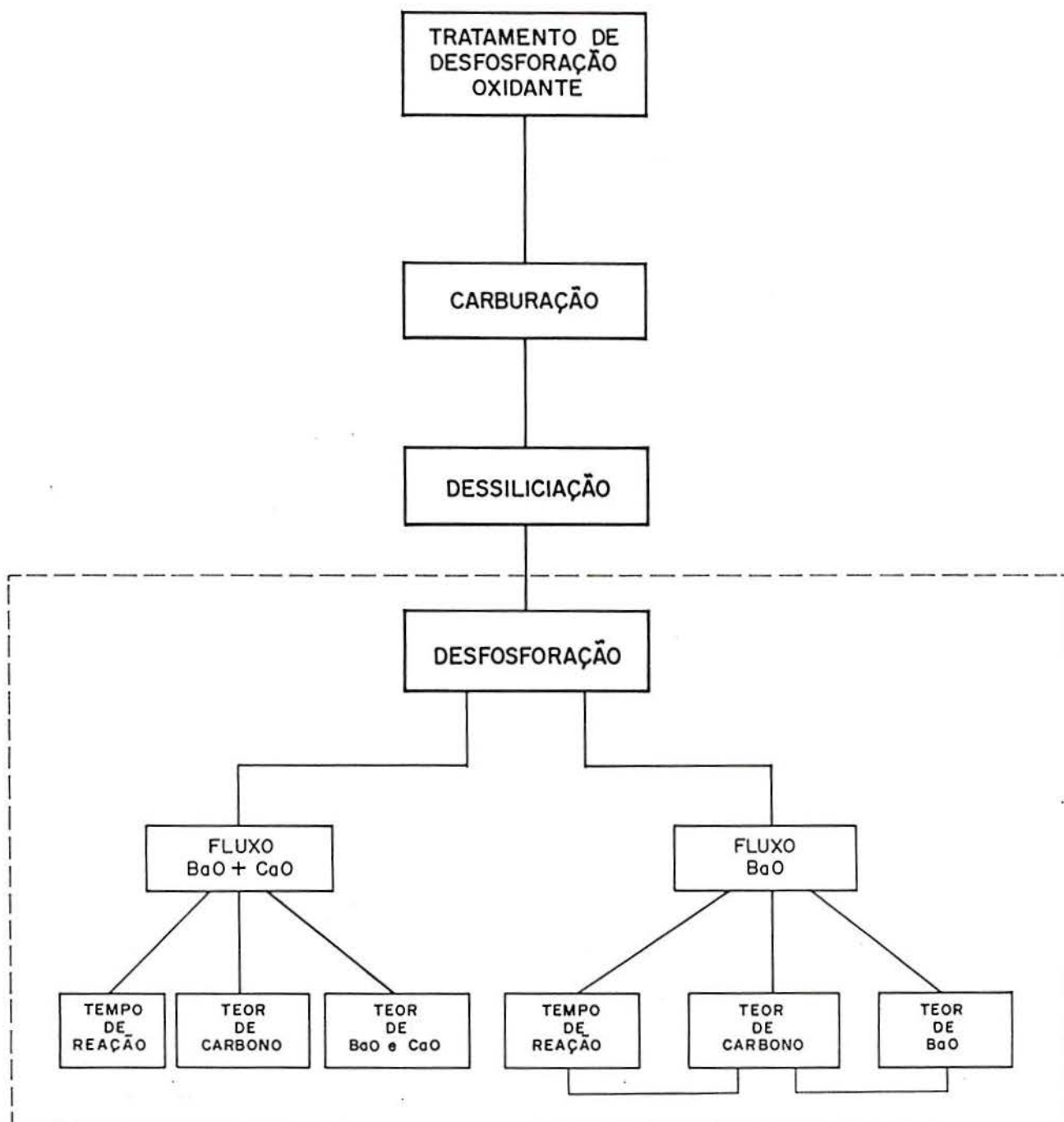


FIGURA 19 Fluxograma do tratamento de desfosforação oxidante

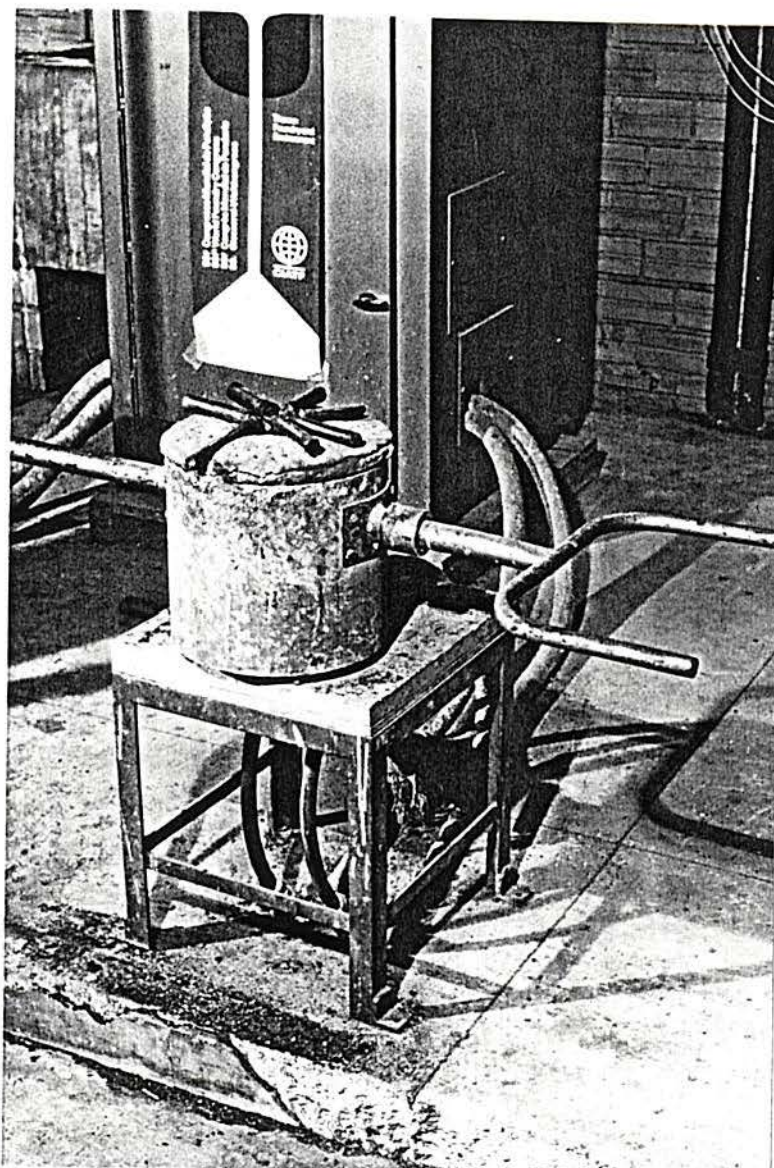


FIGURA 20 Fotografia da sucata de aço inoxidável num pré-aquecimento na parte superior do forno (anel).

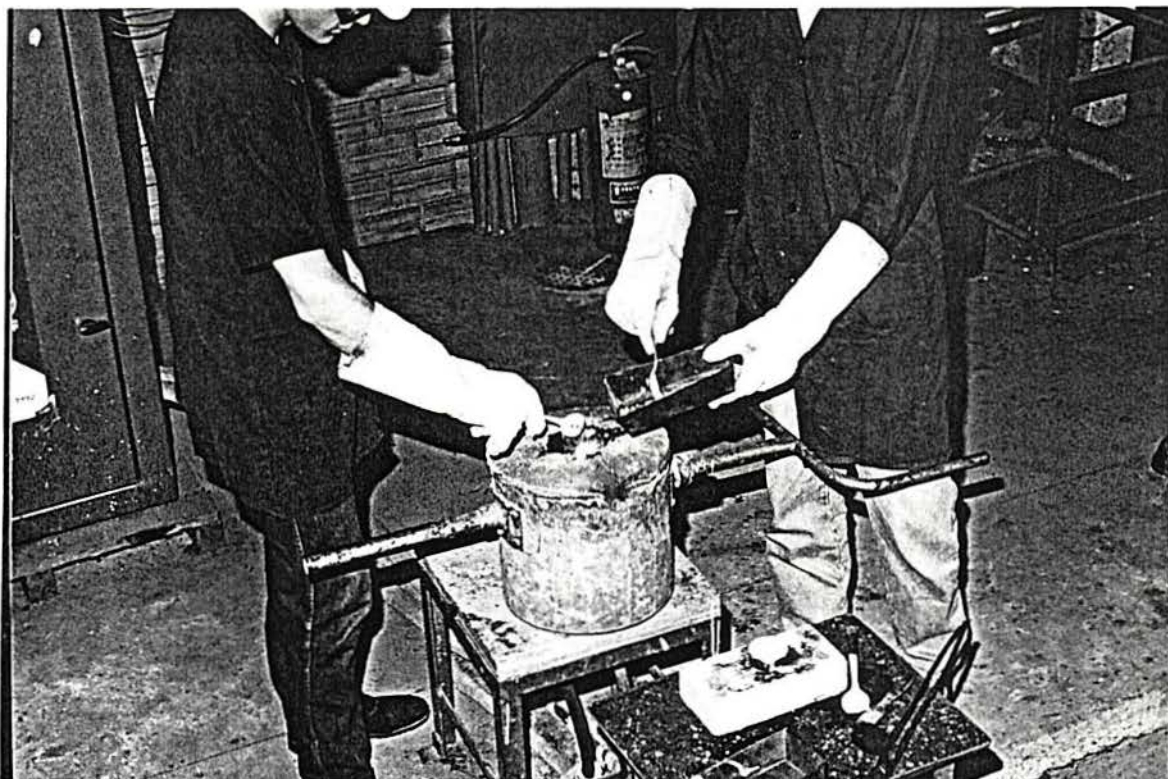


FIGURA 21 Fotografia da retirada de amostras de escória.

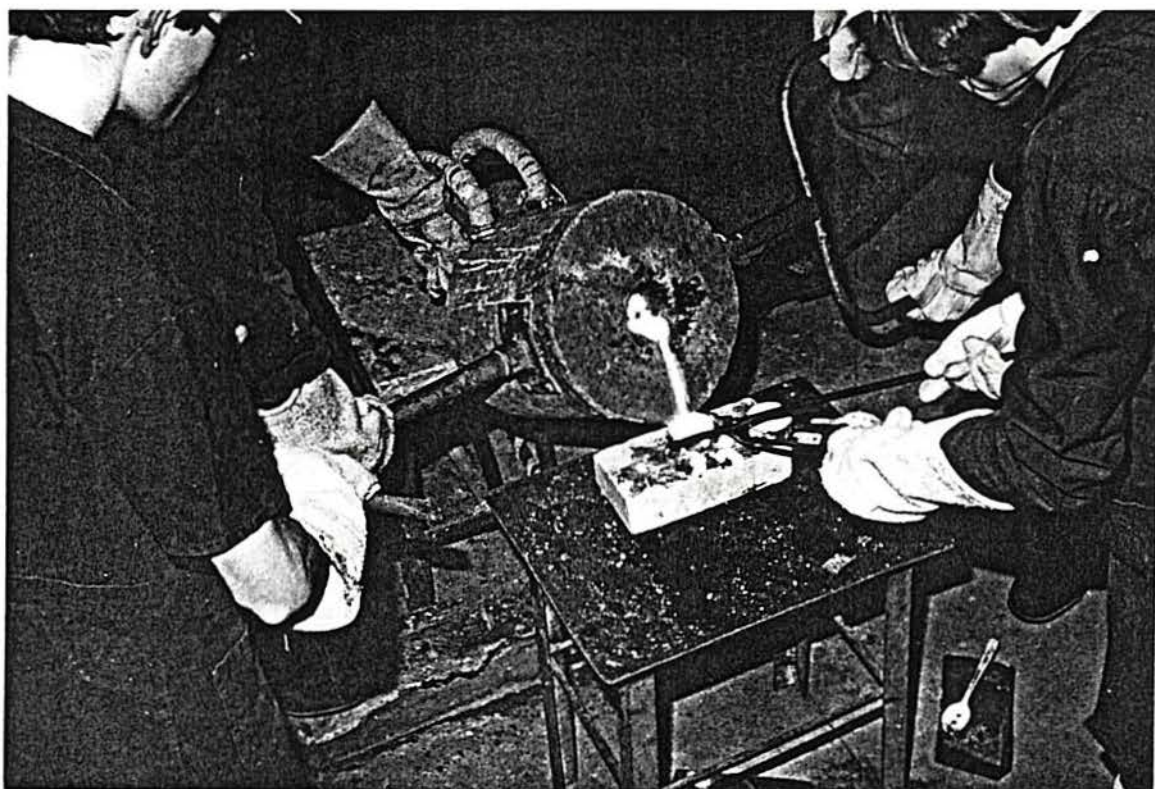
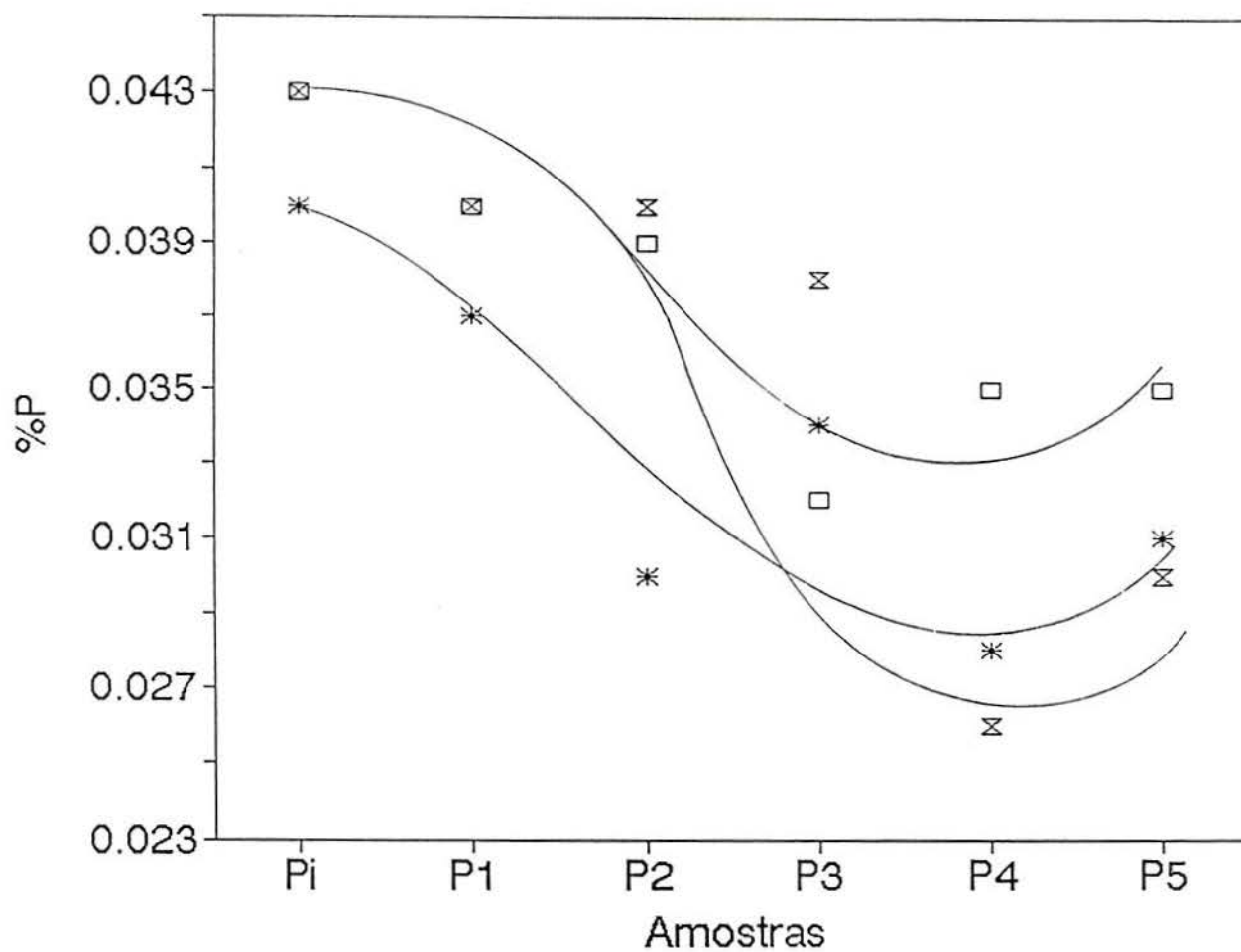
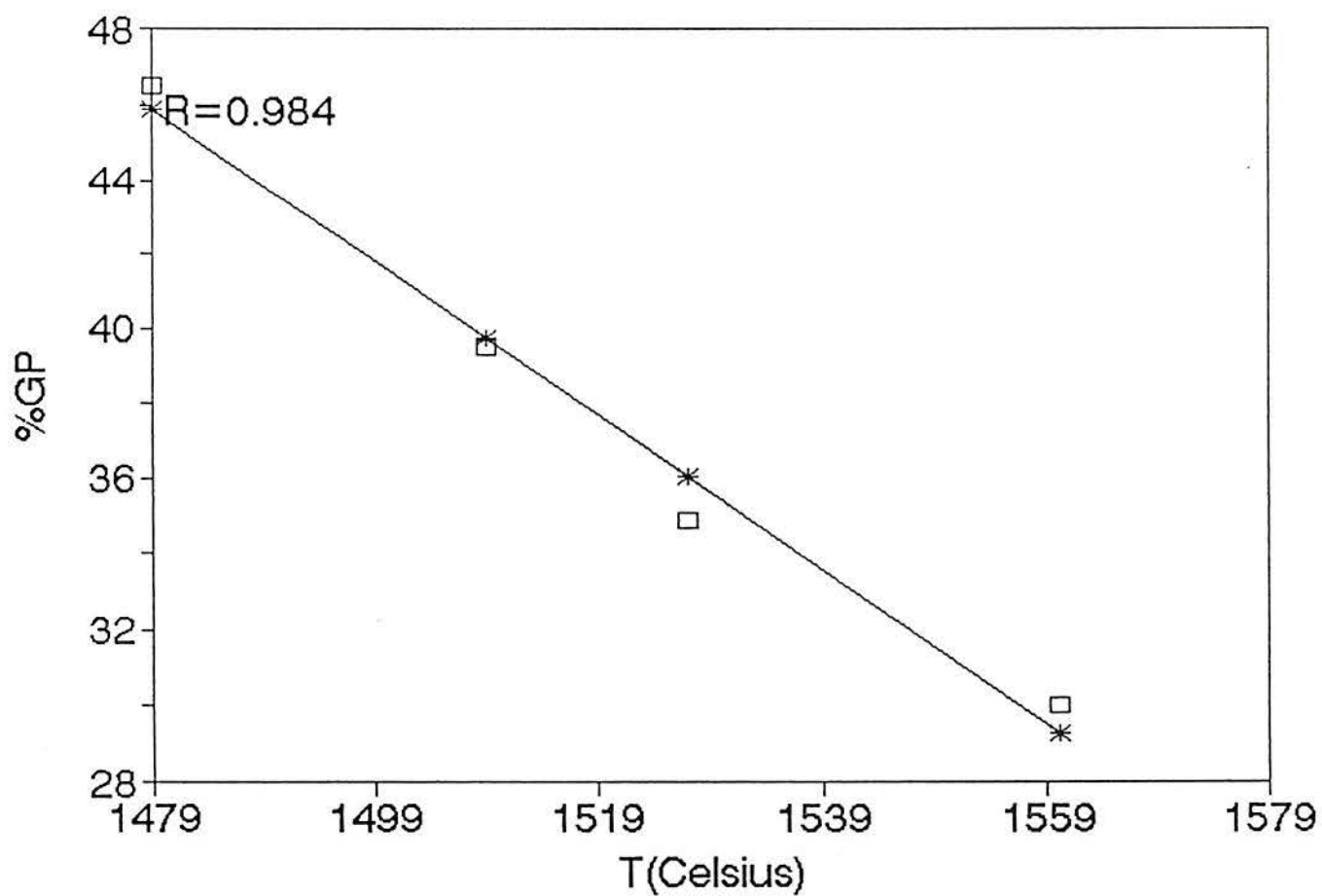


FIGURA 22 Fotografia do vazamento de aço inoxidável em coquilha.



* BaCO₃+CaO □ BaO+CaO x BaO

FIGURA 23 Variação do %P X Amostras retiradas do banho, para diferentes agentes estabilizantes (BaCO₃+CaO, BaO+CaO e BaO). Fluxo de desfosforação (100g/kg-metal), agente oxidante (Fe₂O₃) e agente fluidizante (BaCl₂).



—*— $y = -0.2056x + 349.9747$ □ *valores experiment.*

FIGURA 24 %G.P. X Temp.(°C). Fluxo: BaO (40%) + BaCl₂ (60%) + Fe₂O₃ (10g/kg-metal).

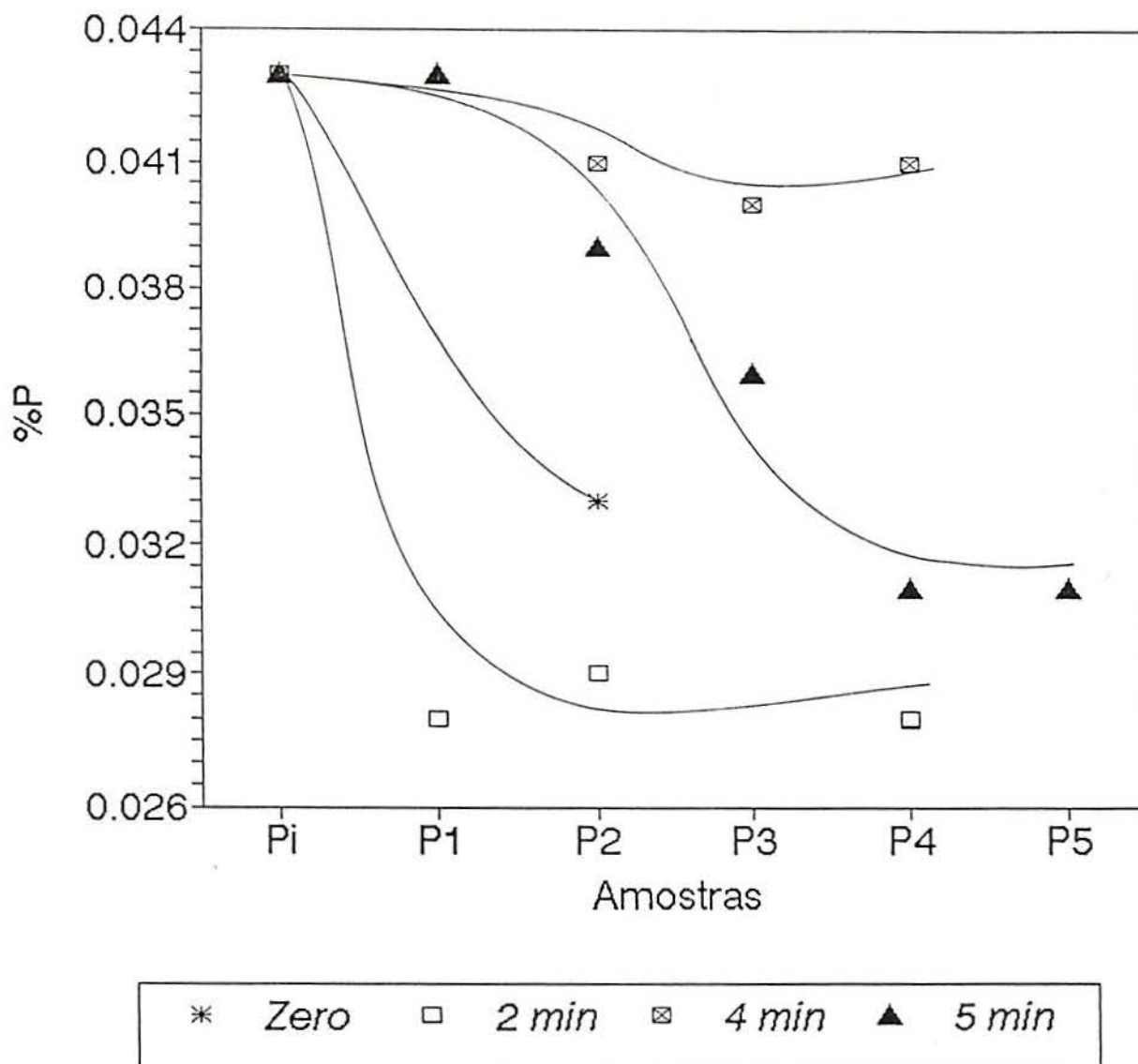


FIGURA 25 %P X Amostras retiradas do banho, para diferentes tempos de reação fluxo-banho (0, 2, 4 e 5 minutos). Fluxo: BaO (30%) - CaO (10%) + BaCl₂ (60%) + Fe₂O₃ (10g/kg- metal).

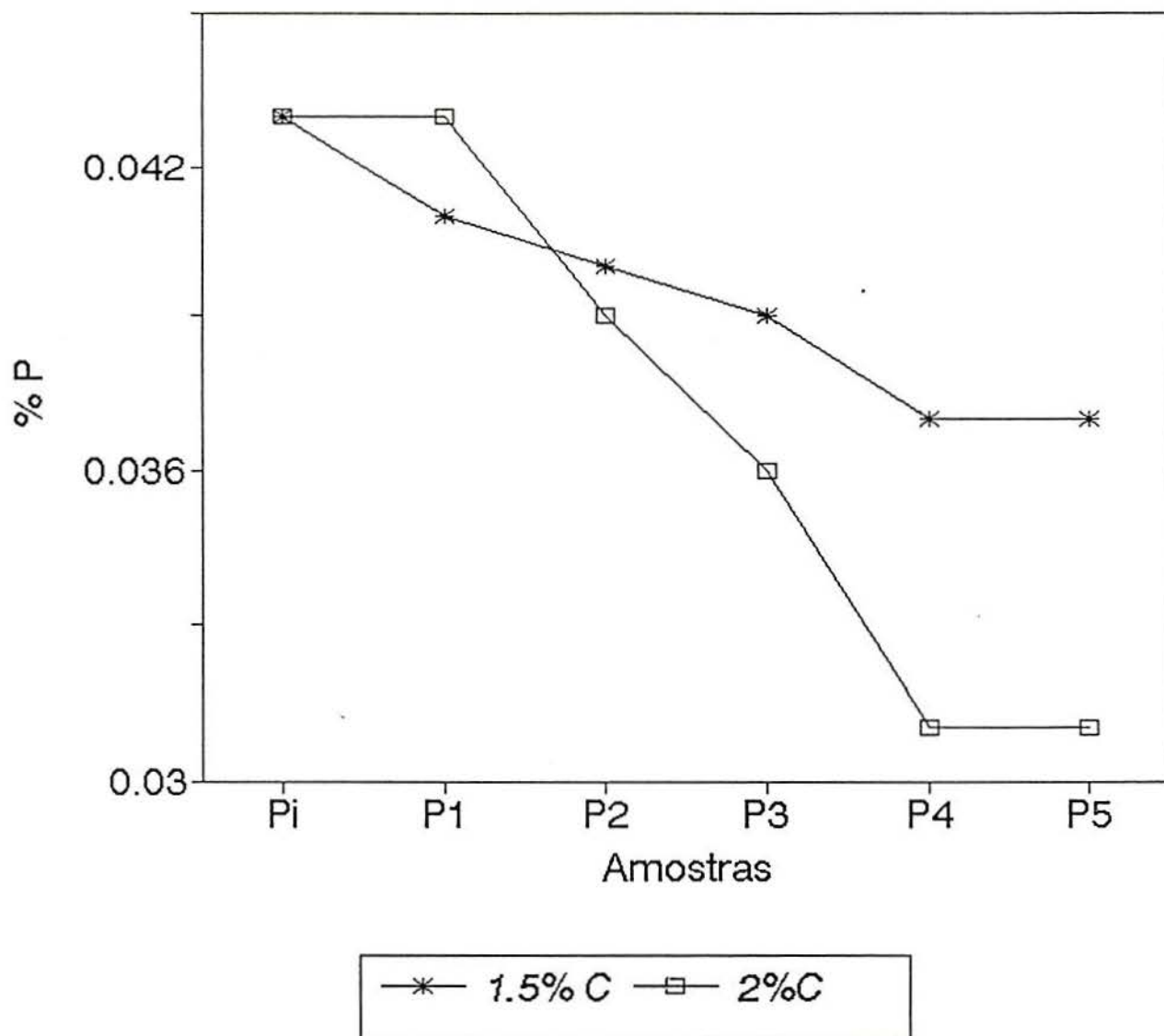


FIGURA 26 %P X Amostras retiradas do banho, para diferentes teores de carbono (1,5 e 2,0%). Fluxo: BaO (30%)-CaO (10%)+BaCl₂ (60%)+Fe₂O₃ (10g/kg-metal).

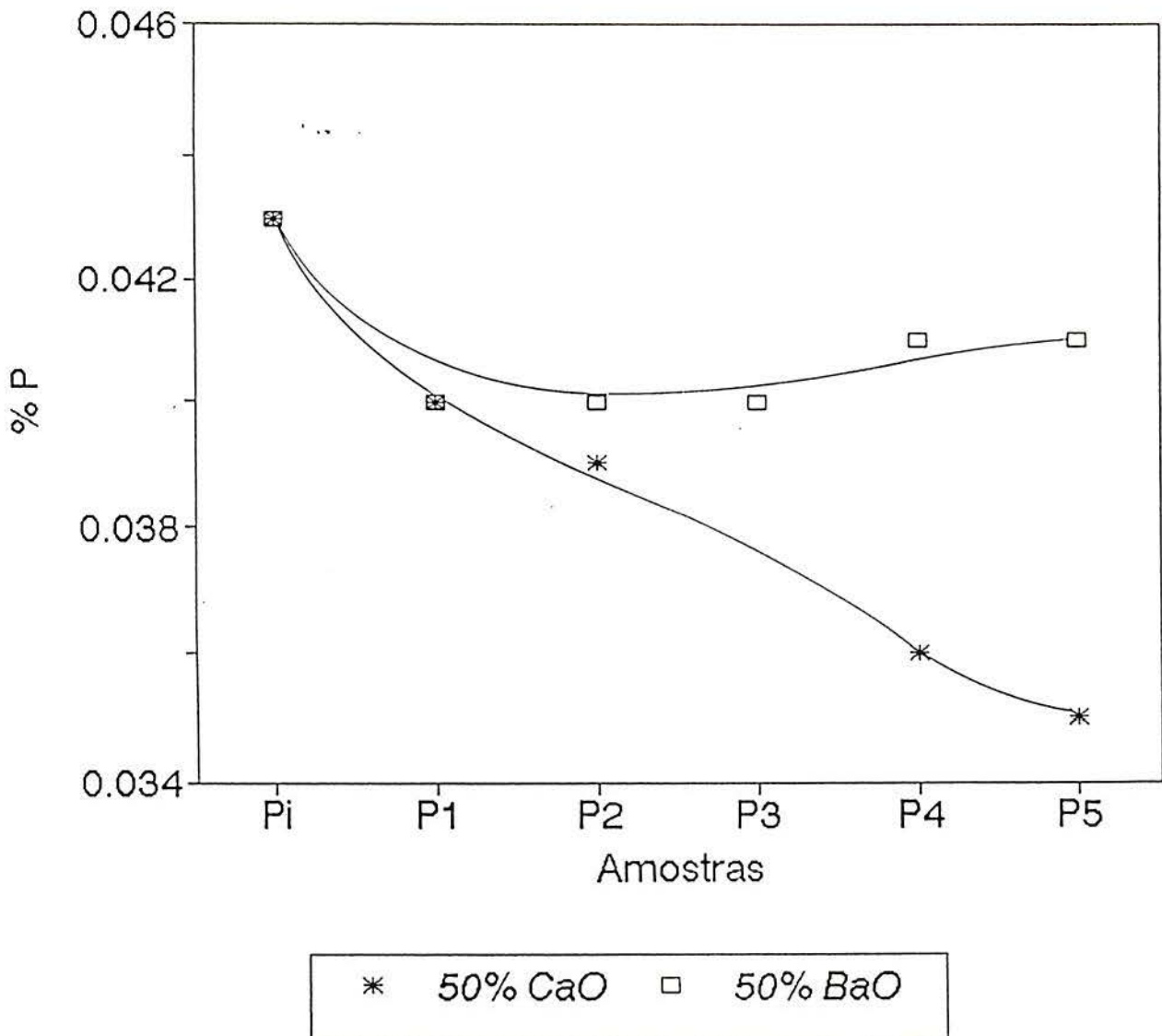


FIGURA 27 %P X Amostras retiradas do banho, para a redução em 50% do valor inicial dos componentes do agente estabilizante. Fluxo: BaO (30%)-CaO (10%)+BaCl₂ (60%)+Fe₂O₃ (10g/kg-metal).

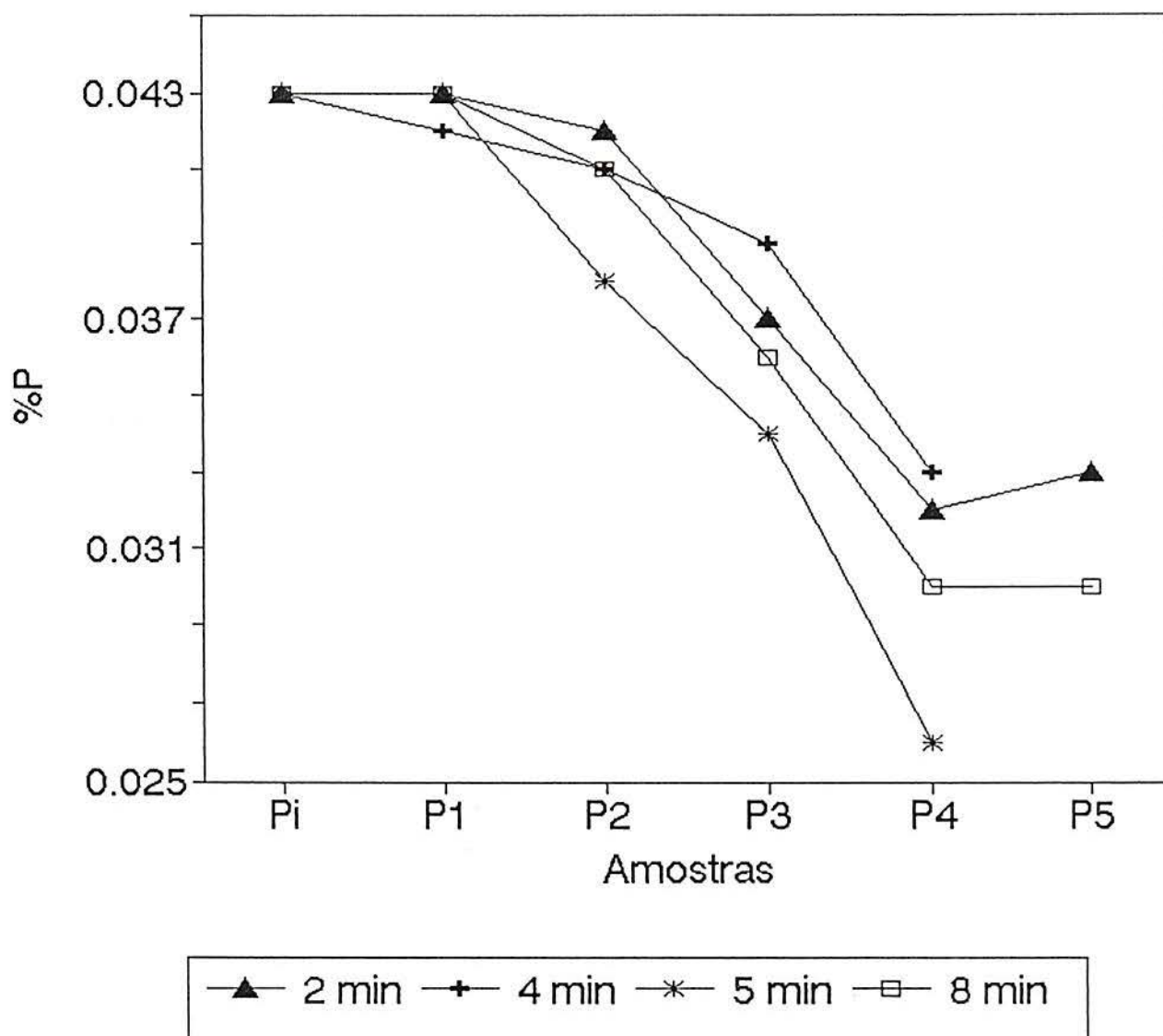
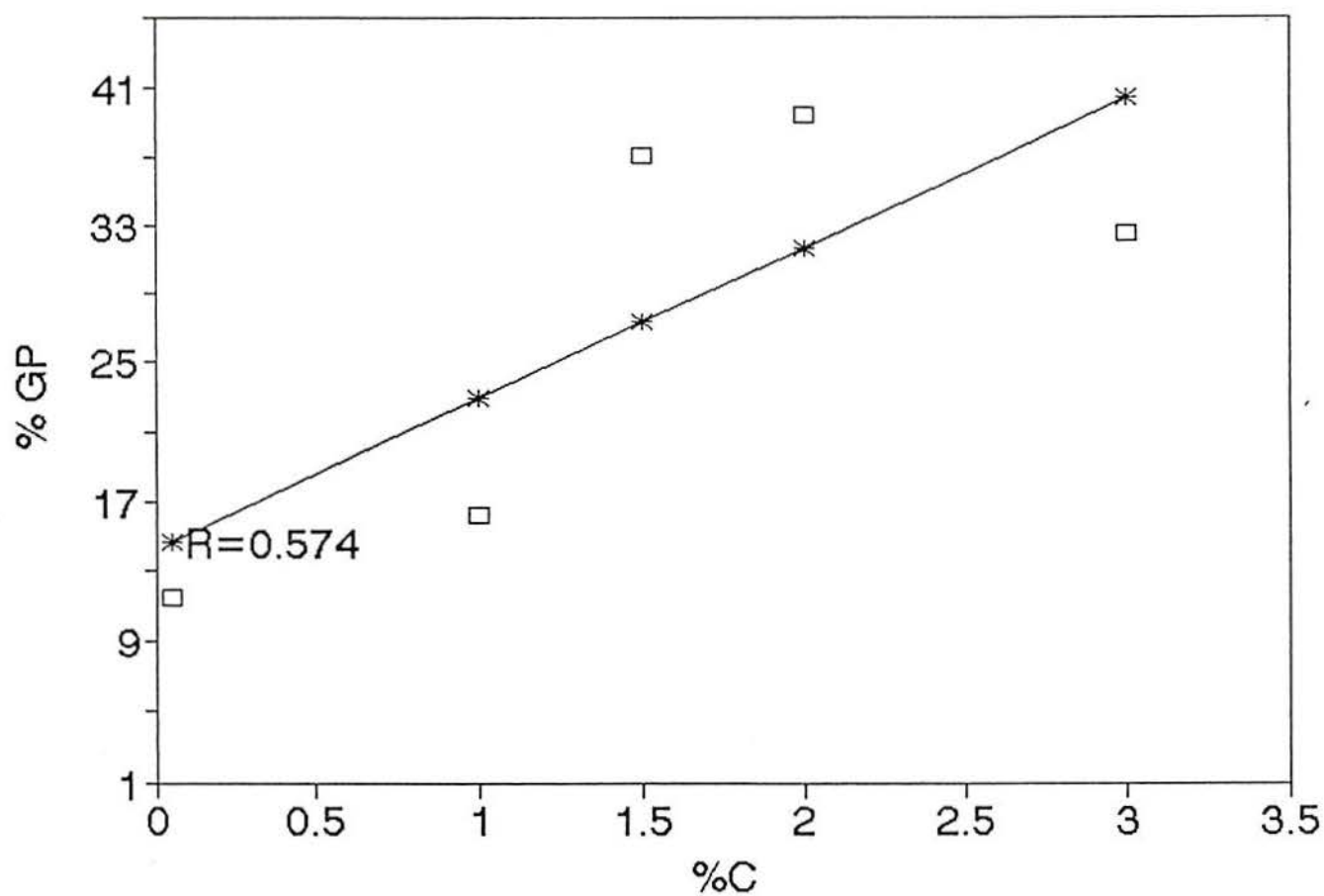


FIGURA 28 %P X Amostras retiradas do banho, para diferentes tempos de reação fluxo-banho (2, 4, 5 e 8 min). Fluxo: BaO (40%)+BaCl₂ (60%)+Fe₂O₃ (10g/kg-metal).



—*— $y = 8.72565x + 14.25903$ □ *valores experiment.*

FIGURA 29 %G.P X %C (0,053; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0%). Fluxo: BaO (40%)+BaCl₂ (60%)+Fe₂O₃ (10g/kg-metal).

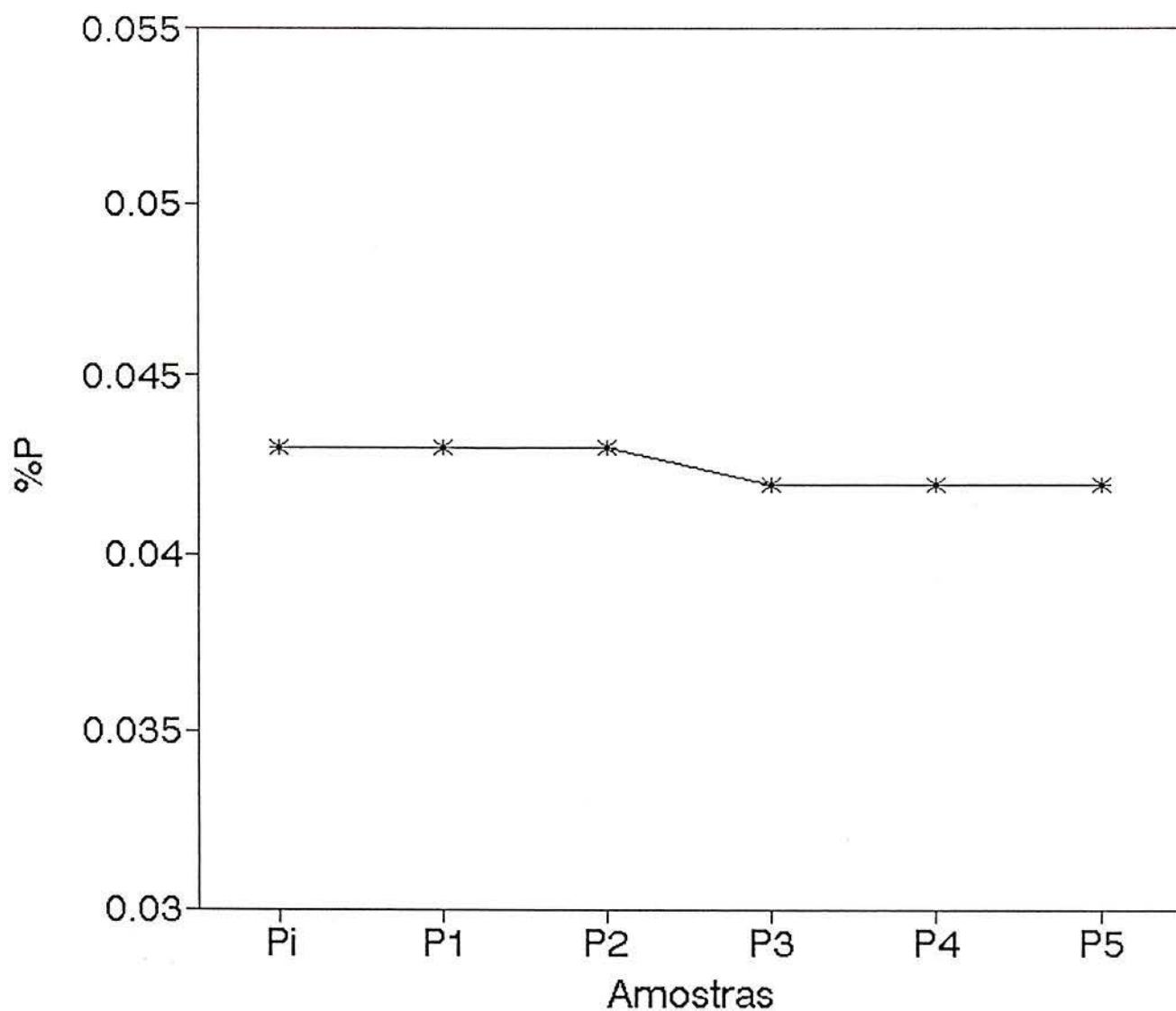


FIGURA 30 %P X Amostras retiradas do banho, para a redução em 50% do valor inicial do agente estabilizante. Fluxo: BaO (de 40 para 20%)+BaCl₂ (60%)+Fe₂O₃ (10g/kg-metal).

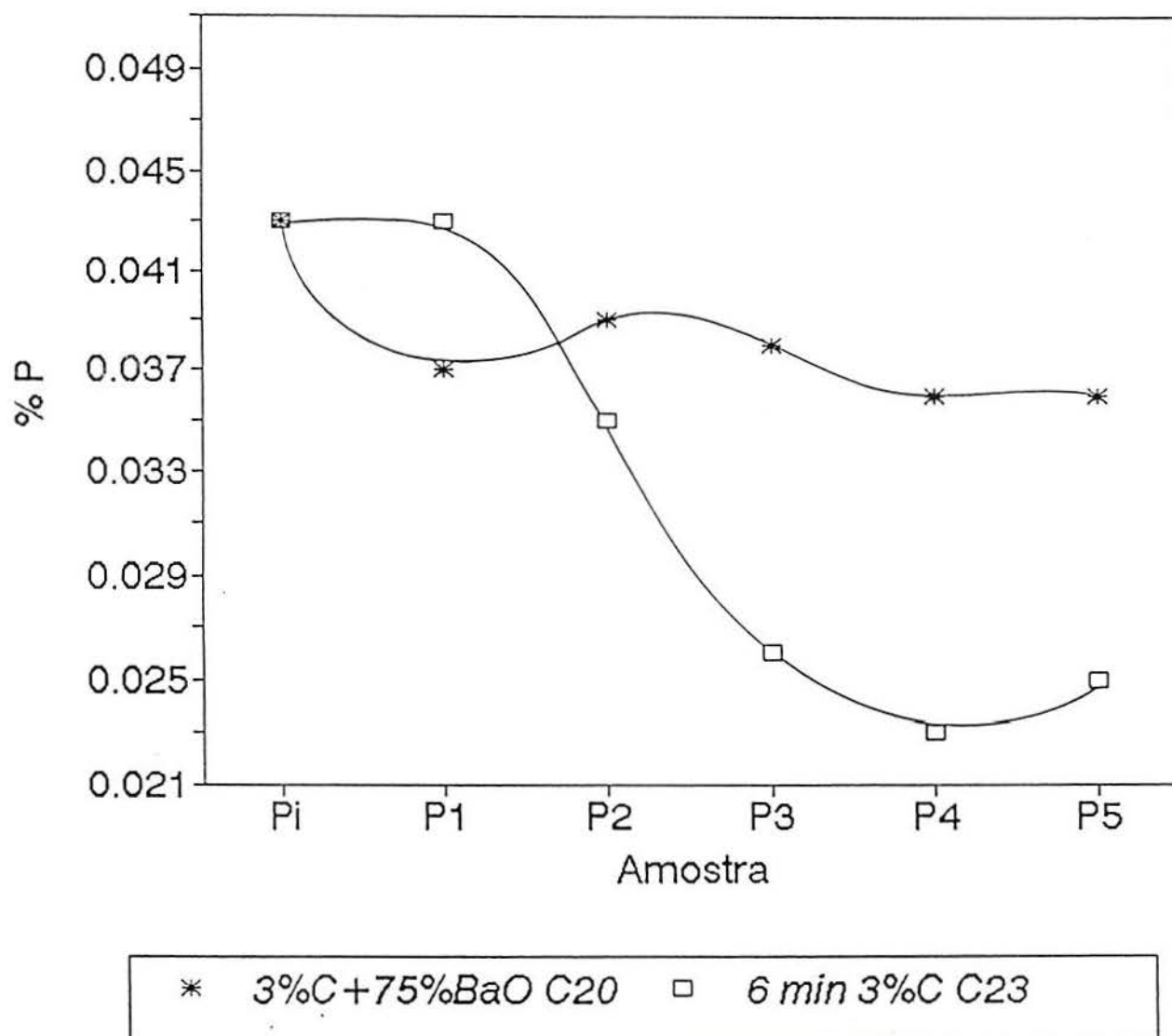
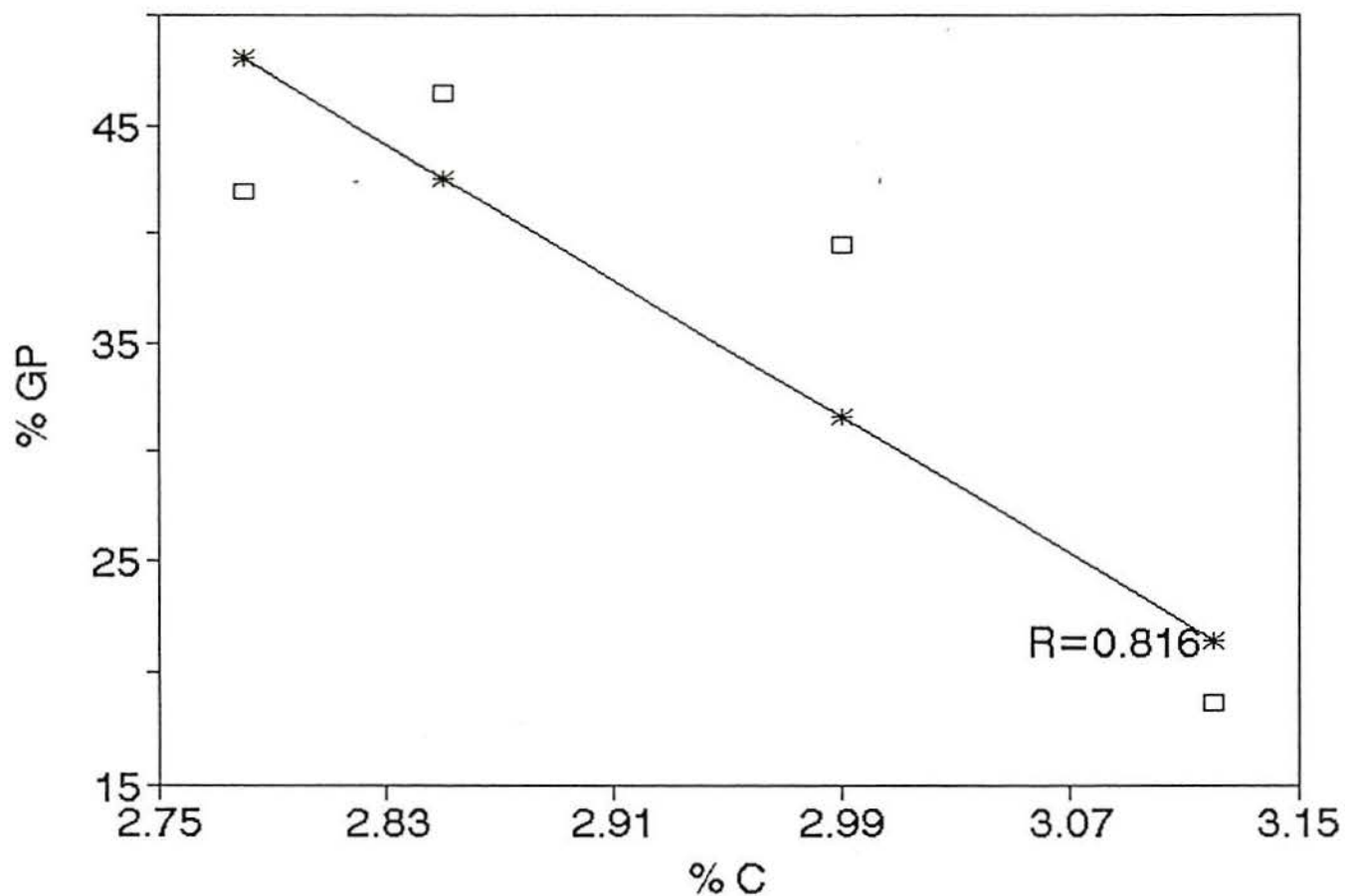


FIGURA 31 %P X Amostras retiradas do banho, para os grupamentos de variáveis (3%C + 75% do valor inicial de BaO e 3%C + 6 min). Fluxo: BaO (de 40 para 20%)+BaCl₂ (60%)+Fe₂O₃ (10g/kg-metal).



—*— $y = -78.2353x + 265.535$ □ *valores experiment.*

FIGURA 32 %G.P. X %C, para o grupamento de variáveis: 3%C + 6 min. Fluxo: BaO (40%)+BaCl₂ (60%)+Fe₂O₃ (10g/kg-metal).

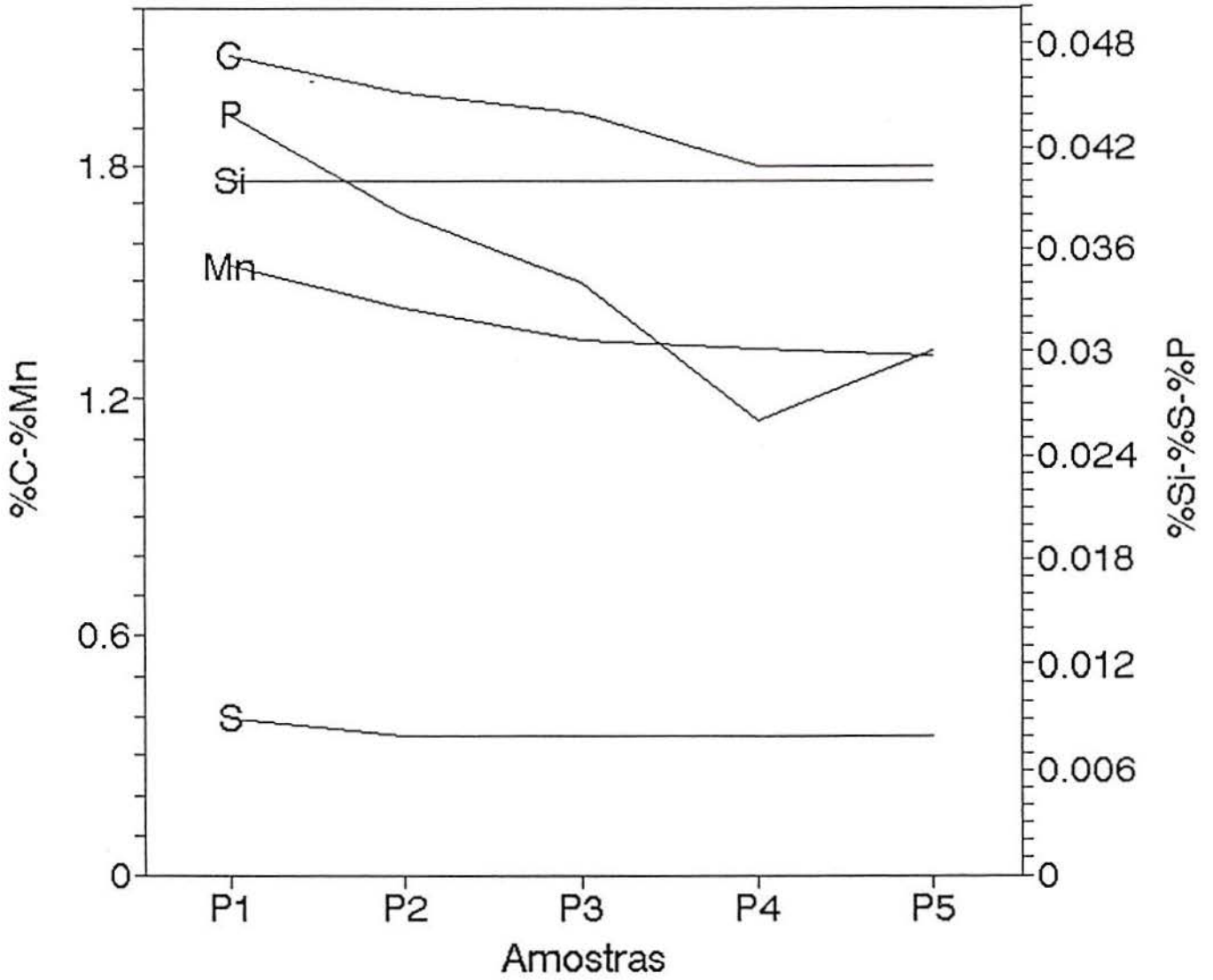


FIGURA 33 % Elemento (C, Mn, Si, S e P) X Amostras retiradas do banho). Fluxo: BaO (40%)+BaCl₂ (60%)+Fe₂O₃ (10g/kg-metal).

ANEXO C PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO INOXIDÁVEL - ACESITA

A ACESITA (Aços Especiais Itabira S/A), fundada em 31-10-1944, usa carvão vegetal como redutor nos altos-fornos, conferindo características especiais ao gusa produzido.

Para produção de aços inoxidáveis a ACESITA utiliza forno elétrico a arco, AOD e lingotamento contínuo. A seguir a descrição dos componentes do processo.

Forno Elétrico:

São dois (2) fornos elétricos de 33t/corrida, são carregados com 100% de carga metálica constituída de:

- 25% de sucata de retorno;
- 20% de ferro cromo alto carbono;
- 8% de ferro níquel e
- 47% de outras sucatas.

São injetadas $25\text{Nm}^3/\text{t}$ de oxigênio acelerando a fusão. Com 1620°C o metal é transferido para o refino AOD.

Conversor AOD:

São três vasos intercambiáveis de 35t de capacidade, estando sempre um em operação, um em manutenção refratária e um em pré-aquecimento.

Com uma vida média do revestimento refratário de 130 corridas por campanha, um consumo de gases da ordem de $20\text{Nm}^3/\text{t}$, $38\text{Nm}^3/\text{t}$ e $12\text{Nm}^3/\text{t}$ respectivamente para argônio, oxigênio e nitrogênio, e um tempo de corrida médio de 90 minutos produzem

120.000 toneladas de placas (1988).

Lingotamento Contínuo

O metal líquido é transformado em placas cujo dimensionamento típico é 200 X 1255 X 6000mm e posteriormente enviado para a laminação de tiras a quente.

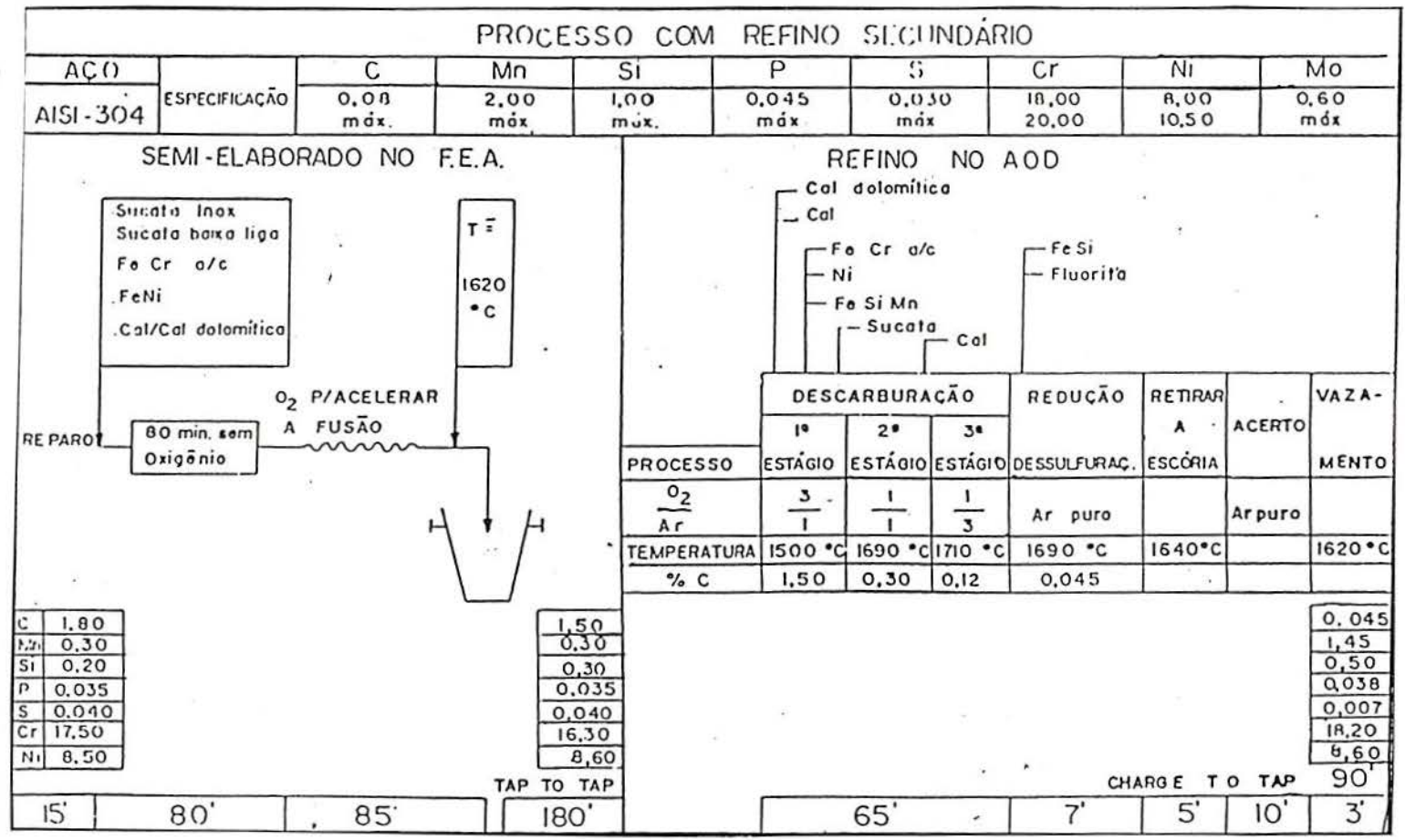
O Processo AOD na ACESITA

As sucatas e ligas são fundidas no forno elétrico, que não faz nenhuma operação de refino. O oxigênio é soprado, simplesmente para acelerar a fusão já que os fornos são de baixa potência.

O metal líquido, com composição química desejada é carregado para o AOD, para a descarburização. Esta se processa em três estágios com diminuição da relação oxigênio/gás inerte à medida em que decresce o teor de carbono. Após essa fase onde parte do cromo foi oxidada (1,5%Cr), tem lugar uma redução com ferro-silício, quando ocorre também a dessulfuração. A escória é retirada, são feitos os ajustes necessários e o metal é vazado.

O roteiro de fabricação de aço inoxidável pela ACESITA, poderá ser visto na Figura 34.

FIGURA 34 Roteiro de fabricação de aço inoxidável na ACESSITA.



ANEXO D COQUILHA

Com já foi salientado anteriormente, a necessidade de otimização das retiradas de amostras durante o tratamento de desfosforação, proporcionou a substituição dos pinos de sílica e da coquilha tipo pirâmidal de base retangular (usada para retirar a última amostra de aço (P_5)), por uma coquilha de ferro fundido cinzento.

A otimização conseguida com a substituição foi em relação às análises químicas. Com o uso de pinos de sílica a análise procede por via úmida, o que ocasiona muito tempo de análise, um grande consumo de reagentes e maior margem de erro. Isto não acontece com o uso da coquilha, pois a mesma sofre apenas uma queima por emissão de Raio X.

A troca da coquilha tipo pirâmidal de base retangular, foi devido ao seu dimensionamento, que ocasionava incômodo para a análise, além do que perdia-se muito material na corrida (cerca de 40%). Outro aspecto foi em relação a extração da amostra da coquilha, que devido a maior área de contato dificultava a sua retirada.

Uma esquematização em proporção da coquilha de ferro fundido, pode ser vista na Figura 35.

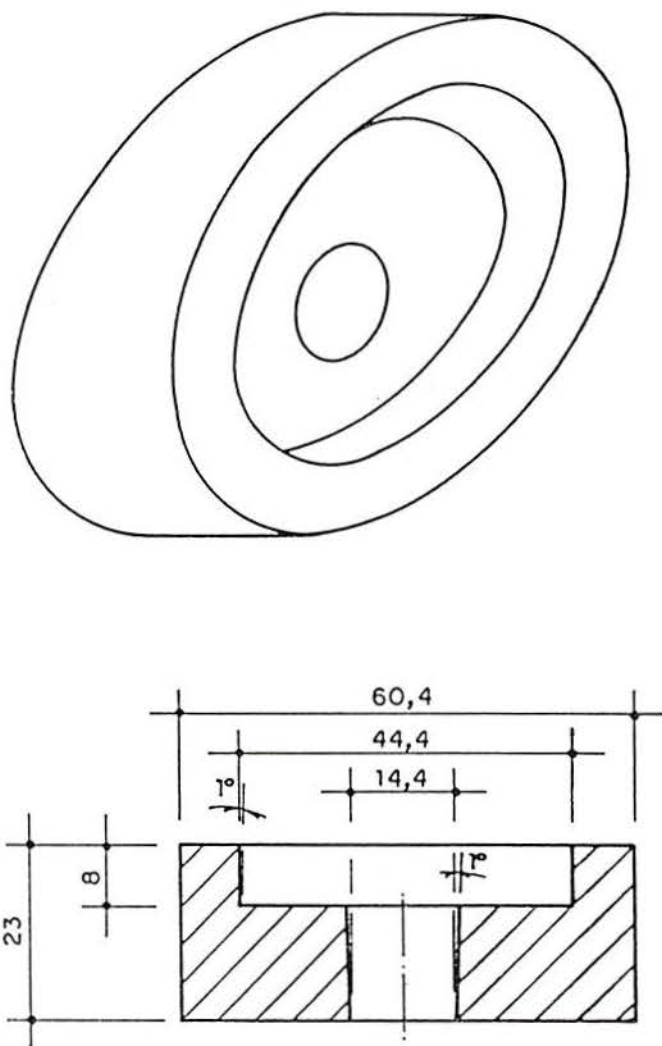


FIGURA 35 Esquemáticação em proporção da coquilha de ferro fundido.

ANEXO E FUSÕES ADICIONAIS

Seguindo com o estudo de variáveis que influenciam a desfosforação, foi estudado a redução do agente fluidizante, que compõe o fluxo de desfosforação.

Na corrida (F₉), o teor de BaCl₂ foi reduzido de 300g para 200g, mantendo o agente estabilizante em 40% (10%CaO+30%BaO), o teor de carbono em 2% e o tempo de reação de 5 minutos. O melhor valor obtido foi de 0,038%P na P₄, com a temperatura de amostragem acima de 1500°C. Houve uma descarburagem acompanhada de um Lp de 3,97 na P₄ e alto teor de Cr₂O₃ (13,1%). Foram observadas alterações em relação a escória. Na retirada da amostra P₂, não houve escória sobrenadante. Com as retiradas posteriores, houveram dificuldades devido a fluidez da escória.

Também foi efetuada, com a finalidade de comparação de resultados, uma fusão com os mesmos parâmetros usados na corrida de número 37, da referência Moraes, 1991. Nesta corrida (C₂₁), o %P foi de 0,039% na P₅, com um Lp de 2,564% e 87% de rendimento de Cr. A temperatura de tratamento ficou em torno de 1480°C e o G.S. foi de 20%.

ANEXO F ESTRUTURA DAS ESCÓRIAS

Os elementos presentes na escória podem ser medidos ou calculados através da sua atividade.

As atividades dos elementos na escória são mais complexas do que as atividades dos elementos no banho.

Estas atividades dos compostos da escória diferenciam-se muitas vezes dos seus valores de concentração.

Para entender este comportamento torna-se necessário o conhecimento sobre a estrutura das escórias.

Supõe-se que a escória fluída esteja dissociada em íons, podendo-se comprovar através da medida da condutividade elétrica das escórias fundidas na presença de campos elétricos.

Os óxidos básicos Na_2O e CaO são parte dissociados, formando cátions Na^+ , Ca^{+2} , Mn^{+2} , Fe^{+2} , Mg^{+2} , Ni^{+2} e ânions O^{-2} , S^{-2} , F^{-4} . Óxidos ácidos podem formar complexos iônicos, por exemplo: SiO_4^{-4} , $\text{Si}_2\text{O}_7^{-6}$, PO_4^{-3} , AlO_3^{-3} , FeO^{-2} , $\text{Fe}_2\text{O}_5^{-4}$.

A concentração molar dos íons é definida pela fração iônica que por sua vez divide-se em ânions e cátions.

$$X_i \text{ cátion} = \frac{n_i \text{ cátion}}{\sum E_1 n_i \text{ cátion}} \quad (1)$$

$$X_i \text{ ânion} = \frac{n_i \text{ ânion}}{\sum E_1 n_i \text{ ânion}} \quad (2)$$

onde: X= fração iônica

n= número de íons

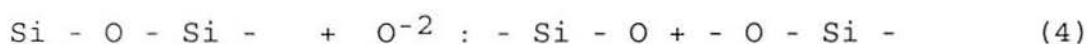
A relação existente entre as frações iônicas e as atividades é dada nos casos mais simples pela fórmula de Temkin.



* esta igualdade nem sempre é obedecida.

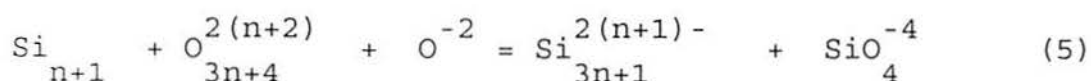
Os íons silicatos em escórias apresentam entrelaçamento em complexos aniônicos. Este entrelaçamento aumenta seu grau com o aumento do teor de SiO_2 na escória.

A SiO_2 pura em presença de um óxido básico ocasiona a quebra da cadeia. Representada abaixo.



Com o aumento da oferta de íons oxigênio livres às cadeias serão quebradas. Isto influe nas propriedades das escórias, como: no aumento da viscosidade, no coeficiente de difusão, na condutividade elétrica e no comportamento químico que depende da concentração de íons de oxigênio livres.

Comparando a estrutura de silicatos e as propriedades termodinâmicas, para a reação (4) a constante de equilíbrio pode ser escrita da seguinte forma.



Temos de maneira aproximada a constante de equilíbrio.

$$K = \frac{X_{O^{-2}} - X_{Si^{+1}} + O_{3n+4}^{2(n+2)-}}{X_{SiO_4^{-4}} - X_{Si^n} - O_{3n+1}^{+2(n+1)-}} \quad (6)$$

Como as atividades iônicas das escórias não podem ser medidas nem quantificadas, usa-se esta aproximação substituindo por frações iônicas.

As constantes de equilíbrio dependem da composição da

escória e do tipo de cátion. Seu valor será tanto menor quanto mais básico for o cátion formado a partir dos óxidos básicos.

Para uma fusão binária de um silicato, uma determinada distribuição da concentração de cada poliânion dependerá dos valores de K. Nas reações de dissociação, em casos de poliânions, os valores da constante (K) são equivalentes.

Existe um modelo teórico que a partir dos valores das atividades medidas dos componentes básicos de um sistema, calcula-se a distribuição da concentração dos complexos de íons silicatos e dos íons livres. Este modelo é aplicado para silicatos binários.

Para a dependência entre a A_{MeO} do óxido e o %Si da fusão binária de silicato foi por R. Masson, assim formulada.

$$\frac{1}{X_{SiO_2}} = 2 + \frac{1}{1 - A_{MeO}} + \frac{1}{1 + A_{MeO}} \frac{1}{K_{11}^{-1}} \quad (7)$$

$K_{11} = K$ de equilíbrio



Com esta reação (8), pode-se conhecer e calcular a distribuição da concentração dos complexos aniônicos. Isto é válido para $X_{SiO_2} < 0,5$.

Fusões que só possuem um cátion $X_{Me+2}=1$ segue a fórmula de Tenkim.

$$A_{MeO} = X_{O^{-2}} \quad (9)$$

A reação (8) também nos dá, a dependência entre o %Si e a concentração de íons oxigênios livres. A concentração em íons

de oxigênio livres é uma medida para a basicidade.

Para os sistemas SiO-CaO, MnO-SiO, FeO-SiO, temos valores diferentes de K_{11} .

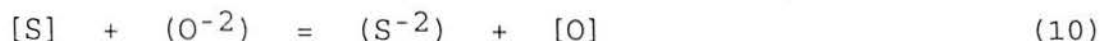
Para o sistema CaO-SiO₂ predomina SiO₄⁻⁴ (n=1), $K_{11}=0,016$.

Só a partir de valores $X_{SiO_2} > 0,3$, é que aparecem outros tipos de distribuições iônicas como Si₂O₇⁻⁶, n=2 e Si₃O₁₀⁻⁸, n=3.

Na relação molar CaO/SiO₂=2 o valor da fração molar da sílica $X_{SiO_2}=0,33$ predomina a espécie SiO₄⁻⁴. Também nos outros sistemas predomina a espécie SiO₄⁻⁴, entretanto as espécies Si₂O₇⁻⁶ e Si₃O₁₀⁻⁸ possuem sua representação aumentada. Na concentração da fração molar SiO₂=0,33, é onde ocorrem variações importantes na concentração. Abaixo de 0,33 sempre há uma diminuição da concentração dos íons, e a concentração dos íons livres de oxigênio correspondentes aumentam. Estes efeitos são mais fortes no sistema CaO-SiO₂.

Os valores diferentes de K devem-se principalmente ao fato do coeficiente de atividade dos íons de oxigênio livres serem independente do tipo de óxido. Aumentando K_{11} isto é, diminuindo a basicidade do óxido diminui o coeficiente de atividade dos íons oxigênio livres, devido a pequena dissociação eletrolítica ocasionada pela forte polarização dielétrica dos óxidos básicos mais fracos.

A partir de considerações sobre a teoria iônica, pode-se obter conclusões para a avaliação da atuação da basicidade das escórias. Por exemplo, nas reações de dessulfuração que seguem a igualdade iônica (Temkin).



Para a desfosforação, seguindo a igualdade iônica.



A concentração de íons de oxigênio livres esta relacionada com as propriedades óticas da escória. Tanto na dessulfuração como na desfosforação aparece o fator da atividade dos íons de oxigênio livres.

Podemos obter às seguintes conclusões:

1- Íons oxigênio livres servem para a dissociação dos complexos aniônicos e silicatos e por isto são utilizados. Este processo termina quando a maior parte de íons de silicatos se encontra na forma de SiO_4^{-4} para escórias com cátions +2 e a concentração de $SiO_2=0,33$. Para outras escórias existem valores de fração molar e estes valores serão tanto menores quanto mais básico for o óxido.

2- Para óxidos básicos de frações molares iguais o coeficiente de atividade dos íons $O^{-2}(fO^{-2})$, segundo a série FeO-MnO-CaO-, aumenta à parte da concentração de íons SiO_4^{-4} .

3- Para a fração molar $SiO_2=0,33$ correspondente a uma relação molar MnO/SiO₂=2, a fração iônica dos íons silicatos diminui e a dos íons oxigênio livres correspondentes aumenta.

Na fabricação do aço serve como elemento básico principalmente o CaO normalmente utilizado para escórias dessulfurantes e desfosforantes numa relação molar de $CaO=SiO_2>2$.

Estes esclarecimentos em relação a teoria das escórias encontram-se em Oeters, 1989.

Themelis e Jião, 1988, apresentam que escórias fundidas são condutores iônicos e mostram um alto grau de ionização. A

condutividade elétrica das escórias depende largamente do tamanho dos ânions de silicatos que quebram em pequenos segmentos através da atração dos íons de oxigênio para CaO e MgO, como também outros óxidos de metais de menor valência. Ainda enfatizam, que a condutividade elétrica aumenta com o aumento da concentração de CaO, MgO, FeO, MnO, etc. Decresce, com o aumento da concentração de SiO₂ e Al₂O₃. Há uma tendência entre a condutividade elétrica e a viscosidade, alta viscosidade é associada com baixa condutividade e um aumento, de SiO₂ e Al₂O₃.

ANEXO G TABELAS E CURVAS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A seguir as tabelas e curvas referentes as análises do tamanho das partículas dos componentes dos fluxos de desfosforação e de dessiliciação. Estas análises foram efetuadas no equipamento Malvern modelo System 601, através da difração de Raio Laser.

High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	Span
118	100	53.3	98.3	24.0	76.3	10.8	33.8	4.84	14.0	2.18	5.7	D[4,3] 17.41 μ m
110	100	49.5	97.4	22.3	72.7	10.0	31.3	4.50	13.1	2.03	5.6	
102	100	46.1	96.4	20.7	68.9	9.31	29.0	4.19	12.1	1.88	5.4	D[3,2] 6.39 μ m
95.2	100	42.8	95.2	19.3	64.8	8.66	26.8	3.89	11.1	1.75	5.3	
88.6	100	39.8	93.7	17.9	60.4	8.05	24.6	3.62	10.0	1.63	5.1	D[v,0.9] 34.32 μ m
82.4	100	37.0	92.0	16.7	55.9	7.49	22.5	3.37	8.9	1.51	4.8	
76.6	99.9	34.4	90.1	15.5	51.3	6.97	20.5	3.13	8.0	1.41	4.5	D[v,0.1] 3.63 μ m
71.2	99.9	32.0	87.9	14.4	47.0	6.48	18.7	2.91	7.2	1.31	4.1	
66.2	99.8	29.8	85.4	13.4	43.0	6.02	17.3	2.71	6.6	1.22	3.6	
61.6	99.5	27.7	82.6	12.5	39.5	5.60	16.1	2.52	6.2			
57.3	99.0	25.8	79.6	11.6	36.5	5.21	15.0	2.34	6.0			
Source = Res.:angela		Beam length = 2.2 mm		Model indp								D[v,0.5] 15.15 μ m
Record No. = 3		Log. Diff. = 1.952		Volume Conc. = 0.0332%								
Focal length = 63 mm		Obscuration = 0.2898		Volume distribution		Sp.S.A 1.1887 m ² /gm.						
Presentation = pil												

TABELA 30 Tabela da análise granulométrica do óxido de cálcio (diluído em água).

High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	Span
118	100	53.3	100	24.0	80.9	10.8	19.7	4.84	3.5	2.18	1.0	D[4, 3] 17.74 μ m
110	100	49.5	99.9	22.3	74.5	10.0	17.3	4.50	3.2	2.03	0.9	
102	100	46.1	99.9	20.7	67.3	9.31	15.0	4.19	2.8	1.88	0.9	D[3, 2] 12.14 μ m
95.2	100	42.8	99.9	19.3	59.8	8.66	12.8	3.89	2.5	1.75	0.9	
88.6	100	39.8	99.6	17.9	52.3	8.05	10.7	3.62	2.2	1.63	0.8	D[v, 0.9] 27.59 μ m
82.4	100	37.0	98.9	16.7	45.2	7.49	8.9	3.37	1.9	1.51	0.7	
76.6	100	34.4	97.7	15.5	38.9	6.97	7.3	3.13	1.6	1.41	0.7	D[v, 0.1] 7.84 μ m
71.2	100	32.0	95.8	14.4	33.4	6.48	6.0	2.91	1.4	1.31	0.6	
66.2	100	29.8	93.4	13.4	28.8	6.02	5.0	2.71	1.3	1.22	0.5	D[v, 0.5] 17.51 μ m
61.6	100	27.7	90.2	12.5	25.2	5.60	4.4	2.52	1.1			
57.3	100	25.8	86.1	11.6	22.2	5.21	3.9	2.34	1.1			
Source = Res.:vilela		Beam length = 2.2 mm		Model indp								
Record No. = 6		Log. Diff. = 3.640										
Focal length = 63 mm		Obscuration = 0.2597		Volume Conc. = 0.0554%								
Presentation = pil		Volume distribution		Sp.S.A 0.6256 m ² /gm.								

TABELA 31 Tabela de análise granulométrica do óxido de bário (diluído em acetona).

High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	Span
564	100	254	79.6	114	44.6	51.3	17.0	23.1	6.4	10.4	2.8	D[4, 3] 163.68 μ m
524	98.4	236	77.1	106	41.4	47.7	15.5	21.4	5.9	9.64	2.6	
488	96.8	219	74.4	98.6	38.3	44.4	14.3	19.9	5.4	8.97	2.5	D[3, 2] 55.84 μ m
454	95.2	204	71.7	91.7	35.4	41.2	13.2	18.5	5.0	8.34	2.4	
422	93.5	190	68.7	85.3	32.7	38.4	12.3	17.2	4.6	7.76	2.2	D[v, 0.9] 364.80 μ m
392	91.8	176	65.6	79.3	30.1	35.7	11.3	16.0	4.2	7.21	2.0	
365	90.0	164	62.3	73.8	27.5	33.2	10.4	14.9	3.9	6.71	1.8	D[v, 0.1] 32.10 μ m
339	88.1	153	58.9	68.6	25.1	30.8	9.5	13.9	3.6	6.24	1.5	
315	86.2	142	55.3	63.8	22.8	28.7	8.7	12.9	3.4	5.80	1.3	D[v, 0.5] 127.53 μ m
293	84.1	132	51.7	59.3	20.7	26.7	7.8	12.0	3.1			
273	81.9	123	48.1	55.2	18.7	24.8	7.1	11.2	3.0			
Source = :Sample		Beam length = 2.2 mm		Model indp								
		Log. Diff. = 3.581										
Focal length = 300 mm		Obscuration = 0.2531		Volume Conc. = 0.2474%								
Presentation = pil		Volume distribution		Sp.S.A 0.1360 m ² /gm.								

TABELA 32 Tabela da análise granulométrica do cloreto de bário (diluído em acetona).

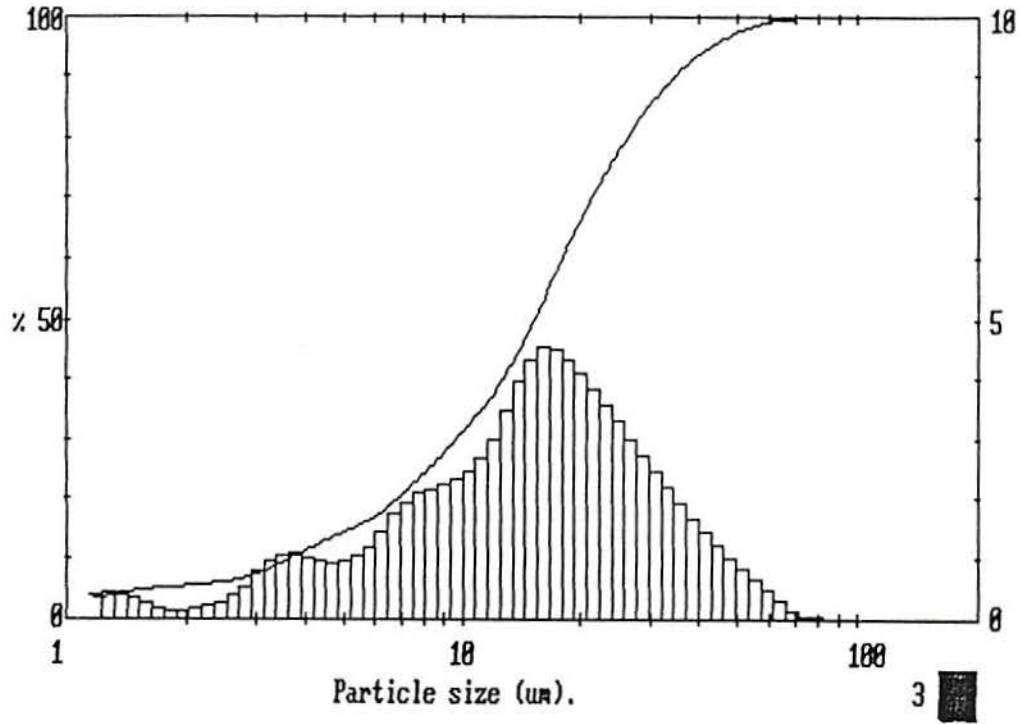


FIGURA 36 Curva da análise granulométrica do CaO.

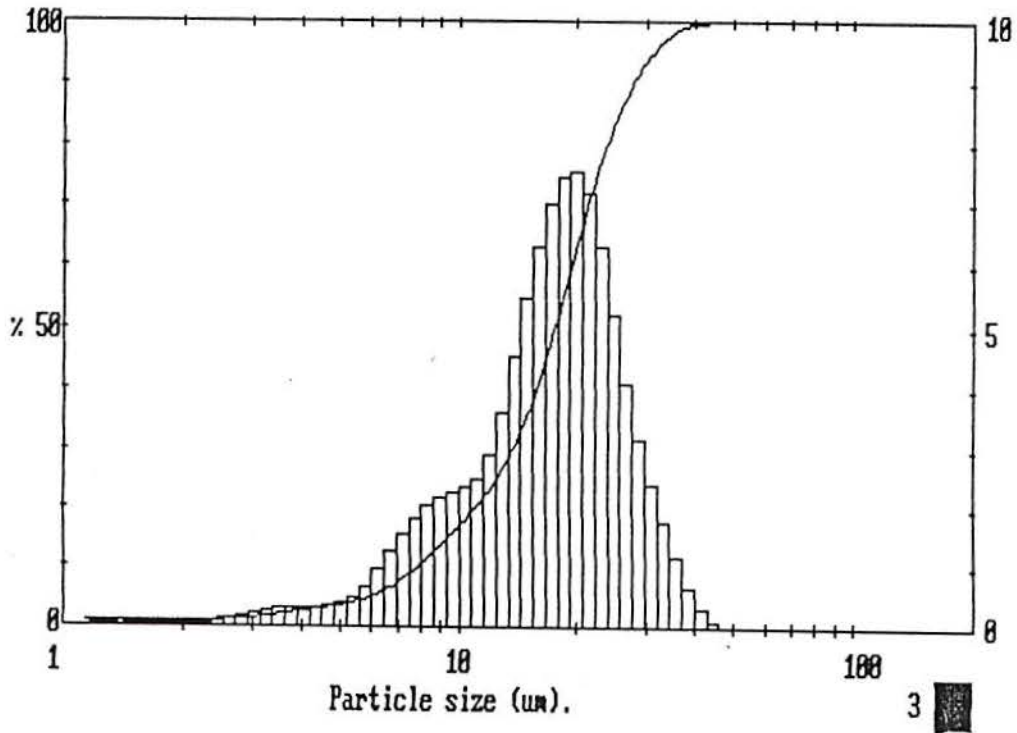


FIGURA 37 Curva da análise granulométrica do BaO.

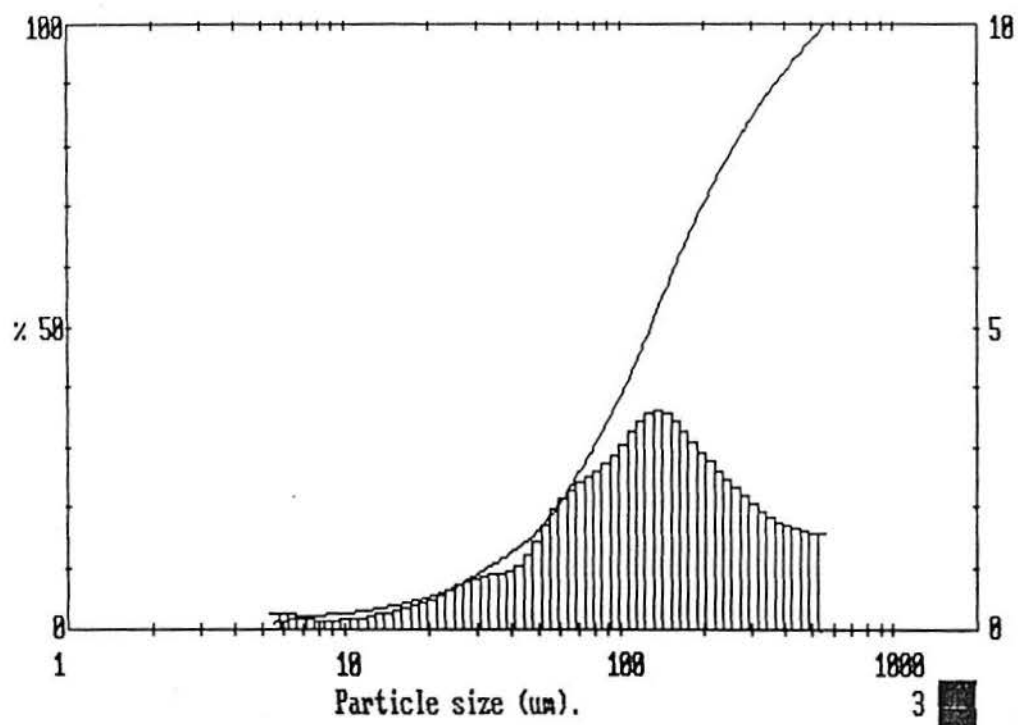


FIGURA 38 Curva da análise granulométrica do BaCl_2 .

ANEXO H REGISTRO DE CORRIDAS

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	152
F1		
Tempo de reação - 5 min - 2% C		

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	10:02	26
de inox	3000 g	2000 g		CaO	195 g	10:38	28
				BaCl ₂	90 g	10:45	28
			FLUXO DESFOSE.	Fe ₂ O ₃	50 g	10:50	27
Grafite	126 g			CaO	50 g	11:00	27
				BaO	150 g	11:30	27
				BaCl ₂	300 g	11:47	28

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
10:02	10	Início	10:02	
10:07	12	Fusão 1ª carga	10:40	
10:09	14	Fusão 2ª carga	11:02	1625
10:28	12	Adição fluxo dessiliciação	11:05	
10:28	14	Dissolução	11:20	1504
10:57	10	P ₁ E ₁	11:25	1492
10:59	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:27	
11:02	08	Dissolução	11:28	1491
11:08	08	P ₂ E ₂	11:32	1550
11:11	10	Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:34	
11:18	08	Dissolução	11:36	1557
11:21	10	P ₃ E ₃	11:41	1544
11:29	11	Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:43	
11:33	13	Dissolução	11:46	1513
11:34	14	P ₄ E ₄	11:51	1527
11:42	09	Tempo de reação	5 min	
11:50	09	P ₅ E ₅	11:56	1537
11:51	09	Término	12:03	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
26.01.92	80 lb/pol ²	MgO	Inox	2h01min	1537 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	153
F2	Sem tempo para reação - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	12:51	27
de inox	3010 g	2000 g		CaO	195 g	13:00	27
				BaCl ₂	90 g	13:20	28
			FLUXO DESFOSE.	Fe ₂ O ₃	50 g	13:45	28
Grafite	126 g			CaO	50 g	14:00	28
				BaO	150 g	14:20	28
				BaCl ₂	300 g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP (°C)
TEMPO	POTENCIA			
12:51	08	Início	12:51	
13:00	08	Fusão 1ª carga	13:20	
13:15	09	Fusão 2ª carga	13:47	1510
13:30	09	Adição fluxo dessiliciação	13:50	
13:45	09	Dissolução	14:02	1607
14:00	07	P ₁ E ₁	14:03	1567
14:05	06	Adição 1/3 fluxo desfosf.	14:05	
14:07	06	Dissolução	14:07	1481
14:10	08	P ₂ E ₂	14:08	1472
14:12	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	14:10	
14:14	08	Dissolução	14:10	1378
14:20	09	P ₃ E ₃	14:11	1348
14:25	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	14:13	
		Dissolução	14:14	1356
		P ₄ E ₄	14:15	1357
		Tempo de reação	7 min	
		P ₅ E ₅	14:22	1380
		Término	14:28	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
26.01.92	80 lb/pol ²	MgO	Inox	1h37min	1380 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	154
F3	Sem tempo de reação - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	14:25	28
de inox	2900 g	2150 g		CaO	195 g	14:41	28
				BaCl ₂	90 g	15:21	28
			FLUXO DESFOSE.	Fe ₂ O ₃	50 g	15:30	28
Grafite	126 g			CaO	50 g	16:00	29
				BaO	150 g	16:08	29
				BaCl ₂	300 g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
14:24	10	Início	14:24	
14:30	10	Fusão 1ª carga	15:00	
14:45	12	Fusão 2ª carga	15:20	1640
15:00	12	Adição fluxo dessiliciação	15:22	
15:15	11	Dissolução	15:40	1623
15:25	09	P ₁ E ₁	15:45	1554
15:35	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:50	
15:45	08	Dissolução	15:51	1441
15:55	09	P ₂ E ₂	15:51	1441
15:57	12	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:53	
16:00	13	Dissolução	15:54	1386
		P ₃ E ₃	15:55	1386
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:57	
		Dissolução	15:58	1348
		P ₄ E ₄	15:59	1343
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	16:04	1348
		Término	16:10	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
03.02.92	80 lb/pol ²	MgO	Inox	1h10min	1348 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	155
F4	Tempo de reação - 2 min - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	16:30	29
de inox	3050 g	2100 g		CaO	195 g	16:40	28
				BaCl ₂	90 g	16:50	28
			FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g	16:58	28
Grafite	126 g			CaO	50 g	17:20	29
				BaO	150 g	17:40	29
				BaCl ₂	300 g	18:00	29

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
16:46	08	Início	16:46	
16:55	08	Fusão 1ª carga	17:05	
17:00	08	Fusão 2ª carga	17:20	1572
17:10	09	Adição fluxo dessiliciação	17:22	
17:20	08	Dissolução	17:31	1547
17:30	08	P ₁ E ₁	17:36	1572
17:40	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	17:37	
17:50	10	Dissolução	17:37	1447
18:00	11	P ₂ E ₂	17:39	1447
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	17:41	
		Dissolução	17:43	1464
		P ₃ E ₃	17:45	1410
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	17:46	
		Dissolução	17:46	1420
		P ₄ E ₄	17:48	1412
		Tempo de reação	2 min	
		P ₅ E ₅	17:53	1400
		Término	18:10	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
03.02.92	75 lb/pol ²	MgO	Inox	1h24min	1400 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	156
F5	Tempo de reação - 2 min - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	11:40	29
de inox	3150 g	2900 g		CaO	195 g	12:00	29
				BaCl ₂	90 g	12:30	29
			FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g	12:45	29
Grafite	126 g			CaO	50 g	13:00	29
				BaO	150 g	13:20	29
				BaCl ₂	300 g	13:40	29

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
11:32	08	Início	11:32	
11:40	09	Fusão 1ª carga	12:06	
12:00	09	Fusão 2ª carga	12:26	1630
12:15	10	Adição fluxo dessiliciação	12:30	
12:30	08	Dissolução	13:00	1640
12:45	08	P ₁ E ₁	13:05	1610
13:00	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:08	
13:05	07	Dissolução	13:08	1600
13:08	06	P ₂ E ₂	13:10	1600
13:18	05	Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:18	
13:22	04	Dissolução	13:20	1630
13:25	04	P ₃ E ₃	13:20	1640
13:30	03	Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:30	
13:34	03	Dissolução	13:30	1770
13:38	03	P ₄ E ₄	13:31	1760
13:42	03	Tempo de reação	2 min	
		P ₅ E ₅	13:36	1730
		Término	13:45	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
07.02.92	75 lb/pol ²	MgO	Inox	2h13min	1730 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	157
F6	Tempo de reação - 4 min - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	12:51	25
de inox	3100 g	2950 g		CaO	195 g	13:00	26
				BaCl ₂	90 g	13:15	27
Grafite	126 g		FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g	13:30	27
				CaO	50 g	13:40	27
				BaO	150 g	13:50	27
				BaCl ₂	300 g	14:10	27

ENERGIA		EVENTOS		TEMP (°C)
TEMPO	POTENCIA			
12:51	06	Início	12:51	
13:00	08	Fusão 1ª carga	13:12	
13:20	10	Fusão 2ª carga	13:22	1480
13:30	10	Adição fluxo dessiliciação	13:24	
13:40	10	Dissolução	13:30	
13:50	12	P ₁ E ₁	13:35	1474
13:55	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:38	
14:00	08	Dissolução	13:39	
14:05	07	P ₂ E ₂	13:43	1246
14:10	07	Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:45	
14:12	07	Dissolução	13:47	
		P ₃ E ₃	13:51	1614
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:56	
		Dissolução	13:58	
		P ₄ E ₄	14:02	1509
		Tempo de reação	4 min	
		P ₅ E ₅	14:07	
		Término	14:15	1580

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
09.04.92	80 lb/pol ²	MgO	Inox	1h24min	1580 °C

Nº CORRIDA
F7

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 5 min - 2% C - 50% CaO

158

CARGAS		
MATERIAL	1º CARGA	2º CARGA
Sucata		
de inox	3010 g	2020 g
Grafite	131 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g
	CaO	25 g
	BaO	150 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
11:29	18
11:35	18
11:45	18
12:15	18
12:45	18
12:55	18

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
11:27	09
11:29	10
11:37	12
12:10	13
12:22	08
12:25	08
12:30	07
12:34	07
12:39	08
12:46	08
12:50	07

EVENTOS		TEMP. (°C)
Início	11:28	
Fusão 1ª carga	11:52	
Fusão 2ª carga	12:08	1450
Adição fluxo dessiliciação	12:10	
Dissolução	12:20	1591
P ₁ E ₁	12:25	1608
Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:26	
Dissolução	12:26	1510
P ₂ E ₂	12:31	1443
Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:32	
Dissolução	12:32	1405
P ₃ E ₃	12:37	1379
Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:39	
Dissolução	12:41	1548
P ₄ E ₄	12:46	1531
Tempo de reação	5 min	
P ₅ E ₅	12:51	1530
Término	13:00	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'AGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMPVAZAMENTO
24.08.92	80 lb/pol ²	MgO	Inox	1h32min	1530 °C

Nº CORRIDA
F8

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 5 min -2% C - 50% BaO

159

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
Sucata de inox	3015 g	2015 g
Grafite	131 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g
	CaO	50 g
	BaO	75 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP (°C)
09:09	17,5
10:20	18
10:45	18
11:05	18
11:15	18

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
09:08	05
09:21	08
09:42	10
09:50	12
09:52	11
10:07	11,5
10:09	14
10:20	14
10:35	14
10:40	10
10:45	08
10:50	09
10:58	10
11:04	12
11:09	13
11:10	14
11:15	14
11:18	14

EVENTOS		TEMP. (°C)
Início	09:08	
Fusão 1ª carga	09:58	
Fusão 2ª carga	10:22	1490
Adição fluxo dessiliciação	10:25	
Dissolução	10:39	1563
P ₁ E ₁	10:44	1552
Adição 1/3 fluxo desfosf.	10:46	
Dissolução	10:48	1476
P ₂ E ₂	10:53	1521
Adição 1/3 fluxo desfosf.	10:55	
Dissolução	10:57	1400
P ₃ E ₃	11:02	1423
Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:04	
Dissolução	11:06	1378
P ₄ E ₄	11:11	1422
Tempo de reação	5 min	
P ₅ E ₅	11:16	1424
Término	11:20	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMPVAZAMENT
26.08.92	80 lb/pol ²	MgO	Inox	2h12min	1424 °C

Nº CORRIDA

OBSERVAÇÕES:

P9

Tempo de reação - 5 min - 2% C - BaCl₂ 200 g

160

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	13:50	17,5
de inox	3005 g	2025 g		CaO	195 g	14:00	18
				BaCl ₂	90 g	14:20	18
			FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g	14:45	18
				CaO	50 g	15:15	18
				BaO	150 g	15:25	19
				BaCl ₂	200 g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
13:49	10	Início	13:49	
14:28	12	Fusão 2ª carga	14:37	
14:37	14	Fusão 2ª carga	14:54	1465
14:43	14	Adição fluxo dessiliciação	14:54	
14:46	14	Dissolução	15:10	1620
14:51	14	P ₁ E ₁	15:15	1641
15:07	12	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:20	
15:08	10	Dissolução	15:22	1516
15:15	07	P ₂ E ₂	15:27	1550
15:18	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:29	
15:31	10	Dissolução	15:31	1434
15:41	08	P ₃ E ₃	15:36	1567
15:48	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:38	
		Dissolução	15:40	1504
		P ₄ E ₄	15:45	1545
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	15:53	1527
		Término	16:10	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'AGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
24.08.92	90 lb/pol ²	MgO	Inox	2h21min	1527 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	161
F10	Tempo de reação - 5 min - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	15:26	20
de inox	3015 g	2000 g		CaO	195 g	16:40	20
				BaCl ₂	90 g	16:44	20
			FLUXO DESFOSE.			17:13	20
Grafite	131 g			Fe ₂ O ₃	50 g		
				BaO	200 g		
			BaCl ₂	300 g			

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
15:26	10	Início	15:26	
15:30	10	Fusão 1ª carga	16:04	
16:00	10	Fusão 2ª carga	16:15	1450
16:20	10	Adição fluxo dessiliciação	16:20	
16:40	10	Dissolução	16:35	1456
16:44	10	P ₁ E ₁	16:40	1483
16:49	10	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:43	
16:52	10	Dissolução	16:44	1460
17:02	09	P ₂ E ₂	16:49	1464
17:08	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:51	
17:13	7,8	Dissolução	16:52	1500
		P ₃ E ₃	16:57	1509
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:59	
		Dissolução	17:01	1517
		P ₄ E ₄	17:06	1509
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	17:11	1560
		Término	17:19	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'AGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
18.08.92	90 lb/pol ²	MgO	Inox	1h53min	1560 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	162
F11	Tempo de reação - 5 min - 1,5% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	13:58	19
de inox	3048 g	2000 g		CaO	195 g	16:04	21
				BaCl ₂	90 g	16:45	21
Grafite	78 g		FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g		
				BaO	200 g		
				BaCl ₂	300 g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
13:58	5,5	Início	13:58	
14:10	09	Fusão 1ª carga	14:25	
14:30	10	Fusão 2ª carga	14:38	
14:45	10	Adição fluxo dessiliciação	14:40	
14:58	09	Dissolução	14:56	1580
15:00	07	P ₁ E ₁	15:01	1558
15:07	10	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:03	
15:12	12	Dissolução	15:05	1355
15:20	12	P ₂ E ₂	15:10	1375
15:25	14	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:12	
15:32	14,5	Dissolução	15:14	1451
		P ₃ E ₃	15:19	1408
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:22	
		Dissolução	15:23	1380
		P ₄ E ₄	15:28	1372
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	15:33	1422
		Término	15:50	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
18.08.92	90 lb/pol ²	MgO	Inox	1h52min	1422 °C

Nº CORRIDA
C1

OBSERVAÇÕES:	163
Tempo de reação - 5 min - 2,0% C	

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
Sucata de inox	3000 g	2000 g
Grafite	133 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g
	CaO	50 g
	BaO	150 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
10:12	26
10:28	28
10:57	28
11:18	27
11:28	27
11:38	28
11:47	28

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
10:02	10
10:07	12
10:09	14
10:18	12
10:28	14
10:57	10
10:59	09
11:02	08
11:08	08
11:11	10
11:18	08
11:21	10
11:29	11
11:33	13
11:34	14
11:42	09
11:47	09

EVENTOS	
Início	10:02
Fusão 1ª carga	10:22
Fusão 2ª carga	10:40
Adição fluxo dessiliciação	10:42
Dissolução	10:59
P ₁ E ₁	11:04
Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:07
Dissolução	11:08
P ₂ E ₂	11:13
Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:18
Dissolução	11:20
P ₃ E ₃	11:25
Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:33
Dissolução	11:34
P ₄ E ₄	11:39
Tempo de reação	5 min
P ₅ E ₅	11:47
Término	11:50

TEMP. (°C)
1620
1525
1492
1391
1450
1357
1544
1520
1427
1427

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
03.02.92	90 lb/pol ²	MgO	Inox	1h48min	1427 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	164
C2	Tempo de reação - 5 min - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	11:38	18
de inox	3010 g	2025 g		CaO	195 g	11:50	18
				BaCl ₂	90 g	12:00	18
			FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g	12:10	18
Grafite	133 g			CaO	50 g	12:20	18
				BaO	150 g	12:30	18
				BaCl ₂	300 g	12:50	18

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
11:27	09	Início	11:28	
11:29	10	Fusão 1ª carga	11:52	
11:37	12	Fusão 2ª carga	12:08	1500
12:10	13	Adição fluxo dessiliciação	12:09	
12:22	08	Dissolução	12:16	1591
12:25	08	P ₁ E ₁	12:21	1600
12:30	07	Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:25	
12:34	07	Dissolução	12:28	1512
12:39	08	P ₂ E ₂	12:33	1443
12:46	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:34	
12:47	10	Dissolução	12:38	1400
12:49	12	P ₃ E ₃	12:44	1379
12:59	12,5	Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:46	
		Dissolução	12:49	1364
		P ₄ E ₄	12:54	1531
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	12:59	1530
		Término	13:01	

DATA	CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
04.08.92		80 lb/pol ²	MgO	Inox	Lh33min	1530 °C

Nº CORRIDA
C3

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 5 min - 2,0% C

165

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	15:26	20
de inox	3015 g	2000 g		CaO	195 g	16:40	20
				BaCl ₂	90 g	16:50	20
			FLUXO DESFOSF.			17:13	20
Grafite	133 g			Fe ₂ O ₃	50 g		
				BaO	200 g		
				BaCl ₂	300 g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
15:26	10	Início	15:26	
15:50	10	Fusão 1ª carga	15:49	
16:00	10	Fusão 2ª carga	16:09	1480
16:20	10	Adição fluxo dessiliciação	16:11	
16:40	10	Dissolução	16:35	1315
16:44	10	P ₁ E ₁	16:40	1309
16:49	10	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:43	
16:52	10	Dissolução	16:44	1510
17:02	09	P ₂ E ₂	16:49	1550
17:08	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:51	
17:13	7.8	Dissolução	16:52	1563
		P ₃ E ₃	16:57	1567
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:59	
		Dissolução	17:01	1594
		P ₄ E ₄	17:06	1545
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	17:11	1527
		Término	17:19	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
04.08.92	80 lb/pol ²	MgO	Inox	1h53min	1527 °c

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	
C4	Tempo de reação - 5 min - 1% C	166

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	9:30	19
de inox	3000 g	2000 g		CaO	195 g	9:50	20
				BaCl ₂	90 g	10:24	20
			FLUXO DESFOSF.			11:09	23
Grafite	66,65 g			Fe ₂ O ₃	50 g	11:35	23
				BaO	200 g	11:50	23
				BaCl ₂	300 g	11:55	23

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
09:20	7,5	Início	09:20	
09:52	09	Fusão 1ª carga	09:42	
10:41	10	Fusão 2ª carga	10:42	1480
10:51	10	Adição fluxo dessiliciação	10:43	
11:18	12	Dissolução	10:58	1474
11:23	10	P ₁ E ₁	11:03	1462
11:32	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:23	
11:41	09	Dissolução	11:24	1533
11:50	09	P ₂ E ₂	11:29	1520
11:57	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:32	
		Dissolução	11:33	1515
		P ₃ E ₃	11:38	1510
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:41	
		Dissolução	11:46	1510
		P ₄ E ₄	11:51	1524
		Tempo de reação	4 min	
		P ₅ E ₅	11:55	1520
		Término	11:58	
		Obs.: Entre P ₁ E ₁ e a adição 1/3 fluxo desfosf. ocorreu uma parada do forno.		

DATA	CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
05.02.92		75 lb/pol ²	MgO	Inox	2h38min	1520 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	167
C5	Tempo de reação - 5 min - 1% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	11:30	27
de inox	3010 g	2004 g		CaO	195 g	11:45	28
				BaCl ₂	90 g	12:00	28
Grafite	66,65 g		FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g	12:10	28
				BaO	200 g	12:25	28
				BaCl ₂	300 g	12:40	28
						13:00	28

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
11:10	10	Início	11:11	
11:20	10	Fusão 1ª carga	11:45	
11:30	09	Fusão 2ª carga	12:00	1510
11:55	09	Adição fluxo dessiliciação	12:06	
12:00	09	Dissolução	12:20	1450
12:15	08	P ₁ E ₁	12:25	1414
12:20	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:27	
12:30	09	Dissolução	12:29	1400
12:37	08	P ₂ E ₂	12:34	1403
12:40	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:36	
12:42	08	Dissolução	12:39	1374
12:50	08	P ₃ E ₃	12:44	1381
12:52	06	Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:45	
12:55	06	Dissolução	12:47	1458
12:57	07	P ₄ E ₄	12:52	1459
13:00	07	Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	12:57	1490
		Término	13:02	

DATA	CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
10.02.93		90 lb/pol ²	MgO	Inox	1h51min	1490 °C

Nº CORRIDA

C6

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 5 min - 1,5% C

168

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
Sucata de inox	2534 g	2466 g
Grafite	99,75 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g
	BaO	200 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP (°C)
14:28	25
14:40	24
15:31	26
15:50	26
16:20	26
16:39	26
17:00	26

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
14:28	3,5
14:40	05
14:51	07
15:44	10
15:49	10,5
15:56	10
16:05	11,5
16:13	10
16:15	08
16:28	07
16:43	08
16:50	08
16:52	09
16:53	8,5
17:02	8,5

EVENTOS		TEMP (°C)
Início	14:28	
Fusão 1ª carga	15:31	
Fusão 2ª carga	16:11	1510
Adição fluxo dessiliciação	16:13	
Dissolução	16:15	1474
P ₁ E ₁	16:20	1468
Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:24	
Dissolução	16:24	1409
P ₂ E ₂	16:29	1408
Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:32	
Dissolução	16:35	1403
P ₃ E ₃	16:40	1405
Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:46	
Dissolução	16:53	1325
P ₄ E ₄	16:58	1358
Tempo de reação	4 min	
P ₅ E ₅	17:02	1356
Término	17:08	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMPVAZAMENTO
20.11.92	80 lb/pol ²	MgO	Inox	2h40min	1356 °C

Nº CORRIDA
C7

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 5 min - 1,5% C

169

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
Sucata de inox	3000 g	2010 g
Grafite	99,75 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g
	BaO	200 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
09:20	27
09:40	28
09:55	28
10:20	28
10:30	28
11:08	28
11:20	28

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
09:10	08
09:20	08
09:27	09
09:32	10
09:36	11
09:42	11
09:52	10
10:10	10
10:18	10
10:25	10
10:27	10
10:34	10
10:56	09
11:03	09
11:12	08
11:23	08

EVENTOS		TEMP. (°C)
Início	09:10	
Fusão 1ª carga	09:50	
Fusão 2ª carga	10:15	1595
Adição fluxo dessilicacão	10:17	
Dissolução	10:32	1584
P ₁ E ₁	10:37	1591
Adição 1/3 fluxo desfosf.	10:40	
Dissolução	10:43	1507
P ₂ E ₂	10:48	1512
Adição 1/3 fluxo desfosf.	10:52	
Dissolução	10:55	1374
P ₃ E ₃	11:00	1379
Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:05	
Dissolução	11:07	1364
P ₄ E ₄	11:12	1364
Tempo de reação	5 min	
P ₅ E ₅	11:17	1530
Término	11:25	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'AGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
12.12.92	90 lb/pol ²	MgO	Inox	2h15min	1530 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	170
C8	Tempo de reação - 5 min - 0,053% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata de inox	3000 g	2000 g	FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	12:24	22
				CaO	195 g	12:44	22
				BaCl ₂	90 g	13:20	24
Grafite	Sem adição		FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g	13:36	24
				BaO	200 g	13:56	24
				BaCl ₂	300 g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
12:12	10	Início	12:12	
12:55	13,5	Fusão 1ª carga	12:53	
13:19	08	Fusão 2ª carga	13:02	1790
13:21	05	Adição fluxo dessiliciação	13:02	
13:36	08	Dissolução	13:12	1795
13:38	08	P ₁ E ₁	13:17	1800
13:46	07	Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:19	
13:59	11	Dissolução	13:24	1664
14:05	11	P ₂ E ₂	13:29	1662
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:38	
		Dissolução	13:39	
		P ₃ E ₃	13:44	1598
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:46	
		Dissolução	13:46	1484
		P ₄ E ₄	13:51	1482
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	13:56	1732
		Término	14:11	

DATA	CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
09.11.92		85 lb/pol ²	MgO	Inox	1h59min	1732 °C

Nº CORRIDA

C9

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 5 min - 1,5% C

171

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	09:24	20
de inox	3020 g	2015 g		CaO	195 g	10:16	24
				BaCl ₂	90 g	10:49	24
			FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g	11:22	25
Grafite	99,75 g			CaO	50 g	11:57	25
				BaO	150 g	12:08	25
				BaCl ₂	300 g	12:25	25

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
09:24	05	Início	09:24	
09:59	08	Fusão 1ª carga	10:57	
10:49	10	Fusão 2ª carga	11:26	1574
11:07	07	Adição fluxo dessiliciação	11:26	
11:11	10	Dissolução	11:40	1569
11:18	7,5	P ₁ E ₁	11:45	1570
11:21	10	Adição 1/3 fluxo desfosf.	11:54	
11:24	12	Dissolução	11:57	1479
11:30	10	P ₂ E ₂	12:02	1476
11:40	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:04	
12:02	7,5	Dissolução	12:06	1468
12:08	7,5	P ₃ E ₃	12:11	1462
12:25	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:12	
12:29	09	Dissolução	12:16	1460
		P ₄ E ₄	12:21	1454
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	12:26	1437
		Término	12:34	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
23.11.92	80 lb/pol ²	MgO	Inox	3h10min	1437 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	174
C12	Tempo de reação - 5 min - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	13:54	27
de inox	3010 g	2000 g		CaO	195 g	14:14	27
				BaCl ₂	90 g	15:07	28
			FLUXO DESFOSF.			15:35	28
Grafite	133 g			Fe ₂ O ₃	50 g	15:44	27
				BaO	200 g		
			BaCl ₂	300 g			

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
13:53	10	Início	13:14	
14:14	10	Fusão 1ª carga	13:45	
14:35	12	Fusão 2ª carga	14:12	1500
14:39	11	Adição fluxo dessiliciação	14:39	
14:58	12	Dissolução	15:00	1410
15:00	10	P ₁ E ₁	15:05	1442
15:05	12	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:13	
15:08	13	Dissolução	15:15	1544
15:25	10	P ₂ E ₂	15:20	1538
15:38	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:22	
15:44	07	Dissolução	15:25	1560
		P ₃ E ₃	15:30	1572
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:32	
		Dissolução	15:35	1632
		P ₄ E ₄	15:38	1428
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	15:43	1449
		Término	15:53	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
04.01.93	90 lb/pol ²	MgO	Inox	2h39min	1449 °C

Nº CORRIDA

C14

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 5 min - 1% C

176

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
Sucata		
de inox	3050 g	2000 g
Grafite	66,65 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g
	BaO	200 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
12:11	27
12:35	28
13:15	28
14:03	28
14:12	28

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
12:11	09
13:00	09
13:12	9,5
13:16	9,5
13:33	08
13:45	8,2
13:48	9,5
13:53	09
14:00	08
14:03	08
14:07	9,5
14:12	9,5
14:19	07
14:26	08

EVENTOS		TEMP. (°C)
Início	12:11	
Fusão 1ª carga	12:38	
Fusão 2ª carga	13:00	1550
Adição fluxo dessiliciação	13:16	
Dissolução	13:30	1545
P ₁ E ₁	13:35	1526
Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:43	
Dissolução	13:44	1454
P ₂ E ₂	13:49	1498
Adição 1/3 fluxo desfosf.	13:54	
Dissolução	13:55	1523
P ₃ E ₃	14:00	1549
Adição 1/3 fluxo desfosf.	14:04	
Dissolução	14:05	1407
P ₄ E ₄	14:10	1492
Tempo de reação	5 min	
P ₅ E ₅	14:15	1543
Término	14:27	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
04.02.93	80 lb/pol ²	MgO	Inox	2h16min	1543 °C

Nº CORRIDA
C15

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 2 min - 2% C

177

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
Sucata de inox	3000 g	2050 g
Grafite	133 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g
	BaO	200 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
10:45	26
11:07	26
11:54	26
12:10	26
12:25	26

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
10:45	10
10:55	10
11:07	12
11:33	10
11:38	08
11:49	07
11:50	06
11:53	05
12:03	06
12:07	08
12:13	09
12:19	08
12:26	06
12:33	08

EVENTOS	
Início	10:45
Fusão 1ª carga	11:18
Fusão 2ª carga	11:30
Adição fluxo dessiliciação	11:31
Dissolução	11:49
P ₁ E ₁	11:51
Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:06
Dissolução	12:06
P ₂ E ₂	12:08
Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:10
Dissolução	12:11
P ₃ E ₃	12:13
Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:15
Dissolução	12:16
P ₄ E ₄	12:18
Tempo de reação	2 min
P ₅ E ₅	12:20
Término	12:36

TEMP. (°C)
1593
1584
1714
1678
1605
1341
1356
1534
1501
1583

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
05.03.93	80 lb/pol ²	MgO	Inox	1h51min	1583 °C

Nº CORRIDA

C16

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 4 min - 2,0% C

178

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
Sucata de inox	3000 g	2015 g
Grafite	133 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSF.	Fe ₂ O ₃	50 g
	BaO	200 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
16:15	27
16:25	28
16:48	28
16:54	28
17:15	28
17:32	28
17:45	28

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
16:03	7
16:04	8
16:26	10
16:46	10
17:15	8
17:29	7
17:34	8
17:42	10
17:46	12

EVENTOS		TEMP. (°C)
Início	16:03	
Fusão 1ª carga	16:30	
Fusão 2ª carga	16:46	1510
Adição fluxo dessiliciação	16:48	
Dissolução	17:02	1485
P ₁ E ₁	17:06	1485
Adição 1/3 fluxo desfosf.	17:15	
Dissolução	17:18	1527
P ₂ E ₂	17:22	1463
Adição 1/3 fluxo desfosf.	17:30	
Dissolução	17:33	1408
P ₃ E ₃	17:37	1408
Adição 1/3 fluxo desfosf.	17:42	
Dissolução	17:44	1485
P ₄ E ₄	17:48	1485
Tempo de reação	4 min	
P ₅ E ₅		
Término		

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
05.03.03	90 lb/pol ²	MgO	Inox	1h45min	

Nº CORRIDA
C17

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 2 min - 2% C

179

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
Sucata de inox	3000 g	2050 g
Grafite	133 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSE.	Fe ₂ O ₃	50 g
	BaO	200 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP (°C)
10:15	23
10:31	25
10:45	25
10:55	26
10:22	26
12:12	26

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
10:15	08
10:45	10
11:11	11
11:34	11
11:41	08
11:56	09
12:05	09
12:07	10
12:11	10
12:15	11
12:17	11
12:18	12
12:19	12
12:20	11
12:24	12

EVENTOS	
Início	10:15
Fusão 1ª carga	11:04
Fusão 2ª carga	11:28
Adição fluxo dessiliciação	11:34
Dissolução	11:56
P ₁ E ₁	11:58
Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:00
Dissolução	12:01
P ₂ E ₂	12:03
Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:05
Dissolução	12:06
P ₃ E ₃	12:08
Adição 1/3 fluxo desfosf.	12:09
Dissolução	12:10
P ₄ E ₄	12:12
Tempo de reação	2 min
P ₅ E ₅	12:14
Término	12:35

TEMP. (°C)
1470
1522
1438
1450
1450
1369
1369
1354
1360
1390

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
10.03.93	75 lb/pol ²	MgO	Inox	2h20min	1390 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	180
C18	Tempo de reação - 5 min - 2% C - BaO (50%)	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	13:53	26
de inox	3000 g	2000 g		CaO	195 g	14:56	27
				BaCl ₂	90 g	15:13	27
			FLUXO DESFOSF.			15:30	27
Grafite	133 g			Fe ₂ O ₃	50 g	15:40	27
				BaO	100 g		
				BaCl ₂	300 g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP (°C)
TEMPO	POTENCIA			
13:10	08	Início	13:10	
13:15	09	Fusão 1ª carga	14:56	
13:25	09	Fusão 2ª carga	15:08	1534
13:52	10	Adição fluxo dessiliciação	15:11	
14:56	12	Dissolução	15:24	1515
14:58	12	P ₁ E ₁	15:29	1503
15:08	12	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:39	
15:40	10	Dissolução	15:41	1500
15:56	09	P ₂ E ₂	15:46	1494
16:00	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:48	
16:02	09	Dissolução	15:50	1499
16:09	11	P ₃ E ₃	15:55	1499
16:12	12	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:00	
		Dissolução	16:02	1434
		P ₄ E ₄	16:07	1440
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	16:12	1517
		Término	16:17	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
19.02.93	80 lb/pol ²	MgO	Inox	3h07min	1517 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	181
C19	Tempo de reação - 5 min - BaO (25%)	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	14:06	23
de inox	3070 g	2020 g		CaO	195 g	14:34	24
				BaCl ₂	90 g	15:04	25
			FLUXO DESFOSE.			15:16	25
Grafite	133 g			Fe ₂ O ₃	50 g	15:57	25
				BaO	50 g	16:12	25
				BaCl ₂	300 g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
14:06	08	Início	14:06	
14:34	10	Fusão 1ª carga	15:04	
14:44	12	Fusão 2ª carga	15:22	1468
15:04	08	Adição fluxo dessiliciação	15:28	
15:07	10	Dissolução	15:46	1392
15:22	08	P ₁ E ₁	15:51	1392
15:26	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:56	
15:37	09	Dissolução	15:58	1510
15:40	10	P ₂ E ₂	16:03	1506
15:43	12	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:09	
15:50	11	Dissolução	16:10	1538
15:54	10	P ₃ E ₃	16:15	1522
15:57	10	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:22	
15:59	9,5	Dissolução	16:24	1454
16:02	8,5	P ₄ E ₄	16:29	1469
16:06	09	Tempo de reação	5 min	
16:18	09	P ₅ E ₅	16:34	1406
16:22	8,5	Término	16:45	
16:25	09			

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'AGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
03.05.93	75 lb/pol ²	MgO	Inox	2h39min	1406 °C

Nº CORRIDA
C20

OBSERVAÇÕES:

Tempo de reação - 5 min - 3% C - BaO (75%)

182

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
Sucata de inox	3000 g	1985 g
Grafite	203,25 g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g
	CaO	195 g
	BaCl ₂	90 g
FLUXO DESFOSE.	Fe ₂ O ₃	50 g
	BaO	150 g
	BaCl ₂	300 g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP (°C)
14:17	15
14:27	17
14:37	17
14:50	17
15:20	17
15:50	17
16:40	17

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
14:06	07
14:28	10
14:48	11
15:00	11
15:16	12
15:27	11
15:32	10,5
15:36	09
15:37	07
15:43	08
15:47	09
15:58	09
16:09	10
16:48	12
16:51	10

EVENTOS	
Início	14:07
Fusão 1ª carga	14:57
Fusão 2ª carga	15:12
Adição fluxo dessiliciação	15:17
Dissolução	15:48
P ₁ E ₁	15:54
Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:00
Dissolução	16:06
P ₂ E ₂	16:11
Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:15
Dissolução	16:20
P ₃ E ₃	16:25
Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:31
Dissolução	16:33
P ₄ E ₄	16:39
Tempo de reação	5 min
P ₅ E ₅	16:44
Término	16:51

TEMP. (°C)
1510
1348
1602
1490
1443
1458
1403
1515
1520
1502
1490

DATA	CORRIDA	PRESSÃO D'AGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
20.05.93		70 lb/pol ²	MgO	Inox	2h44min	1502 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	183
C21	BaCO ₃ +CaO+BaCl ₂ +Fe ₂ O ₃ ; Tempo de reação - 5 min - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	13:17	17
de inox	3000 g	2030 g		CaO	195 g	13:30	17
				BaCl ₂	90 g	13:50	17
			FLUXO DESFOSEF.	Fe ₂ O ₃	50 g	14:15	17
Grafite	135 g			CaO	50 g	14:45	17
				BaCO ₃	100 g	15:15	18
				BaCl ₂	300 g	15:36	18

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
13:17	14	Início	13:17	
13:33	13	Fusão 1ª carga	13:36	
13:39	11	Fusão 2ª carga	13:53	1492
13:53	10	Adição fluxo dessiliciação	14:08	
14:10	10	Dissolução	14:28	1526
14:20	10	P ₁ E ₁	14:33	1423
14:30	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	14:39	
14:40	09	Dissolução	14:43	1465
15:00	09	P ₂ E ₂	14:48	1483
15:15	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	14:54	
15:30	09	Dissolução	15:03	1477
15:37	09	P ₃ E ₃	15:08	1445
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:12	
		Dissolução	15:18	1444
		P ₄ E ₄	15:23	1504
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	15:31	1483
		Término	15:37	1488

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
22.03.93	70 lb/pol ²	MgO	Inox	1h20min	1483 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	184
C22	BaO - substituição total; Tempo de reação - 5 min - 3% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata de inox	3000 g	2000 g	FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	15:10	16
				CaO	195 g	15:25	17
				BaCl ₂	90 g	15:53	17
Grafite	203 g		FLUXO DESFOSE.	Fe ₂ O ₃	50 g	16:24	16
				BaO	200 g	16:43	16
				BaCl ₂	300 g	16:53	16

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
15:10	13	Início	15:10	
15:30	13	Fusão 1ª carga	15:35	1428
15:52	11	Fusão 2ª carga	15:55	1458
15:53	10	Adição fluxo dessiliciação	16:02	
15:55	09	Dissolução	16:32	1460
16:25	09	P ₁ E ₁	16:37	1463
16:29	9,5	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:42	
16:38	9,5	Dissolução	16:45	1413
16:42	10	P ₂ E ₂	16:50	1434
16:48	10	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:57	
16:53	09	Dissolução	16:59	1412
17:10	09	P ₃ E ₃	17:04	1468
17:30	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	17:10	
		Dissolução	17:12	1436
		P ₄ E ₄	17:17	1459
		Tempo de reação	5 min	
		P ₅ E ₅	17:22	1460
		Término	17:30	1520

DATA	CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
28.06.93		70 lb/pol ²	MgO	Inox	2h20min	1460 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	Tempo de reação - 6 min - 3% C	185

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	13:22	16
de inox	3000 g	2000 g		CaO	195 g	13:45	17
				BaCl ₂	90 g	14:25	18
			FLUXO DESFOSE.			14:45	18
Grafite	203 g			Fe ₂ O ₃	50 g	15:10	18
				BaO	200 g	15:50	18
			BaCl ₂	300 g	16:15	18	

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
13:22	07	Início	13:22	
13:39	10	Fusão 1ª carga	14:07	
14:10	07	Fusão 2ª carga	14:36	1382
14:13	10	Adição fluxo dessiliciação	14:40	
15:07	08	Dissolução	15:37	1441
15:37	8,5	P ₁ E ₁	15:43	1423
15:49	10	Adição 1/3 fluxo desfosf.	15:50	
15:51	8,5	Dissolução	15:55	1393
15:55	09	P ₂ E ₂	16:01	1400
15:59	8,5	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:04	
16:09	09	Dissolução	16:08	1371
16:15	10	P ₃ E ₃	16:14	1313
16:24	10,5	Adição 1/3 fluxo desfosf.	16:17	
16:30	09	Dissolução	16:23	1365
16:32	08	P ₄ E ₄	16:29	1479
16:37	13	Tempo de reação	6 min	
		P ₅ E ₅	16:35	1383
		Término	16:40	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
29.06.93	80 lb/pol ²	MgO	Inox	3h18min	1383 °C

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES:	186
C24	Tempo de reação - 8 min - 2% C	

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
Sucata			FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15 g	08:32	14
de inox	2050 g	2990 g		CaO	195 g	09:19	17
				BaCl ₂	90 g	10:14	17
			FLUXO DESFOSE.			11:00	17
Grafite	135 g			Fe ₂ O ₃	50 g	11:15	17
				BaO	200 g		
				BaCl ₂	300 g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
08:32	08	Início	08:32	
08:40	10	Fusão 1ª carga	09:20	
08:57	12	Fusão 2ª carga	09:42	1468
09:03	13	Adição fluxo dessiliciação	09:50	
10:00	10	Dissolução	10:01	1781
10:05	08	P ₁ E ₁	10:09	1608
10:15	08	Adição 1/3 fluxo desfosf.	10:18	
10:30	08	Dissolução	10:22	1340
10:40	09	P ₂ E ₂	10:30	1410
10:50	09	Adição 1/3 fluxo desfosf.	10:33	
11:00	09	Dissolução	10:35	1449
11:05	08	P ₃ E ₃	10:43	1508
		Adição 1/3 fluxo desfosf.	10:49	
		Dissolução	10:53	1676
		P ₄ E ₄	11:01	1417
		Tempo de reação	8 min	
		P ₅ E ₅	11:09	1456
		Término	11:15	

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
29.06.93	80 lb/pol ²	MgO	Inox	2h43min	1456 °C