

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA



GEOLOGIA E METALURGIA

PUBLICAÇÃO DO
CENTRO MORAES REGO

BOLETIM N.º 3

JUNHO DE 1946

C. M. R.

PRAÇA CEL. FERNANDO PRESTES, 74 • SÃO PAULO • BRASIL

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA



GEOLOGIA E METALURGIA

PUBLICAÇÃO DO
CENTRO MORAES REGO

BOLETIM N.º 3

JUNHO DE 1946

C. M. R.

PRAÇA CEL. FERNANDO PRESTES, 74 • SÃO PAULO • BRASIL

2º CONGRESSO PANAMERICANO



**DE ENGENHARIA
DE MINAS E GEOLOGIA**

RIO DE JANEIRO · OUTUBRO 1946 · BRASIL

O 2.º Congresso Panamericano de Engenharia de Minas e Geologia, despertou grande interesse em meio aos associados do Centro Moraes Rego, constituídos de alunos, ex-alunos e professores do curso de Eng^o de Minas e Metalurgia da Escola Politecnica da Universidade de São Paulo, resolvendo este órgão tomar parte ativa no Congresso.

Para realização deste proposito, colocamo-nos á disposição do Dr. Anibal Alves Bastos, Secretario do congresso, oferecendo-lhe nossos prestimos em São Paulo e o boletim "Geologia e Metalurgia", publicação tecnica dirigida por estudantes e patrocinada pela reitoria da Universidade de São Paulo.

Sendo finalidade do congresso mostrar o desenvolvimento da engenharia de Minas e Geologia honrou-nos S. S., o Dr. Anibal Alves Bastos, em apresentar esse boletim como uma próva do interesse e aplicação dos estudantes de engenharia de Minas e Metalurgia de São Paulo; assim houve por bem coloca-lo entre os órgãos oficiais deste congresso. A seção brasileira do IPIMIGEO solicitou 300 exemplares deste terceiro numero, afim de serem distribuidos entre os congressistas; outrossim oferecemos aos srs. congressista, que se interessarem, os numeros subsequentes desta publicação.

A envergadura deste congresso far-se-á extender por todo continente americano; proporá soluções para os problemas de natureza geologica, mineira, metalurgica e ainda os de industrias correlatas.

Dia a dia, todos os paises da America vão estreitando a sua amisade, seja pelo intercambio de ideas, seja pela mutua troca de materias primas e produtos manufaturados; esta interdependencia se torna ainda mais aguda devido aos materiais estrategicos que a ultima guerra pôs em evidencia. Não ha país auto-suficiente; é de grande interesse, portanto, do ponto de vista de cada país da America que se incremente o comercio interamericano de minerais.

Para isto o congresso estudará, sintetizará e exporá os recursos mineiros da America; traçará os diretrizes politicas gerais no sentido da realização destes propositos no futuro; estudará as associações de capitais e de tecnicos nos paises exportadores e importadores de minerais; etc.

Qual a reserva e possibilidades de minerais economicos da America? Qual a tendencia de aproveitamento de minerais utilizados na metalurgia dos metais não ferrósos? Qual a reserva de combustiveis da America? Que recursos fornece a tecnica acerca de minerais de metais raros? Que será das industrias da America nascidas no periodo de guerra? Qual a politica mais favoravel que harmonizará o intercambio de minerais entre paises da America?

Todas estas perguntas e inumeras outras serão abordadas e respondidas durante o congresso.

O Segundo Congresso Panamericano de Engenharia de Minas e Geologia reunir-se-á no Rio de Janeiro, na primeira quinzena do mês de outubro do corrente ano, e marcará novos rumos á economia mineral americana.

A Diretoria.

"GEOLOGIA E METALURGIA"

SUMARIO

Seção geológica de Capela da Ribeira a Curitiba	LUIZ FLORES DE MORAES REGO e FERNANDO F. M. DE ALMEIDA	5
Sôbre a constituição das escórias dos fôrnos de cûba de redução de sinters de chumbo	THARCISIO D. DE SOUZA SANTOS	31
Ferros fundidos maleáveis	MANOEL A. MORAES e RENATO REFINETTI	53
Notas sôbre uma ocorrência de cromita em Itaú — Minas Geraes	CARLOS DIAS BROSCH	89
Estudo petrográfico de rochas da jazida de cromita de Itaú	FERNANDO F. M. DE ALMEIDA	97
Fabricação de aço em forno elétrico básico (2. ^a parte)	LUIZ COELHO C. DA SILVA	99
Aglomerantes para areia de macho	CLOVIS BRADASCHIA	129
O segundo Congresso Panamericano de Engenharia de Minas e Geologia	139

DIRETOR — Clovis Bradaschia
SECRETARIO — Benjamim Abrahão
REDADORES: Paulo A. Andery
Prospero C. Paoliello
Tomio Kitice
Carlos Eduardó Cajado

SECÇÃO GEOLÓGICA DE CAPELA DA RIBEIRA A CURITIBA

Luiz Flores de Moraes Rego

e

Fernando Flávio Marques de Almeida

Em princípios de 1940 realizei uma viagem de automóvel a Santa Catarina em companhia do Prof. Moraes Rego, durante a qual tivemos ocasião de efetuar observações geológicas na série Assunguí. De volta a São Paulo Moraes Rego propoz-me que escrevessemos os resultados de nossos estudos na secção Capela da Ribeira — Curitiba, o que foi logo iniciado. Seu falecimento em Junho daquele ano veio interromper nosso trabalho, cujo texto já se achava bastante adiantado. Hoje, terminando-o e dando-lhe publicidade, sinto cumprir um dever para com a memória do saudoso mestre. A maior parte do trabalho foi redigida por Moraes Rego, como aliás perceberá quem estiver habituado com o seu estilo, e procurei conservá-la o mais possível. Cabem-me as descrições petrográficas e algumas alterações e acréscimos no restante do texto, feitas em face de dados mais recentes. O Prof. Octávio Barbosa, melhor conhecedor da região que os autores, teve a gentileza de rever essas notas e prestar-me valiosas informações.

Fernando Flávio Marques de Almeida

INTRODUÇÃO

A abertura da nova estrada de rodagem entre Capela da Ribeira e Curitiba facultou boas exposições em seus cortes, o estudo das quais permitiu estabelecer secção geológica bastante minuciosa.

Afloram ao longo da secção estudada formações que se dividem, “ab initio”, em duas grandes categorias: de um lado rochas cristalinas metamórficas ou eruptivas, de outro sedimentos muito modernos, pouco consolidados, que não sofreram perturbações, referíveis ao terciário superior e ao quaternário.

As rochas cristalinas representam o escudo brasileiro na região, só encobertas em áreas restritas pelas aludidas formações modernas. Nos seus traços dominantes não diferem das observadas na região contígua do Estado de São Paulo. Incluem-se na série metamórfica chamada em São Paulo de São Roque, a que antes já Orville Derly (1878) chamava de Assunguí no Paraná. Às estruturas dessa série associam-se granitos posteriores, que se expõem em grandes superfícies. Por outro lado repousam, a este e sudeste, sobre rochas mais antigas, do Complexo brasileiro.

Quiz o acaso que o traçado da nova estrada passasse em Pedra Preta, onde surgem rochas sieníticas que atravessam a série metamórfica

Além do rio Capivarí, ao mesmo tempo que o relevo se suaviza tornando-se quase numa planície, surgem as camadas terciárias da bacia de Curitiba, recobertas no vale do rio Palmital por formações quaternárias, e repousando sobre gnaisses.

Pareceu preferível, ao invés de descrição itinerária da geologia observada, agrupar em itens separados as diversas formações registradas.

O traçado da estrada, “grosso modo” norte-sul, inclina-se relativamente à direção geral das camadas. É-lhe paralela em muitos trechos. Dest’arte as extensões observadas das diferentes formações não são proporcionais às respectivas espessuras (*).

(*) — Nota: No mapa anexo, ao par de observações realizadas pelos autores na estrada nova, foram incluídas as que fizeram na velha os engenheiros Estevam Alves Pinto e Paulino Franco de Carvalho (1937). É possível verificar a continuação das formações nas duas estradas.

COMPLEXO BRASILEIRO

O Complexo brasileiro constitui a maior parte da serra do Mar no Paraná; estende-se daí para o interior, perdendo importância devido ao recobrimento pela série Assunguí. Na secção estudada, nos arredores de Curitiba, ocorrem gnaisses desde o rio Capivarí para o sul, que Euzébio de Oliveira (1927, p. 17), Paulino Franco de Carvalho e Estevam Alves Pinto (1937, p. 6) colocaram no Complexo brasileiro. Todavia, o Prof. Octávio Barbosa (*) julga-os antes termos da série Assunguí, tendo provas de tal em exposições ao longo da rodovia de Curitiba a Timbutuva e na própria secção em estudo. O batolito do granito Marumbí seria responsável pela feldspatização da série Assunguí.

São esses afloramentos de gnaisses em geral muito decompostos, o que não permite bem julgar as estruturas. Nota-se, contudo, gnaiss facoidal e biotita-gnaiss num ou noutro local, orientados pròximamente segundo os paralelos. Cortam-nos, além de pegmatitos, frequentes veios de quartzo. Surgem da topografia terciária sem formar relevo muito acidentado. Encobrem-nos as argilas pliocênicas no vale do rio Palmital, ao passo que no vale do Capivarí repousam sobre eles os xistos.

SÉRIE ASSUNGUÍ

Constituem a secção estudada termos da série Assunguí; são principalmente xistos e calcários, com intercalações menos extensas de quartzitos. Toda a série mostra-se muito perturbada, e atravessada por diques de rochas eruptivas diversas. Compõe ela a região acidentada que se estende desde o vale do Capivarí até o rio Ribeira. Para leste estende-se até a região arqueana que de Curitiba se dirige para o litoral paulista. Para oeste desenvolve-se amplamente, para mergulhar sob os sedimentos devonianos do segundo degrau paranaense. Nossas observações comprovam, mais uma vez, a perfeita continuidade entre a série de São Roque, do sul paulista, e a série Assunguí.

Xistos.

Entre as rochas metamórficas dominam sem dúvida os termos xistosos, que afloram em longos trechos. Ocupam a extensão que vai desde o fim do calcário da Ribeira até o do córrego Paióis, já na subida da serra da

(*) — Comunicação verbal.

Terra Boa, formada de granitos, além do qual reaparecem e continuam até o dolomito de Pulador, afloramentos interrompidos apenas pelas intrusões sieníticas. Depois deste dolomito novamente se mostram os xistos, para cederem lugar aos quartzitos da serra de Sant' Ana; além dela reaparecem, atravessados por granitos e intrusões básicas, até o vale do Capivarí.

Como acontece em geral, os xistos raramente se apresentam nas exposições sem fenômenos de decomposição pronunciados. Apresentam massas de argila vermelha que todavia guardam a estrutura, mostrando ainda os leitos de xistosidade bastante nítidos, sempre inclinados e quase sempre coincidentes com a estratificação. Acrescem-lhes com frequência sistemas de superfícies de ruptura dirigidas normalmente aos leitos de xistosidade. Por vezes exibem leitos separados, de comprimento centimétrico. Outras vezes os leitos se aproximam e a rocha toma nítido caráter xistoso.

Dado o estado de alteração das rochas torna-se difícil sua taxinomia. Perduram muitas vezes palhetas de mica na massa de argila, posto que o mineral esteja sempre em adiantado estado de alteração. Nesses casos dado é coligir que originariamente, quando inalterada, fosse a rocha constituída de palhetas microscópicas de mica. Cabe-lhes então a classificação de mica-xistos. Difícil porém decidir a espécie original da mica, se muscovita ou sericita. Ambas hidratam-se profundamente em produtos análogos. Em uma e outra das alternativas caberiam as classificações de muscovita-xistos ou sericita-xistos.

Outras vezes, porém, faltam completamente os termos alterados de mica. Seria possível a hipótese da rocha ter sido constituída desses minerais em estado microscópico. Essa estrutura facilitou a transformação integral em argila. A rocha deveria então receber a classificação de filito.

Por essas razões não pareceu prudente tentar discriminar, nas vastas exposições, os muscovita-xistos, os sericita-xistos e os filitos. As rochas receberam indiscriminadamente a qualificação de xistos. Não obstante convém notar que em sua maioria não exibem tais rochas palhetas macroscópicas de mica, a não ser de maneira muito local. Por isso ha a suspeita de serem em grande maioria filitos. A predominância dos filitos e a falta de muscovita inalterada no seio das rochas xistosas faz pensar que além dos filitos só existam sericita-xistos.

Associam-se aos xistos, de maneira subordinada, quartzitos micáceos, que não pareceu conveniente discriminar na secção, dada sua distribuição restrita. Assumem maior importância na serra da Sant' Ana. Na serra do Pulador, próximo à rodovia, Octávio Barbosa estudou ocorrência de itabirito.

Calcários de dolomitos.

Os calcários e dolomitos afloram reiteradas vezes na secção examinada.

Convém distinguir os seguintes horizontes:

- a) Calcário da Ribeira.
- b) Calcário do Paióis.
- c) Dolomito do Pulador.

Todos esses horizontes calcários estão intercalados em xistos.

O calcário da Ribeira, bem conhecido, inclina-se fortemente para o noroeste; tem a cor cinzenta clara a escura, e estrutura em leitos grossos. Forma as elevações que se erguem em frente à vila da Capela da Ribeira, do outro lado do rio, no Estado do Paraná, e bem assim os morros que circundam, em São Paulo, essa vila.

O calcário do Paióis aflora na subida da serra. São dois horizontes separados por certa espessura de xistos. Estendem-se para NE, aflorando na mina de chumbo de Panelas.

O calcário do Pulador está inclinado para este-sudeste.

Ocorrem calcários associados a xistos do quilômetro 105, com afloramentos importantes, exibindo mergulho forte para SE, em Bacaetava,

Esses calcários e dolomitos representam sedimentação organógena no mar proterozóico. A ação de organismos na sua gênese é indicada pela frequente associação de grafita, dando-lhes coloração cinzenta às vezes acentuada, como na mina de chumbo de Panelas. Processo que acompanhou a sedimentação foi a dolomitização, que por vezes transformou grandes massas calcárias em puros dolomitos, rochas conspícuas no sul paulista.

CORRELAÇÕES E CRONOLOGIA DA SÉRIE ASSUNGUÍ

Bastante tem sido escrito sobre as rochas metamórficas do sul do Brasil. Reconheceram-na em São Paulo os geólogos que iniciaram o estudo sistemático da geologia desse Estado. Deram ao conjunto a denominação série de São Roque. No Paraná Orville Derby (1878) empregou a denominação Assunguí para formação metamórfica inteiramente análoga à de São Paulo.

Dizem menos de perto ao assunto as formações metamórficas de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, plenamente equiparáveis às precedentes.

Costumavam opor às séries metamórficas do sul do País a formação observada no centro Minas, grandemente estudada, interessantíssima por suas ocorrências minerais, a série de Minas. Difícil explicar a razão do afastamento. Ha, impossível negar, diferenças litológicas sensíveis: menor importância dos itabiritos, com grande desenvolvimento nas séries meridionais, e o caráter subordinado que aí têm os quartzitos, salvo raras exceções.

Outro fato que solicita a atenção é a conexão invariável entre as rochas metamórficas das séries meridionais e batolitos de granito de granulação volumosa. Ao contrário, raramente se observam os granitos em contacto com a série de Minas, pelo menos em sua área de ocorrência típica: o quadrilátero central de Minas. Manda a verdade dizer que não são muito claros os contactos dessa formação com gnaisses quase sempre granitóides.

Ha ainda notar, na série de Minas, termos adstritos a zonas de metamorfismo bastante profundo, posto que às vezes transformados em rochas produzidas em condições menos severas, mediante fenômenos de retro-metamorfismo.

Esses caracteres diferenciais não excluem de maneira alguma o sincronismo, pelos menos aproximado, da deposição inicial da série de Minas e das séries metamórficas do sul do País. A escassez de itabiritos nas últimas implica tão somente em diferenças de ambiente de sedimentação. Claro que a posição da costa de então se modificou durante a sedimentação, acarretando a superposição de termos indicativos de diversos ambientes numa mesma coluna. A série Iporanga, que o Prof. Octávio Barbosa afirma pertencer à série Assunguí, (*) marca a orla oriental do mar em determinado momento da sedimentação proterozóica, quando se depositaram termos clásticos grosseiros, conglomerados. Fato análogo observa-se em algumas regiões de Minas Gerais.

Todas essas razões autorizam a comparar as séries de São Roque e Assunguí à série de Minas, apenas com a restrição do grau de metamorfismo.

Na secção estudada possível constatar a identidade e a continuidade entre a série metamórfica de São Roque e a do Paraná, Assunguí.

A cronologia da série Assunguí oferece dificuldades análogas à da série de Minas. Em ambas faltam documentos paleontológicos. Em São Paulo e no Paraná a discordância angular entre as formações metamórficas e as camadas devonianas não deixa absolutamente lugar a dúvidas, o que assegura idade pre-devoniana para a série metamórfica.

(*) — Comunicação verbal.

Diversos fatos: diferenças litológicas, menor movimentação, menor metamorfismo, presença de fósseis, ainda que escassos, fazem separar a série de Minas da de Bambuí. Conquanto nem sempre se apresentem claras as relações das duas formações, admitem por esses mesmos motivos ser a série de Minas a mais antiga. Daí atribuírem-lhe idade pre-ordoviciano. Ao mesmo tempo comparações com fenômenos da América Septentrional têm feito que considerem a série de Minas proterozóica. Porém nenhum argumento de valor impede a série de Minas ter idade eo-paleozóica, cambriana (*).

Sem tomar partido nessas questões tão árduas, para cuja solução completa faltam ainda os dados, prudente dizer a série Assunguí pre-devoniana. O Dr. Euzébio de Oliveira em seus trabalhos sobre a geologia do Paraná, adoptou para a série Assunguí idade ordoviciano. Fê-lo por motivos de ordem estratigráfica e para distingui-la da série de Minas, que admitia proterozóica. Possivelmente a concordância observada em outros países da América do Sul entre camadas sincrônicas do devoniano do Paraná e sedimentos gotlandianos exclui a idade desses últimos. Ficou assim com alternativa entre as idades combriana e ordoviciano. Preferiu talvez a segunda por encarar sub-concientemente ser a série de Minas combriana.

TECTÔNICA GERAL

A direcção geral da estrada não se afasta muito da das rochas. De Ribeira até a garganta do Barro Vermelho é em média NNE, direcção geral da formação metamórfica. Dessa garganta até Atuba segue a estrada a direcção NS, ao passo que as rochas metamórficas mergulham para SE. Por isso estão expostas ao longo dos cortes grandes extensões de rochas metamórficas desproporcionais às respectivas possanças.

A orientação dos leitos das rochas metamórficas varia localmente, como natural, mas em grande maioria dos casos é sensivelmente NE. Suas inclinações mais frequentes acham-se entre 40° e 60°.

Chama a atenção o fato da inclinação se dirigir para o quadrante NW da Capela da Ribeira até Pedra Preta, onde aparecem as rochas sieníticas. Depois da serra de Sant' Ana as inclinações são dirigidas no quadrante SE.

Esta observação sugere a conformação de vasto anticlinal com eixo dirigido para NE, em cujo núcleo se colocaram as eruptivas sieníticas.

(*) — Cumpre lembrar que um dos autores encontrou recentemente, nos dolomitos da zona sul de São Paulo, estruturas organógenas. Estes fósseis constituem um forte apoio à idade proterozóica que vem sendo atribuída à série Assunguí, mas certamente não a positiavam. (Almeida, 1944).

Essa estrutura já foi assinalada anteriormente por Alves Pinto e Franco de Carvalho (1937, p. 5).

Os granitos, quer os do Alto da Serra, quer os de Bocaiuva, são intercalados a xistos, com a inclinação no mesmo sentido.

As grandes extensões de afloramentos de xistos, mesmo levada em conta a exageração devida ao traçado da estrada, sugerem fortemente formarem as rochas metamórficas de um e outro lado das sieníticas estruturas isoclinais, talvez falhadas. A reiteração dos horizontes calcários colabora nessa suspeita.

GRANITOS

Afloram granitos na secção na garganta do Facão, onde formam relevo bastante acidentado, e entre a serra de Sant' Ana e Bocaiuva e nas vertentes do rio Capivarí.

Na secção estudada não ha, força confessar, exposições que possam elucidar a questão importante do contacto entre os xistos e os granitos.

O observador, depois de constatar exposições de xistos, só depara as de granito após trechos nos quais faltam exposições claras.

Todavia a pequena distância do início da série descrita, em Capela da Ribeira, estão localizadas as exposições que talvez forneçam a melhor contribuição para o assunto. A estrada que sai da Ribeira em demanda de Apiaí deixa o calcário da Ribeira, que aliás figura na secção estudada, e atravessa espessura apreciável de xistos, os quais passam aos granitos. O contacto acompanha mais ou menos a estrada pela encosta do vale aproveitado para o traçado; umas exposições são de xistos, outras de granito. Em algumas as duas rochas inalteradas mostram o respectivo contacto. Não ha grandes variações petrográficas; o granito exhibe as características do tipo Pirituba, e os xistos estão pouco modificados. O fato importante é a penetração do granito entre os leitos de xistos para formar como que dedos de espessura reduzida. Essa observação mostra que o magma do granito encontrou os xistos dobrados, com os quais ficou em contacto, e consolidou-se aí sem exhibir constantemente diferenciações importantes. A localização do granito derivou dos mesmos fenômenos tectônicos que dobraram os xistos, o magma ascendendo grandemente a proporção que o dobramento se processava, mercê do alívio da pressão. Pelo favor de fenômenos locais formou os dedos mencionados.

Esses fenômenos gerais não excluem porém, em determinadas condições, variações petrográficas do granito e diferenciações dos xistos, fenômenos verificados em outras localidades de São Paulo.

De acordo com as considerações expostas as massas de granito constatadas na secção descrita merecem ser consideradas afloramentos de batólitos, cupulas, recobertos originariamente por estruturas de xistos. As eruptivas só estão expostas hoje pelo favor da erosão.

Como se viu, a disposição dos leitos de xistos sugere estruturas anticlinais, para recobrir os maciços graníticos.

O granito(*) da garganta do Facão, no alto da serra da Terra Boa, é uma rocha de cor branca com pontos negros de biotita e vermelhos, de granada. Tem granulação média a fina, uniforme. Além dos minerais referidos não são perceptíveis outros, a vista desarmada, que feldspato e quartzo.

Ao microscópio identificam-se microclina, quartzo e plagioclásio, e acessoriamente granada, apatita, zirconita, magnetita, pirita e alanita. Os produtos secundários são: clorita, muscovita, sericita, coalinita (?), epidoto, clinozoizita, quartzo, calcita e limonita.

A microclina, com sua macla polisintética típica, é o mineral mais abundante. Apresenta-se em cristais inteiramente alotriomorfos, algo maiores que os de plagioclásio. Acha-se inalterada, e mostra inclusões de quartzo, plagioclásio, e mais raramente calcita, epidoto e outros minerais secundários ou acessórios da rocha. Não se notam, em suas relações com a quartzo e o plagioclásio, estruturas de intercrescimento; contudo é bem evidente que ela cresceu à custa da substituição do plagioclásio, cujos restos incompletamente substituídos ela ainda inclui, juntamente com quartzo e calcita como produtos da substituição. Esforços desenvolveram dois sistemas de fraturas, nos cristais de microclina; essas fraturas encurvam-se em torno das saliências dos grãos vizinhos e das inclusões mais resistentes. Elas foram preenchidas com albita, por soluções que agiram igualmente nos contactos de grãos vizinhos de microclina, percebendo-se ter havido, ao longo desses contactos e das fraturas, substituição deste feldspato por albita; esta, num cristal de microclina, mantém, sempre a mesma orientação. Formou-se assim uma estrutura micro-pertítica que os fatos apontam como secundária, mas se esse processo acha-se ligado às fases finais da consolidação magmática — seria micro-pertita deuterítica e as fraturas, de contração — ou se dela está muito afastada no tempo, os fatos de que dispomos não permitem concluir com segurança.

O plagioclásio é oligoclásio-albita. Mostra-se em cristais alotriomorfos, com contornos algo triturados e as usuais maclas, às vezes dobra-

(*) — As determinações dos feldspatos e das constantes óticas dos minerais máficos foram obtidas em platina universal de Fedorow, pelos processos correntes (Nikitin, Berek, Rittmann).

das. São pouco zonados, e sempre têm inclusões secundárias abundantes, principalmente de epidoto, clinozoizita, muscovita, sericita, calcita e quartzo. Sua substituição pela microclina, e em menor escala pelo quartzo, é patente.

O quartzo é abundante nesse granito, e tem origens várias. Em sua maior parte formou-se nos últimos estágios de consolidação do magma, acompanhando e de pouco sucedendo a microclina. Mostra-se em grãos sem forma própria, com inclusões líquidas, gasosas (abundantes) e de minerais preformados. Quartzo de procedência diversa e ocorrendo esporadicamente é o que acompanha a substituição do plagioclásio pela microclina e que ficou incluso nesta, formando gotículas, e ainda o que provem da alteração do plagioclásio e da cloritização da biotita. Soluções que posteriormente atravessaram a rocha também depositaram nela algum quartzo, cimentando produtos de moagem.

Biotita, mostrando-se escassamente, foi o único mineral essencial máfico identificado. É uma variedade pardo-escura, fortemente pleocróica (lepidomelana) ocorrendo em pacotes agregados, quase que por toda parte se achando cloritizada (num produto de forte pleocroismo em tons verdes e birrefringência 0,003). Possui abundantes inclusões de zirconita que lhe emprestam, bem como à clorita dela proveniente, intensos halos pleocróicos pardos. Inclui ainda os demais acessórios da rocha, que em torno dos agregados de biotita são mais numerosos. Sua cloritização foi acompanhada pela formação abundante de epidoto, que se dispõe em faixas paralelas à clivagem da clorita e em seus bordos.

Esse granito possui granada almandina esparsamente, mineral que nos parece ser nesse caso, primário. Alguns cristais são automórficos, mas em geral são irregulares, com poucas faces cristalográficas bem desenvolvidas. É uma variedade sem anomalias óticas, de cor (transmitida) pardo-rosada, e pobre em inclusões. Foi muito fraturada pelos esforços compressores, as fraturas mostrando-se preenchidas por epidoto, clorita e quartzo, substâncias que parecem decorrer de sua alteração.

Os demais minerais acessórios e secundários, já acima referidos, dispensam maior consideração. Chama atenção a escassez da magnetita primária e a relativa abundância de zirconita.

A textura dessa rocha é hipautomórfica granular, com caráter acentuadamente cataclástico, que se faz notar na moagem periférica dos grãos (principalmente nos de quartzo), dobramento e fraturamento dos feldspatos e granada, extinção ondulante do quartzo, etc. Provavelmente essas deformações representam efeito do dinamometamorfismo ao qual devemos

atribuir a epidotização do plagioclásio e a cloritização da biotita, mas a ele julgamos não poder referir o aparecimento da granada.

A composição modal deste granito, obtida em duas lâminas, na platina integradora de Shand, é a seguinte:

Quartzo	38,8
Microclina	32,0
Oligoclásio-albita	24,1
Granada almandina	2,9
Biotita (clorita e epidoto)	2,1
Zirconita e apatita	0,1

Tem o granito do quilômetro 75 cor cinzenta clara, textura porfírica com matriz de granulação média, notando-se à vista desarmada quartzo, feldspato na matriz e como fenocristais, hornblenda, biotita, magnetita e titanita.

Ao microscópio percebem-se, como minerais essenciais, microclina, plagioclásio, quartzo, hornblenda e biotita, acessoriamente ocorrendo titanita, magnetita, apatita e zirconita. Como minerais secundários observamos turmalina, clorita, pistacita, clinozoizita, calcita, muscovita, sericita, hematita e quartzo.

A microclina ocorre tanto como mineral de cristalização tardia preenchendo os interstícios, como formando fenocristais, que podem ultrapassar 1 centímetro de maior comprimento mas que também se formaram tardiamente. Mostra-se com sua maclação típica, muito alterada e incluindo todos os outros minerais da rocha. Substituiu em escala apreciável os plagioclásios e o quartzo, este mostrando, no contacto com a microclina, estruturas mirmequíticas. A microclina apresenta, pouco desenvolvido, intercrescimento micro-pertítico. Pode-se mostrar ligeiramente turvada por produtos de alteração, não tanto, porém, quanto os plagioclásios.

Os plagioclásios apresentam-se em cristais bem formados, geminados segundo albita, Carlsbad e periclina, principalmente, e com nítida tendência para assumir formas automórficas. Sua composição varia de 12 a 22% de anortita, num zonamento uniforme, raramente reiterado. Acham-se nublados, particularmente nas camadas mais cálcicas, por fina poeira constituída de produtos de alteração entre os quais, com um forte aumento, podem-se perceber quartzo, clinozoizita, calcita, sericita, caolinita e epidoto.

O quartzo de primeira formação é sempre muito límpido, com raras inclusões de minerais preformados e algumas líquidas e gaseosas, em cordões. Tem extinção levemente ondulante. Foi nitidamente o último mi-

neral a se recrystalizar, não assumindo formas próprias. Em relação com a microclina, porém, demonstra cristalização, pelo menos em parte, contemporânea.

A hornblenda ocorre em prismas curtos, maclados segundo (100), automórficos quando em contacto com os plagioclásios. É uma variedade possuindo $Z \wedge c = 19^\circ$, $n_g - n_p = 0,019$, $(-)$ $2V = 71^\circ$ e forte pleocroísmo, com X (verde amarelo) $<$ Y (verde oliva) $<$ Z (verde azulado). Foi bastante transformada em clorita e pistacita.

A biotita e a clorita dela decorrente formam parte reduzida dessa rocha. A biotita tem cor castanha e forte pleocroísmo, perdendo cor e birrefringência de modo mais ou menos gradativo ao passar à clorita verde, muito pleocróica. Esse processo, que se efetuou principalmente ao longo das clivagens e nos bordos da biotita, foi acompanhado pela formação de epidoto.

Dos acessórios chama atenção a titanita, pela abundância, tamanho e perfeito automorfismo de seus cristais, cor de mel claro. Magnetita e apatita são relativamente abundantes, e zirconita muito escassa.

Entre os minerais secundários sobressai a pistacita, verde típico, levemente pleocróica, mostrando-se com habitus granular ou em agregados fibro-divergentes. Formou-se não só à custa dos minerais melanocráticos como também dos plagioclásios em suas zonas mais cálcicas. Um único cristal de turmalina amarela foi notado. Algumas palhetas de muscovita, inclusas nos feldspatos e no quartzo, parecem ter origem secundária, acompanhando a formação da turmalina nas acções pneumatolíticas ligadas às fases residuais da consolidação magmática. A observação dos contornos e conformação mútua dos minerais constituintes dessa rocha mostra terem sido os acessórios os primeiros a se formarem, seguindo-se a biotita e a hornblenda. Os plagioclásios, ao se constituírem, já encontraram todos esses minerais cristalizados. A microclina acompanhada e sucedida pelo quartzo, foram os últimos constituintes a se depositarem. Seguiu-se a formação, por acção pneumatolítica, da turmalina, muscovita e algum quartzo secundário. Fenômenos deuteríticos produziram a descalcificação do plagioclásio, com formação de epidoto e clinozoizita, a cristalização da sericita e a cloritização e epidotização dos minerais ferro-magnesianos.

A textura dessa rocha pode ser dita holocristalina porfírica, com a ressalva que para esse termo fez um dos autores ao estudar o granito tipo Pirituba, dos arredores de São Paulo. O carater porfírico apresenta, nesse caso, só valor morfológico.

ERUPTIVAS SIENÍTICAS

As rochas sieníticas que constituem grande parte do divisor dos ribeirões São Domingos e Pedra Preta, no trecho onde o atravessa a rodovia, incluem dois tipos importantes, que passaremos a descrever detalhadamente, a fim de bem caracterizá-los.

Um desses tipos tem granulação média a grosseira, podendo os cristais de feldspato ultrapassar um centímetro. Tem cor esverdeada, percebendo-se a vista desarmada feldspato, biotita, hornblenda, magnetita e pirita.

Ao microscópio identificam-se, como constituintes originais, feldspatos (ortoclásio e plagioclásio) formando cerca de 85% da rocha, hornblenda, diopsídio, biotita, quartzo, apatita, titanita, magnetita e zirconita, ocorrendo ainda, escassamente, produtos secundários: clorita, epidoto, quartzo, clinozoisita, magnetita, etc.

Dos feldspatos predomina a ortose, mostrando-se em grandes cristais, isolados ou formando um manto em torno dos de plagioclásio, e quase sempre exibindo intercrescimento micro-pertítico com oligoclásio-albita (12% An). Apresenta (—) $2V = 67^\circ$, bastante constante. Inclui frequentemente hornblenda, biotita, clorita, etc., que toldam sua limpidez. Deve sua cor esverdeada (megascópica) à infiltração de clorita em fraturas, processo que também se realizou nos plagioclásios e ao qual é atribuída a cor da rocha. O quartzo intersticial substituiu bastante o ortoclásio, mas não formam estruturas de intercrescimento. Por outro lado é evidente a substituição parcial de plagioclásio pelo ortoclásio que depois dele se formou. O seguinte exemplo merece referência. Há um grande cristal de plagioclásio, zonado de (Ab₆₂ An₃₈) no centro a (Ab₈₃ An₁₇) no bordo. Esse cristal acha-se atravessado por uma fratura transversal, tendo havido pequeno mas sensível deslocamento dos blocos fraturados, como evidencia a não coincidência das lamelas da macla da albita. Essa fratura foi preenchida, com parcial substituição das paredes, por ortoclásio com estrutura micro-pertítica. A albita desta estrutura orienta-se, bem como o ortoclásio, com a face (010) paralela à do plagioclásio encaixante, mas sua composição mais sódica evidencia-se pelo índice de refração menor; além disso sua lamelação polisintética, quando existe, é mais fina e repetida. Devemos notar ainda que ortoclásio micro-pertítico com a mesma orientação existe não só constituindo massas sub-tabulares isoladas no meio do plagioclásio como formando um manto periférico ao redor dele, no contacto havendo evidências, também, de substituição. Torna-se claro que um simples fenômeno de ex-solução não explicaria os fatos apontados. É evidente que, ao se depositar o ortoclásio, a face sólida possuía rigidez

suficiente para se fraturar (não se trata de uma fratura de contração, no caso), e que a fase líquida enriqueceu-se em moléculas de albita pela dissolução dos bordos do plagioclásio. Seguiu-se a deposição de ortoclásio, rico em albita, nas fraturas e mantos do plagioclásio, e depois, a separação da albita, por ex-solução. Parte do epidoto notado na rocha, é possível que então tenha se formado. As lâminas examinadas exibem outros exemplos semelhantes justificando nossa conclusão sobre a origem desta micro-pertita.

O plagioclásio também forma cristais tabulares grandes, bastante zonados sem reiteração, e muito maclados segundo albita, periclina e Carlsbad. Sua composição varia entre $Ab_{62} An_{38}$ no núcleo a cerca de $Ab_{86} An_{14}$, quando surge o intercrescimento com ortoclásio. Além das inclusões dos minerais acessórios e máficos, inclui o plagioclásio os produtos de epidotização incipiente em seu núcleo.

Quartzo mostra-se acessoriamente, como mineral de consolidação final, preenchendo interstícios. É sempre rico em inclusões fluidas. Há ainda algum quartzo secundário resultante das transformações havidas entre minerais ferro-magnesianos e plagioclásios.

O dipsídio é uma variedade de cor verde, na lâmina, mas sem pleocroísmo sensível. Tem $2V = 57^\circ 30'$, $Z \wedge c = 36^\circ 30'$ e $n_g - n_p = 0,027$. Mostra-se com habitus granular ou como restos da substituição por clorita ou hornblenda. Tem este anfibólio cor marron esverdeada, pleocroísmo X (amarelo) < Y (marron esverdeado) < Z (marron esverdeado escuro), $Z \wedge c = 22^\circ$, $n_g - n_p = 0,024$, contornos irregulares e inclui, em alguns lugares, restos de piroxênio. Foi a hornblenda em boa parte cloritizada, transformada em substância verde garrafa ou marron, isotrópica, associada à tremolita. Biotita (lepidomelana), com forte pleocroísmo em tom marron, formou-se em aureolas, principalmente, em torno dos grãos de magnetita. Há também uma variedade de biotita de cor verde grama, aparentemente secundária.

Dos acessórios que ocorrem mais abundantemente nos agregados de mafitos sobressaem belos primas de zirconita, apatita e grânulos de magnetita. Escassamente notamos titanita e perofsquita (?).

Como minerais secundários sobressaem epidoto, clorita, calcita, sericita, quartzo, magnetita, limonita, caolinita e tremolita.

A rocha possui textura hipautomórfica granular, não apresentando outros indícios de ter sofrido esforços importantes que algum fraturamento e formação de clorita, epidoto, etc.

Os caracteres descritos e as proporções relativas dos constituintes mineralógicos indicam ser esta rocha um sienito calco-alcálico normal. Para empregarmos uma designação descritiva chama-la-emos hornblenda-sienito.

O segundo tipo é uma rocha de cor cinza clara, granulação milimétrica, predominando feldspatos de cor branca, com comprimento até 4 mm. Como elementos escuros notam-se biotita, hornblenda e pirita.

Percebe-se, ao microscópio, ser esta rocha holocristalina, composta em cerca de 80% de cristais de ortoclásio, ocorrendo ainda quartzo intersticial (não mais que 5%), plagioclásio, hornblenda, biotita e outros acessórios escassos.

O ortoclásio mostra-se quase sempre com intercrescimento micro ou cripto-pertítico com plagioclásio, cuja composição oscila em torno de $Ab_{90}An_{10}$; este intercrescimento é mais abundante nos bordos dos cristais de ortoclásio. É mais raro intercrescimento micro-pegmatítico com o quartzo intersticial. Apresenta sempre maclado segundo a lei de Carlsbad e raramente Baveno.

O plagioclásio, relativamente escasso, contém cerca de 28% de anortita no núcleo, teor esse que cai a 15% nos bordos dos cristais. Mostra-se sob forma tabular, com as maclas usuais.

O quartzo constitui o preenchimento dos espaços poliédricos deixados pelos feldspatos, que em diminuta escala localmente sofreram substituição. É sempre rico em inclusões líquidas e gasosas.

Hornblenda, o único anfibólio identificado, acompanha biotita e magnetita; e uma variedade de forte pleocroísmo obedecendo à fórmula X (pardo claro) < Y (verde oliva) < Z (verde azulado escuro), e apresentando $(-)$ $2V = 79^\circ$ e $n_g - n_p = 0,021$. Na lâmina a quantidade de hornblenda ultrapassa a da biotita, sendo ainda evidente que boa parte desta provem daquela, subsistindo num núcleo de hornblenda no meio da biotita, ou somente a forma losangular típica, preenchida por grande número de pacotinhos de biotita diversamente orientados e grãos de magnetita. Mostra-se a hornblenda raramente maclada, é sub-automorfa em contacto com o ortoclásio e possui inclusões de biotita, magnetita e de outros acessórios da rocha.

A biotita é uma variedade fortemente pleocróica, com X (vermelho cereja) < Y (verde cromo) = Z (verde cromo), sub-automorfa, ocorrendo em agregados em que são frequentes hornblenda e outros acessórios da rocha. Acha-se parcialmente cloritizada, numa transformação que antes de se completar produz uma clorita verde de birrefringência anormalmente elevada.

Magnetita, apatita escassa, zirconita e titanita formam os acessórios reconhecidos.

Como produtos secundários percebemos calcita, clorita, epidoto, magnetita, caolim e hidróxido férrico, todos eles provenientes da alteração dos minerais originais da rocha. Houve, ainda, evidente introdução de fluorita, calcita e pirita, que substituíram em apreciável escala os feldspatos e a biotita.

A textura desta rocha é hipautomórfica granular, percebendo-se subautomorfismo dos minerais máficos, principalmente da hornblenda, quando em contacto com o ortoclásio. Efeitos cataclásticos, extinção ondulante do quartzo e algum fraturamento, podem ser notados.

Pelo que ficou descrito, merece esta rocha a classificação de hornblenda-quartzo-sienito. Difere da rocha anteriormente descrita na porcentagem sensivelmente menor de plagioclásio e algo maior de quartzo, e na textura.

ERUPTIVAS BÁSICAS

Com estruturas em diques fortemente empinados são frequentes erupções básicas cortando os calcários, os xistos ou os granitos.

Salvo nos calcários da Ribeira, em todos os outros afloramentos de calcário foi constatada a presença de diques dessas rochas. Assim, perto de José Fernandes, no segundo afloramento de calcários, no Arroio dos Patos, no dolomito do Pulador.

Depois dos quartzitos da serra de Sant'Ana repetem-se os diques básicos no meio do granito. A presença de intrusivas básicas nas formações metamórficas de série Assuguí é um fenômeno bastante comum.

A origem dessas rochas dá lugar a um problema interessante. Constatou-se que a sua distribuição está, de alguma maneira, relacionada com os horizontes calcários, posto que cortem não só essas rochas como também os xistos.

Pertencem essas intrusivas a atividades magmáticas diversas. Umas, mais antigas, foram profundamente transformadas em sua constituição; tais por exemplo, as que cortam os xistos nos arredores de Pedra Preta. São rochas de constituição idêntica às que o Dr. Djalma Guimarães (1933) descreveu do norte de Minas Gerais, representantes intrusivas de um magma basáltico que aquele petrografo julga ter idade entre as séries Bambuí e Itacolomí. Outras representam uma atividade antiga (paleozóica?) de magma gábrico com caráter alcalino, como por exemplo o monzonito do quilômetro 14, no córrego dos Paióis, que o Prof. Octávio Barbosa (1942)

descreveu, considerando como de provável idade cambriana, e que se caracterizam pela associação de abundante microclina à labradorita e à augita; mostram efeitos de metamorfismo, se bem que menos marcados que os exibidos pelas rochas antes citadas. Cabe aqui referência às rochas que Gutmans (1943) refere dos arredores de Bocaiuva, monzonitos com anortoclásio denominados por esse autor bocaiuvitos. Finalmente devemos referir a existência de diques de diabásio que demonstram caracteres petrográficos idênticos aos dos que se ligam à atividade do magma basáltico rético. Não apresentam efeitos de metamorfismo, e sua idade rética e fortemente sugerida.

Uma intrusiva basáltica constitui dique atravessando xistos entre os quilômetros 79 e 80. É uma rocha de granulação média a fina, de cor cinzenta. Ao microscópio percebe-se ser ela constituída por plagioclásio, clinopiroxênio, magnetita titanífera, apatita, quartzo e pirita, além de produtos secundários. É holocristalina, não se observando matéria vítrea, semi-vítrea ou produtos de devitrificação, salvo possivelmente em menores inclusões nos plagioclásios. A textura é inequigranular, com raros fenocristais de plagioclásio e de clinopiroxênio em matriz formada por um agregado de taboinhas de plagioclásio não preferencialmente orientadas, entre as quais, e em boa parte nelas inclusas, se dispõem granulos de clinopiroxênio, magnetita e quartzo; este forma sempre intercrescimento mirmequítico com os bordos do plagioclásio. Em resumo, tem a rocha textura porfírica com matriz intergranular. Os maiores fenocristais de plagioclásio atingem cerca de 4 mm; os plagioclásios da matriz têm em média cerca de 1 mm de maior dimensão, e os clinopiroxênios, 0,2 a 0,5 mm.

Os fenocristais de plagioclásio possuem, no centro, cerca de 58% An, caindo esse teor gradualmente até 42%. Nos cristais da matriz, o teor no centro é da mesma ordem, porém nos bordos ele cai até oligoclásio-albita, quando surge invariavelmente intercrescimento mirmequítico, formando um manto de franjas em torno dos cristais. Têm maclas albita, Carlsbard e periclina, como as mais comuns, e inclusões primárias de clinopiroxênio, magnetita e apatita, esta mais abundante em seus bordos. Como produtos secundários, muito abundantes, que os turvam completamente, anotamos epidoto, clinozoizita, sericita, caolinita (?), clorita, quartzo e calcita.

O clinopiroxênio é uma variedade parda clara (em secção delgada e luz transmitida) de augita, não sensivelmente pleocróica em lâmina, e com as seguintes constantes óticas: $2V = 45^\circ$, com pequenas variações em torno desse valor, que se mantem não só nos fenocristais como nos indivíduos da matriz; $n_g - n_p = 0,031$; $Z \wedge c = 43^\circ$. Mostra-se ma-

clado segundo (100) e tem forma prismática curta, mas na matriz é alotriomorfo, granular. Os fenocristais, automorfos, apresentam bem desenvolvidas as faces (100), (0 10) e (1 10) e menos perfeitas as terminações prismáticas. Acha-se comumente transformado nos bordos em hornblenda, esta com X (marron claro) < Y (marron escuro) < Z (marron esverdeado). Acha-se, hornblenda e augita, transformadas parcialmente numa variedade de clorita verde grama, pleocróica com birrefringência (anomala) azul (peninita), e que inclui, como produtos também secundários, epidoto e magnetita. Como inclusões primárias, frequentes na augita, notam-se quase que tão somente grãos de magnetita titanífera, sendo as inclusões secundárias bastante escassas. Não foram notados pigeonita (em sua moderna acepção) ou ortopiroxênios.

A magnetita titanífera ocorre abundantemente, com formas octaédrica, esqueletiforme ou irregular. Acha-se algo transformada em hematita, e as partes mais titaníferas, em leucoxênio.

Apatita, em prismas longos e diminutas agulhas, é abundante, como inclusões no quartzo e nos plagioclásios, principalmente nos bordos destes.

Quartzo, como produto final de consolidação, mostra-se com certa frequência. Embora seja raro como cristais isolados, percebe-se que intercrescido com os bordos do plagioclásio ele quase sempre se mostra.

Como primeiro mineral a se cristalizar coloca-se a apatita, mas o certo é que o grande volume desse mineral só tardiamente se depositou, quando já os bordos mais ácidos dos plagioclásios se formavam. A magnetita teve evolução análoga. É difícil dizer se o plagioclásio ou a augita começou a se depositar antes, mas é fato que na matriz a maior parte do primeiro precedeu, em sua deposição, a do último. O quartzo foi o produto final.

Classificaremos esta rocha como diabásio porfírico, uma vez que as denominações augito-porfirítico e basaltito são obsoletas, e preferimos conservar as designações basalto e diabásio respectivamente para os tipos extrusivos e hipábissais do magma basáltico.

As características descritas aproximam muito esta rocha das ligadas à atividade rética do magma basáltico, mas não temos razões que permitam positivar tal correlação.

No quilômetro 55 os xistos são cortados por um dique de rocha escura, em que a vista desarmada somente identifica hornblenda, em cristais com 2 a 3 mm de maior diâmetro.

Vê-se, ao microscópio, ser esta rocha um interessante amfibolito proveniente do metamorfismo de um diabásio.

A porcentagem de hornblenda ultrapassa um pouco a do plagioclásio. Como acessórios da eruptiva original subsistem apatita e magnetita titanífera. Diversos minerais secundários, provenientes do metamorfismo, mostram-se além da hornblenda: epidoto, calcita, quartzo e actinote.

A hornblenda mostra-se em grandes cristais irregulares com bordos fibrosos; é incolor, mas mantendo algumas zona pardas. Foi visivelmente substituída ao longo das clivagens, de fraturas ou na superfície, por outra variedade de hornblenda com X verde azulado, Y e Z verde garrafa, substituição que se deu com aumento de índice de refração e pequena queda de birrefringência; produziu-se, além disso, abundante epidoto verde. A hornblenda incolor possui (—) $2V = 77^\circ$, $Z \wedge c = 21^\circ$ (valor que se mantém mesmo nas partes verdes e pardas) e $n_g - n_p = 0,029$, caindo a 0,019 nas partes esverdeadas e mais ricas em epidoto.

Nota-se, ainda, uma grande irregularidade no crescimento dos cristais de hornblenda, com intercrescimento irregular de dois ou mais indivíduos diversamente orientados. A hornblenda nessa rocha formou-se, não só à custa do piroxênio original, cuja disposição ofítica ainda em parte se mantém, como também do plagioclásio, e talvez de clorita cujos restos muito escassos se percebem nela inclusos.

O plagioclásio encontrado nesse anfibolito, em porcentagem sensivelmente menor que o anfibolito, é labradorita com 69% An no núcleo. Acha-se saussuritizado e os produtos desse processo turvam-no completamente; a maclação foi em grande parte destruída. São cristais zonados, de forma tabular, e seus contactos com a hornblenda são muito irregulares. Inclui, como produtos de sua alteração, epidoto e clinozoizita (os mais abundantes), calcita, quartzo, clorita e actinote.

Ha algum quartzo e calcita, que claramente provêm das transformações por que passaram os minerais originaes. Não notamos titanita.

A rocha conserva relíquias da textura de origem ígnea, e pode ser dita blastofítica.

Os caracteres descritos indicam ser esta rocha o produto de metamorfismo regional, em condições moderadas, sobre uma intrusiva basáltica. Devemos classificá-la como anfibolito diabasóide.

No granito dos quilômetros 82-83, perto de Campo Novo, existem diques de uma rocha cinza escura, esverdeada, algo xistosa, que a vista desarmada nada percebe, devido a finura da granulação. O microscópio permite verificar ser ela constituída essencialmente de clorita, calcita, plagioclásio e quartzo, e acessoriamente, de magnetita transformada parcialmente em hematita, epidoto, zoizita, titanita e zirconita.

A clorita é uma variedade fibrosa, pouco pleocróica entre verde amarelado e verde pálido, e de birrefringência 0,003. Além de formar massas mais puras, de granulação sensivelmente maior que o restante da rocha, penetra em todas as fraturas dos demais minerais e forma ainda faixas alongadas paralelamente.

O plagioclásio é oligoclásio-andesina, com 35% de anortita em sua molécula. É pouco zonado, pouco maclado e acha-se relativamente fresco. Está bastante fraturado, com epidoto, clorita e calcita nessas fraturas. Foi grandemente substituído por calcita, e bem pouco dele resta.

A calcita mostra-se abundantemente, em cristais muito maclados que alcançam um milímetro. Substitui não só os plagioclásios como a clorita e o quartzo.

O quartzo, escasso, mostra-se irregularmente distribuído pela rocha, não só em cristais com alguns décimos de milímetro de diâmetro como criptocristalino.

Irregularmente espalha-se pela rocha titanita granular leucoxenizada, epidoto, zoizita em grãos maiores, hematita proveniente da magnetita, zircônia e relíquias de biotita.

A estrutura é xistosa, não havendo relíquias da textura original, mas os indícios de cataclase são patentes.

Esta rocha pode ser classificada como calcita-clorita-xisto, e possivelmente provem do dinamometamorfismo de uma rocha eruptiva básica.

DEPÓSITOS TERCIÁRIOS

De ha muito conhecem em Curitiba e seus arredores, cabeceiras do rio Iguassú, sedimentos inconsistentes sem fósseis, maiormente argilosos, que se caracterizam pelas cores vivas e variegadas nas superfícies de alteração.

Aproximam-se esses sedimentos, de maneira completa, da formação chamada "argilas de São Paulo", presente nos arredores da capital paulista.

A comparação com os fenômenos de sedimentação no vale do Paraíba e também com a exposição generalizada no norte do País, da série dos Tabuleiros, creou para as argilas de São Paulo a cronologia pliocênica, posto que com apoio de documentos paleontológicos pouco decisivos. Como natural, estenderam essa cronologia para as argilas de Curitiba, caracterizadas pela primeira vez pelo Dr. Euzébio de Oliveira.

A estrada, logo que desce as elevações graníticas que constituem o divisor Ribeira e Iguassú, passa a correr em país cujo modelado difere essencialmente do prèviamente atravessando. À topografia aspera sucede uma planície que mal se pode dizer ondulada. Maior atenção será prestada depois a esses aspectos geomorfológicos. Agora toca frisar que logo depois do divisor não mais se expõem as rochas proterozóicas, recobrendo-se o Complexo brasileiro com um manto bastante espesso de depósitos inconsistentes. Dividem-se esses depósitos em duas categorias: os mais antigos, principalmente argilas de cores vivas, e os mais modernos, argilas pálidas frequentemente com certa proporção de material carbonoso.

As camadas mais antigas estão expostas em cortes mais profundos da estrada e nas encostas dos vales que se traçam na planície.

As exposições não são muito boas nem frequentes. Mostram espessuras de poucos metros. Mesmo assim denunciam as camadas idênticas que afloram nos arredores de Curitiba. Tudo leva a crer que essas camadas começam logo que se penetra na planície do vale do Iguassú e que se prolonguem continuamente até Curitiba e além, recobertas pelas mais modernas, e que delas só localmente se elevam ilhas do Complexo brasileiro.

As camadas inferiores estão expostas mercê da erosão das posteriores.

A comparação das argilas de cores vivas observadas no trajeto, com as congêneres de Curitiba, é flagrante. Não há dúvida que sedimentos da bacia terciária de Curitiba ocorrem desde pouco adiante das elevações que dividem as águas do Ribeira e do Iguassú.

As exposições da estrada não permitem descrição minuciosa do conjunto. Todavia apresentam seus aspectos caraterísticos: argilas horizontais, bastante plásticas, quase sempre vermelhas, mas também manchadas de verde, branco, roxo ou amarelo, cores todas secundárias. Não faltam de todo termos menos finos, siltes e arenitos, e mesmo conglomerados.

As estruturas sedimentares, com estratificação cruzada e terminação lenticular das unidades litológicas, indicam, sem dúvida, deposição subaquosa, em água corrente ou em planícies aluviais periódicamente inundadas. Repetiu-se, no planalto curitibano, o mesmo processo sedimentar que no planalto paulistano deu origem às argilas variegadas de São Paulo; não se pode deixar de atentar à similitude fisiográfica, desempenhando naquele o rio Iguassú papel homólogo ao do Tietê na capital paulista, e é impossível deixar de atribuir a esses dois cursos d'água o papel de geradores, sob a ação de causas idênticas, dessas duas interessantes bacias sedimentares.

QUATERNÁRIO

Os depósitos quaternários só alcançam desenvolvimento apreciável além de Bocaiuva, entre os quilômetros 115 e 119, no vale do rio Palmital. Nesse trecho, como ficou dito, ocorrem também sedimentos terciários de Curitiba.

O desenvolvimento aí da sedimentação moderna está ligado a fenômenos geomorfológicos que serão versados em seu lugar.

No restante percurso têm os depósitos quaternários desenvolvimento mínimo, a não ser às margens do Ribeira onde abaixo da ponte, além da barra do Ribeirão Grande, se fazem notar depósitos de cascalhos, alguns com seixos de tamanho maior que um punho, e no vale do Capivarí, no quilômetro 104.

Claro que esses depósitos merecem ser havidos como quaternário muito moderno, atual. Sua deposição encontra explicação nas variações de nível dos rios com as cheias e na topografia bastante evoluida das margens. Sofreram ainda esses depósitos grande movimentação pela água corrente.

Nos cursos d'água presentes no trecho acidentado da estrada, todos muito pouco evoluidos, os depósitos quaternários são praticamente nulos.

As camadas quaternárias das planícies que dominam além do quilômetro 115 são maiormente argilas, com pequena proporção de areia, os leitos de cascalho sendo raros.

Constitui característica das argilas quaternárias a presença frequente de proporção apreciável de matéria carbonosa que lhes imprime cores escuras ou que lhes causou descoloramento promovendo a redução dos óxidos férricos. As cores escuras podem ser substituídas por cores palidas, amareladas. Não ha as argilas de cores vivas e variegadas que tão bem caracterizam as camadas terciárias em suas exposições. Distinguem esses caracteres de maneira flagrante os depósitos quaternários dos terciários.

Mesmo ao observador que passa pela estrada sem muito vagar fica patente a discordância erosional entre uma e outra formação. Com efeito, na planície alta domina o quaternário, espesso de menos de uma dezena de metros. Em alguns cortes porém, aparecem camadas terciárias recobertas por uma espessura menor de quaternário. Demonstra o fato a ondulação da superfície de terciário que recebeu os depósitos quaternários.

Vales mais profundos, entretanto, são ocupados pelas camadas quaternárias, posto que nas encostas frequentemente existam os sedimentos terciários. São rios cavados antes da sedimentação quaternária.

Prevalecem porém os mesmos fatores de drenagem que abriram os novos "thalwegs" nas antigas depressões.

Não fornecem esses depósitos fósseis. Sua separação das camadas terciárias conduz imediatamente incluí-las no quaternário. De outro lado a extensão da sedimentação, que frequentemente desobedece à drenagem atual, justifica sua colocação num andar pleistocênico. Desnecessário lembrar a precariedade dessa cronologia. O critério vem sendo seguido no sul do Brasil; admite-se que da época pleistocênica à atual fenômenos epirogênicos modificaram em grande parte a rede de drenagem, posto que alguns coletores permaneceram.

A sedimentação fluvial originada em drenagem diferente da atual deverá ser referida ao pleistoceno, se ainda incluída no quaternário.

Em depósitos nessas condições em Minas Gerais, em São Paulo e norte do Brasil, têm sido encontrados restos de fauna diferente da atual, havida como pleistocênica.

Não obstante, os depósitos atuais quaternários podem adquirir grandes extensões, se bem que nos leitos maiores dos rios modernos. Depósitos nessas condições cabem incontestavelmente no andar holocênico. O mesmo acontece com as formações observadas dos arredores de Curitiba, em particular ao longo do vale do Iguassú, entre essa cidade e São José dos Pinhais. Essas considerações não deixam de crear uma certa dúvida relativamente ao andar quaternário, ao qual pertencem as camadas do Palmital.

FISIOGRAFIA

A estrada estudada desenvolve-se em pequena parte pelo vale do rio Ribeira, em sua margem direita Sai do "thalweg" principal para ganhar o vale do Curumbé e dos Paióis. No quilômetro 23 vence o divisor desse vale secundário com o Ribeirão Grande, representado pelo Rio Salto.

Acompanha depois o divisor entre o vale do Ribeirão Grande e do Ribeirão do Rocha. Perto de Pedra Pedra está a cabeceira do São Domingos com a qual contravertem águas do Pedra Preta, afluente do Ribeirão Grande, o qual se lança no Ribeira.

Continua mais ou menos pelo divisor, deixando do lado esquerdo de quem vai para Curitiba as primeiras cabeceiras tributárias do Ribeirão Grande e depois de formadores do Rio Pardo, e à direita cabeceiras que vão alimentar tributários do alto curso do Ribeira.

Próximo a Bocaiuva, a estrada entra no vale do Capivarí, principal formador do Rio Pardo. Logo depois atravessa o divisor entre o Capi-

vari e o Palmital, o qual já corre para o Iguassú. Deixa quase que insensivelmente o vale do Palmital para ganhar o do Atuba e chegar a Curitiba.

Constrasta o traçado da estrada nova com o da estrada velha. A nova em sua maior parte acompanha os divisores, ao passo que a outra aproveita todo o curso do Ribeirão Grande. Todavia esta última, entre Bocaiva e Passa Vinte, atravessa sucessivamente divisores de tributários do Rio Pardo. De pouco aquém de Bocaiuva até Curitiba os traçados são idênticos. O relevo, excetuados os vales do Palmital e do Atuba, vastas planícies, é moderadamente acidentado.

Do "thalweg" principal do vale do Ribeira até Bocaiuva, exhibe o país topografia muito movimentada, que apresenta ainda sintomas de evolução pouco avançada. Os vales, bastante estreitos, não possuem planícies de deposição. Além de Bocaiuva a topografia já se mostra bastante evoluída, com depósitos modernos e movimentação muito menor.

Mais avançada ainda é a evolução além do vale do Capivarí, já na região drenada para o Iguassú, de relevo insignificante, vastas planícies de formações modernas. Óbvias as consequências a tirar das últimas constatações: a criação do sistema de drenagem do vale do Ribeira muito posterior à drenagem para oeste, através do Iguassú.

Convém salientar que os depósitos terciários presentes no vale desse último certificam a evolução avançada do ciclo geomórfico antes do início do período quaternário, e a retomada da erosão, acompanhada de sedimentação ao longo do curso principal e de seus afluentes mais importantes, durante esse período.

Só então começava a se cavar o sistema de drenagem do vale do Ribeira. Não cabem aqui maiores considerações sobre as causas responsáveis pelo canal principal deste rio. Em geral a muralha de rochas graníticas creada ao longo da costa, a serra do Mar, impede até hoje a ampliação dos vales tributários diretos do oceano, para leste. Progridem, é verdade, porém de maneira vagarosa. Em suas cabeceiras é possível constatar capturas, de pequenas extensões, de torrentes ou cursos d'água dirigidos antes para oeste. Revelam-nas as diferenças de declive. Para que se abrisse um canal da importância que tem o Ribeira, indispensável que aí se fizesse sentir causa não presente alhures. É que as rochas graníticas que estão, na região desse vale, deprimidas, deixaram na superfície de erosão pliocênica grande espessura de rochas metamórficas não granitizadas, xistos e calcários. Essas rochas resistem menos à erosão que as graníticas da Serra do Mar propriamente dita, e permitiram a abertura do vale do Ribeira, em traçado subsequente, adaptado às estruturas e linhas de fraturas antigas.

Com verossimilhança o desgaste do calcário, em um regime cárstico, facilitou grandemente os primórdios dessa erosão, e ainda hoje subsistem vestígios desse regime nas regiões de granito que dificultam a erosão.

Outro fator, quiçá decisivo, cooperou para o estabelecimento do vale do Ribeira: a posição relativa a que foram levados os blocos de falha da serra do Mar no litoral sul-paulista. Como se sabe, a permanência elevada desses blocos resistentes, no litoral de Santos e mais ao sul, no Paraná, permitiu a manutenção da drenagem para o interior, em busca do rio Paraná, que desde o cretáceo se havia estabelecido. Fraturada a peneplanície cretácea (ou eocênica, de Moraes Rego) cujos restos são ainda flagrantes nas serras de Paranapiacaba e do divisor dos rios Assunguí e Capivari, no Paraná, foram os blocos de falha, compostos de rochas arqueanas resistentes a erosão, levados a menores alturas na baixa do Ribeira de Iguape. A rede de drenagem que aí se estabeleceu, em busca do oceano, rapidamente recusou para o interior, favorecida pelas razões acima apontadas.

Departamento de Geologia e Minas.

Escola Politécnica.

Universidade de São Paulo.

Abril de 1946.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, Fernando F. M. — (1944) — *Collenia itapevensis* sp. n. — um fóssil pre-cambriano do Estado de São Paulo. Fac. Fil. Cien. Letras Univ. S. Paulo, Bol. XLV. Geologia I, ps. 89-106. S. Paulo.
- BARBOSA, Octavio — (1942) — *Geologia e petrologia da região de Apiaí, Estado de São Paulo*. Tese para concurso da cadeira de Geologia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- CARVALHO, Paulino Franco de — (1941) — *O devoniano do Paraná etc.* Dep. Nac. da Prod. Min., Divisão de Geol. e Min., Bol. n.º 109. Rio de Janeiro.
- CARVALHO, Paulino Franco de e Estevam Alves Pinto — (1937) — *Reconhecimento geológico na série Assunguí*. Brasil, Serviço Geológico e Mineralógico, Boletim n.º 71. Rio de Janeiro.
- DERBY, Orville A. — (1878) — *Geologia da região diamantífera da Província do Paraná no Brasil*. Mus. Nac. do Rio de Janeiro, Arq., vol. III, ps. 89-96. Rio de Janeiro.
- GUIMARÃES, Djalma — (1933) — *Os anfíbolitos da região diamantífera do norte de Minas Gerais*. Esc. de Minas de Ouro Preto. Anais, n.º 24, ps. 3-29. Ouro Preto.
- GUTMANS, M. — (1943) — *Rochas-mater da "terra roxa"* Bragantia, n.º 3, ps. 271-322. Campinas.
- OLIVEIRA, Euzébio de — (1927) — *Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná*. Brasil, Serviço Geológico e Mineralógico. Monografia VI. Rio de Janeiro.

SÔBRE A CONSTITUIÇÃO DAS ESCÓRIAS DOS FORNOS DE CUBA DE REDUÇÃO DE SINTERS DE CHUMBO (1)

Eng.º Tharcisio D. de Souza Santos (2)

O trabalho versa sôbre a constituição das escórias dos fornos de cuba resultantes da redução de cargas constituídas por sinters de chumbo e fundentes. Estudam-se os requisitos a que devem satisfazer as escórias e as influências dos seguintes fatores: temperatura de formação, temperatura de fusão, viscosidade, pêso específico, imiscibilidade e teôr de óxido de chumbo. A evolução do conhecimento sôbre a constituição das escórias nos últimos anos conduz a modificar as idéias acêrca da escorificação de óxidos presentes, como óxido de zinco e alumina. Apresenta finalmente o autor novas composições de escórias decorrentes de dados experimentais por êle obtidos na Usina de Chumbo de Apiaí.

INTRODUÇÃO

Escória é a fase líquida não-metálica de menor pêso específico obtida nos fornos de redução, constituída principalmente por solução de sílica, óxido ferroso e cal, praticamente imiscível com as outras fases líquidas metálicas presentes no cadinho resultantes da redução da carga.

Tendo em vista a grande importância que desempenham as escórias no funcionamento dos fornos de cuba de redução, procurou o autor estudar suas características e sua constituição depois de apresentar um apanhado sôbre a evolução do conhecimento científico nesse ramo da metalurgia de produção. O trabalho versa sôbre as escórias do fornos de cuba de redu-

(1) Trabalho apresentado ao 2.º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais, Belo Horizonte, maio de 1946.

(2) Professor interino de Metalurgia dos Metais Não-Ferrosos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Eng.º Chefe da Divisão de Metalurgia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo.

ção, resultantes do tratamento de cargas de chumbo, constituídas por sinter fluxado ou não e pelos fundentes necessários. Não compreende o trabalho as *escórias cinzentas* resultantes da ganga das cargas de alto teor em chumbo reduzidas nos fornos baixos de inter-reação, nem as escovias de redução de cargas constituídas predominantemente por sucata de chumbo, como são as de metalurgia secundária do chumbo.

Nos fornos de cuba de redução de sinters de chumbo produzem-se, no caso mais geral, quatro fases líquidas, que na ordem crescente dos seus pesos específicos são: escória, matte, speiss e chumbo de obra. Nos processos de redução de cargas de outros metais não-ferrosos é sempre menor o número de fases líquidas. Assim, nos fornos de redução de minérios oxidados de cobre existem no caso mais geral três fases líquidas; escória, matte e cobre preto; nos de cassiterita, escória estanho bruto e *hard head*; nos de cargas sinterizadas ou não, mas ustuladas parcialmente, de concentrados de sulfuretos de níquel e de cobre, escória e matte, sendo excepcional a formação de speisses. A escória é a única fase não-metálica e é na realidade uma solução líquida de óxidos em que predominam SiO_2 , FeO e CaO ; as outras fases são metálicas: metal contendo elementos em solução (chumbo de obra, cobre preto e estanho bruto) e soluções de compostos metálicos e soluções sólidas (mattes e speisses).

Destinam-se os fundentes do leito de fusão a fornecer à ganga da carga de sinter os constituintes essenciais, sílica, óxido ferroso e cal, para que a escória satisfaça aos requisitos que vão ser estudados a seguir. Desde que na grande maioria dos casos os sinters apresentam excesso de óxido ferroso e/ou de sílica (resultantes de ganga de ferro e/ou sílica dos concentrados obtidos a partir dos minérios) há necessidade de se utilizar calcáreo no leito de fusão, além de fundentes que contenham óxidos de ferro e sílica, para que a escória a ser obtida corresponda aos característicos necessários.

REQUISITOS DE UMA ESCÓRIA.

A escória deve satisfazer aos seguintes requisitos para um bom comportamento durante o funcionamento do forno de redução: 1) ter a mais baixa temperatura de formação; 2) exigir a menor temperatura de fusão; 3) apresentar a menor viscosidade nas temperaturas reinantes na zona de redução e no cadinho; 4) ter menor o peso específico; 5) ser imiscível com as outras fases líquidas do cadinho; 6) conter o menor teor de óxido do metal de obra combinado ou em solução, e, finalmente, 7) exigir o leito de fusão mais econômico.

E' evidentemente difícil a escolha de uma escória que satisfaça a todos esses requisitos. Ver-se-á por exemplo, que a condições de mínima viscosidade e mínimo peso específico são irreduzíveis, bem como as condições de

mínimo ponto de fusão (e também de temperatura de formação) são incompatíveis com as de menor pêso específico. Por essa razão, os requisitos devem ser considerados em conjunto, para que, devidamente balanceados, da escolha resulte a melhor escória para o forno de redução.

Examinam-se a seguir os diversos característicos das escórias.

1. — Temperatura de formação.

Resultando as escórias da solubilização dos seus óxidos constituintes, é natural que seja de importância primordial a temperatura mínima a partir da qual é formada a escória líquida, temperatura de formação. A temperatura de formação é sempre superior à de fusão, variando o intervalo com a composição.

Desde que o materiais da carga consistem em mistura mecânica de óxidos e não de escória já formada, não existirá escória líquida quando a carga atingir a temperatura de fusão da escória; a carga deve ser aquecida à temperatura de formação para que se forme a escória líquida. Convém notar aqui que a velocidade de formação da escória depende da temperatura de formação e do estado físico dos seus constituintes. É por isso mais rápida a formação das escórias nos sinters fluxados, em virtude do melhor contacto e mesmo de incipiente escorificação.

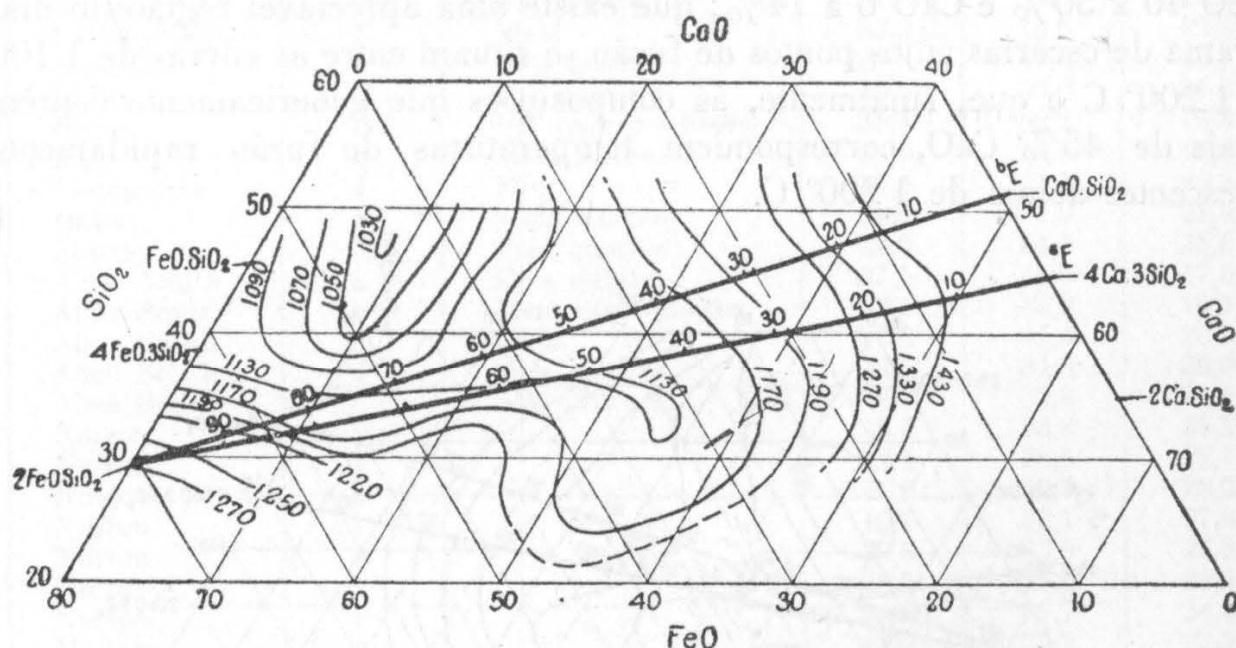


Fig. 1 — Curvas de igual temperatura de formação de escórias puras do sistema $\text{SiO}_2\text{-FeO-CaO}$.

Na (fig. n.º 1) foram representadas no diagrama ternário $\text{SiO}_2\text{-FeO-CaO}$ as curvas de iguais temperaturas de formação pela união dos pontos representativos de escórias puras de mono-silicatos, sesqui-silicatos e bi-silicatos ferro-cálcicos, a partir dos dados das tabelas correspondentes de

Hofman (1). Ver-se-á logo adiante que o andamento das curvas de igual temperatura de formação acompanha o das curvas de igual ponto de fusão. As curvas mostram, no campo do diagrama ternário estudado, uma região bastante extensa delimitada pela curva de 1270° C, a qual deve ser considerada como limite para a escolha das escórias dos fornos de cuba de chumbo. Mostra ainda a existência de uma região de baixas temperaturas de formação, que atingem o mínimo de 1030° C, correspondente às misturas de bi-silicatos com CaO entre 7 e 9%.

2. — Temperatura de fusão.

Desde que são relativamente baixas as temperaturas reinantes nos fornos de cuba de redução e que as condições de equilíbrio entre as três fases líquidas matálicas no cadinho conduzem à conveniência de manutenção de temperaturas baixas (2), as escórias devem apresentar as mais baixas temperaturas de fusão.

As temperaturas de fusão das escórias puras do sistema $\text{SiO}_2\text{-FeO-CaO}$ têm sido determinadas por numerosos experimentadores (3) e a (fig. n.º 2) representa as curvas de igual ponto de fusão das escórias no campo mais utilizado do diagrama ternário. O diagrama mostra que as temperaturas mínimas de fusão se localizam na região SiO_2 40 a 50%, FeO 40 a 50% e CaO 6 a 14%; que existe uma apreciável região do diagrama de escórias cujos pontos de fusão se situam entre as curvas de 1100 e 1200° C e que, finalmente, às composições que genericamente contêm mais de 45% CaO , correspondem temperaturas de fusão rapidamente crescentes acima de 1200° C.

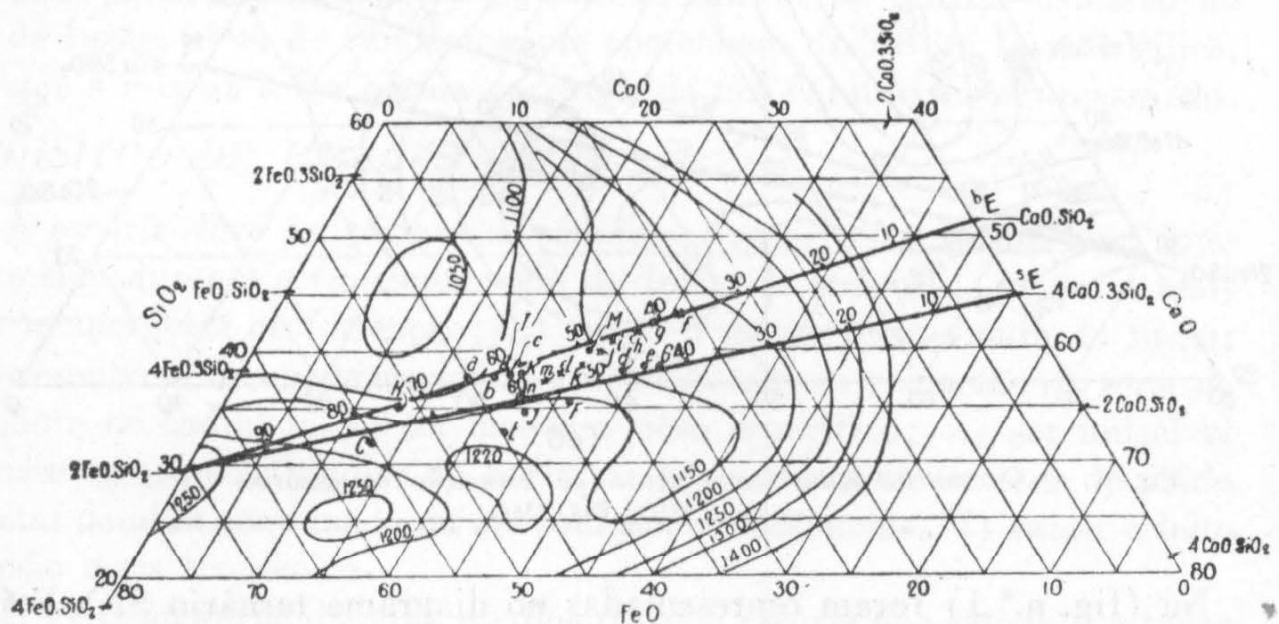


Fig. 2 —

Fig. 2 — Curvas de igual temperatura de fusão de escórias puras do sistema $\text{SiO}_2\text{-FeO-CaO}$ (seg Bray) e escórias típicas da tab. n.º 1

As escórias típicas recomendadas por Hofman (1) foram recalculadas de forma a soma de SiO_2 , FeO e CaO ser 100 e figuram na (tab. n.º 1). Serão examinados mais adiante os motivos de se considerar os outros óxidos constituintes das escórias como simplesmente dissolvidos, ao contrário do que faziam os autores, que, como Hofman, limitam a 90 ou a 95% a porcentagem global dos constituintes essenciais. Na mesma tabela figuram as escórias aconselhadas por Allen Smith (4) e empregadas com êxito em usinas do Oeste dos Estados Unidos. Inclue a Tabela n.º 1 ainda as composições das escórias preconizadas por Norton (5) contendo teores crescentes de ZnO e baseadas nas experiências das usinas da American Smelting & Refining Co., nos Estados Unidos e no México; suas composições foram também recalculadas, de forma a só serem consideradas os constituintes essenciais.

TABELA N.º 1

TEORES DE CONSTITUINTES ESSENCIAIS EM ESCÓRIAS TÍPICAS

(composições recalculadas para os constituintes essenciais)

Autoridade	Tipo	Designação	SiO_2 %	FeO %	CaO %
Eilers	C	Um quarto	31,0	55,5	13,5
LaPise-Eilers	E	Meia	33,3	44,5	22,2
Schneider	F	Três quartos	35,5	37,8	26,7
Raht	G	Um para um	39,0	30,0	31,0
Hahn	H	Um quarto silicosa	35,5	52,2	12,3
Page	I	Meia silicosa	39,0	42,2	18,8
Livingstone	J	Meia	34,5	42,2	23,3
Hahn	K	Meia silicosa	38,0	41,0	21,0
Murray	M	Três quartos	40,0	34,4	25,6
Allen Amith	a	Dois quintos	37,5	45,0	17,5
Allen Smith	b	Meia dois quintos	37,6	43,9	19,1
Allen Smith	c	Meia	37,8	41,6	20,6
Allen Smith	d	Três quartos	38,5	34,6	26,9
Allen Smith	e	Sete oitavos	38,6	32,8	29,6
Norton	f		43,1	26,8	30,1
Norton	g		42,4	28,5	29,1
Norton	h		41,5	30,3	28,2
Norton	j		40,7	32,1	27,6
Norton	j		39,8	33,9	26,3
Norton	k		38,9	35,6	25,5
Norton	l		38,0	37,7	24,3
Norton	m		37,0	39,7	23,3
Norton	n		36,0	41,7	22,3

Os tipos de escórias (tab. n.º 1) foram representados no diagrama ternário SiO_2 - FeO - CaO (fig. n.º 2), bem como as composições dos diversos silicatos de cálcio e de ferro.

A (fig. n.º 2) mostra que: 1) tôdas as escórias-tipo estudadas têm suas temperaturas de fusão compreendidas entre as curvas de 1 100° C e de 1 200° C; 2) não existem escórias recomendadas na região de menores temperaturas de fusão, delimitada pela curva de 1 100° C; 3) a grande maioria das escórias têm composições-base compreendidas entre SiO₂ 32,5 e 45%, FeO entre 25 e 55% e CaO entre 12,5 e 32,5%, e, finalmente, 4) ficam quasi tôdas, com a exceção apenas de quatro escórias, encerradas entre as retas que definem as misturas de mono-silicato de ferro (2 FeO.SiO₂) com bi-silicato de cálcio (CaO.SiO₂) e sesqui-silicato de cálcio (4CaO.3SiO₂), respectivamente.

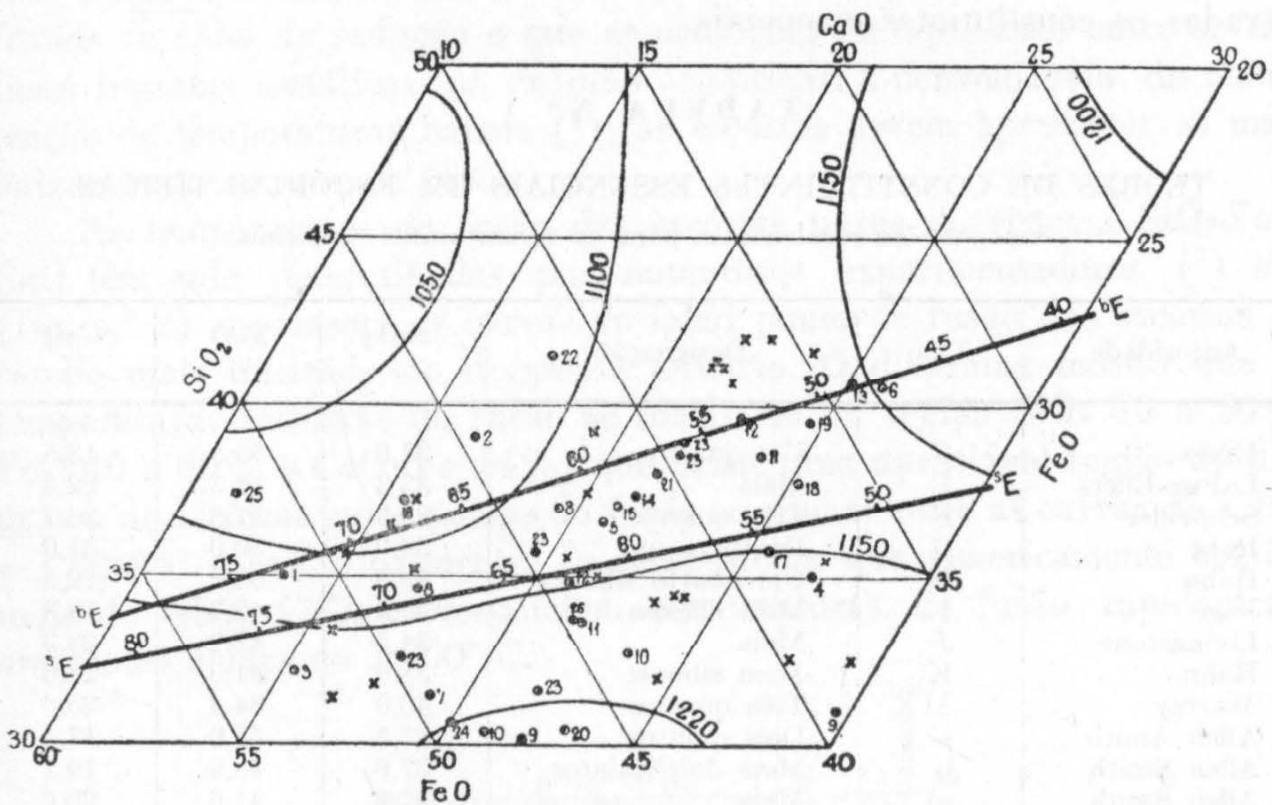


Fig. 3 — Região do diagrama SiO₂-FeO-CaO e escórias recalculadas para seus constituintes essenciais de usinas estrangeiras (tab. n.º 2) e de Usina de Chumbo de Apiaí (tab. n.º 3) (x).

A (fig. n.º 3) representa região detalhada do diagrama ternário para o campo SiO₂ 30 a 50%, FeO 20 a 60% e CaO 10 a 30%. Nela foram representadas as composições recalculadas para os constituintes essenciais de 31 escórias de grande número de usinas estrangeiras (tab. n.º 2) bem como 29 escórias empregadas com êxito pelo autor na Usina de Chumbo de Apiaí (tab. n.º 3) durante o período em que esteve em funcionamento sob sua direção, até novembro de 1942.

TABELA N.º 2

TEORES DE CONSTITUINTES ESSENCIAIS EM ESCÓRIAS DE
USINAS ESTRANGEIRAS(recalculados para $\text{SiO}_2 + \text{FeO} + \text{CaO} = 100$)

Escória N.º (fig. 3)	Usina	$\text{SiO}_2 + \text{FeO} + \text{CaO}$ na escória %	Constituintes essenciais $\text{SiO}_2 + \text{FeO} + \text{CaO} = 100$			Refer.
			SiO_2 %	FeO %	CaO %	
1	Kellogg, Id, E.U.	69,8	30,2	50,2	19,6	(6)
2	Kellogg, Id, E.U.	79,8	21,6	48,8	29,6	(6)
3	Trail, B.C., E.U.	59,1	32,1	52,6	15,3	(7)
4	Herculaneum, Mo. E.U.	76,6	35,0	38,0	27,0	(7)
5	Collinsville, Ill, E.U.	79,3	36,7	42,5	20,8	(7)
6	Midvale, Utah, E.U.	84,0	40,7	33,0	26,3	(7)
7	East Helena, Id, E.U.	79,0	31,5	49,4	29,1	(7)
8	Federal, Ill, E.U.	81,0	34,6	48,1	17,3	(7)
9	Kellogg, Id, E.U.	71,0	31,0	39,4	29,6	(7)
10	Selby, Cal, E.U.	82,0	32,8	43,8	23,9	(7)
11	Leadville, Colo, E.U.	83,0	33,7	44,5	21,8	(7)
12	Murray, Utah, E.U.	86,0	34,9	44,2	20,9	(7)
13	Midvale, Utah, E.U.	84,0	40,5	33,2	26,3	(8)
14	Salida, Colo, E.U.	83,3	37,2	41,3	21,5	(8)
15	Herculaneum, Mo. E.U.	87,4	37,0	42,0	21,0	(8)
16	Tooele, Utah, E.U.	84,4	37,2	47,2	15,6	(8)
17	Leadville, Colo, E.U.	85,8	35,6	38,8	26,6	(8)
18	E. Helena, Id, E.U.	88,2	37,8	37,0	26,2	(8)
19	Trail, B.C., Canadá	81,5	39,5	35,6	25,9	(8)
20	Boolaroo, N.G. Sul	78,0	30,5	46,5	13,0	(8)
21	Northport, Wash, E.U.	84,0	38,1	40,5	21,4	(8)
22	Kellogg, Id, E.U.	82,5	41,3	41,3	17,4	(8)
23	Midvale, Utah, E.U.	85,1	38,8	39,1	22,1	(9)-1916
"	Midvale, Utah, E.U.	84,6	38,6	39,3	22,1	(9)-1920
"	Midvale, Utah, E.U.	84,1	35,8	44,8	19,4	(9)-1924
"	Midvale, Utah, E.U.	85,3	36,0	45,4	18,6	(9)-1928
"	Midvale, Utah, E.U.	81,1	32,7	49,7	17,6	(9)-1932
"	Midvale, Utah, E.U.	80,6	31,6	46,8	21,6	(9)-1935
24	Kellogg, Id, E.U.	73,6	30,3	49,5	20,2	(10)
25	Herculaneum, Mo, E.U.	71,7	37,4	51,3	11,3	(11)
26	Broken Hill, Austrália	66,3	33,6	44,6	21,8	(12)

A grande maioria dessas escórias, tanto de usinas estrangeiras como as obtidas em Apiaí, se situa entre as retas das misturas $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ e $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 - 4\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$; outras se situam exteriormente ao campo delimitado por essas misturas. Estas composições menos comuns serão discutidas mais adiante.

TABELA N.º 3

TEORES DOS CONSTITUINTES ESSENCIAIS EM ESCÓRIAS DA
USINA DE CHUMBO DE APIAÍ(recalculados para $\text{SiO}_2 + \text{FeO} + \text{CaO} = 100$)

Análise n.º	SiO ₂ +FeO+CaO na escória %	Constituintes essenciais SiO ₂ +FeO+CaO = 100		
		SiO ₂ %	FeO %	CaO %
884	83,9	39,2	41,5	19,3
784	77,1	37,4	42,6	20,0
775	74,8	34,5	41,8	23,7
773	74,5	31,2	46,2	22,6
780	75,2	35,5	44,0	20,5
768	80,5	34,9	45,5	19,6
765	90,3	38,0	42,8	19,2
766	91,3	35,1	46,0	18,9
687	76,0	34,6	41,7	23,7
623	86,0	31,3	52,0	16,7
615	88,2	33,3	51,0	15,7
597	77,5	35,7	49,6	14,7
602	87,1	36,5	48,0	15,5
587	84,6	31,9	50,6	17,5
551	85,5	41,6	34,9	23,5
541	84,7	41,2	37,1	21,7
537	89,3	40,6	37,2	22,2
533	87,3	42,0	36,2	20,8
532	94,4	41,3	37,3	21,4
522	83,0	42,0	35,7	22,3
510	77,7	35,0	43,3	21,7
477	90,1	35,2	48,0	16,8
453	78,6	35,4	37,2	27,4
445	94,1	32,0	43,4	24,6
430	78,2	32,6	38,1	29,3
439	79,9	36,8	32,3	25,9
440	85,3	34,2	42,3	23,5
436	81,3	32,7	39,8	25,7
402	82,5	37,2	47,0	15,8

3. — *Viscosidade.*

A viscosidade constitui uma característica de grande importância prática no que se refere à continuidade da marcha do forno e à recuperação do metal, tanto sob a forma de chumbo de obra como sob a forma das outras fases líquidas metálicas, matte e speiss. Sendo habitualmente elevada a relação escória/matte + speiss + chumbo de obra para o funcionamento fácil dos fornos de redução, e tendo-se em vista que as velocidades de redução unitária são geralmente da ordem de 35 kg/min/m² de área da secção da coluna no nível das ventaneiras, segue-se que são freqüentes as aberturas dos orifícios de escórias no cadinho para a reti-

rada das escórias. Na Usina de Chumbo de Apiaí era habitual a abertura do cadinho cada oito minutos, descendo muitas vezes o período até a 5 minutos, para cargas de elevado valor da relação escória/fases metálicas.

A escória que se acumula no cadinho entre os períodos de abertura é atravessada continuamente pelas gotas das fases metálicas líquidas, de maior densidade e nela imiscíveis, como será visto. A queda dessas gotas de fases líquidas obedece em primeira aproximação à lei de Stokes. Decorre a necessidade de ser mantida a viscosidade nos mínimos valores possíveis, à custa de temperatura a mais elevada e de composição a mais favorável, para que a escória vazada não arraste consigo um teor de fases líquidas acima do admissível. É observação corrente nas usinas de chumbo que as escórias viscosas podem arrastar até cerca de 10% de fases líquidas, chumbo de obra principalmente, o que corresponde a grande abaixamento na recuperação do metal, exigindo mesmo freqüentemente nesses casos a re-circulação das escórias.

Não existem ainda, tanto quanto conhece o autor, determinações experimentais da viscosidade das escórias normais dos fornos de redução de sinters de chumbo. O conhecimento dos valores das viscosidades nas temperaturas reinantes no forno e no cadinho apresenta grande interêsse na metalurgia de produção e o autor pretende, em trabalho ulterior, investigar essa importante questão.

A observação da marcha dos fornos mostra que as escórias de elevado teor em sílica, especificamente as da região SiO_2 , 40 a 50%, FeO 40 a 50% e CaO 5 a 15%, apresentam elevada viscosidade, responsável por exagerado teor de fases líquidas arrastadas. Por essa razão, as escórias desse campo que apresentam as mínimas temperaturas de formação e de fusão e pesos específicos baixos, não devem ser utilizadas nos fornos de redução. A elevada viscosidade dessas escórias explica a sua não utilização, como se depreende das (figs. ns. 2 e 3).

4. — *Pêso específico.*

Ainda a questão da separação das fases líquidas metálicas da escória envolve a necessidade de serem os maiores os intervalos entre os pesos específicos dessas fases e o da escória, ou em outras palavras, exige que sejam os melhores os pesos específicos das escórias. Convem lembrar que o pêso específico do chumbo de obra é de cerca de $9,6 \text{ g/cm}^3$ à temperatura de 1200°C (extrapolando os dados de Harris) ⁽¹³⁾, que o do matte é da ordem de 5 g/cm^3 e o de speiss de cerca de 7 g/cm^3 . Iles ⁽¹⁴⁾ examinando grande número de escórias sólidas determinou valores de pêso específico

compreendidos entre 3,3 e 4,1 e recomenda 3,6 g/cm³ como máximo valor para boa separação.

O peso específico das escórias cresce com o teor de FeO e diminui com o teor de SiO₂. Já se viu anteriormente que as escórias de elevado teor em SiO₂, conquanto apresentem favoráveis temperaturas de formação e de fusão, não vem ser adotadas em virtude da grande viscosidade que possuem. As considerações de viscosidade levam a preferir as escórias de FeO elevado, mas, como o peso específico dessas escórias se eleva rapidamente com o teor de FeO, costuma-se considerar 50% FeO como o máximo permissível para boa segregação das fases líquidas metálicas.

5. — *Imiscibilidade.*

A existência simultânea, no caso mais geral da metalurgia do chumbo, de quatro fases líquidas no cadinho dos fornos de redução, torna necessário que a fase não-metálica seja imiscível com as outras fases metálicas, afim de que se possa conseguir a necessária separação. Felizmente as escórias bem balanceadas entre seus constituintes são praticamente imiscíveis com o matte, speiss e chumbo de obra. Muito embora existam provas definitivas de que existem determinados estados de equilíbrio entre as fases, conforme demonstraram Ravitz e Fisher (²), a solubilidade dos metais e de seus compostos constituintes de mattes e speisses na escória é praticamente nula.

Convém observar aqui, que se a miscibilidade das fases líquidas metálicas com a escória é desprezível sob o ponto de vista prático, o mesmo não acontece com a miscibilidade dos óxidos de chumbo, no caso, com os constituintes da escória. Ver-se-á mais adiante que escórias menos balanceadas podem conter teores apreciáveis de óxidos de chumbo, PbO em particular.

6. — *Óxido dissolvido.*

As escórias de fornos de cuba resultantes da redução de sinters de chumbo podem apresentar muitas vezes apreciáveis teores de óxido de chumbo dissolvido. As escórias contendo óxido de chumbo apresentam-no sob a forma de solução na escória, como aliás no caso dos vidros (¹⁵). O diagrama de equilíbrio do sistema PbO-PbO.SiO₂ mostra a existência de compostos de fusão congruente, 2PbO.SiO₂ e 3PbO.2SiO₂. A presença desses compostos, pelo menos nas escórias líquidas, é muito discutível.

O ajustamento entre os teores de sílica, óxido de ferro e cal de forma a produzir tipos de escórias correspondentes a misturas determinadas de silicatos constitui um recurso eficiente para baixar a solubilidade do óxido de chumbo na escória. Em outras palavras, o balanceamento entre os constituintes essenciais permite manter fora de solução o óxido de chumbo, evitando assim que a escória venha apresentar teor excessivo de óxido de chumbo.

Na prática é extremamente difícil se manter o teor de chumbo (sob a forma metálica e sob a forma de óxido dissolvido) abaixo de 3%, sobretudo se a carga contiver mais de 35% Pb.

A temperatura da escória e sua viscosidade são fatores importantes na solubilização do óxido de chumbo. Escórias viscosas (seja por composição seja por deficiência de temperatura) tendem a conter teor excessivo de óxido de chumbo. A recuperação ulterior do metal exige o reajustamento de sua composição em nova carga no forno, regulando de maneira adequada a sua temperatura.

7. — *Leito de fusão mais econômico.*

Necessitando o funcionamento do forno de escória bem proporcionada, a escolha da escória deve visar o leito de fusão mais econômico. Geralmente o metalurgista tem a liberdade de escolher vários tipos de escórias e, satisfeitos os requisitos enumerados, a decisão deverá ser baseada no critério de economia do processo. As usinas de chumbo dispõem geralmente de minérios de ferro (geralmente *chapéus de ferro*) que contêm minério oxidados de chumbo e freqüentemente ouro e prata (*) e de minérios auríferos silicosos e o aproveitamento dos metais contidos nesses fundentes geralmente produz margem de lucros que compensam amplamente o consumo adicional de combustível. Ao contrário do que acontece com êsses fundentes, os calcáreos são geralmente isentos de valor econômico. Por essa razão prefere-se geralmente empregar escórias de mínimo teor de cal, desde que satisfeitos os requisitos enumerados anteriormente.

A CONSTITUIÇÃO DAS ESCÓRIAS DE REDUÇÃO DE SINTERS DE CHUMBO.

As gangas dos minérios e concentrados de chumbo são constituídas principalmente de SiO_2 , FeO (e outros óxidos de ferro reduzidos no forno a FeO) e CaO ; além dêsses óxidos todos os minérios (naturais ou sinteri-

(*) Na Usina de Chumbo de Apiaí empregou o autor como fundente de ferro uma hematita aurífera contendo Fe_2O_3 76,4% SiO_2 21,6% e Au 22 g/t.

zados) e fundentes contêm MgO , Al_2O_3 , ZnO e MnO e excepcionalmente, F_2Ca , BaO , Na_2O , K_2O etc., que vão passar à escória como constituintes acessórios. Como natural, passam também à escória os óxidos constituintes da cinza do combustível empregado.

Na grande maioria dos casos, são muito baixos os teores de MgO , MnO , BaO , K_2O , Na_2O e F_2Ca , cuja soma raramente atinge 10% da escória. Os efeitos desses óxidos sobre as temperaturas de formação e de fusão, sobre o peso específico e sobre a viscosidade têm sido descritas por vários autores (ver ⁽¹⁾) e não cabem limites deste trabalho. Convém entretanto lembrar que o MnO tem comportamento quasi idêntico ao FeO , que MgO e BaO aumentam marcadamente a viscosidade das escórias, que BaO eleva o seu peso específico e K_2O e Na_2O reduzem excessivamente a temperatura de fusão, algumas vezes aquém do desejável, resultando escórias excessivamente fusíveis. A fluorita reduz apreciavelmente a viscosidade das escórias e constitui mesmo um recurso para regular esse importante requisito das escórias.

Restam dois constituintes acessórios de grande importância e que sempre existem em proporções elevadas nas cargas dos fornos de cuba redução: alumina e óxido de zinco.

Admitiam os metalurgistas que a alumina tanto podia se combinar com a sílica para formar silicatos de alumínio como se combinar com o óxido ferroso e a cal para formar aluminatos de ferro e cálcio; em outras palavras, que poderia desempenhar um papel ácido ou básico, conforme a basicidade ou acidez da escória. Hofman ⁽¹⁾ afirma mesmo que, em presença de elevado teor de sílica, a alumina funciona como base e como ácido em caso contrário. Austin ⁽¹⁵⁾ parece ter sido o primeiro a sugerir que nas escórias, pelo menos as de SiO_2 até 36%, a alumina não está combinada, mas simplesmente dissolvida nos constituintes essenciais da escória. A mesma opinião foi apresentada posteriormente por Dwight e Mathewson ⁽¹⁶⁾ sem restrição quanto ao teor de SiO_2 da escória. Convém lembrar que Mathesius ⁽¹⁷⁾ considera a alumina passiva na formação das escórias de altos fornos.

Quanto ao óxido de zinco, encarece Hofman a dificuldade para sua escorificação. Acreditou-se mesmo que ZnO estaria combinado à alumina para a formação de espinelas de zinco, $ZnAl_2O_4$, resultando a recomendação de se considerar o ZnO em proporção estequiométrica com CaO .

Segundo Lang ⁽¹⁸⁾ as expressões escórias ácidas e escórias básicas têm uma significação imprecisa. Deve-se falar de escórias neutras, pois que uma escória pode sempre absorver elementos ácidos ou elementos básicos. É irracional se caracterizar uma escória pela relação oxigênio de ácidos para oxigênio de bases, porque uma escória nunca é formada

por um silicato mas por uma mistura de diversos silicatos, sendo a regra se considerar as bases terrosas (CaO, MgO) como constituintes de bi-silicatos e os óxidos dos metais do quarto grupo (FeO, MnO etc.) como monosilicatos.

Von Schlippenbach (¹⁹) apresentou um detalhado estudo sobre o papel de ZnO e Al₂O₃ nas escórias dos fornos de chumbo. Baseando-se sobre diversas propriedades de escórias dos fornos de chumbo, conclue esse autor que o ZnO e a Al₂O₃ devem ser considerados constituintes neutros de uma escória, simplesmente dissolvidos ou mantidos em suspensão, não intervindo na formação de silicatos.

A questão da acidez ou da basicidade da escória deve ser encarada, segundo esse metalurgista, sob o ponto de vista das características físicas, uma vez é inteiramente impossível precisar se um dado silicato é ácido ou básico. Uma escória deve ser considerada ácida quando pelo resfriamento forma filamentos, passa pelo estado pastoso e apresenta, depois de solidificada lentamente, uma fratura vítrea, e básica, quando tende a aderir sobre a calha de ferro de vazamento, solidificando-se bruscamente sem passar por um estado pastoso e apresenta, após a solidificação, uma fratura terrosa.

Entre esses dois tipos extremos existe uma gama contínua de escórias intermediárias, todas elas apresentando, com maior ou menor intensidade, a peculiaridade de formarem filetes que se recobrem, durante o vazamento, de crosta sólida dentro da qual corre a massa líquida.

Nessas diversas escórias não existiria, sob o ponto de vista metalúrgico, nem excesso de bases sem excesso de ácidos. Seriam formadas todas por silicatos ferrosos e cálcicos e poderiam manter em solução ZnO e Al₂O₃, constituintes acessórios sempre presentes nas escórias dos fornos de chumbo.

Nessas circunstâncias, esses óxidos de alumínio e de zinco não seriam escorificados mas simplesmente dissolvidos ou mantidos em suspensão pelos silicatos de cálcio e de ferro da escória; não intervem assim a proporção relativa dos óxidos de alumínio e de zinco.

Von Schlippenbach apresenta em seu trabalho (¹⁹) duas famílias de escórias uma de misturas de 2FeO.SiO₂-CaO.SiO₂ e outra de misturas de 2FeO.SiO₂-4CaO.3SiO₂, variando os teores de FeO e CaO segundo a.FeO + xCaO, sendo a=2kg e x=0,5; 0,6 0,7 ... 2,0 kg.

AS ESCÓRIAS PROPOSTAS.

Adotando as conclusões de Von Schlippenbach acerca da solubilidade do ZnO e da Al₂O₃, isto é, admitindo que esses elementos estejam simplesmente dissolvidos na escória e que não participem da formação de compos-

tos, o autor estudou uma nova série de escórias-tipo para emprego nos fornos de cuba de chumbo. Muitas dessas escórias foram por êle empregadas com êxito na Usina de Apiaí e crê que a nova teoria apresentada seja mais compreensível que as dos trabalhos anteriores referidos.

Referiu-se o autor ao fato de quasi tôdas as escórias que enumerou (tabs. ns. 2 e 3) se situarem entre as linhas $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$ e $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2\text{-4CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$ do diagrama ternário $\text{SiO}_2\text{-FeO-CaO}$ (fig. n.º 3); mostrou também que quasi tôdas as escórias-tipo recomendadas por diversas autoridades (tab. n.º 1) se situam também sôbre essas linhas ou elas (fig. n.º 2). Prefere por isso manter a orientação de Von Schlippenbach supondo que: 1) os teores dos elementos principais se ajustem aos valores dessas misturas; 2) todos os demais óxidos presentes (e também CaF_2) sejam considerados como dissolvidos na escória; 3) os elementos dissolvidos incluem ZnO e Al_2O_3 , até valores máximos da ordem de 20% para a soma.

TABELA N.º 4

COMPOSIÇÕES DAS ESCÓRIAS bE PURAS DO SISTEMA
 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$ E VALORES DE α e β .

Escória	$2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ %	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ %	SiO_2 %	FeO %	CaO %	$\alpha = \frac{\text{SiO}_2}{\text{CaO}}$	$\beta = \frac{\text{FeO}}{\text{CaO}}$
bE ₀	0	100	51,07	0	48,99	1,0423	0
bE ₅	5	95	49,99	3,53	46,49	1,0753	0,0758
bE ₁₀	10	90	48,91	7,05	44,04	1,1105	0,1601
bE ₁₅	15	85	47,83	10,58	41,59	1,1499	0,2543
bE ₂₀	20	80	46,75	14,10	39,15	1,1942	0,3603
bE ₂₅	25	75	45,67	17,63	36,70	1,2444	0,4804
bE ₃₀	30	70	44,59	21,16	34,25	1,3018	0,6176
bE ₃₅	35	65	43,51	24,68	31,81	1,3680	0,7760
bE ₄₀	40	60	42,43	28,21	29,36	1,4452	0,9608
bE ₄₅	45	55	41,35	31,73	26,91	1,5365	1,1792
bE ₅₀	50	50	40,27	35,26	24,47	1,6460	1,4412
bE ₅₅	55	45	39,19	38,79	22,02	1,7800	1,7615
bE ₆₀	60	40	38,11	42,31	19,57	1,9472	2,1618
bE ₆₅	65	35	37,03	45,84	17,13	2,1624	2,6765
bE ₇₀	70	30	35,95	49,37	14,68	2,4492	3,3627
bE ₇₅	75	25	34,88	52,89	12,23	2,8509	4,3236
bE ₈₀	80	20	33,80	56,42	9,79	3,4533	5,7648
bE ₈₅	85	15	32,72	59,94	7,34	4,4573	8,1686
bE ₉₀	90	10	31,64	63,47	4,89	6,4653	12,9707
bE ₉₅	95	5	30,46	66,99	2,45	12,4489	27,3833
bE ₁₀₀	100	0	29,48	70,52	0	α	α

TABELA N.º 5
COMPOSIÇÕES DAS ESCÓRIAS ^sE PURAS DO SISTEMA
2FeO.SiO₂-4CaO.3SiO₂ E VALORES DE α e β.

Escória	2FeO.SiO ₂ %	4CaO.3SiO ₂ %	SiO ₂ %	FeO %	CaO %	α = $\frac{\text{SiO}_2}{\text{CaO}}$	β = $\frac{\text{CaO}}{\text{FeO}}$
^s E ₀	0	100	44,55	0	55,45	0,8033	0
^s E ₅	5	95	43,97	3,53	52,68	0,8312	0,0669
^s E ₁₀	10	90	43,04	7,05	49,91	0,8623	0,1413
^s E ₁₅	15	85	42,28	10,58	47,14	0,8970	0,2244
^s E ₂₀	20	80	41,53	14,10	44,37	0,9361	0,3179
^s E ₂₅	25	75	40,78	17,63	41,59	0,9804	0,4239
^s E ₃₀	30	70	40,02	21,16	38,81	1,0310	0,5450
^s E ₃₅	35	65	39,27	24,68	36,05	1,0894	0,6847
^s E ₄₀	40	60	38,52	28,21	33,27	1,1576	0,8478
^s E ₄₅	45	55	37,76	31,73	30,51	1,2381	1,0405
^s E ₅₀	50	50	37,01	35,26	27,73	1,3348	1,2717
^s E ₅₅	55	45	36,26	38,79	24,95	1,4529	1,5543
^s E ₆₀	60	40	35,51	42,31	22,18	1,6006	1,9075
^s E ₆₅	65	35	34,75	45,84	19,41	1,7904	2,3617
^s E ₇₀	70	30	33,99	49,37	16,64	2,0435	2,9672
^s E ₇₅	75	25	33,25	52,89	13,86	2,3979	3,8150
^s E ₈₀	80	20	32,49	56,42	11,09	2,9294	5,0867
^s E ₈₅	85	15	31,74	59,94	8,32	3,8154	7,2061
^s E ₉₀	90	10	30,98	63,47	5,55	5,5872	11,4472
^s E ₉₅	95	5	30,23	66,99	2,77	10,9028	24,1618
^s E ₁₀₀	100	0	29,48	70,52	0	∞	∞

Evidentemente essas considerações são aplicáveis às escórias normais, isto é às escórias nas quais a proporção de compostos outros que os essenciais não ultrapasse de 30%.

Como as escórias de Von Schlippenbach, as do autor são misturas de mono-silicato ferroso e bi-silicato cálcio ou de mono-silicato ferroso e sesqui-silicato cálcico. Os tipos adotados correspondem ao invés de misturas mencionadas, a misturas variáveis de 5 em 5% dos constituintes dos sistemas. Às primeiras, de bi-silicato cálcico, designou escórias ^bE e os índices correspondem às porcentagens de mono-silicato; às segundas, de sesqui-silicato cálcico, designou escórias ^sE, cujos índices também correspondem às porcentagens de mono-silicato.

As (tabs. ns. 4 e 5) encerram os valores das composições dessas escórias, considerados apenas os constituintes essenciais. Foram representados também os valores α e β das relações SiO₂/CaO e FeO/CaO dessas misturas. Êses índices simplificam grandemente a determinação dos leitos de fusão e serão largamente empregados em um outro trabalho do autor sobre o cálculo das cargas dos fornos de cuba de chumbo.

TABELA N.º 6
COMPOSIÇÕES DAS ESCÓRIAS bE CONTENDO DE 70 A 100% DE CONSTITUINTES ESSENCIAIS.

SiO ₂ +FeO+CaO %	b E 35			b E 40			b E 45			b E 50			b E 55		
	2FeO.SiO ₂ 35%	CaO 65%	SiO ₂	2FeO.SiO ₂ 40%	CaO 60%	SiO ₂	2FeO.SiO ₂ 45%	CaO 55%	SiO ₂	2FeO.SiO ₂ 50%	CaO 50%	SiO ₂	2FeO.SiO ₂ 55%	CaO 45%	SiO ₂
	α = 1,3680	β = 0,7760	α = 1,4452	β = 0,9608	α = 1,5365	β = 1,1792	α = 1,6460	β = 1,4412	α = 1,7800	β = 1,7615					
100	43,51	24,68	31,81	42,43	28,20	29,36	41,35	31,74	26,91	40,27	35,26	24,47	39,19	38,79	22,02
99	43,07	24,43	31,49	42,01	27,92	29,07	40,94	31,42	26,64	39,87	34,91	24,23	38,80	38,40	21,80
98	42,64	24,19	31,17	41,58	27,64	28,77	40,52	31,11	26,37	39,46	34,55	23,98	38,41	38,01	21,58
97	42,20	23,94	30,86	41,16	27,35	28,48	40,11	30,79	26,10	39,06	34,20	23,74	38,01	37,63	21,36
96	41,77	23,69	30,54	40,73	27,07	28,19	39,70	30,47	25,83	38,66	33,85	23,49	37,62	37,24	21,14
95	41,33	23,45	30,22	40,31	26,79	27,89	39,28	30,15	25,56	38,26	33,50	23,25	37,23	36,85	20,92
94	40,90	23,20	29,90	39,88	26,51	27,60	38,87	29,84	25,30	37,85	33,14	23,00	36,84	36,46	20,70
93	40,46	22,95	29,58	39,46	26,23	27,30	38,46	29,52	25,03	37,45	32,79	22,76	36,45	36,07	20,48
92	40,03	22,71	29,27	39,04	25,94	27,01	38,04	29,20	24,76	37,05	32,44	22,51	36,05	35,69	20,26
91	39,59	22,46	28,95	38,61	25,66	26,71	37,63	28,88	24,49	36,65	32,09	22,27	35,66	35,30	20,04
90	39,16	22,21	28,63	38,19	25,38	26,42	37,21	28,57	24,22	36,24	31,73	22,02	35,27	34,91	19,82
89	38,72	21,97	28,31	37,76	25,10	26,13	36,80	28,24	23,95	35,84	31,38	21,78	34,88	34,52	19,60
88	38,29	21,72	27,99	37,34	24,82	25,84	36,39	27,93	23,68	35,44	31,03	21,53	34,49	34,14	19,38
87	37,85	21,47	27,67	36,91	24,53	25,54	35,97	26,61	23,41	35,03	30,67	21,29	34,10	33,75	19,16
86	37,42	21,22	27,36	36,49	24,25	25,25	35,56	27,30	23,14	34,63	30,32	21,04	33,70	33,36	18,94
85	36,98	20,98	27,04	36,07	23,97	24,96	35,15	26,98	22,87	34,23	29,97	20,80	33,31	32,97	18,71
84	36,54	20,73	26,72	35,64	23,69	24,66	34,73	26,66	22,60	33,83	29,62	20,55	32,92	32,58	18,50
83	36,11	20,48	26,40	35,22	23,41	24,37	34,32	26,34	22,33	33,42	29,27	20,31	32,53	32,20	18,28
82	35,68	20,24	26,08	34,79	23,12	24,08	33,91	26,03	22,07	33,02	28,91	20,07	32,14	31,81	18,06
81	35,24	19,99	25,77	34,37	22,84	23,78	33,49	25,71	21,80	32,62	28,56	19,82	31,74	31,42	17,84
80	34,81	19,74	25,45	33,94	22,56	23,49	33,08	25,39	21,53	32,22	28,21	19,58	31,35	31,03	17,62
79	34,37	19,50	25,13	33,52	22,28	23,19	32,67	25,07	21,26	31,81	27,85	19,33	30,96	30,64	17,40
78	33,94	19,25	24,81	33,09	21,99	22,90	32,25	24,76	20,99	31,41	27,50	19,09	30,57	30,26	17,18
77	33,50	19,00	24,49	32,67	21,71	22,61	31,84	24,44	20,72	31,01	27,15	18,84	30,18	29,87	16,95
76	33,07	18,76	24,18	32,25	21,43	22,31	31,42	24,12	20,45	30,61	26,80	18,60	29,78	29,48	16,74
75	32,63	18,51	23,86	31,82	21,15	22,02	31,01	23,80	20,18	30,20	26,44	18,35	29,39	29,09	16,51
74	32,20	18,26	23,54	31,40	20,87	21,73	30,60	23,49	19,91	29,80	26,09	18,11	29,00	28,70	16,29
73	31,76	18,02	23,22	30,97	20,59	21,43	30,19	23,17	19,64	29,40	25,74	17,86	28,61	28,32	16,07
72	31,32	17,77	22,90	30,55	20,30	21,13	29,77	22,85	19,38	29,00	25,39	17,62	28,22	27,93	15,85
71	30,89	17,52	22,58	30,13	20,02	20,85	29,36	22,54	19,11	28,59	25,03	17,37	27,82	27,54	15,63
70	30,46	17,28	22,27	29,70	19,74	20,55	28,94	22,22	18,84	28,19	24,68	17,13	27,43	27,15	15,41

TABELA N.º 6 (continuação)
COMPOSIÇÕES DAS ESCÓRIAS bE CONTENDO DE 70 A 100% DE CONSTITUINTES ESSENCIAIS

SiO ₂ +FeO+CaO %	b E 60			b E 65			b E 70			b E 75			b E 80		
	2FeO.SiO ₂ 60%	CaO 40%	SiO ₂ %	2FeO.SiO ₂ 65%	CaO 35%	SiO ₂ %	2FeO.SiO ₂ 70%	CaO 30%	SiO ₂ %	2FeO.SiO ₂ 75%	CaO 25%	SiO ₂ %	2FeO.SiO ₂ 80%	CaO 20%	SiO ₂ %
	α=1,9472	β=2,1618	α=2,1624	β=2,6765	α=2,4492	β=3,3627	α=2,8509	β=4,3236	α=3,4533	β=5,7648					
100	38,11	42,32	19,57	37,03	45,84	17,13	35,95	49,37	14,68	34,88	52,89	12,23	33,79	56,52	9,79
99	37,73	41,90	19,37	36,66	45,38	16,96	35,59	48,88	14,53	34,53	52,36	12,09	33,45	55,95	9,69
98	37,35	41,47	19,18	36,29	44,92	16,79	35,23	48,38	14,39	34,18	51,83	11,98	33,11	55,39	9,59
97	36,97	41,05	18,98	35,92	44,46	16,62	34,87	47,89	14,24	33,83	51,30	11,85	32,77	54,82	9,49
96	36,59	40,63	18,79	35,55	44,01	16,44	34,51	47,40	14,09	33,48	50,77	11,73	32,44	54,26	9,39
95	36,20	40,20	18,59	35,18	43,55	16,27	34,15	46,90	13,95	33,14	50,24	11,61	32,10	53,69	9,30
94	35,82	39,78	18,40	34,81	43,09	16,10	33,79	46,41	13,80	32,79	49,72	11,49	31,76	53,13	9,20
93	35,44	39,36	18,20	34,44	42,63	15,93	33,45	45,91	13,65	32,44	49,18	11,36	31,42	52,56	9,10
92	35,06	38,93	18,00	34,07	42,17	15,76	33,07	45,42	13,51	32,09	48,66	11,24	31,09	51,99	9,01
91	34,68	38,51	17,81	33,70	41,71	15,59	32,71	44,93	13,35	31,74	48,13	11,12	30,75	51,43	8,91
90	34,30	38,08	17,61	33,32	41,26	15,42	32,35	44,43	13,21	31,39	47,60	10,99	30,41	50,87	8,81
89	33,92	37,66	17,42	32,96	40,80	15,24	31,99	43,94	13,07	31,04	47,07	10,89	30,07	50,30	8,71
88	33,54	37,24	17,22	32,59	40,34	15,07	31,64	43,44	12,92	30,69	46,54	10,75	29,73	49,74	8,61
87	33,16	36,82	17,03	32,22	39,88	14,90	31,28	42,95	12,77	30,35	46,01	10,63	29,39	49,17	8,52
86	32,77	36,40	16,83	31,85	39,42	14,73	30,92	42,45	12,62	29,99	45,58	10,50	29,06	48,61	8,42
85	32,39	35,97	16,63	31,48	38,96	14,56	30,56	41,96	12,49	29,65	44,96	10,38	28,72	48,04	8,32
84	32,01	35,55	16,44	31,11	38,51	14,39	30,20	41,47	12,33	29,29	44,33	10,26	28,38	47,48	8,22
83	31,63	35,13	16,24	30,73	38,05	14,22	29,84	40,98	12,18	28,96	43,89	10,14	28,04	46,91	8,13
82	31,25	34,70	16,05	30,36	37,59	14,05	29,48	40,48	12,04	28,60	43,37	10,02	27,71	46,35	8,03
81	30,87	34,28	15,85	29,99	37,13	13,88	29,12	39,99	11,89	28,25	42,84	9,89	27,36	45,78	7,93
80	30,49	33,86	15,66	29,62	36,67	13,70	28,76	39,50	11,74	27,90	42,31	9,77	27,03	45,22	7,83
79	30,11	33,43	15,46	29,25	36,21	13,53	28,40	39,00	11,60	27,55	41,78	9,65	26,69	44,65	7,73
78	29,73	33,01	15,26	28,88	35,75	13,36	28,04	38,51	11,45	27,21	41,25	9,53	26,35	44,09	7,64
77	29,35	32,59	15,07	28,51	35,30	13,19	27,68	38,01	11,30	26,86	40,73	9,41	26,02	43,52	7,54
76	28,96	32,16	14,87	28,14	34,84	13,02	27,32	37,52	11,16	26,51	40,20	9,28	25,68	42,95	7,44
75	28,58	31,74	14,68	27,77	34,38	12,85	26,96	37,03	11,01	26,16	39,68	9,16	25,34	42,39	7,34
74	28,20	31,32	14,48	27,40	33,92	12,68	26,60	36,53	10,86	25,81	39,14	9,04	25,00	41,82	7,24
73	27,82	30,89	14,29	27,03	33,46	12,50	26,24	36,04	10,72	25,46	38,61	8,92	24,67	41,26	7,15
72	27,44	30,47	14,09	26,66	33,00	12,36	25,88	35,55	10,57	25,11	38,08	8,79	24,33	40,69	7,05
71	27,06	30,05	13,89	26,29	32,55	12,16	25,52	35,05	10,42	24,76	37,55	8,67	23,99	40,13	6,95
70	26,68	29,62	13,70	25,92	32,09	11,99	25,16	34,56	10,28	24,41	37,02	8,55	23,65	39,56	6,85

TABELA N.º 7
COMPOSIÇÕES DAS ESCÓRIAS S E CONTENDO DE 70 A 100% DE CONSTITUINTES ESSENCIAIS

SiO ₂ + FeO + CaO %	S E 35			S E 40			S E 45			S E 50			S E 55		
	2FeO.SiO ₂ 35%	4CaO.3SiO ₂ 65%	CaO %	2FeO.SiO ₂ 40%	4CaO.3SiO ₂ 60%	CaO %	2FeO.SiO ₂ 45%	4CaO.3SiO ₂ 55%	CaO %	2FeO.SiO ₂ 50%	4CaO.3SiO ₂ 50%	CaO %	2FeO.SiO ₂ 55%	4CaO.3SiO ₂ 45%	CaO %
	SiO ₂ %	FeO %	CaO %	SiO ₂ %	FeO %	CaO %	SiO ₂ %	FeO %	CaO %	SiO ₂ %	FeO %	CaO %	SiO ₂ %	FeO %	CaO %
100	39,27	24,68	36,05	38,52	28,21	33,27	37,77	31,75	30,50	37,01	35,26	27,73	36,26	38,79	24,94
99	38,88	24,43	35,69	38,13	27,93	32,94	37,39	31,41	30,19	36,64	34,91	27,45	35,90	38,40	24,70
98	38,48	24,19	35,33	37,75	27,65	32,60	37,01	31,09	29,89	36,27	34,55	27,18	35,53	38,01	24,45
97	38,09	23,94	34,97	37,36	27,36	32,27	36,64	30,78	29,58	35,90	34,21	26,90	35,17	37,63	24,20
96	37,70	23,69	34,61	36,98	27,08	31,94	36,26	30,46	29,28	35,53	33,85	26,62	34,81	37,24	23,95
95	37,31	23,45	34,25	36,59	26,80	31,61	35,88	30,14	28,97	35,15	33,50	26,34	34,45	36,85	23,70
94	36,91	23,20	33,89	36,21	26,52	31,27	35,50	29,83	28,67	34,79	33,14	26,07	34,08	36,46	23,45
93	36,52	22,95	33,53	35,82	26,24	30,94	35,13	29,51	28,36	34,42	32,79	25,79	33,72	36,07	23,20
92	36,13	22,71	33,17	35,44	25,95	30,61	34,75	29,19	28,06	34,05	32,44	25,51	33,36	35,36	22,95
91	35,74	22,46	32,81	35,05	25,67	30,28	34,37	28,87	27,75	33,68	32,09	25,23	32,99	35,30	22,70
90	35,34	22,21	32,44	34,67	25,39	29,94	33,99	28,56	27,45	33,31	31,73	24,96	32,63	34,91	22,45
89	34,95	21,97	32,08	34,28	25,11	29,61	33,62	28,24	27,14	32,94	31,38	24,68	32,26	34,52	22,20
88	34,56	21,72	31,72	33,90	24,82	29,28	33,24	27,92	26,84	32,47	31,03	24,40	31,91	34,14	21,96
87	34,16	21,47	31,36	33,51	24,54	28,94	32,86	27,61	26,53	32,20	30,68	24,13	31,55	33,75	21,71
86	33,77	21,22	31,00	33,13	24,26	28,61	32,48	27,29	26,23	31,83	30,32	23,85	31,18	33,36	21,46
85	33,38	20,98	30,64	32,74	23,98	28,28	32,10	26,97	25,92	31,46	29,97	23,57	30,82	32,97	21,21
84	32,99	20,73	30,28	32,36	23,70	27,95	31,73	26,65	25,62	31,09	29,62	23,29	30,46	32,58	20,96
83	32,59	20,48	29,92	31,97	23,41	27,61	31,35	26,33	25,31	30,72	29,27	23,02	30,09	32,20	20,71
82	32,20	20,24	29,56	31,59	23,13	27,28	30,97	26,02	25,01	30,35	28,91	22,74	29,73	31,81	20,46
81	31,81	19,99	29,20	31,20	22,85	26,95	30,59	25,70	24,70	29,98	28,56	22,46	29,37	31,42	20,21
80	31,42	19,74	28,84	30,82	22,57	26,62	30,22	25,38	24,40	29,61	28,21	22,18	29,01	31,03	19,96
79	31,02	19,50	28,48	30,43	22,29	26,28	29,84	25,07	24,09	29,24	27,85	21,91	28,65	30,64	19,71
78	30,63	19,25	28,12	30,05	22,00	25,95	29,46	24,75	23,79	28,87	27,50	21,63	28,28	30,26	19,46
77	30,24	19,00	27,76	29,66	21,72	25,62	29,08	24,43	23,48	28,50	27,15	21,35	27,92	29,87	19,21
76	29,85	18,76	27,40	29,28	21,44	25,29	28,71	24,11	23,18	28,13	26,79	21,07	27,56	29,48	18,96
75	29,45	18,51	27,04	28,89	21,16	24,95	28,32	23,80	22,87	27,76	26,45	20,80	27,19	29,09	18,71
74	29,06	18,26	26,68	28,50	20,88	24,62	27,95	23,48	22,57	27,39	26,09	20,52	26,83	28,70	18,46
73	28,67	18,02	26,32	28,12	20,59	24,29	27,57	23,17	22,26	27,02	25,74	20,24	26,47	28,32	18,21
72	28,27	17,77	25,96	27,73	20,31	23,95	27,19	22,85	21,96	26,65	25,39	19,97	26,11	27,93	17,96
71	27,88	17,52	25,60	27,35	20,03	23,62	26,82	22,53	21,65	26,28	25,03	19,69	25,74	27,54	17,71
70	27,49	17,28	25,23	26,96	19,75	23,29	26,44	22,21	21,35	25,91	24,68	19,41	25,38	27,15	17,46

TABELA N.º 7 (continuação)
COMPOSIÇÕES DAS ESCÓRIAS SE CONTENDO DE 70 A 100% DE CONSTITUINTES ESSENCIAIS

SiO ₂ + FeO + CaO %	s E 60			s E 65			s E 70			s E 75			s E 80		
	2FeO.SiO ₂ 60%	4CaO.3SiO ₂ 40%	α = 1,9075	2FeO.SiO ₂ 65%	4CaO.3SiO ₂ 35%	α = 2,3617	2FeO.SiO ₂ 70%	4CaO.3SiO ₂ 30%	α = 2,9672	2FeO.SiO ₂ 75%	4CaO.3SiO ₂ 25%	α = 2,3979	2FeO.SiO ₂ 80%	4CaO.3SiO ₂ 20%	α = 2,9294
	SiO ₂ %	FeO %	CaO %	SiO ₂ %	FeO %	CaO %	SiO ₂ %	FeO %	CaO %	SiO ₂ %	FeO %	CaO %	SiO ₂ %	FeO %	CaO %
100	35,50	42,32	22,18	34,75	45,84	19,41	33,40	49,36	16,84	33,24	52,89	13,87	32,49	56,42	11,09
99	35,14	41,90	21,96	34,40	45,38	19,22	33,07	48,87	16,47	32,91	52,36	13,73	32,17	55,86	10,98
98	34,79	41,47	21,74	34,05	44,92	19,02	32,73	48,37	16,31	32,58	51,83	13,59	31,84	55,29	10,87
97	34,43	41,05	21,51	33,71	44,46	18,83	32,40	47,88	16,14	32,24	51,30	13,45	31,52	54,73	10,76
96	34,08	40,63	21,29	33,36	44,01	18,63	32,06	47,39	15,97	31,91	50,77	13,32	31,19	54,16	10,65
95	33,72	40,20	21,01	33,01	43,55	18,44	31,73	46,89	15,81	31,58	50,25	13,18	30,97	53,60	10,54
94	33,37	39,78	20,85	32,66	43,09	18,24	31,40	46,40	15,64	31,25	49,72	13,04	30,54	53,03	10,42
93	33,01	39,36	20,63	32,22	42,63	18,05	31,06	45,90	15,48	30,91	49,19	12,90	30,22	52,47	10,31
92	32,66	38,93	20,41	31,97	42,17	17,86	30,73	45,41	15,31	30,58	48,66	12,76	29,89	51,91	10,20
91	32,30	38,51	20,18	31,62	41,71	17,66	30,39	44,92	15,14	30,25	48,13	12,62	29,57	51,34	10,09
90	31,95	38,09	19,96	31,27	41,26	17,47	30,06	44,42	14,98	29,92	47,60	12,48	29,24	50,78	9,98
89	31,59	37,66	19,74	30,93	40,80	17,28	29,73	43,93	14,81	29,58	47,07	12,34	28,92	50,21	9,87
88	31,24	37,24	19,52	30,58	40,34	17,08	29,39	43,44	14,64	29,25	46,54	12,21	28,59	49,65	9,76
87	30,88	36,82	19,30	30,23	39,88	16,89	29,06	42,94	14,48	28,92	46,01	12,07	28,27	49,09	9,65
86	30,53	36,40	19,07	29,88	39,42	16,69	28,72	42,45	14,31	28,59	45,49	11,93	27,94	48,52	9,54
85	30,17	35,97	18,85	29,54	38,96	16,50	28,39	41,96	14,14	28,25	44,96	11,79	27,62	47,96	9,43
84	29,82	35,55	18,63	29,19	38,51	16,30	28,06	41,46	13,98	27,92	44,43	11,65	27,29	47,39	9,32
83	29,46	35,13	18,41	28,84	38,05	16,11	27,72	40,97	13,81	27,59	43,90	11,51	26,97	46,83	9,20
82	29,11	34,70	18,19	28,49	37,59	15,92	27,39	40,48	13,64	27,26	43,37	11,37	26,64	46,26	9,09
81	28,75	34,28	17,97	28,15	37,13	15,72	27,05	39,98	13,48	26,92	42,84	11,23	26,32	45,70	8,98
80	28,40	33,86	17,74	27,80	36,67	15,53	26,72	39,49	13,31	26,59	42,31	11,09	25,99	45,14	8,87
79	28,04	33,43	17,52	27,45	36,21	15,33	26,39	38,99	13,15	26,26	41,78	10,96	25,67	44,57	8,76
78	27,69	33,01	17,30	27,10	35,76	15,14	26,05	38,50	12,98	25,93	41,25	10,82	25,34	44,01	8,65
77	27,33	32,59	17,08	26,76	35,30	14,96	25,72	38,01	12,81	25,59	40,73	10,68	25,02	43,44	8,54
76	26,98	32,16	16,86	26,41	34,84	14,75	25,38	37,51	12,65	25,26	40,20	10,54	24,69	42,88	8,43
75	26,62	31,74	16,64	26,06	34,38	14,56	25,05	37,02	12,48	24,93	39,67	10,40	24,37	42,31	8,32
74	26,27	31,32	16,41	25,71	33,92	14,36	24,72	36,53	12,31	24,60	39,14	10,26	24,04	41,75	8,21
73	25,91	30,89	16,19	25,37	33,46	14,17	24,38	36,04	12,15	24,27	38,61	10,13	23,72	41,19	8,10
72	25,56	30,47	15,97	25,02	33,00	13,98	24,04	35,54	11,98	23,93	38,08	9,97	23,39	40,62	7,98
71	25,20	30,05	15,75	24,67	32,55	13,78	23,71	35,05	11,81	23,60	37,57	9,85	23,07	40,06	7,87
70	24,85	29,62	15,53	24,32	32,09	13,59	23,38	34,55	11,65	23,27	37,03	9,71	22,74	39,49	7,76

Nos diagramas ternários das figs. ns. 4 e 5 foram também representadas as retas que definem as escórias ^bE e ^sE bem como os pontos correspondentes às misturas consideradas.

Como as escórias contêm elementos acessórios dissolvidos, como mostrou anteriormente, — M₉O, MnO, BaO, Al₂O₃, ZnO, PbO e CaF₂ — calculou o autor as composições das escórias dos tipos ^bE (tab. n.º 6) e ^sE (tab. n.º 7) para valores de SiO₂, FeO e CaO compreendidos entre 70 e 100%.

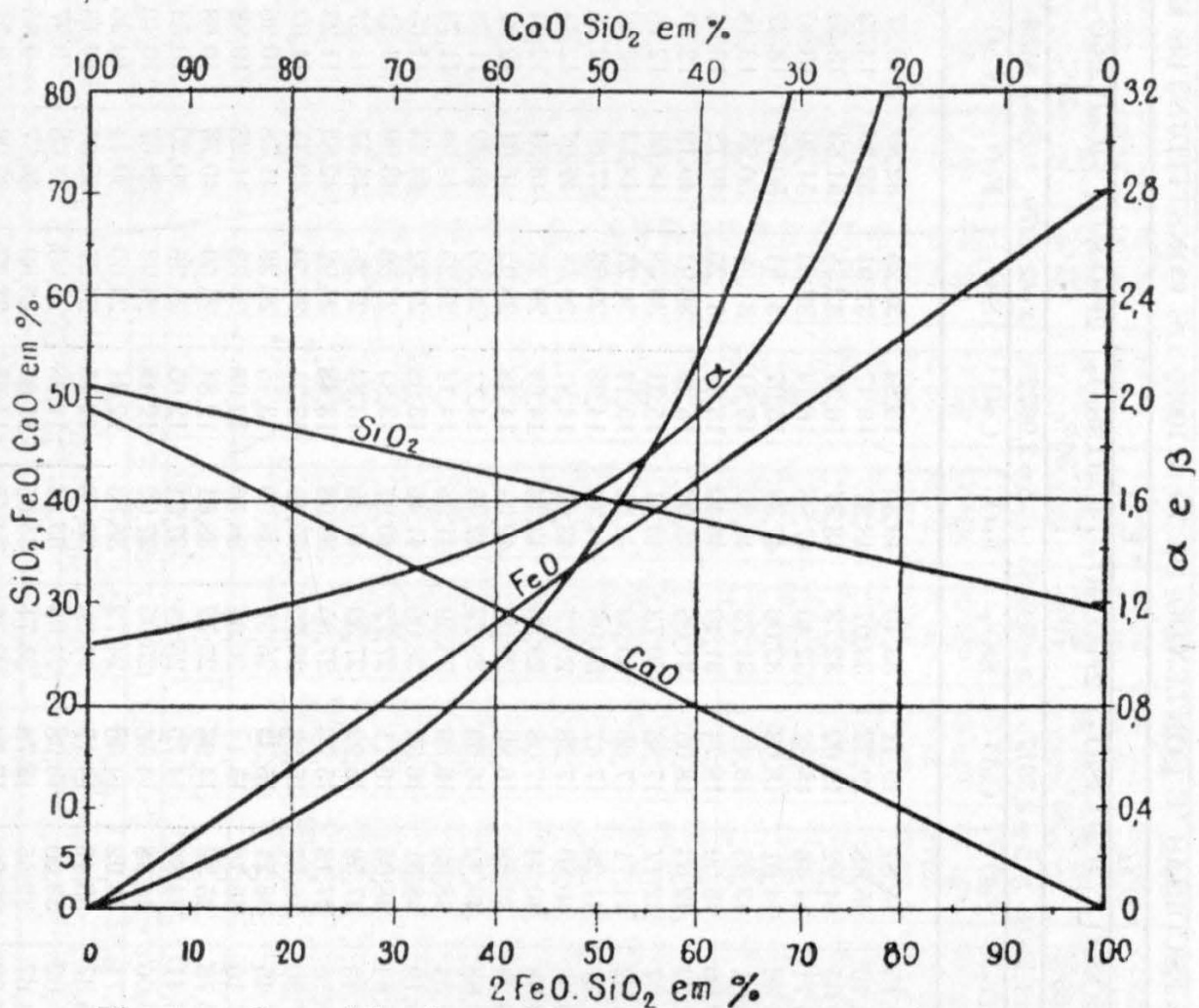


Fig. 4 — Composições das escórias ^bE do sistema $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ e curvas de variação de α e β .

As tabelas compreendem as escórias entre ^bE₃₅ e ^bE₈₀ e entre ^sE₃₅ e ^sE₈₀. As escórias com índices inferiores a 35 e superiores a 80 não são recomendáveis pelo que foi exposto na discussão das temperaturas de formação e de fusão, da viscosidade e do pêsso específico.

As escórias de numerosas usinas (fig. n.º 3) compreendidas entre as linhas ^bE e ^sE podem ser consideradas como misturas de tipos correspondentes de escórias. Assim a escória n.º 5 (fig. n.º 3) e mistura das escórias ^bE₆₀ e ^sE₆₁ e as proporções dêsses constituintes podem ser calculadas facilmente a partir do diagrama ternário.

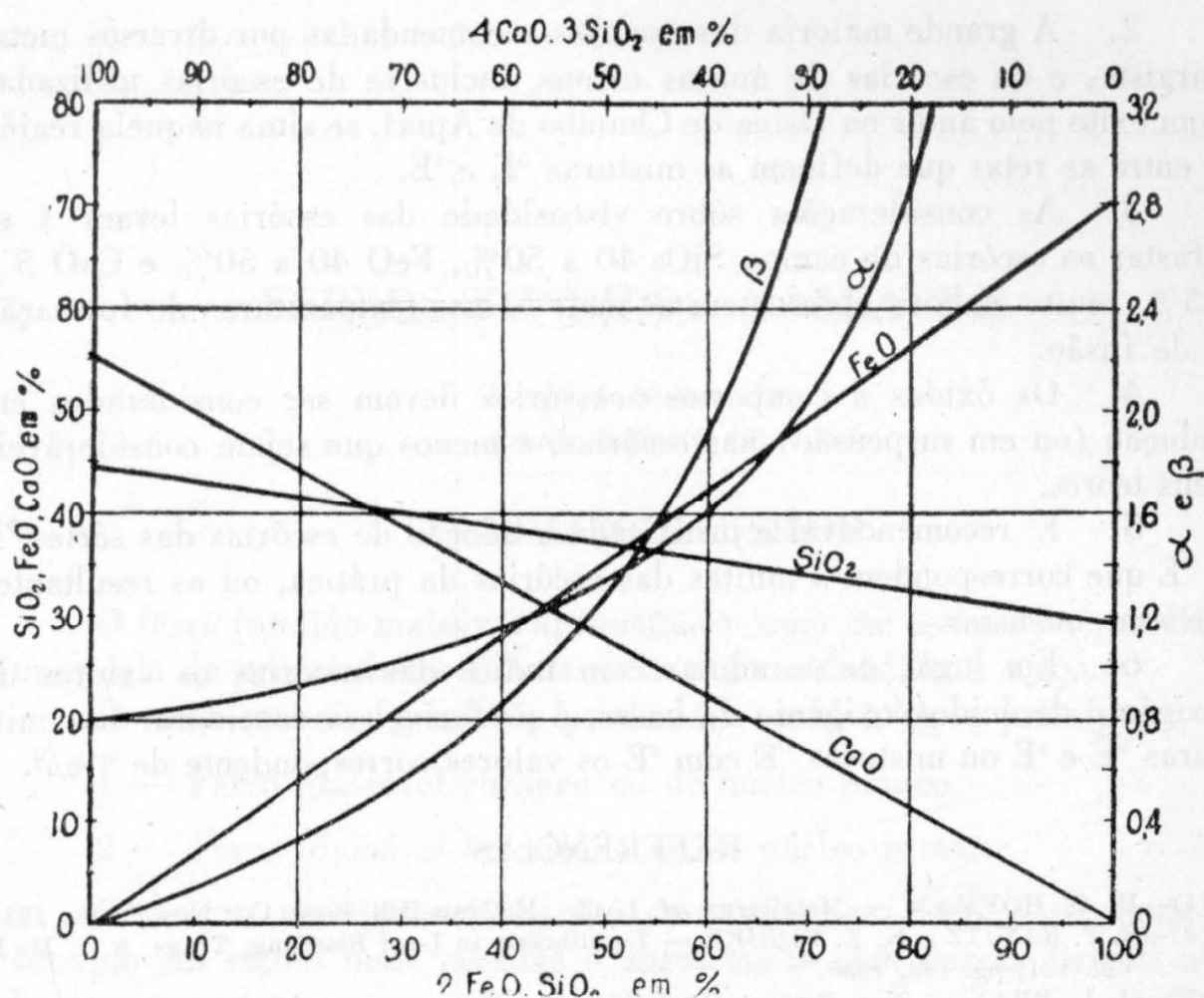


Fig. 5 — Composição das escórias sE do sistema $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 - 4\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$ e curvas de variação de α e β .

As escórias cujos constituintes essenciais se situam fora do campo delimitado pelas composições ^bE e ^sE podem ser consideradas como misturas de outras famílias de escórias, resultantes de mistura de outros silicatos. As escórias situadas acima de ^bE podem ser consideradas como misturas de $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 - 2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$ e de ^bE . Da mesma forma, as escórias situadas abaixo de ^sE podem ser consideradas como resultantes de soluções de escórias $4\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ e ^sE .

Mostrou-se que são relativamente raras as escórias cujas composições se situam exteriormente ao campo $^b\text{E} - ^s\text{E}$ e o conhecimento precário que se tem até hoje dessas escórias torna recomendável a sua rejeição, pelo menos nos casos em que os leitos de fusão permitem a escolha de escórias bem conhecidas e experimentadas, como são as situadas naquela região.

CONCLUSÕES.

1. As curvas de igual posto de fusão das escórias puras do sistema $\text{SiO}_2 - \text{FeO} - \text{CaO}$ mostram a existência de uma larga faixa situada abaixo da curva de 1200°C .

2. A grande maioria das escórias recomendadas por diversos metalurgistas e de escórias de muitas usinas, inclusive de escórias utilizadas com êxito pelo autor na Usina de Chumbo de Apiaí, se situa naquela região e entre as retas que definem as misturas ^bE e ^sE.

3. As considerações sobre viscosidade das escórias levam a se afastar as escórias do campo SiO₂ 40 a 50%, FeO 40 a 50% e CaO 5 a 15%, muito embora apresentem as mais baixas temperaturas de formação e de fusão.

4. Os óxidos e compostos acessórios devem ser considerados em solução (ou em suspensão) nas escórias, a menos que sejam consideráveis seus teores.

5. É recomendável e justificada a adoção de escórias das séries ^bE e ^sE que correspondem a muitas das escórias da prática, ou as resultantes de suas misturas.

6. Em lugar de se adotar com índice das escórias os valores de oxigênio de ácidos/oxigênio de bases, é preferível se considerar nas misturas ^bE e ^sE ou misturas ^bE com ^sE os valores correspondente de α e β .

REFERÊNCIAS

- (1)—H. O. HOFMAN — Metallurgy of Lead. McGraw-Hill Book Co. New York, 1918.
- (2)—S. F. RAVITZ e K. E. FISHER — Equilibrium in Lead Smelting. Trans. A. I. M. E. Vol. 121, pg. 122, 1936.
- (3)—J. L. BRAY — Non Ferrous Production Metallurgy. — pg. 22 John Wiley & Sons. New York, 1941.
- (4)—W. ALLEN SMITH — in H. O. Hofman, op. cit. pg. 311.
- (5)—W. S. REID — Eng. & Mining Journal Press, vol. 123, 1927 — in E. Proust Metallurgie des Metaux Autres que le Fer. pg. 173. Librairie Polytechnique, Paris, 1931.
- (6)—A. F. BEASLEY — The Bunker Hill Smelter, a Modern Plant. Eng. and Min. Journal vol. n.º 140, n.º 8, 1939.
- (7)—D. M. LIDDELL — Handbook of Non Ferrous Metallurgy, 2.º vol. pgs. 166-168. McGraw-Hill Book Co., New York, 1935.
- (8)—H. O. HOFMAN — op. cit. pgs. 218-220.
- (9)—G. H. CLEVINGER — Blast Furnace Practice at Midvale, Utah, Trans. A. I. M. E. vol. n.º 121, pag. 55, 1936.
- (10)—P. C. FEDDERSEN e H. E. LEE — Blast Furnace Practice at the Bunker Hill Smelter — Trans A. I. M. E., vol. 121, pg. 76, 136.
- (11)—C. M. WARNER — Lead Furnace Practice in Missouri. — Trans A. I. M. E., vol. n.º 121, pg. 81, 1936.
- (12)—P. S. MORSE — T. P. n.º 22, A. I. M. E., 1929.
- (13)—J. E. HARRIS — Physical Constants of Lead, pg. 1527. Metals Handbook, A. S. M., 1939.
- (14)—ILES — in H. O. Hofman, op. cit. pg. 314.
- (15)—AUSTIN — Eng. & Mining Journal, vol. 78, pg. 253, 1904.
- (16)—DWIGHT e MATHEWSON — Trans. A. I. M. E., vol. 56 pg. 627, 942, 1916.
- (17)—MATHESIUS — Stahl und Eisen, vol. 28, pg. 1121, 1938 in H. O. Hofman, op. cit. pg. 320.
- (18)—H. LANG. — Studies in Slag Formation. Eng. & Mining Journal Press, vol. 121, 126 in E. Proust, op. cit. pg. 171.
- (19)—F. von SCHILIPPENBACH — Metall und Erz, Heft 14, in E. Proust op. cit. pgs. 178-190.

FERROS FUNDIDOS MALEAVEIS

Manoel A. Moraes (1)

Renato Refinetti (2)

INFORMAÇÕES GERAIS

O ferro fundido maleável apresenta-se como um estágio intermediário na escala de propriedades físicas entre o ferro fundido e o aço.

De uma maneira geral são produzidos em dois tipos principais:

1 — Ferro Maleável europeu ou de núcleo branco.

2 — Ferro Maleável americano ou de núcleo preto.

O produto americano é superior ao europeu em ductilidade, pode ser fundido em seções mais pesadas e apresenta-se com dureza Brinell mais baixa.

Para ambos os tipos o processo de fabricação se dá em 2 fases:

1 — Na primeira funde-se a peça com material branco, duro e quebradiço.

2 — Na segunda, trata-se este material em fornos especiais segundo ciclos determinados.

E' condição indispensável que o material apresente a composição química adequada ao tratamento a que vai ser submetido.

Para realização do produto tem-se que encarar as seguintes condições:

1 — MOLDAGEM.

2 — FUNDIÇÃO.

3 — ESTUDO TEÓRICO DA MALEABILIZAÇÃO.

4 — CICLO DE RECOZIMENTO.

5 — FORNOS DE RECOZIMENTO.

(1) e (2) — Engs. da Divisão de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.

1 — MOLDAGEM

Considerando o caso dos ferros maleáveis em particular, segundo um critério de produção, cumpre destacar os seguintes itens:

- a) Areia.
- b) Fluidez e Retração.
- c) Sistema de alimentação.
- d) Placas.

a) AREIA

- 1 — Areia de moldagem.
- 2 — Areia de machos.

1 — *Areia de moldagem*

Em geral as peças em ferro maleável não devem ultrapassar 25mm de espessura, o que condiciona pesos relativamente pequenos.

Dietert aconselha para moldagem areias sintéticas com as seguintes características:

Peças finas:

Umidade	6 a 8%
Permeabilidade	20 a 30
Compressão a verde	6,5 a 7,5 lbs/pol ²
Argila	8 a 13
Finura	120 a 92
Ponto de sinterização	2500° F

Peças grossas:

Umidade	5,5 a 7,5%
Permeabilidade	40 a 60
Compressão a verde	6,5 a 7,5 lbs/pol ²
Argila	8 a 13
Finura	85 a 70
Ponto de sinterização	2500° F

São dadas abaixo duas análises granulométricas de areias usadas para ferro maleável:

Paneiras	Tipo A	Tipo B
10	—	0,11
20	0,04	0,00
30	2,80	0,60
40	6,08	1,71
50	22,60	6,69
60	22,60	14,50
70	3,40	16,74
80	28,28	27,34
90	8,32	20,08
100	1,20	7,73
200	3,40	9,32
Fundos	0,96	0,29
Porcentagem retirada	76,88	73,66
Bentonita	3%	3%
Carvão em pó Cardiff	2%	3%
Umidade	4-4,5%	4-4,5%

Estas areias utilizadas sem carvão não apresentaram bons resultados. Com adição de 2%, obteve-se bom acabamento superficial.

O uso da areia sintética permite obter os benefícios de uma alta permeabilidade, de um leve aumento de resistência à compressão a verde e de uma baixa umidade, ao lado de um melhor acabamento superficial.

2 — Areia de macho

Para os machos o módulo de finura da areia usada deve ser da ordem de 100 com distribuição granulométrica comparável com as seguintes:

MÓDULO DE FINURA

Peneira N.º	Porcentagem retida	
6	—	—
12	—	—
20	0,2	—
30	0,25	0,2
40	0,5	0,8
50	0,6	5,0
70	2,1	14,0
100	17,2	29,0
140	45,05	36,0
200	21,45	10,0
270	10,4	4,3
Fundo	1,0	0,3
Argila A. F. A. %	1,25	0,7
Classe de argila A. F. A.	B	B
Módulo de finura A. F. A.	114	90
Classe de grão A. F. A.	3	4
Permeabilidade	37	45

A finura deverá variar de acôrdo com o tamanho da peça.

Para os machos a distribuição granulametrica da areia deverá ser tal que pelo menos 75% dos grãos estejam retidos em 3 peneiras consecutivas.

A forma do grão deverá ser de redondos para sub-angulares, pois não se tem necessidade de grandes resistências, mas sim de boa permeabilidade e bom acabamento.

As areias para macho, necessitando alta colapsibilidade, devem conter ligadores tipos cereal. Assim é comum o uso de relações de 0,75 a 1,25% dêste ligador ao lado de óleos de milho ou linhaça na relação de 80 para 1 em pêso.

A umidade, nos casos gerais de trabalho em bancada, varia de 4 a 6%.

Após a confecção, os machos são secos em estufas, para garantir o controle perfeito da umidade.

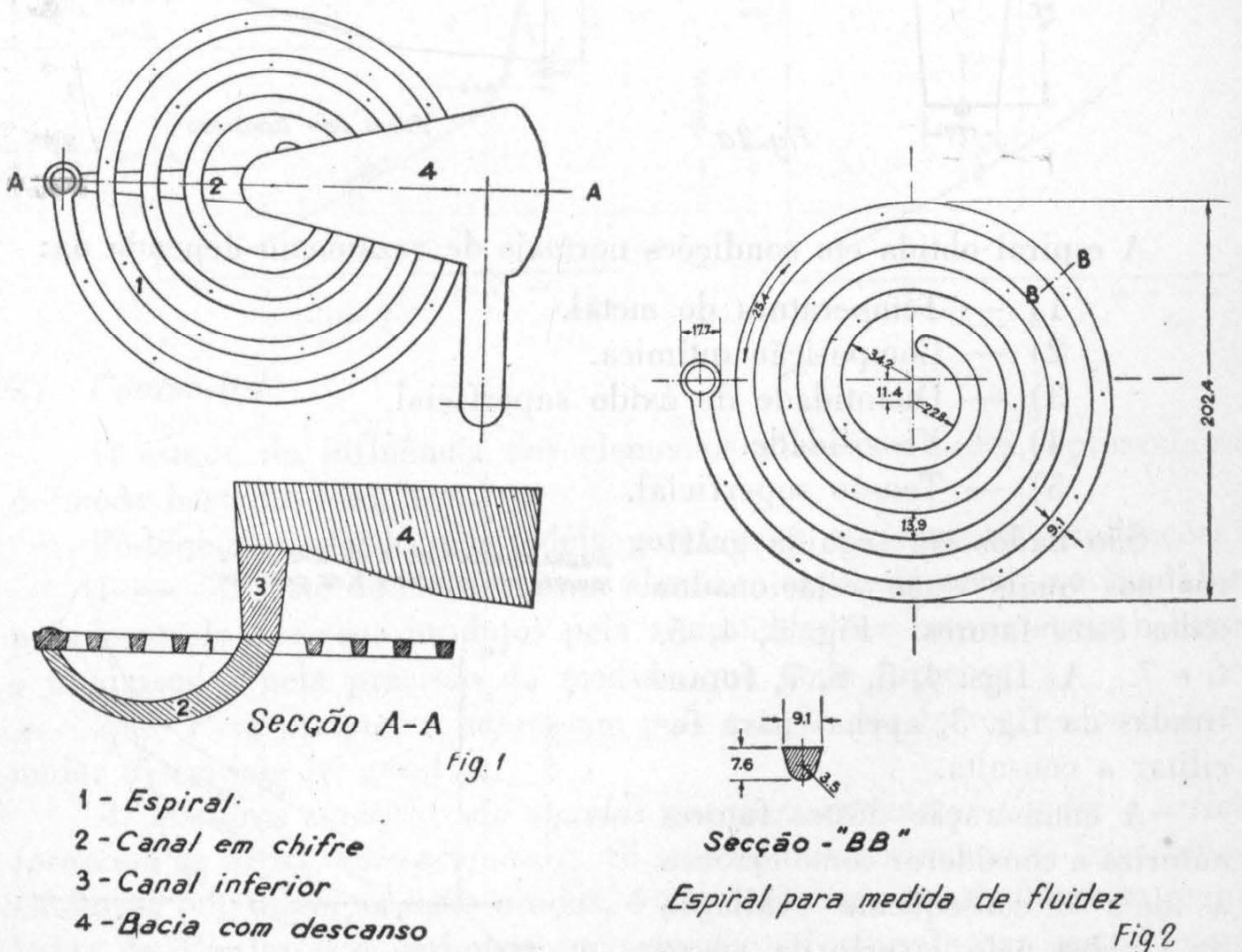
b) FLUIDEZ E RETRAÇÃO

O ferro fundido branco apresenta-se com baixa fluidez e alto coeficiente de retração, fatores êstes muito nocivos as características de moldabilidade.

1) FLUIDEZ

A fluidez é definida como a propriedade que o metal apresenta em fluir (correr) livremente e encher inteiramente as cavidades do molde.

O estudo, desta propriedade, é feito com o auxílio da placa espiral. Como logo resulta da observação do processo utilizado, a fluidez é diretamente proporcional ao comprimento da espiral medido em cms. ou polegadas. Figs. 1 e 2 e 2a e 2b.



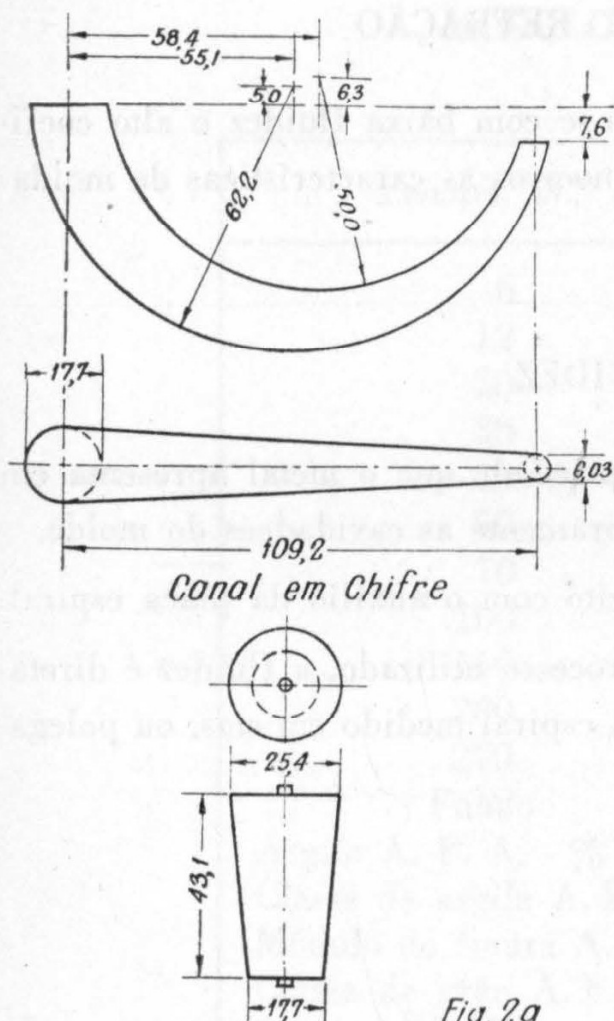
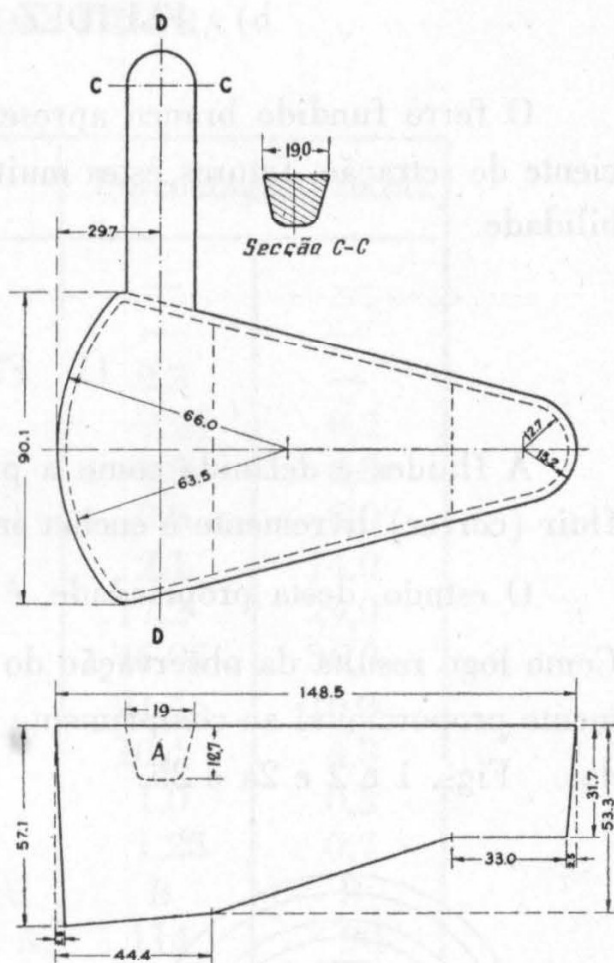


Fig. 2a



Bacia com Descanso

Fig. 2B

A espiral obtida em condições normais de vazamento depende da:

- 1) — Temperatura do metal.
- 2) — Composição química.
- 3) — Quantidade de óxido superficial.
- 4) — Viscosidade.
- 5) — Tensão superficial.

São dados em seguida gráficos nos quais estão relacionados todos êstes fatores. Fig. 3, 4, 5, 6 e 7. As figs. 4, 5, 6, 7, foram tiradas da fig. 3, apenas para facilitar a consulta.

A enumeração dêstes fatores autoriza a considerar como errônea a idéia e conseqüente avaliação da fluidez pelo inverso da viscosidade.

DIAGRAMA MOSTRANDO A RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA, FLUIDEZ E % DE CARBONO

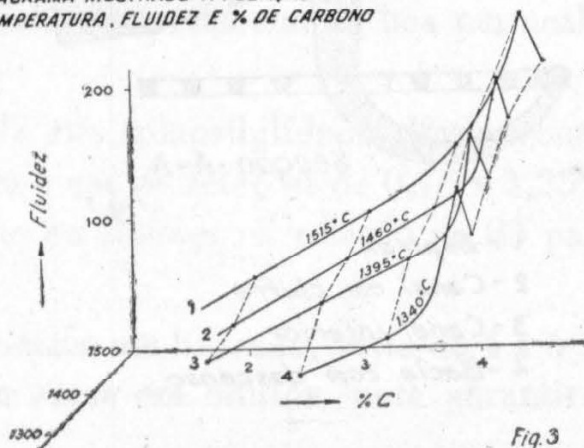
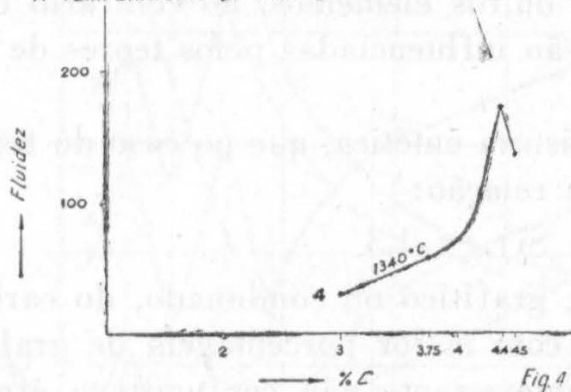
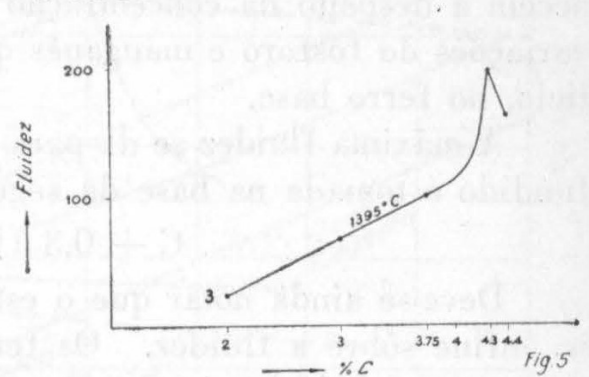
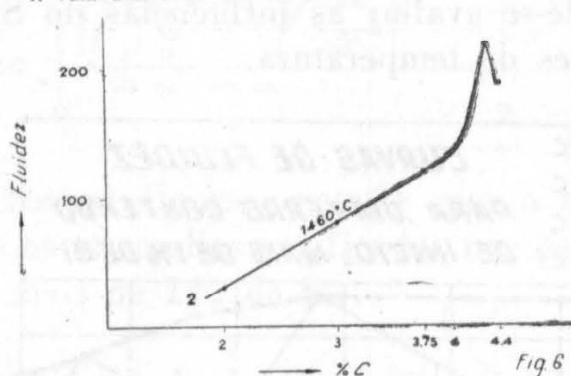
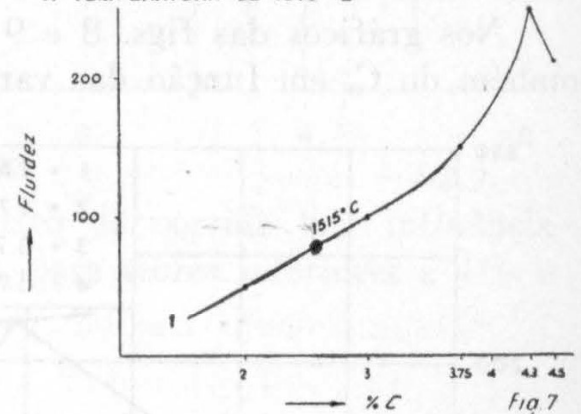


Fig. 3

1) *Temperatura*

E' o fator que mais afeta a fluidez. Quando se funde ferro branco, se tem que apelar para as altas temperaturas de vazamento (1 500°C ou seja 2640° F) no sentido de obter fluidez suficiente para enchimento das peças.

CURVA DE FLUIDEZ EM FUNÇÃO DE C PARA
A TEMPERATURA DE 1340°CCURVA DE FLUIDEZ EM FUNÇÃO DE C PARA
A TEMPERATURA DE 1395°CCURVA DE FLUIDEZ EM FUNÇÃO DE C PARA
A TEMPERATURA DE 1460°CCURVA DE FLUIDEZ EM FUNÇÃO DE C PARA
A TEMPERATURA DE 1515°C2) *Composição*

O estudo da influência dos elementos sôbre a fluidez, apresenta-se de modo bastante complexo.

Pode-se dar apenas uma idéia geral, com as seguintes explicações:

1 — O teste de fluidez é um elemento capaz de servir ao fundidor para controle dos seus produtos pela simplicidade e conveniência e para o pesquisador pela precisão da medida que pode fornecer.

2 — Para os que se interessam pelo estudo dos ferros, se pode formular a seguinte lei geral:

As misturas eutéticas são aquelas que possuem maior fluidez e assim fornecem as peças mais perfeitas. Si se considerar sômente as ligas hipoeutéticas, por serem as mais usadas, é possível dizer que o elemento regulador da fluidez é o carbono, em seguida o fósforo e em certos casos (abaixo de 1%) o silício.

O manganês apresenta pouca influência. A quantidade e direção de sua influência é essencialmente função da composição do metal considerado.

3 — As barras para teste de fluidez têm permitido o alcance de certos fenômenos até agora desconhecidos.

Com relação as anomalias do silício, deve-se notar que elas permanecem a despeito da concentração dos outros elementos, ao contrário das variações do fósforo e manganês que são influenciadas pelos teores de silício, no ferro base.

A máxima fluidez se dá para a mistura eutética, que no caso do ferro fundido é tomada na base da seguinte relação:

$$C + 0,3 (P + Si) = 4,3$$

Deve-se ainda notar que o estado, grafítico ou combinado, do carbono influe sobre a fluidez. Os ferros com maior porcentagem de grafita apresentam mais baixa fluidez. É interessante não confundir o efeito do carbono grafítico diminuindo o fluidez, com o aumento causado nos ferros cinzentos, cuja análise satisfaz as condições do eutético.

Nos gráficos das figs. 8 e 9 pode-se avaliar as influências do Si e também do C, em função das variações de temperatura.

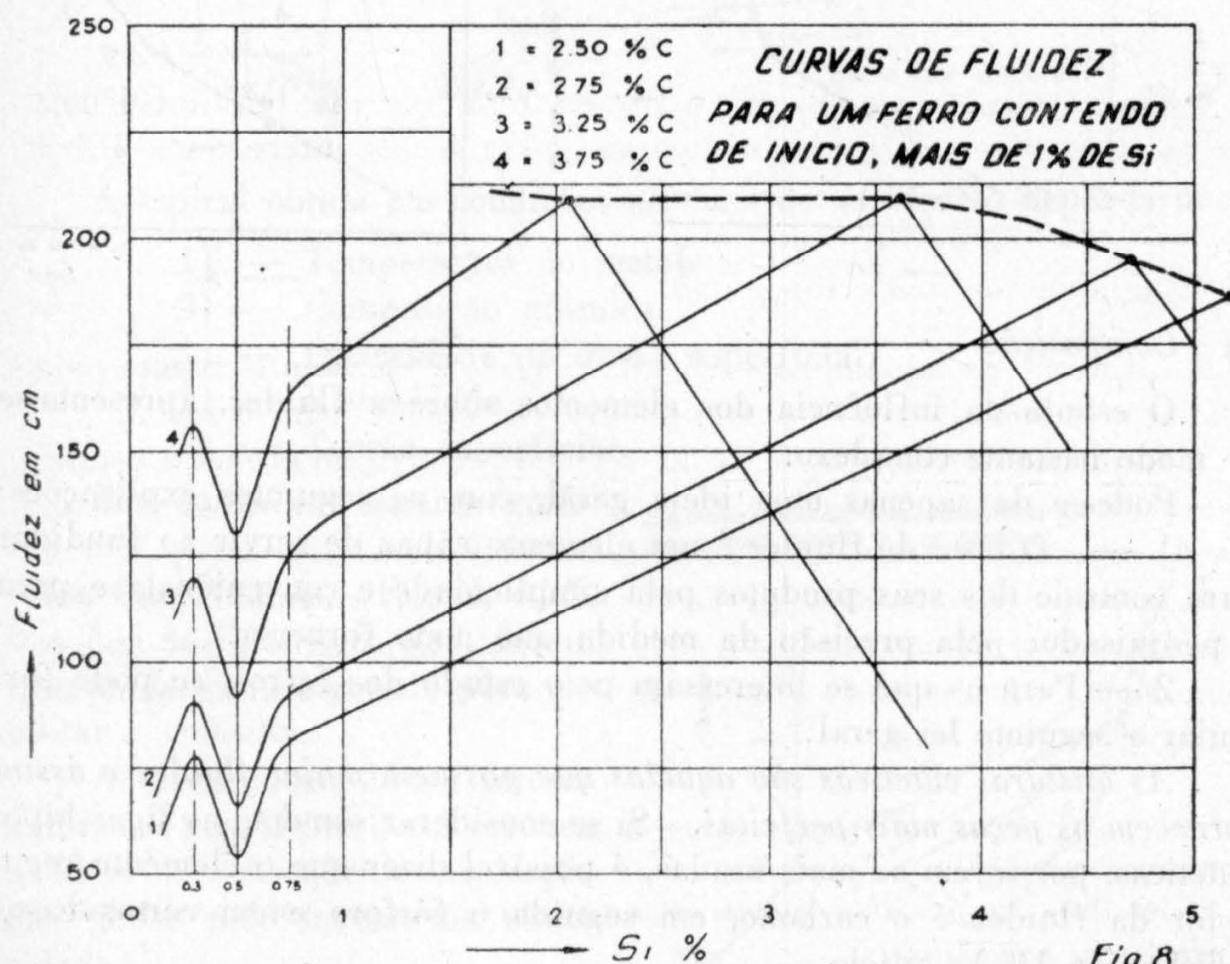
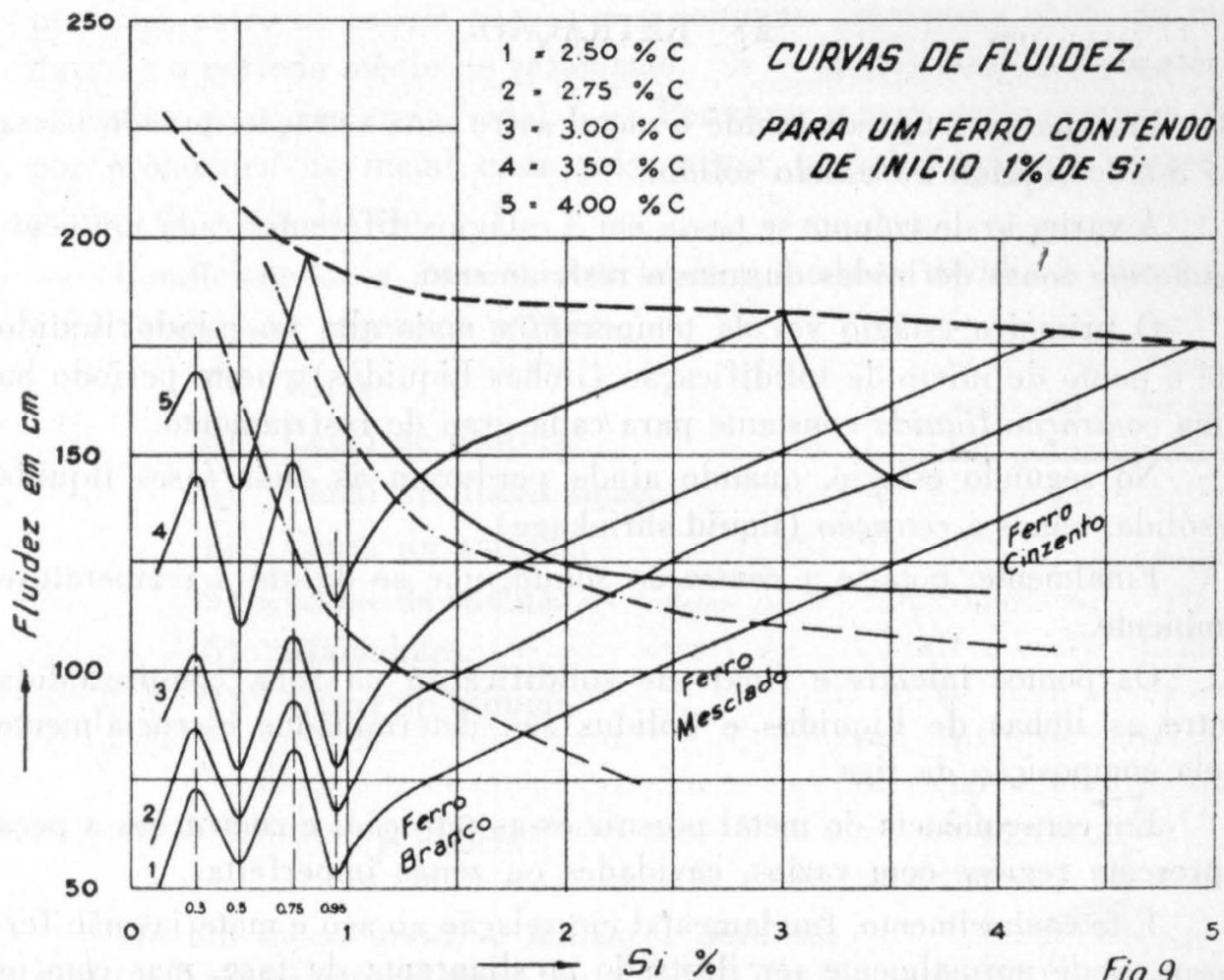


Fig. 8



Nessas figuras, nota-se que o histórico da corrida tem influência sobre as anomalias verificadas nas curvas, para teores inferiores a 1% e para mais de 1% de Si.

3) Quantidade de óxido superficial

A formação da camada superficial de óxido é um bom elemento para a avaliação visual do grau de temperatura em que se acha o metal.

A formação da película de óxido, retendo o metal, ao encher a espiral tal como uma tensão superficial, e conseqüentes rupturas dessa camada força a considera-la como fator importante na fluidez.

Esta película pode atingir espessuras que vedam o caminho do líquido diminuindo o número indicativo da fluidez. Em outros casos nota-se o rompimento desta camada a ponto de se observar um extravazamento do metal no fim da espiral.

4 e 5) Viscosidade e Tensão superficial

Êstes dois fatores têm pouca importância e podem ser considerados de influência constante.

2) RETRAÇÃO

Em qualquer tipo de molde o metal sofre uma retração quando passa do estado líquido ao estado sólido.

A variação de volume se passa em 3 estágios diferentes cada um ocorrendo em zonas definidas durante o resfriamento.

O primeiro estágio vai da temperatura mais alta no estado líquido até o ponto de início de solidificação (linhas Liquidus); neste período ha uma *contração líquida* constante para cada grau de resfriamento.

No segundo estágio, quando ainda perduram as duas fases líquida e sólida, temos a *retração* (liquid shrinkage).

Finalmente, nota-se a *contração sólida*, que se dá até a temperatura ambiente.

Os pontos iniciais e finais de solidificação na zona compreendida entre as linhas de Liquidus e Solidus são determinados essencialmente pela composição da liga.

Em conseqüência do metal possuir essas *retrações* e *contrações* a peça apresenta regiões com vazios, cavidades ou zonas imperfeitas.

Este conhecimento, fundamental em relação ao aço e materias não ferrosos, pode normalmente ser ilustrado no diagrama de fase, mas com os ferros brancos e cinzentos, com impurezas, (Mn, S, P) as indicações de seu comportamento somente poderão ser avaliadas como resultado de experiências em relação a casos particulares.

E' óbvio que as últimas porções e se solidificarem, não tendo onde encontrar metal adicional para alimentar-se, se apresentam com cavidades de retração (*Chupagem*).

Com o fim de atenuar ou mesmo promover o enchimento destas porções, é necessário o emprêgo de reservatórios de metal quente, externos a massa da peça. A estas porções alimentadoras se dá o nome de: canais de subida e massalotes.

c) SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

O sistema distributivo de metal deve ser encarado com o mesmo carinho com que o foi o projeto das peças. Devendo o ferro passar através desses canais, êles devem ser condicionados a excercer as suas funções, isto é: 1 — Alimentar. 2 — Distribuir o ferro pelos pontos mais inacessíveis do molde. 3 — Não provocar turbilhões. 4 — Apresentar relações

perfeitas entre os canais para que o conjunto permaneça cheio de metal durante o período médio de vazamento. 5 — Evitar entrada de materiais estranhos (escórias areia, etc.,) 6 — Percorrer o mais curto caminho, quer por econômica de metal quer pela menor probabilidade de apresentar pontos de areia lavada.

Condicionados a êstes pontos básicos, pode-se dividir o sistema de alimentação nas seguintes partes:

- 1) Bacia.
- 2) Canal de descida.
- 3) Canal de distribuição.
- 4) Canal de entrada.
- 5) Canal de subida.
- 6) Massalotes.
- 7) Canal de espuma.

1) Bacia

De um modo geral, o maleável deve ser fundido com bacias em funil, para que o líquido já de baixa fluidez, não perca parte da sua pressão logo na entrada da peça.

Algumas medidas que servirão de base no dimensionamento das bacias são:

$$\begin{array}{l} A = B = 80 - 75 - 70 - 65 \\ d = 30 - 28 - 25 - 20 \end{array}$$

Com isto evita-se que a bacia seja ou muito aberta ou muito fechada, ambas inconvenientes sob o ponto de vista do vazamento pelos esborrifos que podem ocasionar. Além disso o primeiro tipo, aberto, apresenta grande área de ataque pelo jacto de ferro que sai da panela, o que origina lavagem da areia.

O outro tipo é a bacia chamada, de descanso (Fig. 11.) Apresenta a vantagem de reter o ferro na parte inferior, evitando que o golpe inicial de ferro, após o represamento para o enchimento do canal, provoque esborrifos.

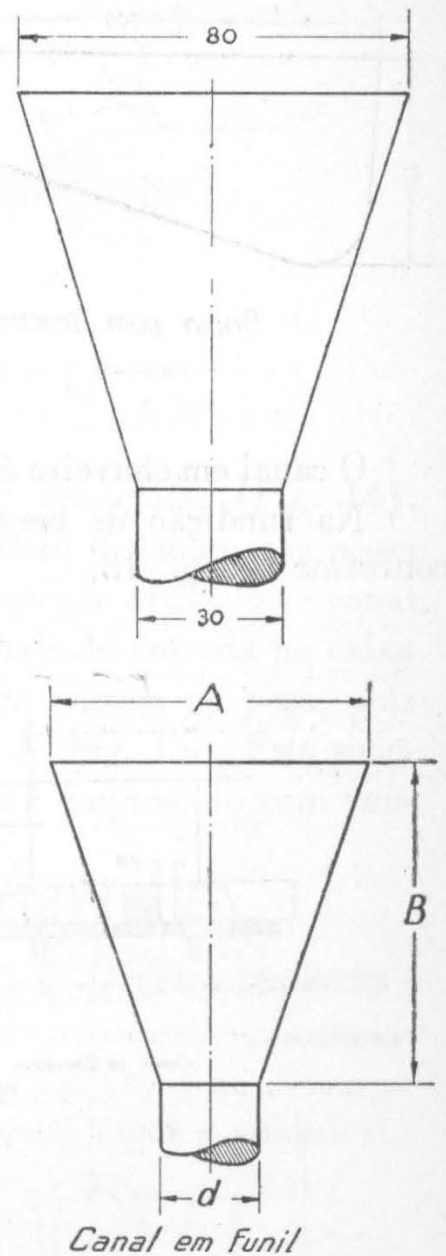
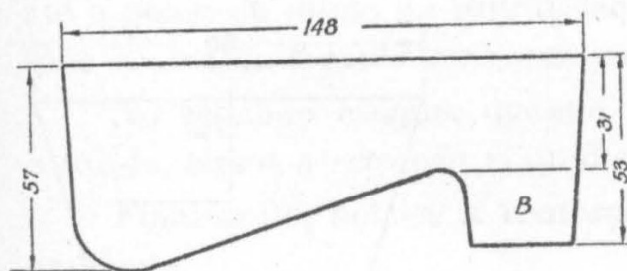
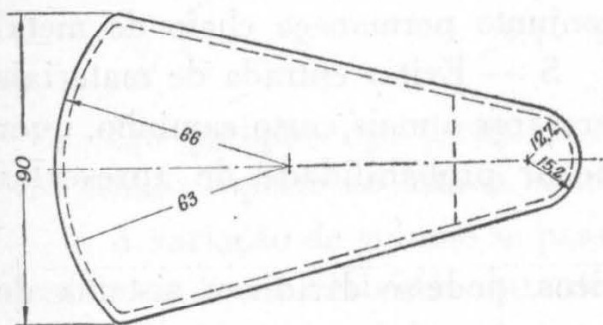


Fig.10



Bacia com Descanso

Fig. 11

Os outros tipos de bacia são variante dos dois acima.

As bacias com descanso devem ter paredes verticais e serem profundas, para que o vazamento se dê com os canais cheios.

2) Canal de descida

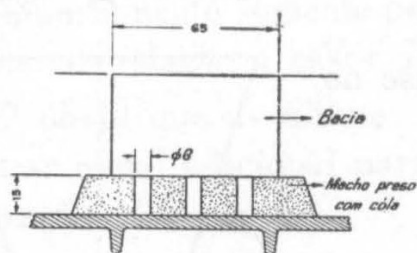
Em geral são cilíndricos e um para cada bacia. Há outros tipos tais como:

- 1) canal em lapis.
- 2) canal em cunha.
- 3) canal em chuveiro.

Todos êstes são aplicáveis em peças finas, pela facilidade na ruptura dos canais.

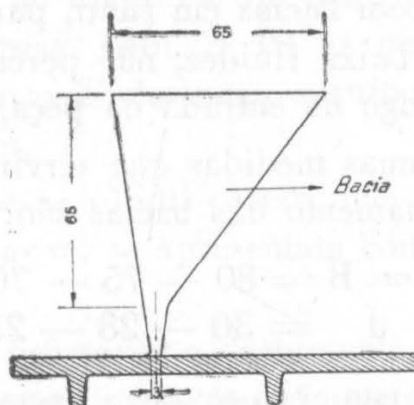
O canal em chuveiro é em geral feito com macho, conforme a fig. n.º 12.

Na fundição de peças finas é aplicável o tipo de canal em cunha, conforme fig. n.º 13.



Canal de Chuveiro

Fig. 12



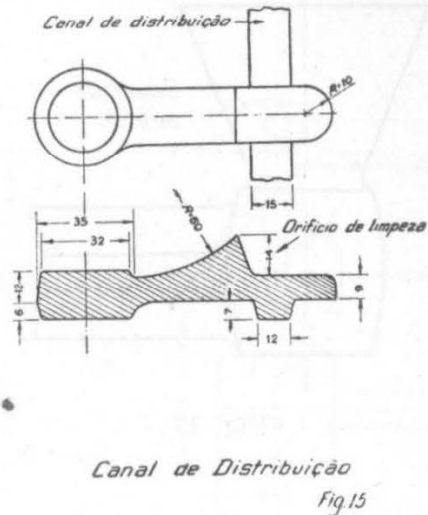
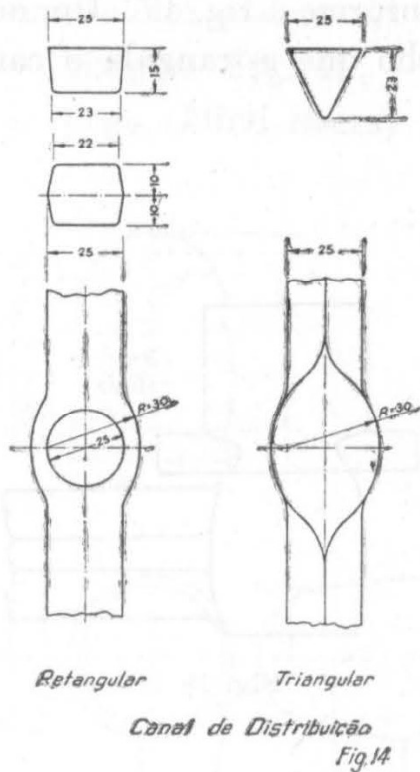
Canal em Cunha

Fig. 13

3) Canal de distribuição

Quando se estuda as placas para modelos, caso comum em maleável, ha disposições especiais dos modelos na caixa de moldagem, segundo normas mais ou menos fixas.

A peça está ligada ao canal de distribuição pelos canais de entrada.



O canal de distribuição pode ser do tipo: a) retangular (Fig. 14). b) triangular. Tanto para um tipo como para o outro é comum nas peças que devem apresentar bom acabamento, utilizar o seguinte artifício: o canal de distribuição é rasgado na caixa de cima e os canais de entrada na caixa de baixo. Com isto evita-se que poeiras ou escória entrem na peça, pois sendo mais leves que o metal se localizam na zona A. Fig. 15. Êste sistema de dar várias posições ao canal de distribuição é empregado com vantagem nos casos dos massalotes.

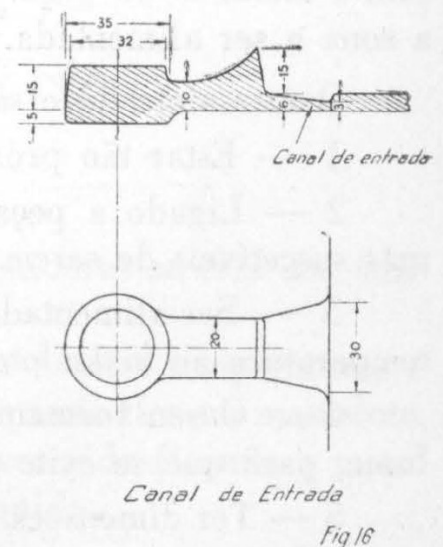
4) Canal de entrada

O canal de entrada deve ser tal que facilite a ruptura após a solidificação da peça. O tipo clássico é visto na fig. 16.

No caso dos massalotes esta entrada é condicionada a zona a alimentar.

5) Canal de subida

É aplicável sobre as zonas mais espessas das peças, com fim de fornecer, pela ação da gravidade, o líquido necessário a alimentar os pontos que iriam se solidificar por último.



Devem apresentar formas cônicas e conforme a fig. 17. Um outro tipo mais eficiente comporta um pequeno macho que estrangula o canal logo acima da peça. Fig. 18.

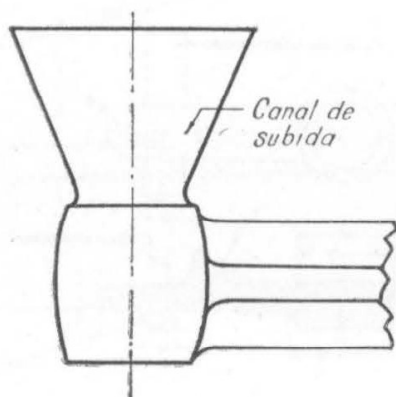


Fig. 17

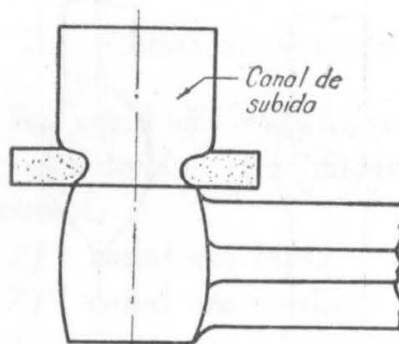


Fig. 18

6) Massalotes

Os massalotes são porções de ferro capazes de alimentar pontos que dariam cavidades de retração em consequência de resfriamento desigual na peça.

Diferem dos canais de subida por não aparecerem na superfície das caixas.

Em geral, o seu volume está relacionado com a zona a alimentar e com o tamanho da peça. Devem ser de 10 a 20% mais pesados do que a zona a ser alimentada.

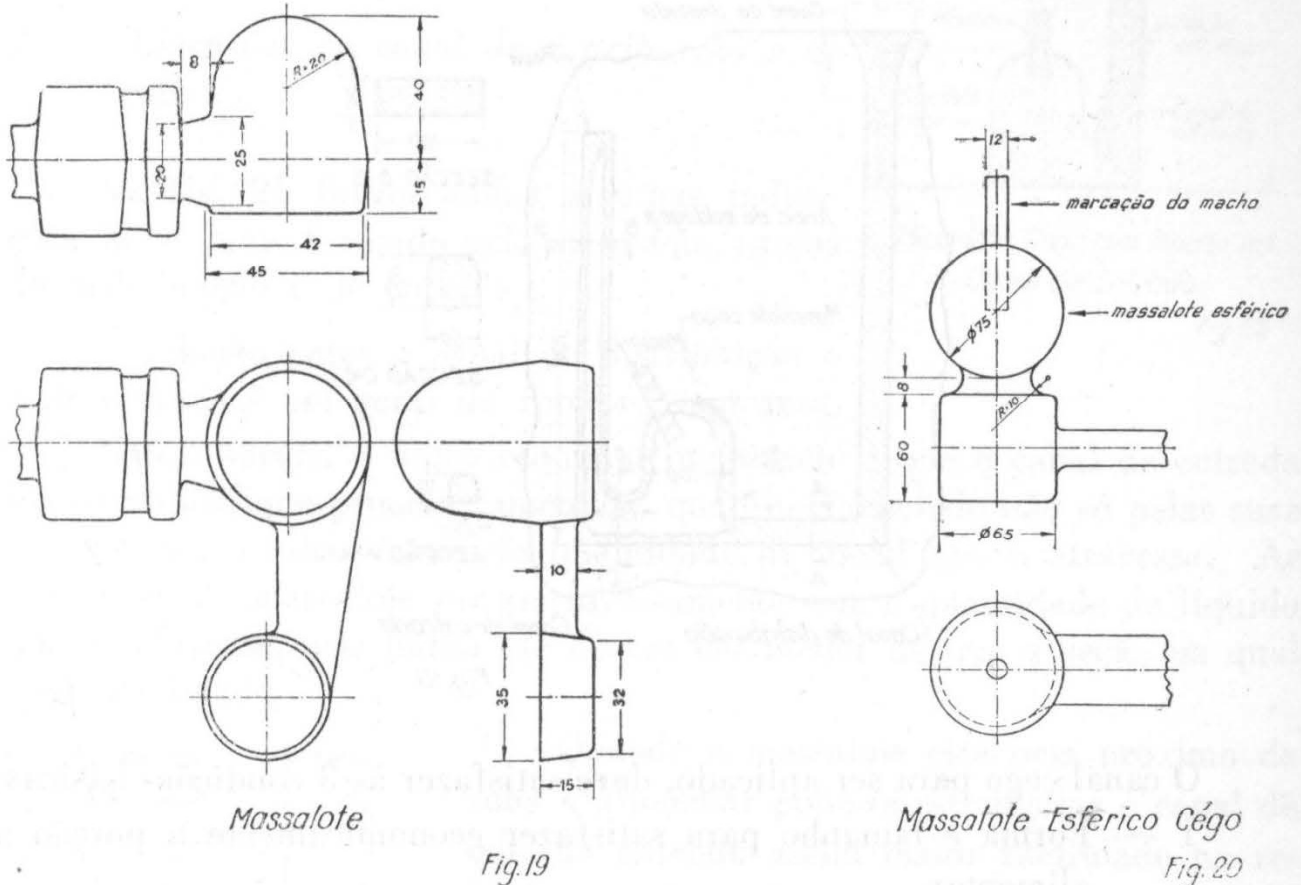
O massalote deve satisfazer as seguintes condições:

- 1 — Estar tão próximo quanto possível da zona a alimentar.
- 2 — Ligado a peça por canais de entrada suficientemente grossos, mas suscetíveis de serem quebrados sem ofende-la.
- 3 — Ser alimentado pelo canal de distribuição, o que acarreta maior temperatura ao massalote.
- 4 — O seu formato deve ser o de mínima superfície e máximo volume, para que se evite perda de calor.
- 5 — Ter dimensões mínimas necessárias a assegurar o perfeito enchimento da peça.
- 6 — Ter canais de entrada tangenciais, para possibilitar a retenção das impurezas antes do canal de entrada.

Os massalotes podem ser de dois tipos:

a — Simples Fig. 19.

b — Cego (blind risers) Fig. 20.



Massalote

Fig. 19

Massalote Esférico Cego

Fig. 20

O segundo tipo utiliza os efeitos benéficos da pressão atmosférica no sistema de alimentação.

VANTAGENS DO MASSALOTE CEGO

1 — *Metal alimentador mais quente.*

O fundidor devendo colocar os canais distribuidores *através dos massalotes* obtém a seguinte vantagem:

A areia que envolve o massalote é aquecida a altas temperaturas e quando o vazamento chegou ao fim o metal mais quente fica no massalote, como devia ser. O gradiente térmico é assim favorecido ficando o metal do massalote por tempo mais longo em estado líquido.

2 — *Menor quantidade de metal.*

3 — *Peças completamente sólidas.*

4 — *Colocação em várias posições.*

Cumprir dar algumas características construtiva do massalote cego. É interessante notar que há dois tipos indicados para as dimensões. Um dado por Roxburgh: Fig. 20 e outro por Taylor e Rominski: Fig 21.

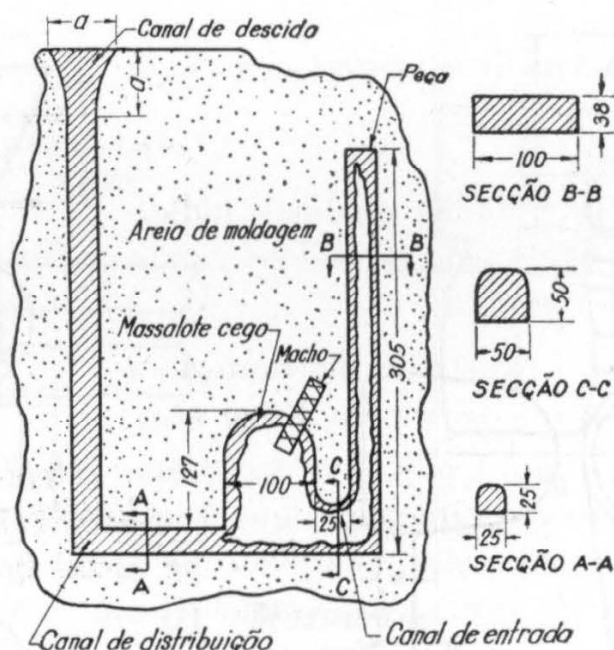


Fig. 21

O canal cego para ser aplicado, deve satisfazer às 3 condições básicas:

- 1 — Forma e tamanho para satisfazer economicamente a porção a alimentar.
- 2 — Tamanho e forma do canal de entrada e de distribuição.
- 3 — Posição do massalote em relação a seção a alimentar.

1 — Tamanho e forma.

O líquido necessário a alimentar as cavidades, depende da temperatura de vazamento, de tal modo que não há uma regra fixa que resolva o problema do tamanho do massalote para uma dada seção.

As temperaturas variando do primeiro ao último molde na prática corrente, dão retrações diversas em cada caso.

Deve-se também levar em conta, as diferenças de velocidade de resfriamento, contôrno da peça e composição do metal. Sòmente com experiência é que se pode chegar a um resultado satisfatório.

Pode-se estimar o volume do alimentador, em 10 a 15% a mais do volume da zona a ser alimentada.

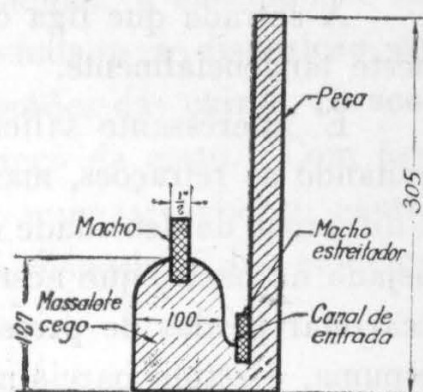
A forma do massalote seria a de um cilindro, sob uma hemisfera, com altura total de 25 a 30 mm a mais que o diâmetro.

2 — Dimensões do canal de distribuição e de entrada.

Na fig. 21 foram dadas algumas indicações do conjunto formado pelo massalote, canais de distribuição e de entrada.

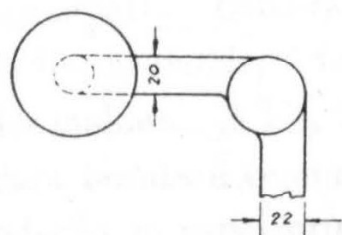
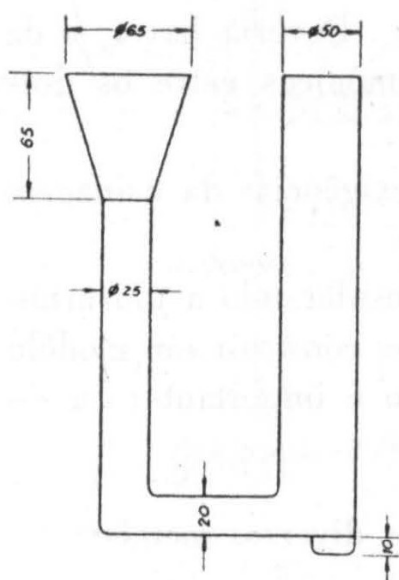
A relação entre o canal de distribuição e o de entrada é em geral de 1 para 2 em área.

Naturalmente, o único requisito importante é que o canal de entrada não se solidifique prematuramente, o que é influenciado não só pelas suas dimensões e formas mas pela quantidade de metal que o atravessa. As dimensões do massalote variam inversamente com a quantidade de líquido que o atravessa, mas nunca êle deverá ser menor do que a seção na qual deve ser ligado.



Massalote Cego com Macho no Canal de Entrada

Fig. 22



Canal de Espuma

Fig. 23

Quando o massalote está bem próximo da zona a alimentar pode-se estrangular o canal de entrada obtendo assim maior facilidade na rebarbação. Fig. 22.

7) Canal de espuma

Êste tipo de canal tem por fim evitar a entrada de ecória na peça, pela disposição relativa dos canais alimentadores

Deve apresentar as seguintes características: Fig. 23.

1 — Ter o diâmetro igual ao dobro do canal de descida.

2 — Ser ligado a êste, pela caixa de cima, por um canal com o dobro da área do canal de entrada, o qual deve ser rasgado na caixa de baixo.

A entrada que liga o canal de descida com o de espuma deve entrar neste tangencialmente.

E' interessante salientar que êste canal não age como o massalote, evitando as retrações, mas sim como um sistema de limpeza aproveitando a diferença de densidade existente entre a escória e o ferro. O metal despejado na bacia, que neste caso só deve ser a do tipo em funil, para não acarretar perdas de pressão no vazamento, já influenciada pelo canal de espuma, é retido parcialmente no canal de entrada. Isto força a subida pelo canal de espuma tanto do ferro como da escória, facilitando assim a flutuação das impurezas mais leves.

d) PLACAS

Considerem-se os seguintes pontos: 1 — Estudo. 2 — Confeccção.

1 — *Estudo.*

Em geral o fundidor recebe o projeto da peça já com as disposições relativas dos seus contornos, sôbre os quais não pode tocar. Isto que é muito comodo para o projetista não o é para o fundidor. Deveria haver, e de fato há nas grandes emprêsas, entendimentos harmônicos entre os dois executores: projetista e fundidor.

Casos há, em que se deve também atender as exigências da usinagem com o fim de poupar ou mesmo facilitar o trabalho.

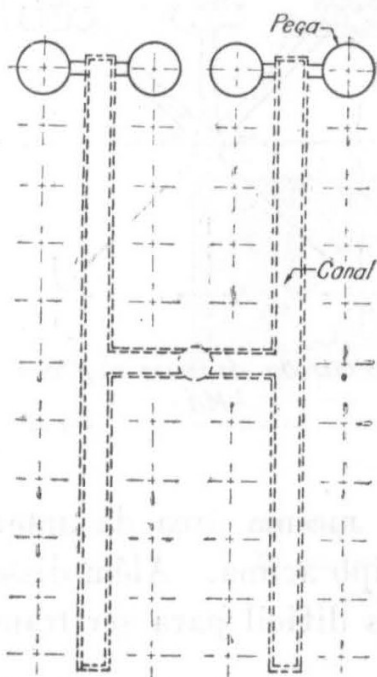
Aceita a peça, já com o estudo do projeto, considerando a uniformidade de paredes, facilidade de moldagem etc, deve-se construir um modêlo que satisfaça as medidas do desenho. Neste ponto é importante: a — *contração.* b — *usinabilidade.*

E' dada abaixo uma tabela para constração dos diversos metais:

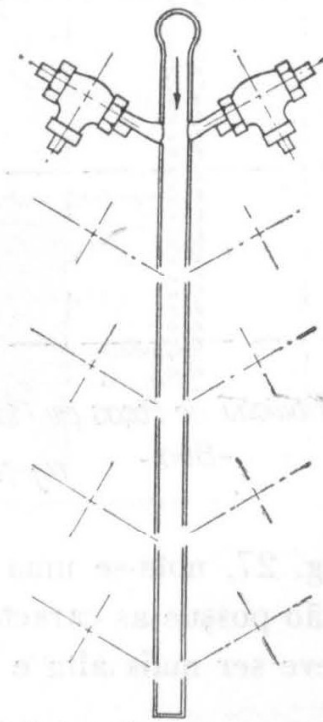
Bronze	1,30 %
Chumbo	1,10 %
Bronze de canhão	0,80 %
Estanho	0,78 %
Zinco	1,20 %
Ferro branco	1,50 %
Ferro	1,00 %
Aço	1,60 — 2,50 %

Uma vez fixada a posição relativa para fundição, a entrada dos canais e os pontos a receberem alimentadores, estuda-se a disposição em placa. Um desenho rápido tendo por base dimensões das caixas, fornece os elementos indispensáveis para o estudo do preço de custo. Com êste preço pode-se optar para uma melhor disposição num tamanho ou noutro de caixa. Tem-se diversos modos de encarar a disposição dos modelos, mas há regras mais ou menos fixas a considerar.

No arranjo dos modelos na placa deve-se sempre procurar o máximo de uniformidade. Si possível cada modelo deverá ter os canais na mesma posição relativa, e na mesma distância do canal de distribuição (canal



Distribuição de Peças em Placa
Fig. 24

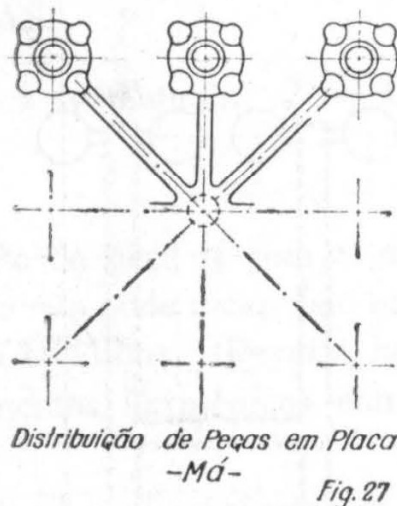
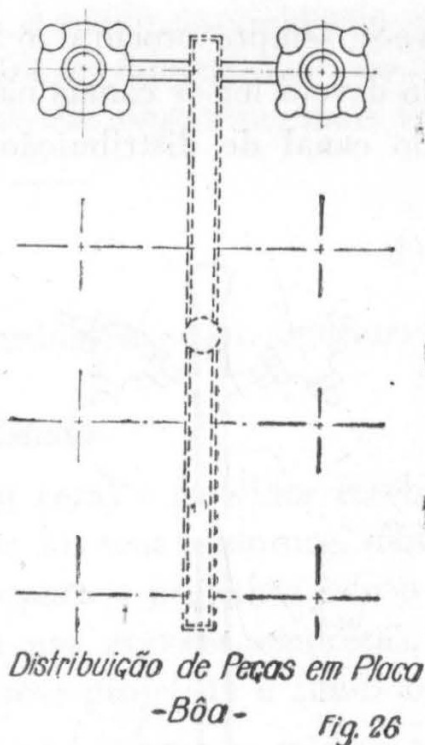


Distribuição de Peças em Placa
Fig. 25

principal). Embora seja mais fácil para vaziar com os canais nas extremidades do molde, é forçoso, as vêzes colocar o canal de descida no centro dos moldes. A Fig. 24 dá um exemplo típico de arranjo para várias peças. Para bronze é comum a colocação de canais com um ângulo especial em relação ao canal principal. (Fig. 25). O líquido vai até o fim do canal e depois em sentido mais ou menos oposto penetra na peça. Com isto evita-se a entrada de poeiras.

São dados em seguida dois arranjos para peças pequenas. O da Fig. 26 apresenta as seguintes vantagens:

- a) A caixa é estreita, fácil de levantar e ser carregada.
- b) A caixa superior é de pêso mínimo, em consequência de não precisar ser alta.
- c) As peças estão tôdas à mesma distância do canal principal.



Na Fig. 27, nota-se uma caixa com a mesma área da anterior, mas o arranjo não possui as características do tipo acima. Além disso a caixa superior deve ser mais alta e portanto mais difícil para ser transportada.

2 — Confeção.

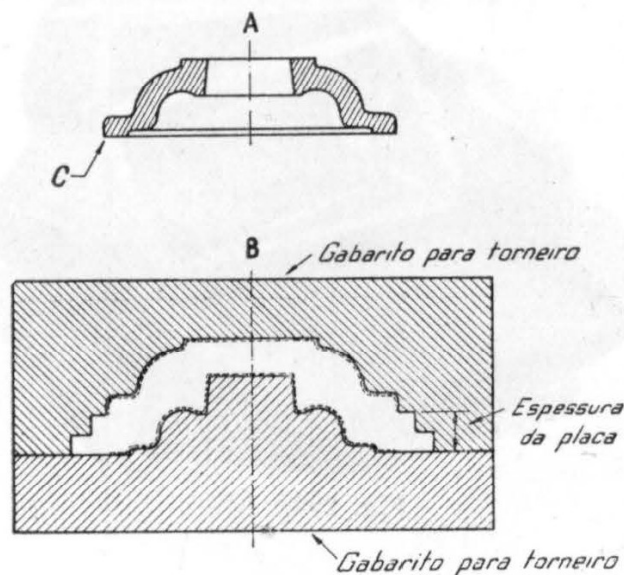
Na confecção das placas ha dois tipos diversos a considerar:

- a — placas de madeira.
- b — placas fundidas.

a) Placas de madeira.

Na confecção de placas de madeira, o ponto mais importante a considerar é no que se refere a maior regidez das partes do modelo.

Assim não se pode colocar em placa de madeira certas peças finas com paredes mais ou menos verticais, sem utilização de machos. Pode-se entretanto utilizar alguns artifícios que permitem dar maior resistência aos modelos, favorecendo a duração da placa em serviço. Observe-se o ponto C, do modelo de flange que aparece na fig. 28. Pela simples observação do desenho pode-se notar que o modelo foi reforçado sem prejuízo do projeto. O sistema consiste, de um modo geral, em encaixar na placa de madeira, partes do modelo, que foram aumentadas unicamente com o fito de refôrço. O artifício mais interessante a considerar é aquele empregado em peças torneadas; nestas, utiliza-se o desenho para a confecção dos gabaritos necessários a facilitar o trabalho do torneiro.



A - Peça
B - Modelo disposto para encaixe nas placas

Fig 28

Uma vez as peças torneadas, são encaixadas na placa, conforme detalhe da fig. n.º 28. Na mesma ordem de idéias pode-se confeccionar as placas com modelos em alumínio: seria o caso de placas compostas com elementos parciais. Os modelos primários deverão ser de madeira, e devem comportar duas usinagens e duas contrações (nos modelos de alumínio para fundir ferro, tem-se cêrca de 3% de contração total).

b) Placas fundidas.

Para a confecção de placas fundidas são necessários dois acessórios a saber:

1 — moldura, com o formato externo da placa.

2 — moldura, com o formato da caixa.

O sistema de confecção consta de várias partes, a saber:

1) Moldagem comum do modelo numa caixa que comporte as dimensões da placa e dos canais a fundir a placa.

Acompanhando as figuras seguintes tem-se uma idéia do sistema de moldagem.

Acessórios de moldagem (Fig. 29).

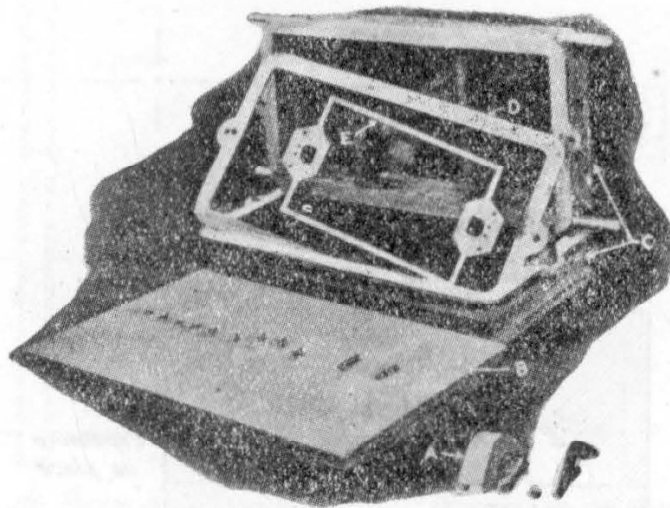


Fig. 29

Colocação do modelo sobre um estrado, com o fim de permitir a moldagem (Fig. 30).

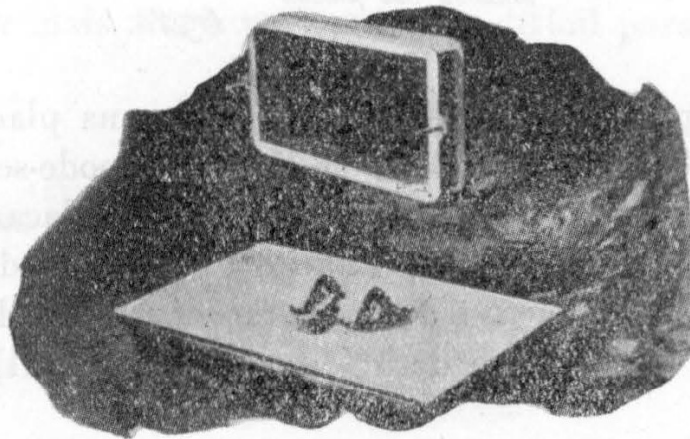


Fig. 30

A peça já moldada na caixa de baixo, pronta para receber os acessórios de moldagem (Fig. 31).

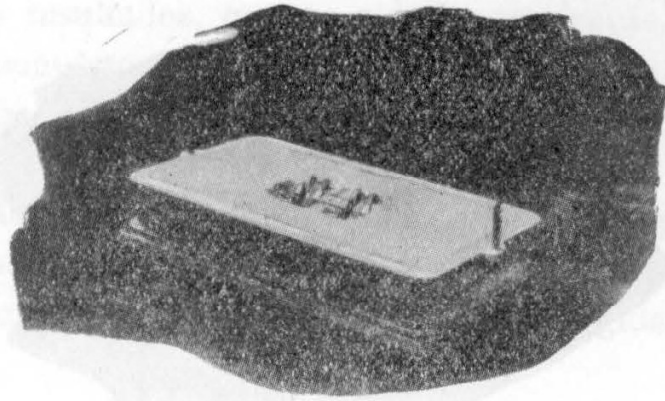


Fig. 31

Nata-se as molduras da placa e da caixa e entre elas a areia necessária a completar a espessura da placa (Fig. 32).



Fig. 32

Rasgaram-se os canais e retirou-se a moldura que conforma externamente a placa de moldagem (Fig. 33).



Fig. 33

A caixa já fechada e pronta para receber o alumínio fundido (Fig. 34).

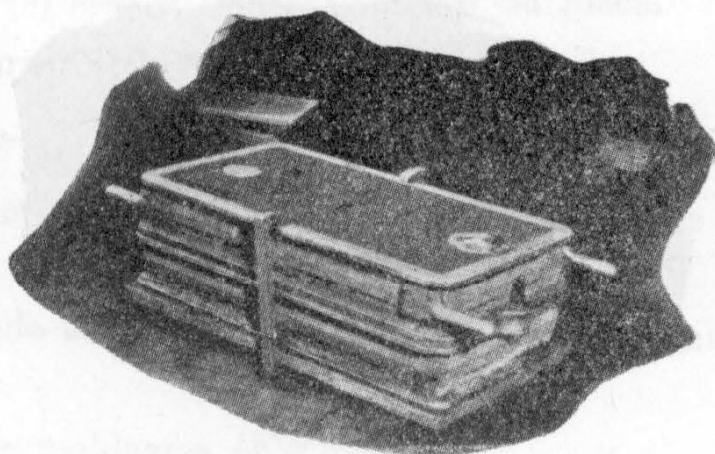


Fig. 34

Nas figuras 35 e 36 notam-se as duas faces da placa já fundida.

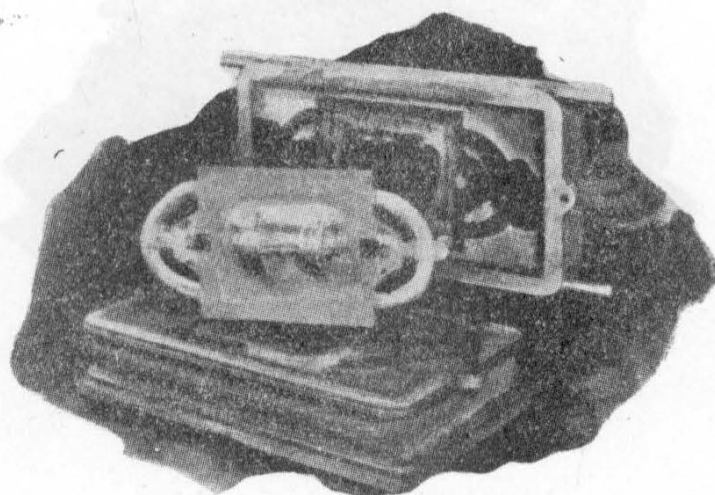


Fig. 35

NOTA: — Uma boa liga para placas fundidas compõem-se de uma mistura com 8% de cobre 92% de alumínio

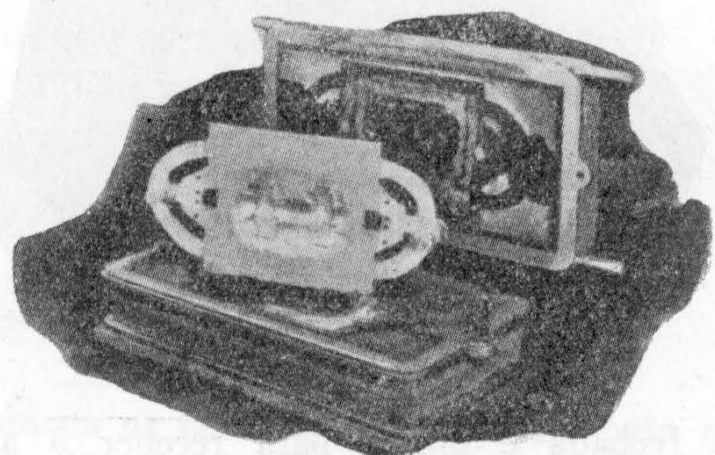


Fig. 36

Para melhores resultados, quanto a homogeneização, deve-se fundir primeiramente um conjunto com 50% de cobre e 50% de alumínio. Funde-se depois uma liga com alumínio e 16% desta mistura. A temperatura de vazamento deve ser a mínima possível, isto é cêrca de 1250F (675°C). A posição do modelo ao fundir a placa deve ser, quando possível, inversa daquela em que vai trabalhar na placa. Com isto, obtem-se melhores resultados de acabamento da peça, nas faces mais exigidas.

2) FUNDIÇÃO

De acôrdo com a composição estipulada nas especificações da A. S. T. M., A 47-33 e A 197-39 notam-se duas classes de maleáveis americanos.

1 — *Alta qualidade*, produzidos em:

- a) fornos elétricos.
- b) forno Martin (open-hearth).
- c) forno a ar (air furnace).

Êstes materiais devem estar de acôrdo com os dois graus de especificações já citados 32.510 e 35.018.

2 — *Baixa qualidade*, produzido em:

- a) forno cubilô.

Uma especificação padrão para êste tipo, foi estudada pela American Society for Testing Materials em 1936 e agora é designada como especificação A 197-39.

No estudo dos fatores que entram em jogo no processo de fundição destacam-se: a — Composição Química. b — Sucata. c — Fornos.

a — *Composição Química*

O ferro maleável, com características físicas elevadas apresenta-se com teores de carbono e silício bem baixos.

Composição Química	Especificação A - 47-33	
	Classe 35.018	Classe 32.510
	Ferro fundido branco	
Carbono total	1,75 — 2,30	2,25 — 2,70
Sílicio	0,85 — 1,20	0,80 — 1,10
Manganês	0,40 max	0,40 max
Fósforo	0,20 max	0,20 max
Enxôfre	0,12 max	0,70 — 0,15
	Ferro maleável	
Carbono glomular	1,20 max	2,20 max
Sílicio	1,80 max	1,10 max
Manganês	0,40 max	0,40 max
Fósforo	0,20 max	0,20 max
Enxôfre	0,12 max	0,13 max
	Propriedades mecânicas	
Resistência a tração kg/mm ² ..	38 — 48	35 — 37
Limite de escoamento kg/mm ² .	25 — 28	24 — 26
Elongação %	18 — 25	10 — 18

A segunda classe de maleável tem propriedades físicas inferiores em consequência de mais frouxos limites de composição e de exigências menos rigorosas nos processos de fundição e tratamento. A composição química dada acima se refere a peças de maleável utilizadas em máquinas comuns. Entretanto aqueles teores, principalmente de C e Si podem ser mais elevados. No caso de chaves, deve-se ter o máximo de facilidade de vazamento e mínimo de energia para tratamentos o que necessita um processo de fusão e recozido particular.

A composição química para chaves apresenta-se com os seguintes limites:

$$C = 2,80 — 3,20$$

$$Si = 1,40 — 1,60$$

$$Mn = 0,20 — 0,30$$

$$P = 0,05 — 0,60$$

$$S = 0,05 — 0,06$$

Para atingir a êstes resultados é necessário que o ferro branco seja fundido em fornos do tipo revérbero ou elétrico, pois só assim os teores de S e P serão bem baixos, e apresentarão pequena influência no ciclo de tratamento. O teor de carbono é elevado para que o material seja suficientemente fluido e possa encher completamente os moldes.

Influência dos elementos que acompanham o ferro.

Estudando de um modo individual a ação de cada elemento que acompanha o ferro tem-se uma base mais segura para o preparo de uma carga.

Êstes elementos agem em dois sentidos opostos.

Aceleradores de grafitação:

Silício	— Si	Forte
Alumínio	— Al	
Titânio	— Ti	
Níquel	— Ni	
Cobre	— Cu	
Cobalto	— Co	
Fósforo	— P	Fraco

↓

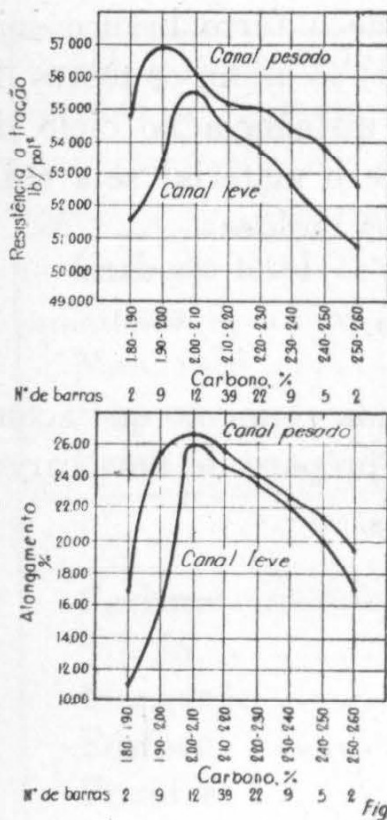
Retardadores de grafitação:

Molibdeno	— Mo	Fraco
Tungstênio	— W	
Manganês	— Mn	
Vanádio	— V	
Cromo	— Cr	Forte

↓

Carbono:

A formação de grafita primária na peça fundida, antes de ser maleabilizada é grandemente nociva. A grafita primária não pode ser eliminada do ferro durante o processo de recozimento. Pelo contrário há uma tendência a se aglomerarem em torno dêsses pontos quantidades ainda maiores de grafita. Êsses nódulos de grafita não tendo nenhuma resistência mecânica, as propriedades do maleável serão tanto melhores quanto menor a quantidade de grafita. O teor de carbono total do gusa branco influe poderosamente na resistência a tração e no alongamento das peças após o recozimento.



Pode-se admitir que diminuindo de 0,10% o teor de carbono resulta não só um aumento de cerca de 1,25 kg/mm² na resistência à tração como melhora as características de alongamento e tenacidade.

Para teores de carbono muito elevados, subsistindo cemetita em quantidades apreciáveis, conforme os teores de silício as peças são frágeis e dificilmente usináveis.

A Fig. 37 mostra o efeito do carbono sobre a resistência a tração e a alongação.

Conforme pode-se apreciar, pela Fig. 37 os melhores valores quer em resistência quer em alongação são obtidos no entorno de 1,90 a 2,20 de C.

Os máximos obtidos são: 40,00 kg/mm² para resistência e 26,2% de alongamento.

Silício:

O silício forma com o ferro uma solução sólida e age diretamente sobre a massa metálica e indiretamente favorece a grafitização.

A ação direta do silício sobre o ferro consiste na elevação de 1 kg/mm² para cada 0,10 de silício que se ajunta.

A influência do silício sobre as características mecânicas é muito confusa. O limite de elasticidade e a dureza aumentam com o teor de silício.

No processo americano de maleabilização o ciclo de tratamento será tanto mais curto quanto mais elevado o teor de silício pois êle facilita a grafitização.

Manganês:

Em geral admite-se que o manganês diminua a formação da grafita. Segundo alguns autores para ferro pobre em enxôfre o manganês, com teores até 0,3% favorece a decomposição da cemetita em grafita e solução sólida. O manganês tem uma influência muito mais importante sobre os ferros ricos em enxôfre. O manganês tem afinidade pelo enxôfre maior que o ferro e apondera-se dêste para formar sulfureto de manganês.



O ponto de fusão do sulfureto é muito elevado, de modo que êle se solidifica sob forma de pequenos cristais antes da separação da solução solida. O enxôfre assim eliminado do metal líquido não tem mais uma influência retardadora sôbre a decomposição dos carburetos e os pequenos cristais de sulfureto de manganês, disseminados no metal de modo variável segundo a forma da grafita, não tem senão uma influência praticamente nula sôbre as propriedades mecânicas do produto.

Teoricamente são necessárias 1,7 partes de manganês para fixar uma parte de enxôfre. A experiência mostrou que sempre é necessário um excesso de manganês. Para teores de enxôfre entre 0,15 e 0,25% o teor de manganês é dado por

$$\text{Mn} = 1,7 \times \text{S} + 0,25$$

Para teores de enxôfre de 0,05 até 0,10% o manganês é dado por

$$\text{Mn} = 2 \times \text{S} + 0,15$$

O manganês tem uma influência favorável sôbre as propriedades mecânicas. Até o teor máximo de 0,8% a resistência a tração, a resiliência e o alongamento são aumentados.

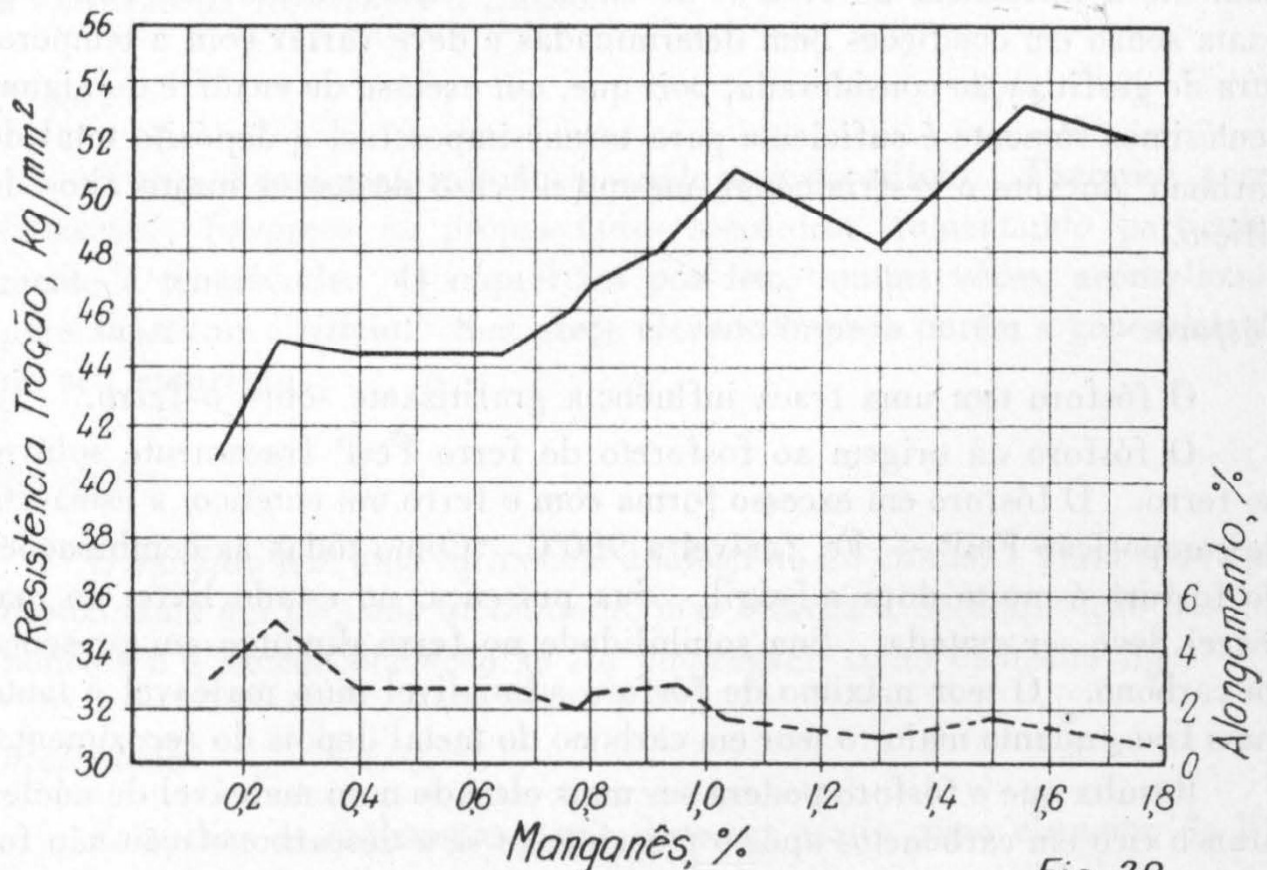


Fig. 38

A ação do manganês sobre o maleável ainda não foi estabelecida claramente. O teor de manganês deve ser escolhido, de um lado segundo o teor em enxôfre e de outro lado segundo a quantidade de grafita que se deseja depositar. Se se deseja uma resistência elevada, o teor de manganês deve ser o mais elevado possível. Uma elevação de 0,10% aumenta a resistência a tração de 0,8 kg/mm².

Enxôfre:

Como já foi dito o enxôfre em presença do manganês dá origem a pequenas inclusões arredondadas de sulfureto de manganês sem ação sobre a grafitização e a oxidação. Na ausência do manganês, êle se combina com o ferro para formar sulfureto de ferro muito fusível que, depois da solidificação do metal, aparece no limite dos grãos. Neste caso, êle retarda de modo nitido a grafitização. Esta ação é geralmente atribuída a um aumento das resistência passivas que se opõem a migração dos átomos de carbono no seio do ferro e para certos autores à presença de uma camada mais ou menos continua de sulfureto entre a austenita e a cementita, que suprime ou diminue os pontos de contato entre os dois elementos. A ação do enxôfre sobre a grafitização é portanto exatamente inversa a do silício. Lisner pretende que uma adição de 0,28% de silício compensa aproximadamente a influência de 0,05% de enxôfre. Esta relação não pode ser exata senão em condições bem determinadas e deve variar com a temperatura de grafitização considerada, pois que, um excesso de enxôfre de alguns centésimos somente é suficiente para tornar impossível o depósito total de carbono, durante o resfriamento, mesmo no caso de teores muito altos de silício.

Fósforo:

O fósforo tem uma fraca influência grafitizante sobre o ferro.

O fósforo dá origem ao fosforeto de ferro Fe₃P fracamente solúvel no ferro. O fósforo em excesso forma com o ferro um eutético, a esteadita de composição Fe₃P + Fe, fusível a 980°C. Como tôdas as combinações do fósforo é muito dura e frágil. Sua presença, no estado livre, no maleável deve ser evitada. Sua solubilidade no ferro diminue em presença do carbono. O teor máximo de fósforo admissível num maleável é tanto mais fraco quanto maior o teor em carbono do metal depois do recozimento.

Resulta que o fósforo poderá ser mais elevado num maleável de núcleo branco rico em carbonetos após o recozimento se a descarbonetação não foi até o núcleo da peça.

De um modo geral, na prática americana, faz-se variar o fósforo de 0,10 a 0,20% enquanto que na prática européia é ordinariamente mantido abaixo de 0,15%. A maior parte dos autores está de acôrdo em fixar 0,25% o limite acima do qual o fósforo se torna visível ao microscópio para ferro completamente grafitizado. Nestes limites usados a influência favorável do fósforo sôbre a facilidade de vazamento é praticamente nula e sua influência sôbre a grafitização e descarbonetação tão fraca que nem pode ser considerada.

Cobalto:

O cobalto tem ação fracamente grafitizante sôbre o ferro. Ainda não foram feitos estudos sôbre o emprêgo do cobalto na fabricação do ferro maleável e sua influência sôbre as propriedades do ferro.

Cromo:

O cromo tem, mesmo para pequenas adições, uma ação fortemente retardadora da grafitização. Estabiliza a cementita, propriedade utilizada frequentemente para o ferro cinzento e para o aço. Deve ser pois considerado como um elemento nocivo ao ferro maleavel, apesar de provocar a elevação da resistencia à tração.

Níquel:

O níquel tem uma influência análoga à do silício. Favorece a grafitização. Favorece as propriedades mecânicas aumentando particularmente a tenacidade. O níquel foi por isto, muitas vêzes, aconselhando para substituir o silício. Seu preço elevado impede porém a generalização de seu emprêgo.

Vanádio:

O vanádio tem uma influência análoga ao do cromo. Teria uma ação desoxidante em pequena quantidade, mas retarda a decomposição dos carbonetos e a descarbonetação se fôr empregado como elemento liga.

Molibdeno:

Estabiliza os carbonetos e não deve ser usado como elemento de liga para o maleável.

Tungstênio:

As propriedades do tungstênio em relação ao maleável são idênticas as do molibdeno.

Alumínio:

O alumínio tem mais ou menos as mesmas propriedades que o silício. Como favorece energicamente a precipitação de grafita não deve ser adicionado em grande quantidade. Por outro lado é utilizado como desoxidante e é adicionado em doses tão fracas que não pode ser percebido analiticamente.

O alumínio foi aconselhado para substituir em parte o silício pois provoca uma grande diminuição na duração do ciclo de recozimento do maleável americano. Ainda não foram encostradas aplicações práticas do alumínio.

Titânio:

O titânio tem uma ação análoga à do alumínio. Favorece a grafitização e é um bom desoxidante. Pequenas adições de ferro-titânio desoxidam o ferro líquido e o desgasificam aumentando a resistência à tração e o alongamento. Ensaio feitos por Piwowarsky conduziram ao seguinte resultado:

O titânio favorece o afinamento da estrutura do ferro branco. A repartição da grafita de recozimento no ferro depois da maleabilização é mais regular e mais fina. O titânio provoca ainda a aceleração da decomposição da cementita e uma combustão mais rápida do carbono durante o recozimento. As vantagens de uma adição de titânio são mais marcantes no caso do maleável americano do que no caso de maleável europeu.

b) — Sucata

A influência da sucata sobre as características mecânicas finais dos ferros maleáveis é mais pronunciada quando se opera com forno cubilô.

As condições iniciais da sucata transtornam tanto o produto final, que pode-se obter diversos tipos de ferro com a mesma composição química.

A sucata contendo carbono grafítico promove a formação de pontos primários na peça fundida, de efeito pernicioso durante o processo de recozimento. Para evitar a formação destas manchas de grafita primária, se tem que operar dentro de composições mais baixas, quer em carbono quer em silício. Esta condição força o aumento dos ciclos de tratamento,

diminua a fluidez e aumenta a retração do metal, condições estas que tornam ainda mais difícil o enchimento perfeito das peças.

Atualmente não existem prescrições muito rígidas quanto a composição química dos gusas empregados. Entretanto deve-se sempre procurar utilizar gusas brancas ou mesclados com baixos teores em carbono e silício. Este último não deve passar 1,50%.

Para peças de responsabilidade o gusa deve seguir mais ou menos a seguinte especificação:

C	=	3,5 — 4,00
Si	=	— 1,50 max
Mn	=	— 0,40 max
P	=	— 0,30 max
S	=	— 0,12 max

No uso da sucata de aço deve-se evitar o emprêgo de materiais ligados, principalmente os com cromo, em consequência do alto poder retardador da separação da cementita. Os materiais já recozidos, também são prejudiciais em consequência da grafita e do enxôfre que podem apresentar. É sempre preferível utilizar pedaços de aço sem ferrugem, daí a necessidade de acomodações cobertas para o armazenamento da sucata.

É dada abaixo uma tabela na qual se tem uma idéia grosseira da composição dos materiais mais utilizados na prática e que poderão servir de sucata para fabricação de maleável.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AÇOS COMERCIAIS					
	C %	Si %	Mn %	P %	S %
Placa de Caldeiras	0,10 — 0,30	até 0,25	0,4—0,8	0,05max	0,05max
Perfis	0,04 — 0,12	até 0,25	0,4—0,5	0,06max	0,06max
Trilhos	0,35 — 0,60	0,15 — 0,25	0,6—0,9	0,08max	0,05max
Rebites	0,05 — 0,15	0,15 — 0,25	0,3—0,4	0,04max	0,04max
Ferraduras de aço	0,10 — 0,20	até 0,20	0,1—0,4	0,06max	0,07max
Ferraduras de maleável	—	0,5 — 0,25	0,1—0,4	0,10max	0,25max
Molas para Vagão	0,8 — 1,00	até 0,25	0,6—0,8	0,05max	0,04max
Sucata de Aço Ferramenta ..	0,6 — 1,5	até 0,25	0,4—1,0	0,04max	0,04max
Restos de estampagem e matriz	0,1 — 0,2	0,2 — 0,3	0,4—0,8	0,3—0,5	0,08max
Aço Manganês (Hadfield)....	0,95 — 1,15	0,2 — 0,4	10—14	0,10max	0,06max

c) — Fornos

Os tipos de fornos capazes de produzirem ferro fundido branco são:

a — Cadinho. b — Cubilô. c — Forno de Sola ou revérbero.
d — Fornos rotativos. e — Forno Martin (Open-Hearth). e — Forno a ar (Air Furnace). f — Forno elétrico.

Serão deixados de lado os detalhes de cada tipo, o que iria tomar muito tempo. Apenas se verão algumas considerações gerais, para esclarecer os fatores que mais influem na fusão dos ferros maleáveis. Na maioria das fundições, o metal é fundido em fornos reverberatórios, comumente conhecido como (air furnace) — fornos a ar. As vezes pode-se completar a operação nos fornos do tipo Martin.

Quando o preço de energia é compensador, deve-se utilizar fornos elétricos.

Os fornos rotativos de 2 a 10 toneladas tem se apresentado em substituição aos antigos fornos de fusão.

Em outras fundições o processo de duplex tem dado bons resultados. O forno cubilô, fornece o metal líquido que deve ser superaquecido e acertado em composição nos fornos elétricos ou nos fornos de ar.

Nas indústrias que fabricam luvas e cotovelos o metal é fundido no cubilô e vazado diretamente nos moldes de areia. O metal é conhecido como *maleável de cubilô*.

d — Provas de boca de Forno

Quando se examinam os metais que existem nos fornos elétricos, no curso de uma corrida, tem-se como ponto básico evitar a formação de grafita primária. A prova que tem dado bons resultados compõe-se de um tarugo de 1 1/2" na base, 2" no topo, 2 7" de comprimento. São vazados em moldes de areia verde resfriados naturalmente até que atinja a cor escura: neste ponto é temperado em água fria.

A estrutura é examinada a olho, e do aspecto geral pode-se avaliar se o metal está ou não nas faixas de composição pre-estabelecida.

As dimensões do corpo de prova e a velocidade de resfriamento são tais que elas representam condições mais favoráveis do que as encontradas nas peças comuns, para a formação de grafita primária. Para bom tratamento, boa fluidez e conseqüente perfeito enchimento das peças é necessário que as provas apresentem uma porção mesclada no centro da prova. Quando a porção mesclada é muito intensa se está em presença de um metal com alto teor de silício. As manchas pretas no centro do tarugo indicam altos teores de carbono. A Fig. 39 dá um idéia de várias provas obtidas, no período de uma corrida.

Além da prova do tarugo pode-se utilizar também a prova de fluidez. Com isto avaliam-se as possibilidades do metal para o enchimento de certas peças. A temperatura influi decisivamente na fluidez, daí ser esta um bom elemento para a sua avaliação.

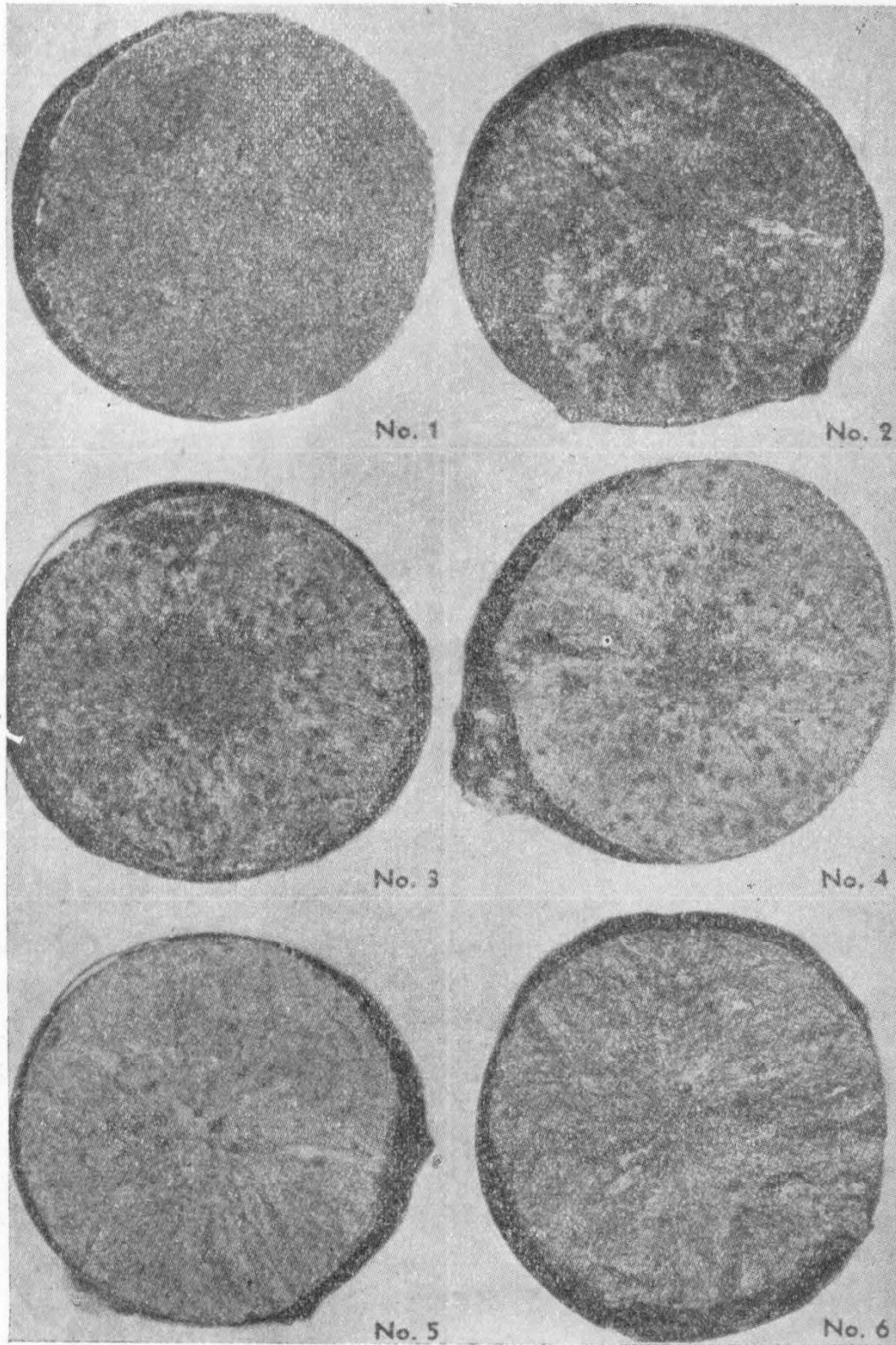


Fig. 39

(Continúa)

“NOTAS SÔBRE UMA OCORRÊNCIA DE CROMITA EM ITAÚ - MINAS GERAIS”

Carlos Dias Brosch (1)

(Assunto de uma palestra patrocinada pelo Centro Moraes Rego pronunciada na sede do Grêmio Politécnico).

SUMÁRIO

Trata-se de uma pequena jazida de minério de cromo que vem aumentar o número de ocorrências desse minério conhecidas no País.

Seu caráter de maior importância reside no processo genético, sendo de se esperar que outras ocorrências semelhantes venham a ser encontradas em Minas Geraes e São Paulo. A associação da cromita a rochas piroxênicas e não a peridotitos torna a jazida semelhante sob este ponto de vista, às da Índia como por exemplo a de Singhbhum.

1 — HISTÓRICO:

O decreto lei n.º 9749 de 17 de junho de 1942, autorizou a pesquisa de minério de cromo no distrito de Itaú, município de Passos em Minas Geraes.

Estivemos no local em Setembro do mesmo ano com a incumbência de um parecer sôbre a quantidade de minério existente.

2 — SITUAÇÃO GEOGRÁFICA DA JAZIDA.

Itaú é uma estação da Cia. Mogiana de Estradas de Ferro distante 512 km por linha de São Paulo.

A jazida situa-se a cerca de 3 km da estação, sendo servida por regular estrada de rodagem e distando menos de 200 m da linha ferrea que vai das primeiras calcáreas à Fábrica de Cimento (2).

(1) Eng. de minas e metalurgia.

(2) — De uma elevação, no caminho para a jazida, avista-se o “Morro do Ferro” de Jacuí.

3 — GEOLOGIA REGIONAL:

a) Fisiografia.

A região é regularmente acidentada, habitual álias ao relêvo dos terrenos da série de Minas.

A vegetação dominante é a de campos com capoeirões densos apenas nos grotões por onde correm, muitas vêzes, córregos encaixoeirados.

b) Petrografia e idade dos terrenos.

Nas imediações da jazida e especialmente nos cortes da linha férrea observamos rochas metamórficas típicas da série de Minas, tais como filitos e micaxistos, tendo mergulhos variáveis mas próximos da vertical. A existência das grandes massas calcáreas que constituem a matéria prima utilizada pela fábrica de cimento, confirma a classificação dos terrenos da região dentro da série de Minas (proterozóica).

Uma nota de importância relevante é a ocorrência de rochas intrusivas, aflorando num raio de mais de 200 m do ponto principal da jazida (2).

Um granodiorito aparece com grande freqüência em afloramentos extensos formando diversos matações na encosta do morro.

As cristas de 2 espigões, num dos quais situa-se a jazida, apresentam exposições, salientadas pela erosão, de uma rocha melanocrática, básica, classificada em estudos posteriores como gabro.

Um esporão lateral apresenta-se conspícuo no relêvo, constituído de rocha pegmatítica com os elementos minerais do granodiorito em textura típica e notavelmente grosseira.

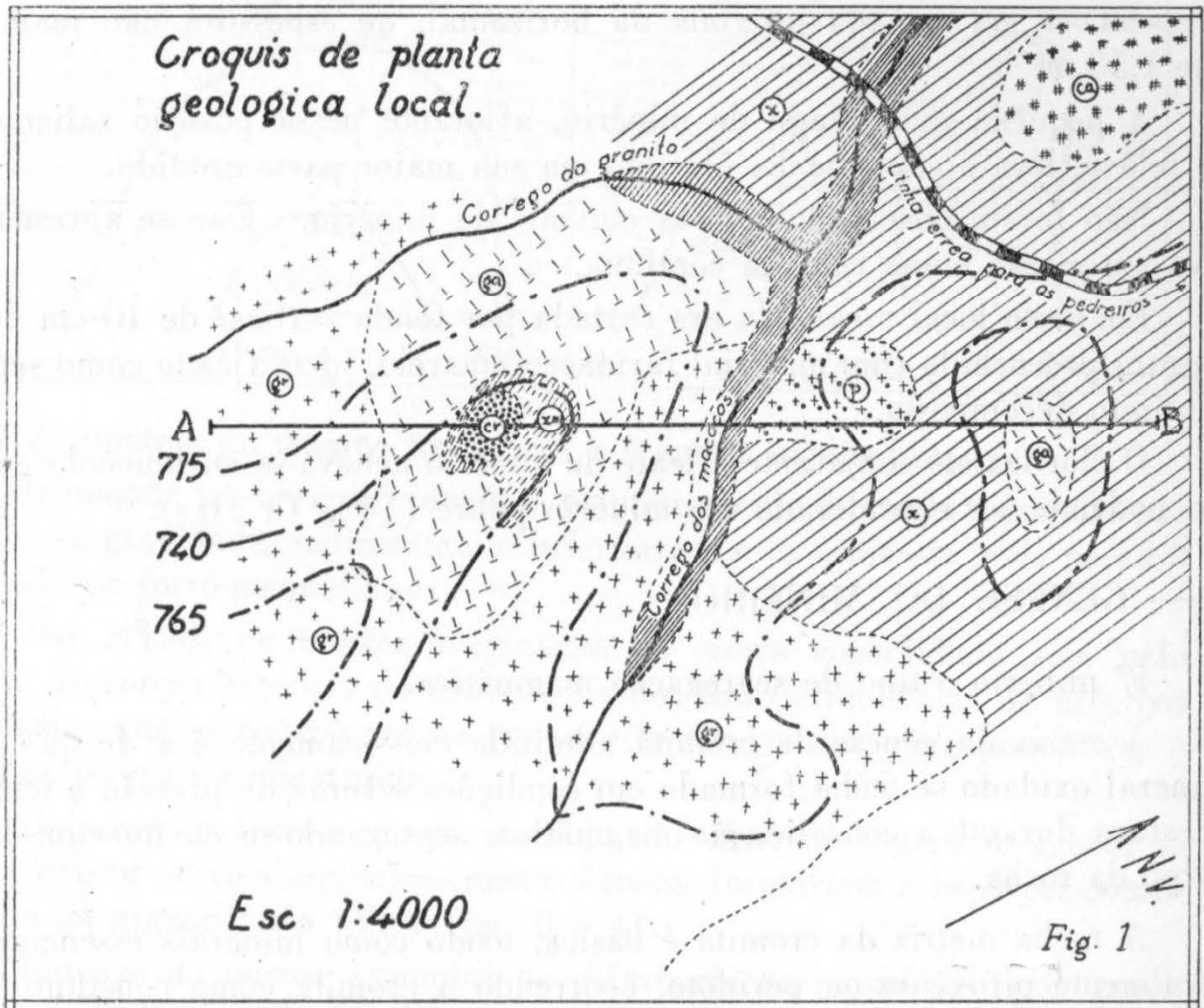
Temos pois numa mesma região, eruptivas de tipos distintos em contato mútuo. Nos contatos foram observados "slikensides" talcosos, reconhecidos pela untuosidade ao tato.

4 — DESCRIÇÃO DA JAZIDA

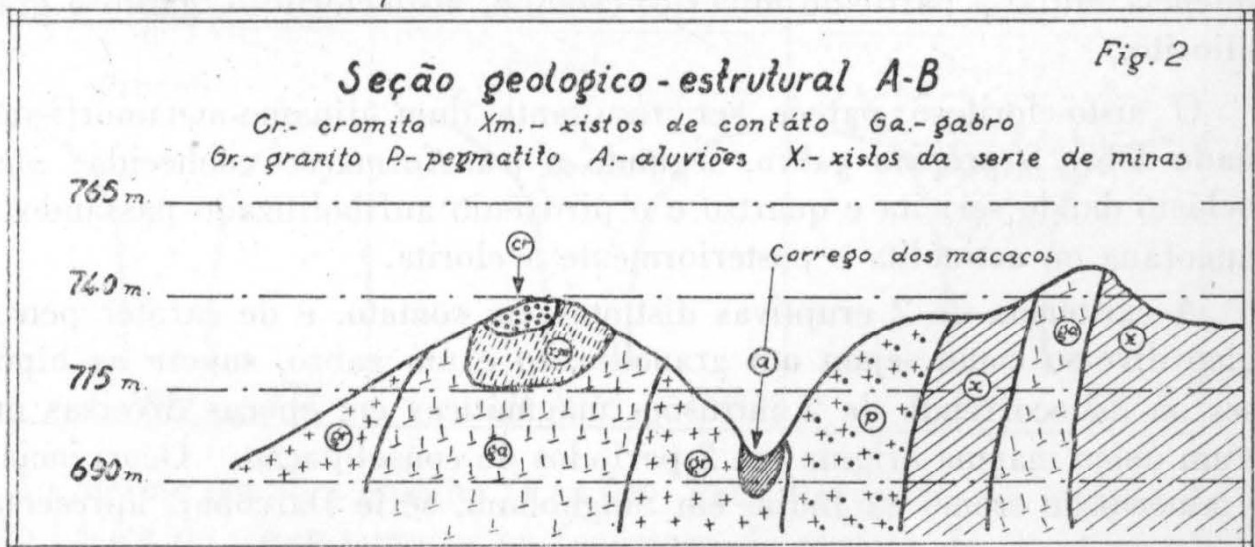
O afloramento de cromita situa-se em meio do espigão delimitado pelos córregos do Granito e Macacos.

A lente de minério acha-se entremeiada num xisto cloritoso esverdeado, que por sua vez se encaixa no gabro afloramento. Em maior escala o gabro é envolvido pela rocha clara identificada como granodiorito. As

(2) — A jazida resume-se num único afloramento encontrado e de pequena área, razão porque pode ser tomada como ponto de referência.



	Pegmatito (p)		Xistos da serie de minas
	Granito (gr)		Calcareao (ca.)
	Gabro (ga.)		Rochas de metamorfismo de contato
	Aluviões quaternarios		Minerio de cromo



figuras 1 e 2 dão uma idéia da geologia local. Quanto à forma, o minério apresenta-se em camada próxima da horizontal, de espessura não maior que 1,50 m.

A pequena quantidade de minério, aflorante nessa posição saliente do relêvo, leva a supor tenha êle sido em sua maior parte erodido.

Não foram observados blocos eluviais do minério. Êste se apresentava em massa numa camada contínua.

Em certo local a camada era cortada por fenda vertical de 10 cm de largura preenchida com material farináceo amarelo, identificado como serpentinito decomposto.

O cloritaxisto subjacente à lente de minério achava-se enriquecido em Cr, podendo ser considerado um minério pobre (14% Cr₂O₃).

5 — GÊNESE DO MINÉRIO.

É' minério o tipo de segregação magmática.

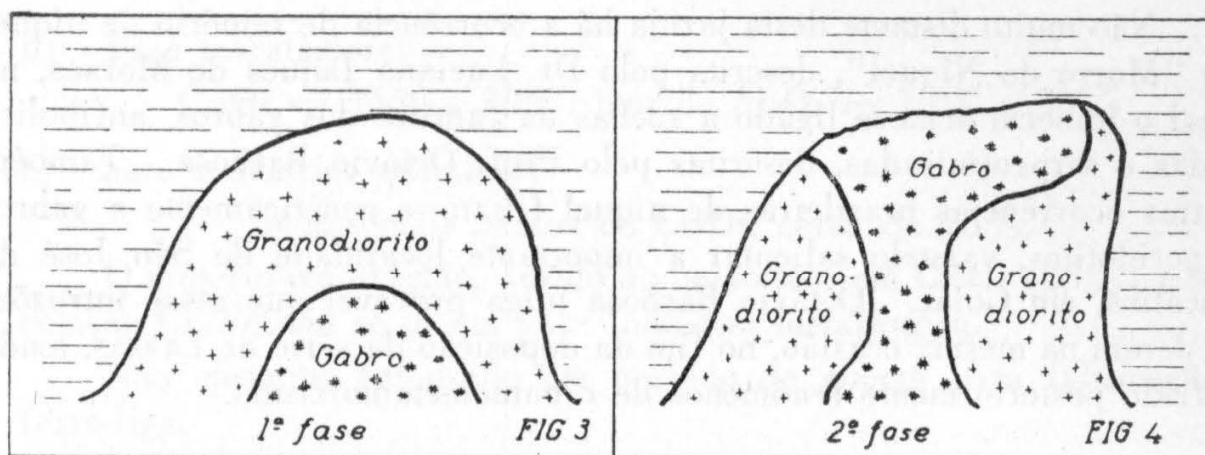
A teoria da gênese da cromita admitida clássicamente é a de que o mineral oxidado se tenha formado em condições severas de pressão e temperatura durante a consolidação magmática, segregando-se no interior do corpo da rocha.

A rocha matriz da cromita é básica, tendo como minerais essenciais geralmente piroxênio ou peridoto, ocorrendo a cromita como constituinte mineral acessório mas com freqüência gradativamente maior a medida que a porção da rocha se avizinha do corpo principal do minério.

Na jazida em questão tem-se quanto aos tipos de rochas a seguinte seqüência radial a partir do minério: cromita, xisto-cloritoso, gabro e granodiorito.

O xisto-cloritoso parece ser resultante dum dínamo-metamorfismo atuado sôbre o próprio gabro, segundo a transformação conhecida: plagioclásio dando sericita e quartzo e o piroxênio anfibolitizado passando a glaucofana ou actinolita e posteriormente a clorita.

A existência de 2 eruptivas distintas em contato, e de caráter petrológico diverso como sejam um granodiorito e um gabro, sugere as hipóteses ou da ocorrendo de 2 intrusões magmáticas em épocas diversas ou de um único magma origina em 2 períodos de consolidação. Ocorrências de minério de cromo na India, em Singhbhum, série Darcohar, apresenta notável analogia sob o aspecto geológico com o minério de Itaú, aparecendo ao lado da rocha matriz-básica eruptivas ácidas tipo gneiss-granito, o que favorece mais a segunda hipótese (Fig. 3 e 4).



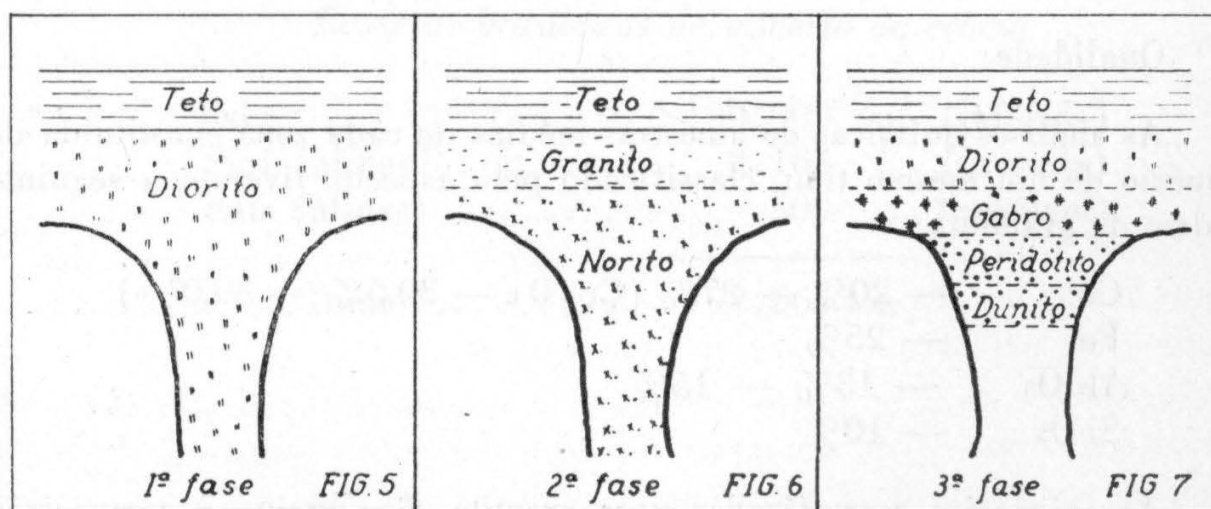
A hipótese do magma único tem a seguinte explicação:

O magma ter-se-ia diferenciado primeiramente de modo tranquilo por efeito da gravidade, sedimentando inferiormente os minerais mais pesados que são os ferro-magnesianos.

Por efeitos de tensões originadas na crosta consolidada seja pelo efeito de forças externas ou provocadas por um desequilíbrio de esforços da massa que se contrae, ter-se-iam aberto fendas por onde penetraria o magma inferior ainda fluido.

Os minerais ferro-magnesianos injetados dariam origem ao gabro, ao passo que os sílico-aluminosos, menos densos, formariam a capa pre-consolidada de granodiorito (Vide figs. 3 e 4).

Emongs dá outros exemplos de diferenciação magmática por gravimetria: (Vide figs. 5, 6 e 7).



Ao mesmo tempo a cromita ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$) segregada no interior da porção básica do magma graças ao fenômeno de ruptura da capa consolidada e alívio de tensões, teria tido a possibilidade de colocar-se na parte superior da crosta magmática.

Não muito distante desta jazida há a ocorrência de minério de níquel do "Morro do Níquel", descrita pelo Dr. Luciano Jaques de Moraes, na qual o minério acha-se ligado a rochas da família dos gabros, anfibolitizadas e serpentinizadas, descritas pelo Prof. Octávio Barbosa. Também outras ocorrências brasileiras de níquel filiam-se geneticamente a gabros e peridotitos, valendo salientar a importante localidade de São José do Tocantins, em Goiaz. Octávio Barbosa julga provável que essas intrusões se deram na mesma ocasião, no fim da deposição da série de Lavras, tendo sofrido posteriormente fenômenos de dinamometamorfismo.

6 — ESTUDOS DO MINÉRIO

O serviço de pesquisas foi iniciado determinando-se os limites dos afloramentos por meio de trincheiras contornantes e verificando-se possíveis expansões do minério não aflorantes com o auxílio de furos de sonda.

Em seguida determinou-se a possança da camada de cromita, furando-se com barras sextavadas de aço usadas em pedreiras de calcáreo.

Fragmentos de rocha umidecidos eram trazidos como testemunho da sondagem por meio da introdução intermitente de uma vara de bambú cuja ponta havia sido achatada propositadamente.

O minério variava bastante em aspecto nos diversos pontos amostrados; desde coloração verde clara à escura, quase negra, de regular tenacidade à consolidação friável, de granulação fina à grã grosseira.

Os ensaios físicos de densidade acusaram variação de 3 a 4 para os diferentes tipos.

a) Qualidade:

As análises químicas de amostras médias de cada zona constituída de minério de um mesmo tipo, classificado pelo aspecto, tiveram a seguinte ordem de grandeza:

Cr	— 20% — 27% (Cr ₂ O ₃ — 30,5% — 39,0%)
Fe	— 25%
Al ₂ O ₃	— 13% — 15%
Si O ₂	— 10%

As exigências especificadas para cromita são, quanto à composição química:

a) para ferro-cromo:

$$\begin{aligned} \text{relação Cr/Fe} &\geq 3; \\ \text{Cr}_2\text{O}_3 &\geq 45\% \text{ (48\% americ.)} \end{aligned}$$

b) Para refratários:

$\text{Cr}_2\text{O}_3 = 35\%$ a 38% ; teor de $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15\%$ a 30%

c) para indústrias químicas:

teores mais baixos de Cr_2O_3 , cêrca de 25% .

O minério em questão, devido ao baixo teor em Cr_2O_3 (35%) e baixa relação Cr/Fe não se presta para indústria metalúrgica.

Não obstante, foi usado em período de guerra para fabricação de ferro-liga.

O ferro cromo resultante tinha a seguinte composição:

Cr — 40 — 45%
 Mn — 0,2 %
 C — 0,7 %
 P — 0,05%
 S — 0,02%

b) volume de minério.

Foram cubadas cêrca de 200 ton de minério de 35% de Cr_2O_3 e mais de 300 ton de minério pobre, contendo cêrca de 14% de Cr_2O_3 , constituindo o xisto cloritoso, enriquecido daquele elemento.

Para se ter uma visão de conjunto sôbre as reservas brasileiras damos o quadro abaixo:

Reservas brasileiras de minério de cromo

Baia	190.000 ton	(inferida).
Piuí (Minas)	2.165	„ (provada).
Itaú (Minas)	500	„ (provavel).
	<hr/>	
Total	192.665 ton	

ESTUDO PETROGRÁFICO DE ROCHAS DA JAZIDA DE CROMITA DE ITAÚ

Fernando F. M. de Almeida

Os caracteres petrográficos das duas rochas magmáticas da jazida de cromita de Itaú acham-se fixados na seguinte descrição.

Granodiorito

A rocha encaixante do gabro é um granodiorito, contendo como elementos máficos diminutas palhetas de biotita verde e prismas de piroxênio ortorômbico. Visto ao microscópio percebem-se fenocristais de microclina em matriz contendo oligoclásio — andesina, quartzo, magnetita apatita, grandes cristais de titanita e produtos secundários: epidoto, clinozoizita, sericita, quartzo e calcita.

Predomina inteiramente o plagioclásio, sendo relativamente escasso quartzo primário. Não foram observados, na lâmina, piroxênios ou anfíboleos monoclinicos, mas raros prismas de ortopiroxênio, bronzito, são visíveis.

A textura é hipidiomórfica fanerítica, a maior dimensão da microclina emprestando-lhe, porém, certo caráter porfírico. A rocha exhibe os efeitos de processos dinamo-metamórficos, com desenvolvimento de estruturas cataclásticas. Os feldspatos acham-se quebrados e retorcidos; os maiores grãos de microclina e de quartzo foram moidos em seus bordos, tendo havido alguma recristalização dos produtos dessa moagem.

Soluções percorreram fraturas da rocha, depositando cristais, muito límpidos, de quartzo. Os plagioclásios foram atacados, durante os fenômenos dinamo-metamórficos, formando-se a custa deles epidoto, clinozoizita, sericita, quartzo e calcita, que os toldam quase que completamente.

Trata-se de um granodiorito possivelmente arqueano, dinamo-metamorfizado durante o proterozóico.

Gabro

Rocha mesocrática fanerítica, listrada regularmente, com faixas mais claras devidas à maior riqueza em plagioclásio. Como elementos essenciais possui plagioclásio e clinopiroxênio, aos quais se juntam, de maneira acessória, magneto-ilmenita, apatita, zirconita e quartzo. Dos minerais secundários notam-se quartzo, epidoto, calcita, hornblenda, biotita, sericita e clorita.

Os plagioclásios são sub-automórficos e apresentam-se universalmente nublados por produtos de alteração: clinozoizita, sericita, quartzo e calcita. Percebe-se, com alguma dificuldade, serem zonados, possuindo 56% An no núcleo (labradorita — andesina) e composição de oligoclásio na periferia.

O clinopiroxênio é uma variedade de augita de pequeno angulo de eixos óticos, côr pardacenta, não pleocróica, com as seguintes constantes (determinadas em platina Fedorow): $2V = 41^\circ$, $Z \wedge c = 45^\circ$, $ng - np = 0,027$ e $nm - np = 0,003$. Acha-se perifêricamente anfibolitizado, com formação de hornblenda verde, muito pleocróica, com X (pardo esverdeado pálido) $< Y$ (verde azulado) $< Z$ (pardo esverdeado), $Z \wedge c = 19^\circ$, $(-)$ $2V = 72^\circ$.

A magneto-ilmenita está parcialmente leucoxenizada, e em torno dela não são raros pequenos cristais de biotita parda. Apatita, formada tardiamente, encontra-se inclusa no quartzo, com extinção ondulante irregular, que preenche os intersistícios deixados pelos feldspatos. O quartzo mostra-se, ainda, em intercrescimento mirmequítico com os bordos mais ácidos dos plagioclásio. A zirconita, em diminutos grânulos, forma halos pleocróicos na biotita e na hornblenda.

Textura fanerítica sub-ofítica.

Trata-se de um gabro dinamo-metamorfizado, possivelmente filiado ao magma que penetrou na série de Minas durante o proterozóico superior, responsável, segundo Octávio Barbosa (*), pelas jazidas de níquel do centro e sul do Brasil, bem como pelas de cromita

(*) — MORAES, Luciano Jacques de — Jazidas de níquel do Brasil. Estudo petrográfico por Octávio Barbosa. Serv. Fom. Prod. Mineral. Bol. n.º 9, pg. 109. Ano 1935.

FABRICAÇÃO DE AÇO EM FORNO ELETRICO BASICO

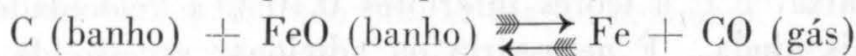
(2.^a parte)

Luiz Coelho C. da Silva (1)

A FASE OXIDANTE

Nas páginas anteriores fizemos uma série de considerações *teóricas* sobre as condições em que se dá a eliminação dos diversos elementos do banho. Esse estudo permite um melhor entendimento dos fenômenos que se dão no forno elétrico. Não corresponde, no entanto, exatamente a estes fenômenos. Assim o estudo feito serve somente para que se tenha uma idéia do *sentido* em que se dão as reações para dadas condições reinantes. Serve também, até certo ponto, para dar uma idéia quantitativa dos fenômenos. Falamos várias vezes em “equilíbrio”, “equilíbrio distributivo”, “equilíbrio da reação”, etc. Não se deve esquecer, porém, que são poucas as reações que chegam a atingir um relativo equilíbrio no fim da fase oxidante. Deve-se considerar não só o aspecto *estático* das reações — o *equilíbrio* — como também o aspecto dinâmico — a *velocidade de reação*.

Quando se considera, por exemplo, a reação:



sabemos ser o equilíbrio dado pela reação:

$$(\text{C})_b \cdot (\text{FeO})_b = 0,01 + 1/11 \text{ X } (\text{C})_b = K_{1600\text{C}^\circ}$$

Esta última relação só exprime que, se permitimos que a reação *atinja* o *equilíbrio*, o teor de carbono residual do banho será igual a K_{1600}/FeO . Nada nos diz no entanto sobre o tempo necessário para que isto aconteça. Ora, sabemos que a velocidade de reação diminui a medida que ela se aproxima do equilíbrio. Esperar que este seja atingido significará na realidade uma grande perda de tempo. O que se procura então, é deslocar o ponto de equilíbrio da reação de modo que esta se dê com velocidade

(1) — Engenheiro de Minas e Metalurgia da Usina de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.

bastante maior e no sentido desejado. Por exemplo: — suponhamos que se deseja baixar o C a 0,10%. Teóricamente dever-se-ia adicionar o minério necessário para que no fim se tivesse 0,19% de FeO no banho. Esperar que isso acontecesse seria uma grande perda de tempo. Isso porque quando o teor de C se aproximasse de 0,10% a reação tornar-se-ia muito lenta. A massa ativa de C, tornando-se cada vês menor a velocidade da reação diminuiria cada vês mais. O que se faz é então aumentar a quantidade de (FeO)_b.

Para isto adiciona-se um certo excesso de minério à escória de modo a forçar o aumento de teor de (FeO)_b. O equilíbrio é então sensivelmente deslocado no sentido de uma maior libertação de CO. A velocidade de reação torna-se muito maior e o teor de C = 0,10% é mais rapidamente atingido. Nesse momento impede-se o prosseguimento da reação pela retirada da escória. Esse procedimento permite apressar a operação de refino embora resulte n'um banho mais oxidado (com maior teor de FeO dissolvido). Com efeito, para teores baixos de carbono (0,15 ou menos) a redução de FeO pelo C prossegue mais lentamente que a difusão do FeO da escória no banho. Quer dizer: a realização das condições de equilíbrio ideais no exemplo dado resultariam num banho com 0,10% de C e 0,19% de FeO e numa escória com teor de FeO livre em equilíbrio com os 0,19% de FeO do banho. Isto é, a escória não deveria conter mais que

$$0,19 \times 100 = 19\% \text{ de FeO livre}$$

No entanto, adiciona-se de fato um excesso de minério. A difusão do FeO no banho prosseguindo mais rapidamente que a redução pelo C, ao ser atingido o teor de C = 0,10% a oxidação do banho corresponderia, ao minério adicionado, isto é, será bastante superior a (FeO)_b = 0,19%.

Para baixar o C a teores inferiores 0,10% a velocidade de reação diminui mais ainda. É necessário ou adicionar excesso de minério ao banho (o que o super-oxida) ou perder muito tempo esperando que seja atingido o equilíbrio (usando só o minério estritamente necessário).

O que acima dissemos a respeito da *velocidade de reação* é importante especialmente no caso de carbono. Os outros elementos sendo os primeiros a serem eliminados podem ser, sem maior inconveniente, colocados em presença de um excesso de FeO que será posteriormente consumido na eliminação do C.

Este elemento atua pois como uma espécie de “parachoque”, recaindo sobre ele o excesso de FeO porventura existente após oxidação do Si, Mn e P. Sòmente quando se deseja reduzir os teores de Mn e P a valores especialmente baixos é que se torna eventualmente necessário um excesso de minério para apressar suficientemente as reações:



Todas as considerações feitas a respeito da eliminação do Si, Mn, P e C não levaram em conta fatores importantíssimos, como: fluidez da escória, agitação do banho, etc. Esses fatores serão considerados mais adiante.

CONDUÇÃO DA OPERAÇÃO: — Depois da completa fusão da carga o banho metálico está a temperatura relativamente baixa e a escória, também fria é espessa e pouco agitada. Inicialmente apenas o silício terá sido eliminado. A escória, depois de tudo fundido, será rica em SiO_2 e logo que o banho fôr suficientemente aquecido ela se torna bastante fluida. É preciso, dêsse momento em diante, constituir uma escória conveniente para a eliminação dos outros elementos. Começa-se então a adicionar o minério e o calcáreo. Vejamos as condições e os efeitos da adição desses materiais.

MINÉRIO DE FERRO: — *O minério de ferro é como vimos o oxidante empregado.* Começa-se a adiciona-lo logo depois de estar tudo fundido. Essa adição torna a escória mais fluida e de certo modo (devido à humidade do minério) provoca uma agitação da mesma. A adição do minério vai ser regulada pela oxidação que se tem em vista, isto é, depende do teor final em carbono a que se deseja chegar. É preciso, portanto, controlar o carbono do banho o que se consegue pela retirada de *provas*.

A adição de minério de ferro a um banho muito quente e com carbono elevado provoca uma reação muito violenta. Porisso essa adição deve ser feita com critério, levando em conta que:

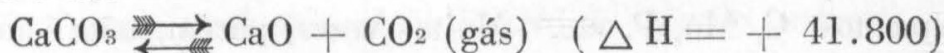
1. A reação de oxidação do C é fortemente endotérmica: a adição de minério a um banho frio não produz reação nenhuma.

2. A adição de minério a um banho muito quente produz reação muito violenta com grande evolução de gases ($\text{CO} + \text{CO}_2$).

A adição de minério de ferro deve sempre ser acompanhada do calcáreo ou cal, para garantir basicidade e consistência convenientes.

CALCÁREO: — O calcáreo vai produzir a basicidade da escória. Deve ser adicionado em quantidade suficiente para garantir essa basicidade neutralizando a sílica (SiO_2) e o anidrido fosforoso (P_2O_3).

A falta de calcáreo provoca uma corrosão intensa do refratário do forno. Este, que é basico, será atacado pela sílica livre da escória. O calcáreo serve ainda, e esta é uma função muito importante, para provocar a agitação da escória. Com efeito, à temperatura do banho o calcáreo se decompõe e da:



O anidrido carbônico ao escapar-se produz uma forte agitação da escória, que favorece o intercâmbio banho — escória.

Nota-se que à temperatura do metal fundido o CO₂ deve atuar como um oxidante. Com efeito, o gás em equilíbrio com a quantidade de FeO dissolvido no banho é, a essa temperatura, uma mistura de CO e CO₂ com predomínio franco do primeiro. O CO₂ deveria portanto decompor-se dando:



No entanto, a formação do CO₂ da-se na escória e ele escapará assim rapidamente sem entrar muito em contato com o Fe. O calcáreo deve ser adicionado tendo em vista, também, a formação de uma escória em quantidade suficiente de consistência conveniente.

MINÉRIO DE MANGANÊS: — A adição de minério de manganês é feita quando se quer obter manganês residual elevado ou quando se deseja efetuar uma oxidação pouco intensa. De qualquer modo, o emprego de minério de manganês resulta n'um banho menos oxidado (com menor teor de FeO). Embora, como já vimos, ele não permita uma boa eliminação do fosforo, quando se deseja apenas abaixar o teor de carbono é aconselhável o emprego do minério de manganês no fim da fase de refino.

A seguir damos um resumo das propriedades do minério de manganês do ponto de vista metalúrgico.

— É um oxidante mais fraco que o minério de ferro. Oxida o silício e o carbono.

— Pelo aumento do (MnO)_e desloca o equilíbrio no sentido que aumenta o teor de manganês residual do banho.

— Devido a esta última razão e devido também ao menor poder oxidante, permite obter um banho muito menos oxidado do que quando se usa só minério de ferro. É esta sua grande vantagem.

— Devido ao menor poder oxidante não elimina o fósforo. Ao contrário, pelo aumento de (Mn)_b é capaz de produzir uma reversão desse elemento ao banho.

AS PROVAS: — Para controlar a composição do banho o metalurgista pode lançar mão de análise química ou de provas cujas características físicas lhe dão indicação da composição do metal.

A análise pode ser feita tendo em vista a determinação de um ou vários elementos: C, Mn, P, etc. Muitas vezes, porém, não é necessário

ou possível recorrer à análise. Nêste caso o forneiro retira uma amostra de metal e a examina. Para isto utiliza uma concha ou colher de aço que procura revestir perfeitamente com uma camada de escória. Isto é necessário para evitar que a concha se funda ou que fique aço aderente. Retirada a amostra de aço é este vazado n'uma forma (ou molde) ou então simplesmente despejado no chão (ou n'uma placa de metal).

Nos dois casos observa-se:

1. Temperatura — pela fluidês e aspecto do material. Se êste corre bem e a concha fica limpa a temperatura estará bôa ou alta demais. Se fica um resto de aço aderente à concha a temperatura é baixa. Naturalmente o coeficiente pessoal tem aqui grande importância: sómente com grande prática é que se pode chegar a avaliar com segurança a temperatura. O tempo necessário para que se forme uma película na superfície do metal também serve para dar indicação da temperatura.

2. Oxidação do metal — (teôr em FeO) reconhecida pela evolução de gâses a medida que ele se esfria. Esta ação é, em geral, tanto mais intensa quanto mais oxidado estiver o metal. Note-se porém que êste pode apresentar-se quasi “morto”, isto é, produzindo muito pouco gás ao solidificar e, no entanto, conter elevado teôr de FeO. Isto acontecerá quando se permitir que a reação



atinja um relativo equilibrio e que este equilibrio corresponda a um teôr *extremamente baixo de C*. Com efeito, a evolução de gâses deve-se ao fato de que o equilibrio da reação acima desloca-se para a direita, a medida que a temperatura baixa. Isto é, o valor da constante $K_T = \frac{(\text{C})_b \cdot (\text{FeO})_b}{(\text{Fe})_b \cdot (\text{CO})_b}$ diminue quando a temperatura baixa. Há então libertação de CO e (CO₂). Quando o teôr de C é muito baixo já vimos que o prosseguimento de sua oxidação se torna muito mais difícil.

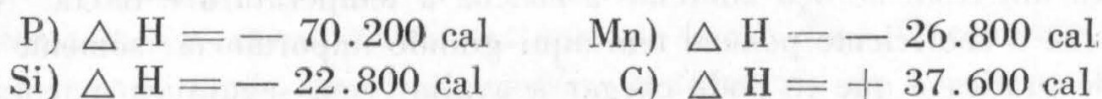
3. Teôr de carbono do metal — baseado também na evolução de gâses. Para um metal com carbono acima de 0,20% mais ou menos, a superficie da prova será rugosa, irregular. Uma superficie lisa indicará carbono baixo (pode, no entanto, indicar metal frio).

No caso da prova vazada sobre uma placa (prova de chapa) pode-se ainda fazer um “test” de dobramento. Conforme o angulo de dobramento avalia-se o teôr de carbono. A prova pode ser temperada ou não, antes do dobramento. Uma prova temperada e com mais de 0,20% de C já quebra perfeitamente. Deve-se notar, no entanto, que elementos como Mn, Ni, etc., influenciam bastante o resultado da prova de dobramento. O aspecto da fratura também será indicativo do teôr do carbono.

Todas essas provas só podem ser interpretadas quando se possui uma ceria prática. A falta desta, pode levar a erros no seu julgamento. Pelas provas reconhece-se então o teor de carbono e, pelo conhecimento deste, pode-se avaliar o grau de oxidação do metal. Basta lembrar que a oxidação dos elementos da-se aproximadamente na ordem seguinte, dependendo, é claro, das massas ativas:



A variação de conteúdo térmico na oxidação desses elementos é a seguinte:



Faltam elementos para calcular as variações de energia livre, e por isso os valores acima servem apenas para dar uma idéia aproximada da afinidade dos elementos pelo oxigênio.

A ESCÓRIA NA 1.^a FASE: — A escória oxidante ou de refino é uma fase líquida complexa. Seu papel é importantíssimo sendo o veículo do óxido que vai efetuar o refino, (FeO). Vai também absorver os produtos desse refino: SiO₂, MnO, P₂O₃, etc. A escória cobre o banho, protegendo o refratário. A emissividade da escória é maior que a do metal líquido e, por isso, enquanto a força estiver desligada a existência da escória é um fator desfavorável à conservação do refratário. Quando porém, a força estiver ligada (que é o caso geral na operação) a escória torna-se útil pois absorve a maior parte do calor produzido pelo arco e a transmite ao banho.

Quando à composição é a escória uma mistura homogênea de CaO, SiO₂, (CaO)₂ . SiO₂, (CaO)₃ . P₂O₃, (CaO)₂ . Fe₂O₃, FeO, MnO, etc. Essa mistura homogênea contém ainda MgO livre, em suspensão.

As principais características a considerar na escória são: 1. — Basicidade. 2. — Poder oxidante. 3. — Fluidês. 4. — Agitação. 5. — Temperatura.

1. Basicidade:

A basicidade da escória é indispensável para:

- a — evitar a corrosão do refratário pelos compostos ácidos (SiO₂, P₂O₃).
- b — garantir a eliminação do P pela formação do (CaO)₃.P₂O₃.

Para avaliar a basicidade da escória é necessário considerar a proporção entre os compostos marcadamente ácidos: SiO_2 e P_2O_3 e os compostos marcadamente básicos: CaO .

O MnO é, por muitos, considerado como base forte porém parece mais razoável considerá-lo como base fraca.

Secundariamente ter-se-ia então:

ácidos fracos — Al_2O_3 , FeO_3

bases fracas — MnO , FeO

Êstes ácidos e bases fracas não precisam ser considerados. A basicidade será então avaliada pelo balanço entre o CaO e a SiO_2 e P_2O_3 .

Cálculo do excesso de CaO:

A fórmula de silicato de cálcio presente na escória pode ser: $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (em presença de pouca CaO) ou $(\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2$.

Calcularemos, tomando por base $(\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2$ e $(\text{CaO})_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_3$.

Teremos então:

$\% \text{CaO}/56$ equivalem a $\% \text{SiO}_2/30$.

$\% \text{CaO}/56$ equivalem a $\% \text{P}_2\text{O}_3/37$.

Portanto, o excesso de CaO será:

$(\% \text{Excesso CaO}) = (\% \text{CaO}) - 1,86 (\% \text{SiO}_2) - 1,51 (\% \text{P}_2\text{O}_3)$
ou em relação:

$$\frac{\text{Bases}}{\text{Ácidos}} = \frac{(\% \text{CaO}/56)}{(\% \text{SiO}_2/30 + (\% \text{P}_2\text{O}_3/37))}$$

Exemplo:

Seja uma escória com:

$\text{CaO} = 40\%$ $\text{SiO}_2 = 15\%$ $\text{P}_2\text{O}_3 = 1\%$

Teremos:

$$\begin{aligned} \% \text{Excesso CaO} &= 40 - 1,86 \times 15 - 1,5 \times 1 \\ &= 40 - (28 + 1,5) \\ &= 10,5\% \end{aligned}$$

A basicidade está portanto garantida nessa escória

Nota-se, porém, que a sílica não se encontra de fato totalmente combinada na forma de $(\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2$. Calculando-se a basicidade a partir dessa fórmula chega-se ao absurdo de encontrar uma basicidade negativa para escórias que permitiram a eliminação do P. O que existe, de fato, é uma mistura de $(\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2$ e $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ em proporções que não foram ainda bem determinadas. Em todo caso, a formação do $(\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2$ exige a presença de um excesso de cal.

2. *Poder oxidante*: — O poder oxidante da escória é dado pela atividade do FeO da mesma. Como sabemos o óxido de ferro encontra-se na escória na forma combinada $(\text{CaO})_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ou livre. A maior ou menor proporção de FeO combinado depende da basicidade da escória. Tanto o equilíbrio das reações de oxidação como o equilíbrio da distribuição de FeO entre a escória e banho só se refere ao FeO livre. Tendo por base os valores da relação de distribuição correspondentes a diversas basicidades (vide fig. 2) podemos calcular o FeO livre. Seja por exemplo uma escória com

$$\text{CaO} = 40\% \quad \text{HSiO}_2 = 15\% \quad \text{P}_2\text{O}_3 = 1\%$$

Já calculamos, mais acima, o excesso de CaO:

$$(\% \text{ Excesso de CaO}) = 10,5\%$$

Entretanto com êsse valôr na fig. 2 tem-se para a relação de distribuição:

$$K_T = \frac{\text{FeO (total na escória)}}{\text{FeO (banho)}} = 110$$

Para basicidade fracas, em que o FeO não se acha combinado, pode-se adotar para a relação de distribuição e valor 100 (Herty). (2).

Portanto a porcentagem de FeO livre da escória será aproximadamente:

$$\frac{15\% \times 100}{110} = 13,6\%$$

Êste valôr corresponderia à concentração. Não conseguimos encontrar dados sobre a atividade do FeO na escória. No entanto, em primeira aproximação podemos confundir a concentração com a atividade.

Secundariamente, também o MnO pode atuar como oxidante, no caso de existir na escória em porcentagem maior que a permitida pelo equilíbrio. Isto acontece quando se utiliza minério de manganês para oxidar elementos como Si e C e produzir um elevado Mn residual no banho. Na avaliação de poder oxidante de uma escória deve-se também considerar a temperatura, que influe fortemente no valôr da relação de distribuição. (Vêr exemplo dado anteriormente).

Pelo aspecto de uma amostra de escória retirada do forno é possível chegar a uma idéia aproximada do seu poder oxidante e da sua basicidade. Sòmente a prática pode fornecer os elementos para um julgamento da escória. Ter-se-ia então (7), para escórias resfriadas em água:

Côr	FeO	CaO/SiO ₂
Negra	Médio	Baixa
Cinzenta	Baixo	Baixa
Marron clara	Médio	Média
Marron escura	Médio	Alta
Marron chocolate	Alto	Alta

Do ponto de vista químico, a escória ideal no final da primeira fase deve conter o mínimo FeO possível. Com isso tem-se uma economia de oxidante e diminuição da perda metálica. Para aproveitar ao máximo o poder oxidante da primeira escória convém deixar um intervalo de cerca de 10 minutos, pelo menos, entre a última adição de minério, e a retirada da escória. Nêsse intervalo pode-se lançar mão de adições de calcáreo para evitar a reação (banho-escória).

Seguindo-se esta norma, o metal apresentar-se-à muito menos rico em FeO e gases, no fim da primeira fase. E isso é, evidentemente, muito desejável.

3. *Fluidês*: — A fluidês da escória é um fator de grande importância. A escória sendo o veículo dos principais agentes químicos adicionados deve, obviamente, permitir que estes nela se distribuam facil e uniformemente. O intercâmbio entre escória e banho é então facilitado. Se a escória tiver alta viscosidade as ações químicas que se dão na superfície banho-escória serão pouco intensas. O poder desoxidante das camadas inferiores da escória será rapidamente consumido, e o FeO das camadas superiores, não se difundirá senão com muita lentidão.

Por outro lado, uma escória muito fluida refletirá grande parte do calor. Por êste motivo e também devido a uma ação corrosiva mais intensa o refratário sofrerá muito. Uma boa escória deve, portanto, ser de média viscosidade e apresentar um aspecto espumoso (“fluffly”).

A escória que apresenta êssas características permite que os eletrodos trabalhem com as pontas mergulhadas e protege assim o refratário.

Para engrossar uma escória muito fluida pode-se adicionar cal ou calcáreo. Para afinar uma escória muito viscosa pede-se adicionar sílica (areia quartzosa) ou fluorita (CaF₂). De preferencia o segundo, visto que para conseguir a mesma fluidês é preciso adicionar muito mais SiO₂ que CaF₂. Consequentemente a acidês da escória sobe muito mais no 1.º caso.

Visto que as temperaturas de trabalho no forno elétrico são mantidas em geral, dentro de um intervalo relativamente pequeno, é muito importante e útil considerar o sistema CaO-FeO-SiO₂.

Pela consideração do diagrama ternário dêsse sistema (vide fig. 13) pode-se ter idéia da fluidês de uma escória dada. As temperaturas de formação das escórias podem ser consideradas como 100° a 150° C mais elevadas que as representadas no diagrama.

4. *Agitação*: — A agitação da escória tem enorme importância pois ativa e apressa o intercâmbio (banho-escória). — Os meios de produzir essa agitação são os seguintes:

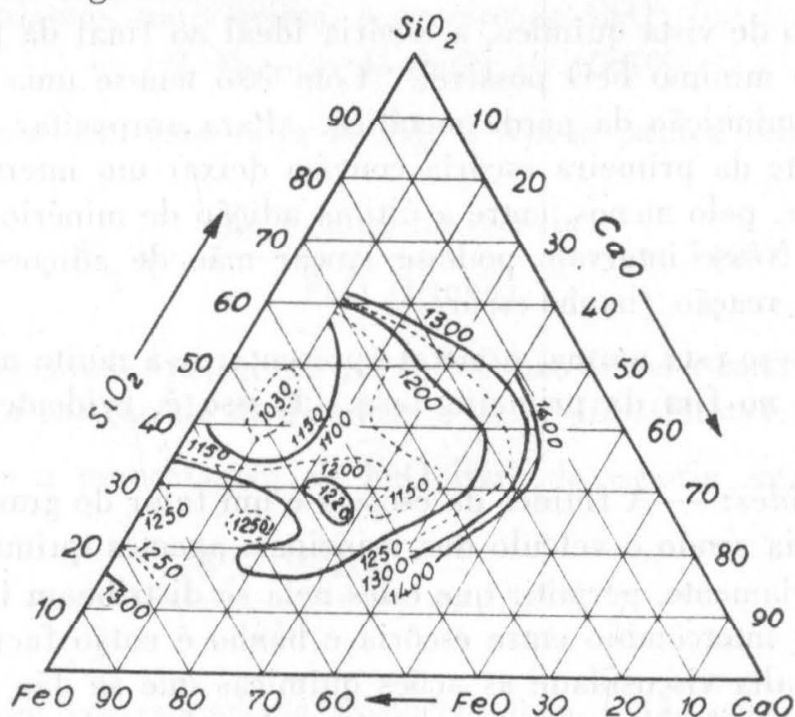
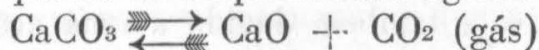


FIG. 13

1. Pela adição de calcáreo. O calcáreo decompõem-se e dá grande quantidade de gases que ao se desprenderem agitam a escória:



2. A adição de minério também provoca agitação não só pela reação com o C como devido à umidade do minério.



3. Agitação mecânica. Se necessário pode-se agitar a escória com uma barra. Chama-se à operação “bater a escória”.

5. *Temperatura*: — É importante pois tem influência na consistência e reatividade máxima.

RETIRADA DA ESCÓRIA: — Julgada terminada a oxidação necessária para baixar os teôres de Si, P, Mn, C, etc. aos valores desejados, procede-se à retirada da escória. A temperatura do metal deve ser sufi-

cientemente elevada para permitir essa retirada, sem começo de solidificação.

Uma bôa parte da escória pode ser retirada inclinando-se convenientemente o forno para trás e permitindo que ela simplesmente escorra. Isto deve ser feito com cuidado para evitar a saída de aço. Para acabar de retirar a escória pode-se lançar mão de rodos ou escumadores, de madeira ou de metal. Os eletrodos devem estar então levantados, e a força desligada. A escória é recebida n'uma caçamba apropriada.

A escória oxidante deve ser retirada o mais completamente possível. Caso contrário, os elementos nocivos nela contidos voltariam ao banho na 2.^a fase (reduzora). Porisso, para aglomerar as últimas porções de escória pode-se lançar sobre o banho algumas pás de cal. Isto facilita a operação.

2.^a FASE

Após a retirada da escória existirá no forno um banho de aço liquido apresentando as seguintes características:

1. Conterá, em maior ou menor quantidade, vários elementos dissolvidos: Mn, C, P, etc. O teor dêesses elementos, com exceção do enxofre, deve ser no máximo igual ao teor desejado no produto final (na verdade deve ser sempre inferior).

2. Conterá, em maior ou menor proporção, vários oxidos dissolvidos: FeO, MnO, SiO₂, etc. Sómente o primeiro pode ocorrer em quantidade apreciavel e é, portanto, o único a merecer consideração. O MnO e a SiO₂, são como já vimos, muito pouco solúvel no Fe liquido.

3. Conterá particulas não metálicas em suspensão. São produtos da oxidação levada a efeito na primeira fase, que não tiveram o tempo suficiente para atingir a escória. Trata-se principalmente de silicatos ou de particulas de (FeO + MnO).

4. Conterá gases dissolvidos: CO, H₂, etc.

Vê-se que o metal está, então, muito longe de ser aquilo que se poderia denominar um "aço de qualidade". Para chegar a este é preciso executar as seguintes operações:

1. — *Ajustar a composição*: introduzindo no aço os elementos necessários para conferir-lhe as propriedades desejadas. (A composição química é regulada por especificações apropriadas).

Prosseguir a eliminação do enxofre de modo a garantir um teor dentro da especificação. (Exceptua-se o caso dos aços "free-cutting").

2. — *Desoxidar o metal*, isto é, eliminar do metal o FeO dissolvido. A presença de FeO no aço afeta suas propriedades, comunidando-lhe tanto "red-shortness" como "cold-shortness". Causa tambem a evolução de

gases durante a solidificação. Isto não é um inconveniente no caso dos "rimmed", ou "semi killed steels", porém, quando se deseja obter lingotes perfeitos ou quando o aço se destina a peças moldadas, é preciso reduzir o teor de FeO a um mínimo.

3. — *Eliminar do metal as inclusões* de óxidos, silicatos, etc., oriundas da fase oxidante ou produzidas pela desoxidação.

4. — *Controlar a granulação* — Pela adição de elementos convenientes em quantidades apropriadas controla-se a granulação do aço. Obtem-se assim, á vontade, aços de granulação grosseira ("deep hardenable") ou de granulação fina ("shallow hardenable").

1. AJUSTAGEM DA COMPOSIÇÃO: — Para ter-se uma idéia da composição do metal recorre-se, em geral, à análise de uma amostra retirada logo no início da 2.^a fase. Essa análise determina os teores de C e Mn e, eventualmente, de Si, S e outros elementos.

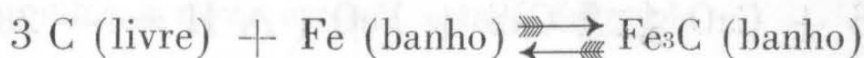
Teor de carbono: — Deve ser calculado de modo a ficar uns 2 ou 3 pontos acima do limite inferior da especificação. O teor de carbono final vai ser a soma:

- a) Teor de C do metal no fim da 1.^a fase.
 - b) Porcentagem introduzida pelas ferro-ligas.
 - c) Porcentagem absorvida da escória.
 - d) Recarburação efetuada.
- a) Vai depender não só do grau de oxidação desejado como também de b) e de c). Suficiente margem deve ser deixada devido a êstes dois fatores.
- b) A adição de ferro-ligas de alto teor de C introduz no banho uma certa porcentagem desse elemento. Assim, por exemplo, o ferro manganes contem usualmente de 5 a 6% de C.
- c) A manutenção de uma escória redutora e, eventualmente, fortemente carburetada implica na absorção de certa quantidade do C, pelo banho. Naturalmente esta absorção depende do grau de carburetação da escória, da temperatura, da superfície de contato, etc. Para forno de 1 ton. e escória francamente carburetadas, essa absorção é de 2 a 4 pontos por hora.
- d) A recarburação pode ser realizada pela adição de coque ou carvão de eletrodo. Esse processo é usado quando a recarburação a efetuar é grande; deve, porém, ser evitado.

A adição é feita no banho nú, logo após a retirada da escória. O coque deve ser de boa qualidade (pouca cinza, baixo enxofre); é usado de preferência coque granulado (cerca de 10 mesh) pois que em pedaços maiores a absorção seria dificultada e em pó muito fino uma grande por-

ção queimaria. O carvão de eletrodo (restos de eletrodos de grafite) é um material muito mais puro e deve ser usado quando possível.

Após a adição deve-se esperar 5 a 10 minutos para permitir a absorção:



A absorção é, para coque de bôa qualidade, de cerca de 60 a 65% (praticamente todo carbono fixo contido no coque é absorvido). Para carvão de eletrodo a absorção é maior (70 a 75%).

Para recarburização pequena (correções finais, por exemplo) adiciona-se *gusa de baixo teôr em fósforo ou "washed-metal"*. Êste é uma fonte de baixo teôr de Si, Mn, P e S, obtida no forno elétrico a partir de sucata e carvão de bôa qualidade ou pelo refino incompleto de fonte de Cubilot ou alto-forno. Por ser um material mais caro o "washed-metal" é empregado só no caso de aços de alta qualidade.

Note-se que a adição do gusa introduz também impurezas no metal. Deve porisso ser feita o mais cedo possível, na 2.^a fase, logo depois de conhecido o resultado da análise química.

Teôr de manganês: — Ê corrigido pela adição de ferro-manganês. Êste pode ser de alto ou baixo teôr de carbono. Em geral usa-se o de alto teôr por ser de custo mais baixo. Contem ele de 75 a 80% de manganês e 5 a 6% de carbono. Êste não precisa ser levado em conta no cálculo da composição final.

Visto que o processo elétrico permite a manutenção de uma escória fracamente redutora na 2.^a fase, a adição de ferro-manganês pode ser efetuada logo no inicio desta, sem perigo de perda. O manganês que porventura se oxide e suba à escória é imediatamente reduzido e volta ao banho.

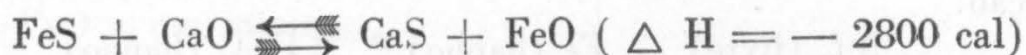
TEÔR DE SILÍCIO: — O silicio é adicionado na forma de ferro-silicio, que contem 45 a 50% ou 75 a 80% de Si, em geral. O teôr de carbono dessa ferro-liga é muito baixo e não necessita consideração, podendo ser considerado nulo. O silicio final vai ser igual à porcentagem adicionada menos a consumida na desoxidação. Esta última quantidade depende, portanto, da prática seguida (oxidação parcial ou total na 1.^a fase, desoxidação pelo Mn, desoxidação pela escória, etc.).

Teôr de enxofre: — Ao contrário dos outros elementos o teôr de enxofre deve ser ajustado não por adição mas sim por eliminação. Esta dá-se com facilidade na segunda fase devido à conjugação das duas circunstâncias:

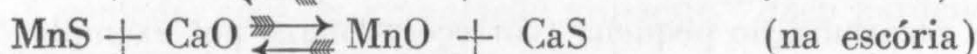
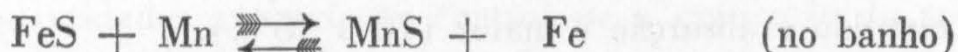
— forte basicidade.

— meio fortemente redutor.

Como foi visto, essas condições favorecem a reação



A presença de manganês favorece essa eliminação que é mais rápida quando realizada nos dois estágios seguintes:



2. DESOXIDAÇÃO DO AÇO: — Para eliminar o FeO dissolvido no metal o metalúrgista dispõe dos seguintes elementos:

a) *Contrôle da escória*: — Procura-se constituir uma escória redutora (em menor ou maior grau) que auxilie a eliminação de FeO do banho e impeça a ulterior oxidação deste pelo oxigênio do ar.

A escória desoxidante é uma mistura de cal, coque moído (= 25 mesh) e fluospato (CaF_2). A cal é a base, o coque o elemento redutor e o fluospato um fluidificante enérgico. Todos êsses materiais devem ser isentos de umidade. A mistura é preparada em proporção que depende da escória desejada (levemente redutora ou fortemente carburetada). A mistura que tem dado bom resultado no I. P. T. é a seguinte: 35 kg de cal, 7 kg de coque moído, 4 kg de fluorita.

Uma tal mistura produziria uma escória “empelotada”, não fosse a sílica formada pela ação desoxidante do silício adicionado (ferro silício). Esta sílica ajuda a formar uma escória de consistência apropriada.

Quanto ao poder redutor da escória, ela pode ser mantida fracamente redutora (branca, contendo muito pouco C) ou fortemente carburetada (cinzenta, contendo apreciável quantidade de CaC_2 , carbureto de cálcio). Esta segunda é muito mais ativa na eliminação do enxofre e do FeO, mas pode causar uma absorção de carbono não desejável.

A manutenção da escória conveniente é baseada nos seguintes fatores:

— A cal aumenta a basicidade e a viscosidade.

— O carvão aumenta o poder redutor, formando carbureto de cálcio CaC_2 .

— A fluorita aumenta a fluidês. (Esta ação está, no entanto, condicionada à presença do SiO_2).

A mistura de cal, coque e fluorita é lançada dentro do forno logo que se julgar terminada a recarburização ou logo depois da retirada da 1.^a escória. Desde que a temperatura seja suficientemente elevada, em cerca de 10 a 15 minutos a nova escória estará formada.

Poder desoxidante do carbono — O carbono presente na escória, ou adicionado ao banho na forma de “washed-metal”, é um elemento redutor, principalmente a temperatura elevada. O FeO do banho vai portanto reagir com o C (escória ou banho); como vimos anteriormente o teôr de $(\text{FeO})_b$ é, no equilíbrio, tanto menor quanto maior fôr $(\text{C})_b$. O gráfico da fig. 10 mostra, por exemplo, que o teôr de $(\text{FeO})_b$ em equilíbrio com $(\text{C})_b = 0,24\%$ seria $(\text{FeO})_b = 0,13\%$ (em média).

A desoxidação pelo carbono, é, porém, demorada (além de incompleta). Lança-se mão, porisso, de outros elementos mais ativos para apressar a desoxidação.

b) *Desoxidação pelo manganês*: — Já estudamos as condições de equilíbrio da reação.



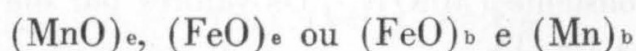
nas condições vigentes na fase oxidante.

Nessa fase o teôr de $(\text{FeO})_b$ aumenta sempre e o equilíbrio corresponde a um baixo teôr de $(\text{Mn})_b$ e um elevado teôr de $(\text{FeO})_b$. Na fase desoxidante, por em, a escória é praticamente isenta de FeO e MnO e assim a reação prossegue até que o teôr de $(\text{FeO})_b$ desça a um valôr baixo. O equilíbrio corresponderá então à saturação do metal com MnO dissolvido, saturação essa que se dá para valor extremamente baixo de $(\text{MnO})_b$.

O equilíbrio será dado por:

$$K_T = \frac{(\text{MnO})_b \cdot (\text{Fe})}{(\text{Mn})_b \cdot (\text{FeO})_b} = \frac{(\text{MnO})_b}{(\text{Mn})_b \cdot (\text{FeO})_b}$$

A determinação de $(\text{MnO})_b$ oferece enormes dificuldades (8). O problema é, então, diferente do existente na fase de refino. Nesta os termos que aparecem são:



todos eles facilmente determináveis. Na 2.^a fase, porém, é necessário conhecer $(\text{MnO})_b$ e porisso não se chegou ainda a um perfeito conhecimento de equilíbrio:

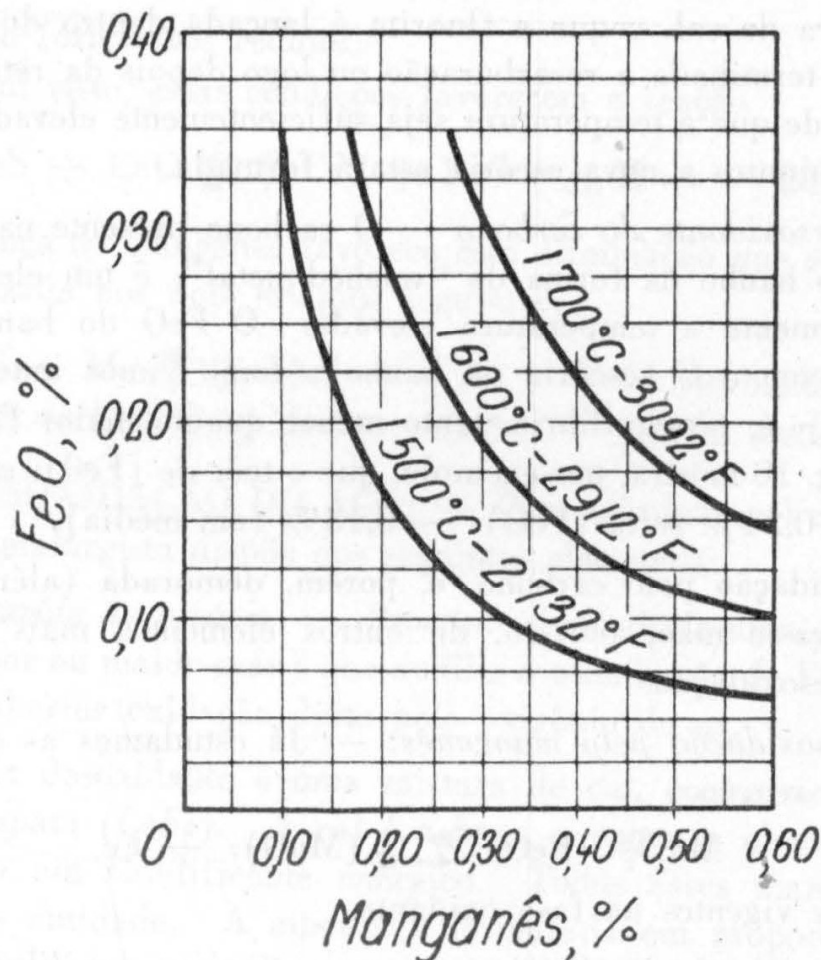


Fig. 14

$$K_T = \frac{(\text{MnO})_b}{(\text{FeO})_b \cdot (\text{Mn})_b}$$

Chipman fez a respeito considerações arbitrárias: admitiu como permanente, e correspondendo a um equilíbrio, a presença de inclusões de FeO-MnO no banho. Estas são, no entanto, quasi totalmente eliminadas do metal. Não é possível leva-las em conta quando se estuda o equilíbrio.

Herty, baseado em dados experimentais indica uma série de valores para o produto.

$$(\text{FeO})_b \cdot (\text{Mn})_b = K_T$$

admitindo como constante $(\text{MnO})_b$. Os valores por êle indicados acham-se representados na fig. 14.

Nota-se, tendo por base os valores indicados por Herty, que o manganês é um fraco desoxidante, um pouco mais fraco que o próprio carbono. Em suma, o manganês, só terá um efeito desoxidante, para aços de baixo

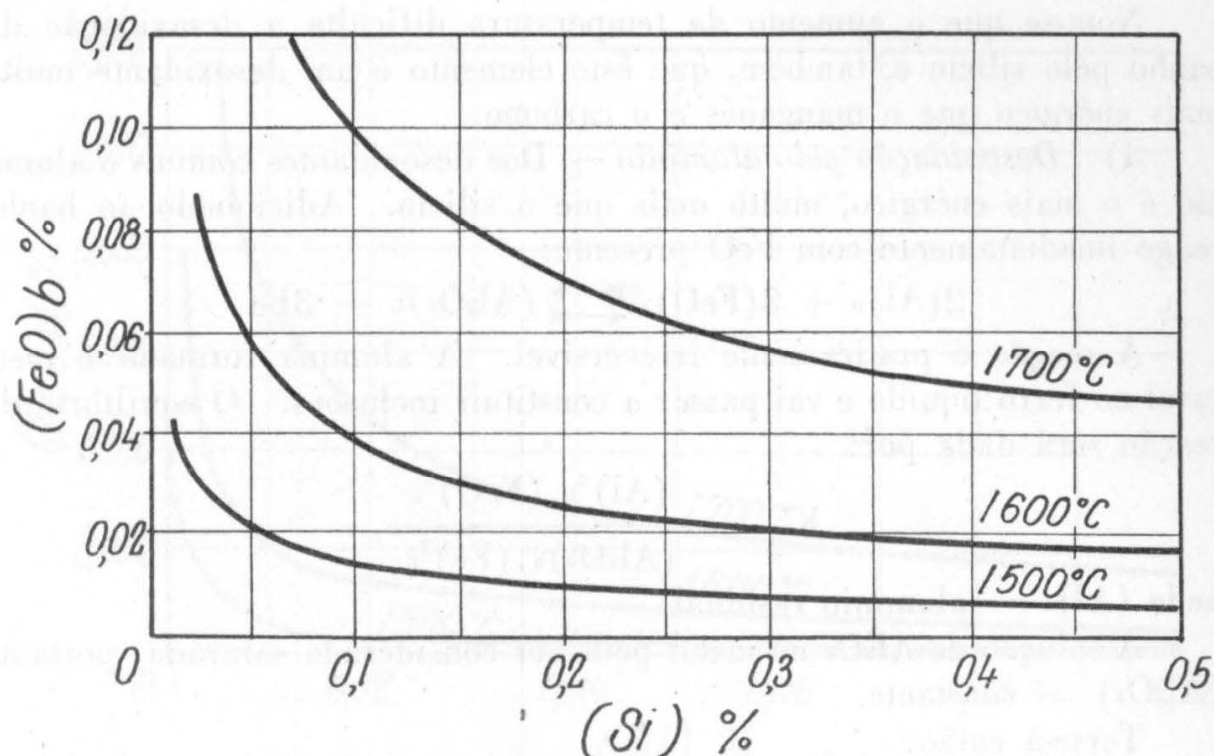


Fig. 15

carbono (com alto teor de $(\text{FeO})_b$), e esse efeito será tanto mais acentuado quanto mais baixa a temperatura.

c) *Desoxidação pelo silício* — A desoxidação do banho pelo Si baseia-se nas mesmas considerações teóricas já feitas no estudo da eliminação desse elemento.

Vimos que o equilíbrio da reação



pode ser expresso pela reação.

$$(\text{Si}) \cdot (\text{FeO})^2 = K_T$$

Valôr de K_T para $T = 1600^\circ\text{C}$ foi calculado por Chipman e determinado experimentalmente por Herty. Baseado neste último valôr Chipman recalculou o valor de K_T , indicando a relação:

$$\text{Log } K_T = \frac{30.200}{T} = 12,3$$

O gráfico (15) representa os valores que satisfazem à equação.

$$(\text{Si}) \cdot (\text{FeO})^2 = K_T$$

para $T = 1500^\circ\text{C}$, 1600°C e 1700°C .

Vê-se que, por exemplo, para $(\text{Si})_b = 0,25\%$ o teor de $(\text{FeO})_b$ será a 1600°C : $(\text{FeO})_b = 0,025\%$.

Nota-se que o aumento da temperatura dificulta a desoxidação do banho pelo silício e, também, que este elemento é um desoxidante muito mais enérgico que o manganês e o carbono.

d) *Desoxidação pelo alumínio* — Dos desoxidantes comuns o alumínio é o mais enérgico, muito mais que o silício. Adicionado ao banho reage imediatamente com FeO presente:



A reação é praticamente irreversível. A alumina formada é insolúvel no ferro líquido e vai passar a constituir inclusões. O equilíbrio da reação será dada por:

$$K'_T = \frac{(\text{Al})^2_b \cdot (\text{FeO})^3_b}{(\text{Al}_2\text{O}_3)_b \cdot (\text{Fe})^3_b}$$

onde $(\text{Al})_b$ = alumínio residual.

A solução de Al_2O_3 no metal pode ser considerada saturada: portanto $(\text{Al}_2\text{O}_3) = \text{constante}$.

Terse-à então:

$$K_T = (\text{Al})^2_b \cdot (\text{FeO})^3_b$$

Nenhuma determinação experimental, do teor de FeO residual em presença de alumínio, deu resultado consistente.

A constante K'_T por isso, só pode ser calculada. Isto é feito partindo da variação de energia livre na reação. Chipman calculou a expressão que dá o valôr de K_T em função da temperatura.

$$K_{1500^\circ\text{C}} = 4 \times 10^{-14}$$

$$K_{1600^\circ\text{C}} = 7 \times 10^{-13}$$

$$K_{1700^\circ\text{C}} = 4 \times 10^{-11}$$

$$\text{pois } \log K_T = \frac{62.700}{T} + 21,35$$

No gráfico (16) acham-se representados os teores residuais de $(\text{FeO})_b$ e $(\text{Al})_b$ em equilíbrio.

Vê-se que o poder desoxidante do alumínio é extraordinariamente maior que o do silício. Sua adição elimina praticamente todo o $(\text{FeO})_b$. Com efeito, vê-se que a 1600°C um banho com teor residual de

$$(\text{Al})_b = 0,03\%$$

conterá aproximadamente

$$(\text{FeO})_b = 0,001\% \text{ dissolvido}$$

Devido a ser facilmente oxidado o alumínio só é adicionado alguns minutos antes de vasar, ou então na panela. É adicionado puro ou sob forma de liga com Ca, Mn, etc.

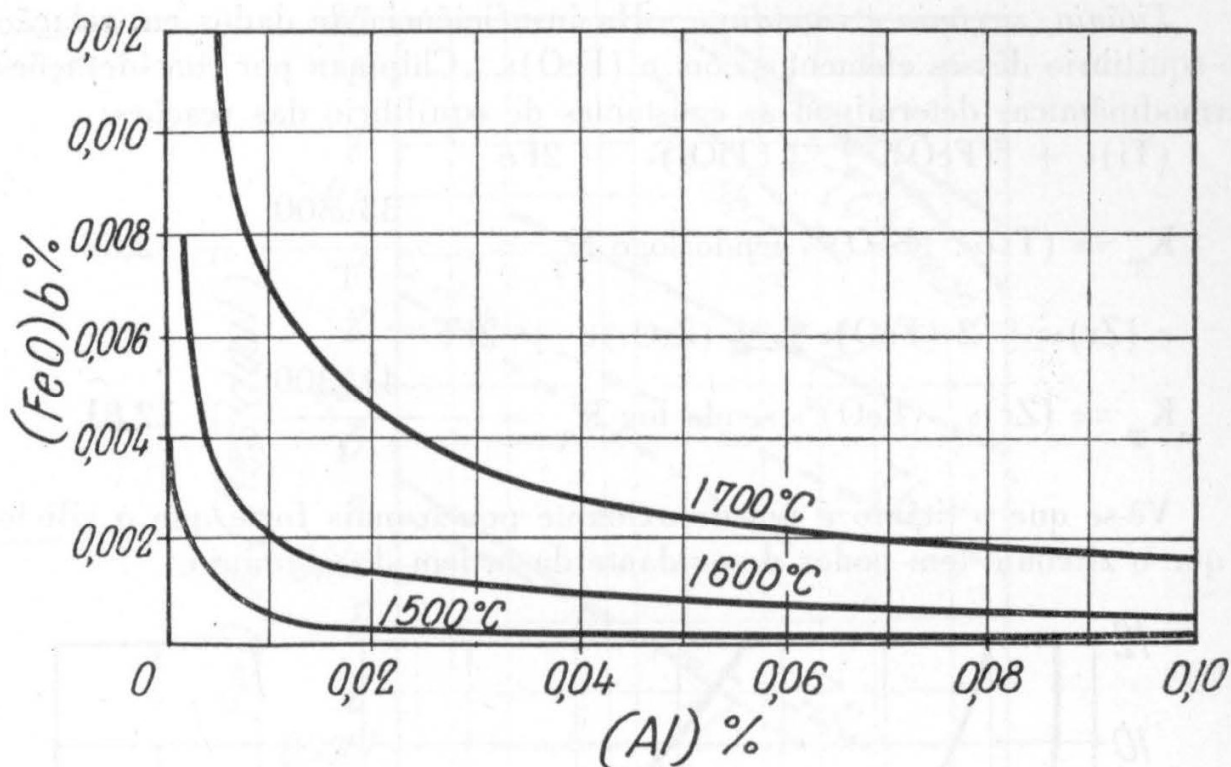


Fig. 16

e) *Outros desoxidantes — Efeitos do Cromo* — quando presente atua também como um desoxidante segundo a reação:



o equilíbrio seria dado por:

$$K'_T = \frac{(\text{FeO})^3_b \cdot (\text{Cr})^2_b}{(\text{Cr}_2\text{O}_3)_b}$$

e como $(\text{Cr}_2\text{O}_3)_b$ pode ser considerado constante, teremos:

$$K_T = (\text{FeO})^3_b \cdot (\text{Cr})^2_b$$

Chipman calculou o valor de K_T a partir da variação de energia livre da reação. Para 1500° C, 1600° C e 1700° C ter-se-à:

$$K_{1500^\circ\text{C}} = 0,4$$

$$K_{1600^\circ\text{C}} = 3,1 \times 10^{-2}$$

$$K_{1700^\circ\text{C}} = 16 \times 10^{-4}$$

$$\text{pois } \log K_T = -\frac{41.050}{T} + 40,4$$

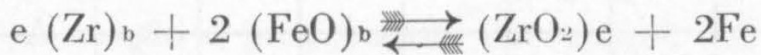
Na fig. 17 acham-se representados os valores de $(\text{Cr})_b$ e $(\text{FeO})_b$.

Verifica-se que quanto mais elevada a temperatura tanto menos cromo será oxidado a Cr_2O_3 . Isto é importante quando se deseja evitar a perda de cromo.

Titânio, zircônio e vanádio — Ha insuficiência de dados em relação ao equilíbrio desses elementos com o $(\text{FeO})_b$. Chipman por considerações termodinâmicas determinou as constantes de equilíbrio das reações:



$$K_T = (\text{Ti})_b \cdot (\text{FeO})_b^2 \text{ sendo } \log K_T = -\frac{33.300}{T} + 12,52$$



$$K_T = (\text{Zr})_b \cdot (\text{FeO})_b^2 \text{ sendo } \log K_T = -\frac{41.300}{T} + 12,81$$

Vê-se que o titânio é um desoxidante pouco mais forte que o silício e que o zircônio tem poder desoxidante da ordem do alumínio.

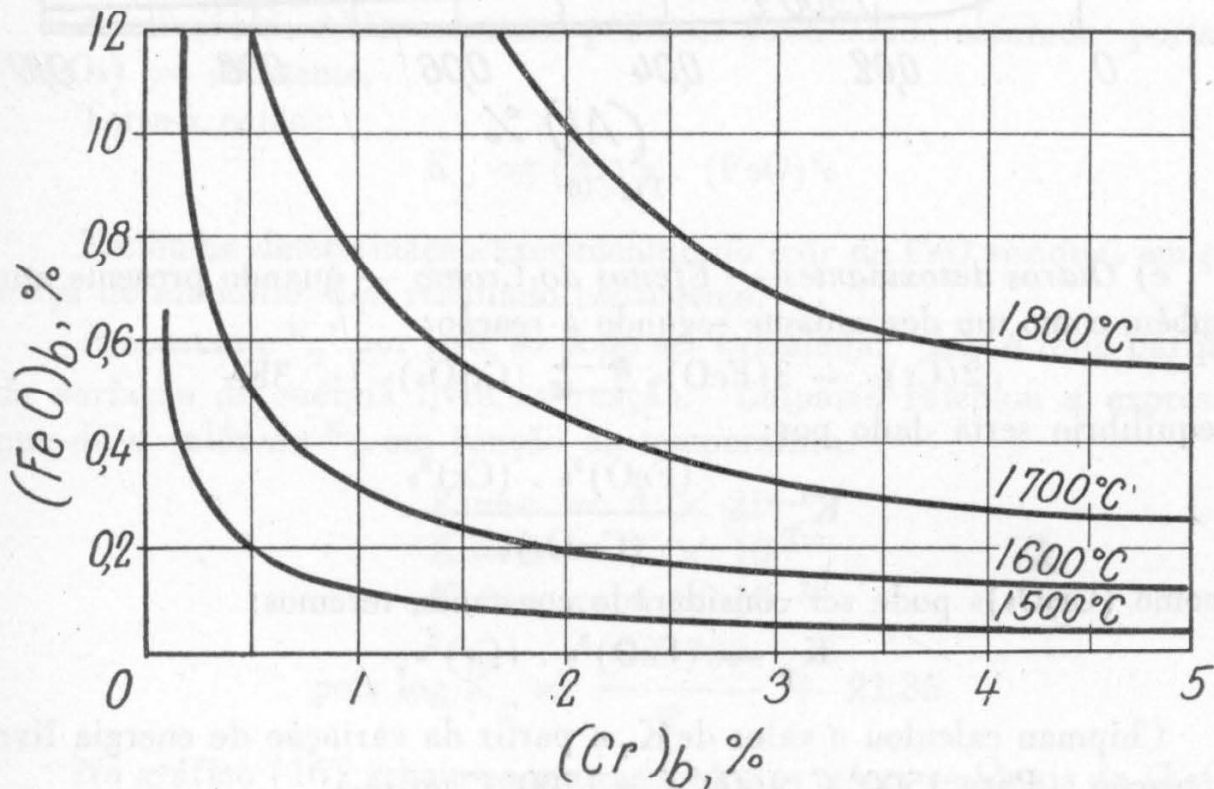


Fig. 17



$$K_T = (\text{V})_b^2 \cdot (\text{FeO})_b^3 \text{ sendo } \log K_T = -\frac{56.700}{T} + 21,1$$

De todos esses elementos o alumínio é, portanto, o mais potente desoxidante. No gráfico da fig. 18 acham-se indicados os poderes desoxidantes dos elementos a 1600° C, segundo Chipman. A curva relativa ao Mn foi modificada de modo a ficar com os valores indicados por Herty. Note-se o extraordinário poder desoxidante dos elementos alcalino terrosos.

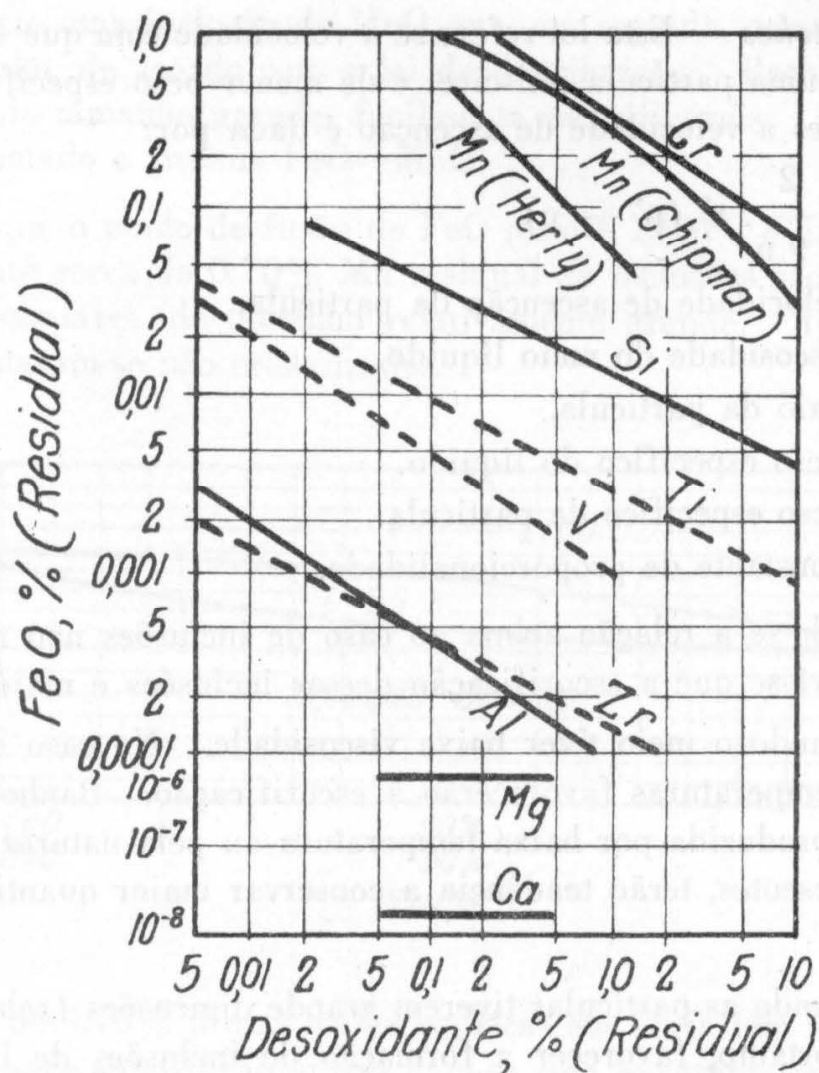


Fig. 18

Os elementos Ti, Zr e V são adicionados na forma de ferroligas, e o Ca é frequentemente usado na forma de liga com Al e Si, com Mn e Si, etc.

3. ELIMINAÇÃO DAS INCLUSÕES: — Estudamos os meios de que dispõe o metalurgista para efetuar a redução de FeO dissolvido no aço líquido. Vimos que essa redução pode ser mais ou menos completa, dependendo da natureza e da quantidade do desoxidante usado. Há a substituição de FeO solúvel no banho por outros óxidos e anidridos insolúveis. Se estes materiais não metálicos não forem eliminados do banho, o aço apresentar-se-á, após solidificação, com muitas inclusões.

A quantidade de aço (em termos de *homogeneidade e propriedades*) será muito prejudicada. É necessário, portanto, garantir a eliminação dos produtos da desoxidação. As inclusões sendo imiscíveis e de menor peso específico que o aço, subirão à escória, a ela incorporando-se.

Lei de Stokes — Esta lei refere-se à velocidade com que ascende num meio líquido uma partícula imiscível e de menor peso específico. Segundo a lei Stokes a velocidade de ascensão é dada por:

$$V = K \frac{2}{9n} \cdot r^2 (p' - p)$$

onde V = velocidade de ascensão da partícula.

n = viscosidade do meio líquido.

r = raio da partícula.

p' = peso específico do líquido.

p = peso específico da partícula.

K = constante de proporcionalidade.

Aplicando-se a relação acima ao caso de inclusões não metálicas no aço líquido, vê-se que a escorificação dessas inclusões é mais rápida:

1. Quando o meio tiver baixa viscosidade. No caso do aço, portanto, altas temperaturas favorecerão a escorificação. Banhos de grande viscosidade, produzida por baixa temperatura ou pela natureza e teor dos elementos presentes, terão tendência a conservar maior quantidade de inclusões.

2. Quando as partículas tiverem grande dimensões (relativamente). É preciso, portanto, favorecer a formação de inclusões de baixa tensão superficial, que coalesçam e formem partículas de grande diâmetro. Procura-se, então, formar inclusões de baixo ponto de fusão, visto que, para os materiais não metálicos usualmente presentes no aço como inclusões, pode-se considerar a tensão superficial em relação direta com a fluidês.

A influência dos pesos específicos é praticamente constante no caso de inclusões no aço e não precisa ser levada em conta.

MATERIAIS NÃO METÁLICOS PRESENTES APÓS DESOXIDAÇÃO

a) *Desoxidação pelo manganês*

Quando se adiciona somente manganês formam-se no aço inclusões constituídas por misturas homogêneas de FeO e MnO. Estes óxidos são miscíveis em qualquer proporção; a relação entre FeO e o MnO vai depender simplesmente da quantidade de Mn adicionado e da quantidade de FeO existente no banho. Se a quantidade de Mn adicionada é pequena forma-

se inicialmente uma inclusão de MnO que, em seguida, começa a absorver FeO do banho, de acordo com a lei da distribuição. Resultam inclusões globulares de tamanho grande, facilmente escorificáveis. No gráfico 19 está representado o sistema FeO—MnO.

Vê-se que o ponto de fusão de FeO puro é 1370°C e do MnO puro é 1590°C. Até cerca de 0,70% Mn residual as inclusões são do tipo mencionado: globulares, de tamanho relativamente grande. Após solidificação apresentaram-se não cristalizados.

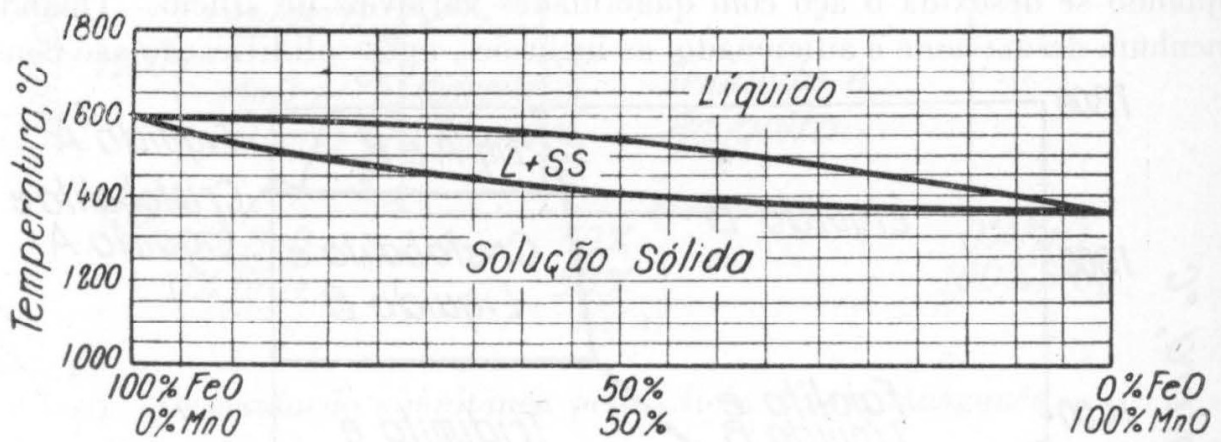


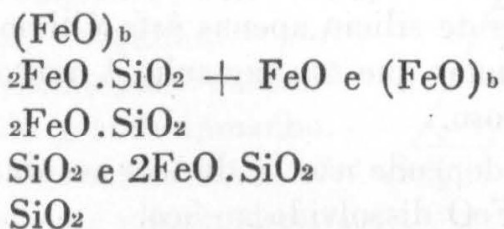
Fig. 19

Acima de 0,70% Mn as inclusões, ricas em MnO, têm ponto de fusão mais alta e após solidificação apresentam-se com estruturas cristalina. Em conclusão — a desoxidação do aço pelo Mn produz inclusões fusíveis, coalescendo facilmente (isso até Mn residual = 0,70%).

b) Desoxidação pelo silício

Sabemos que o silício reduz o FeO e passa a SiO₂. Em presença de FeO, em excesso, vai formar-se silicato de ferro. Se o excesso de FeO for maior ainda, a inclusão de silicato ferroso absorve FeO do banho, procurando atingir o equilíbrio distributivo com este.

A sequência seria, portanto, para teores crescentes de silício:



(No gráfico 20) acham-se representado o sistema FeO—SiO_2 . Vê-se que inclusões com teor de sílica até cerca de 60% tem ponto de fusão mais baixo que o Fe. São fusíveis e coalescem em particular globulares de diâmetro relativamente grande. Acima de 60% de SiO_2 o ponto de fusão se eleva rapidamente: as inclusões formadas quando se adiciona um grande excesso de Si são vitreas e constituídas quasi somente de sílica. Coalescem muito dificilmente sendo, portanto, de eliminação mais demorada.

Herty realizou investigações em torno da natureza das inclusões quando se desoxida o aço com quantidades variáveis de silício. Quando nenhum desoxidante é adicionado, as inclusões, após solidificação são cons-

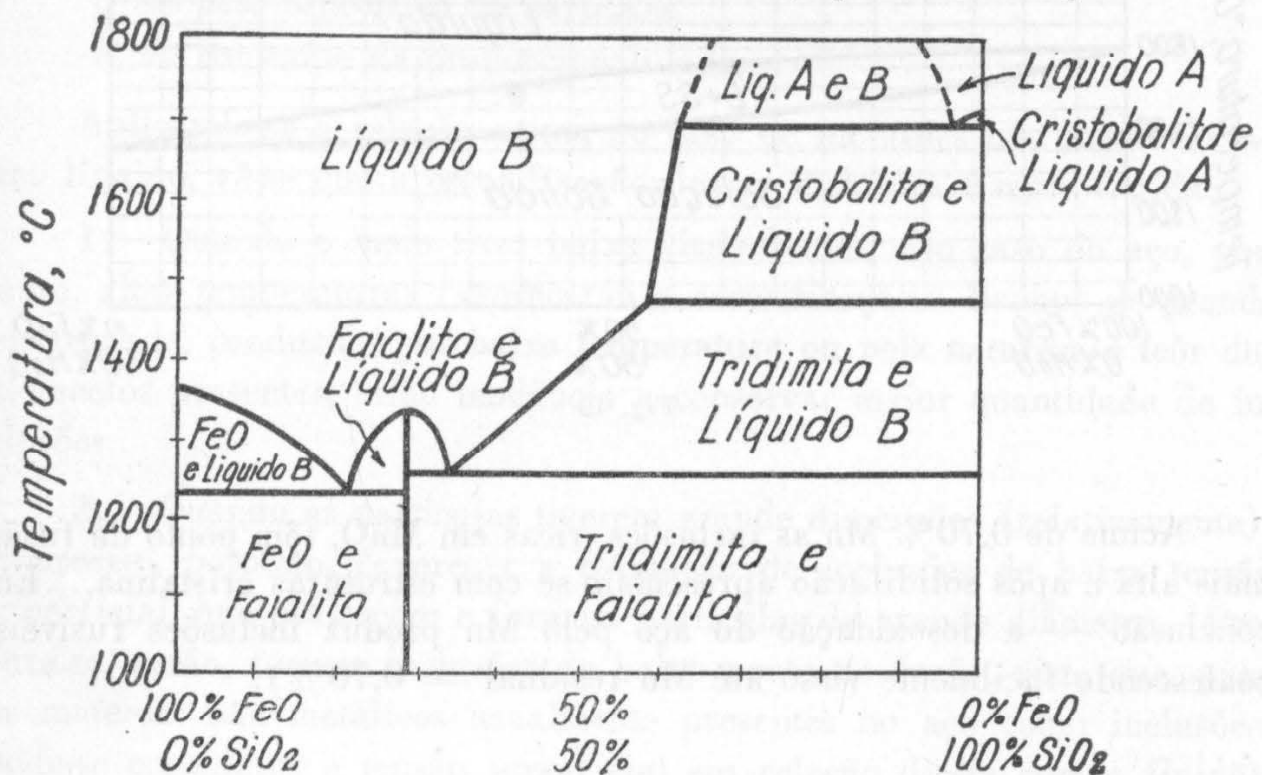


Fig. 20

tituidas por FeO primitivamente em solução. Apresentam-se em grande número, sendo globulares e de pequeno tamanho. Adicionando silício de modo a obter um teor residual de cerca de 0,30% Herty (9) verificou que as inclusões, apresentavam-se como grandes glóbulos de silicato ferroso. Com cerca de 0,16% de silício residual, ao lado destas aparecem outras inclusões também globulares mas transparentes (vitreas) constituídas quasi somente por SiO_2 . Para maiores teores de silício apenas este último tipo de inclusões foi observado. Deve-se notar que seu tamanho é muito menor que o das inclusões de silicato ferroso.

Evidente, a natureza das inclusões depende não só do teor residual de silício como também do teor inicial de FeO dissolvido no aço.

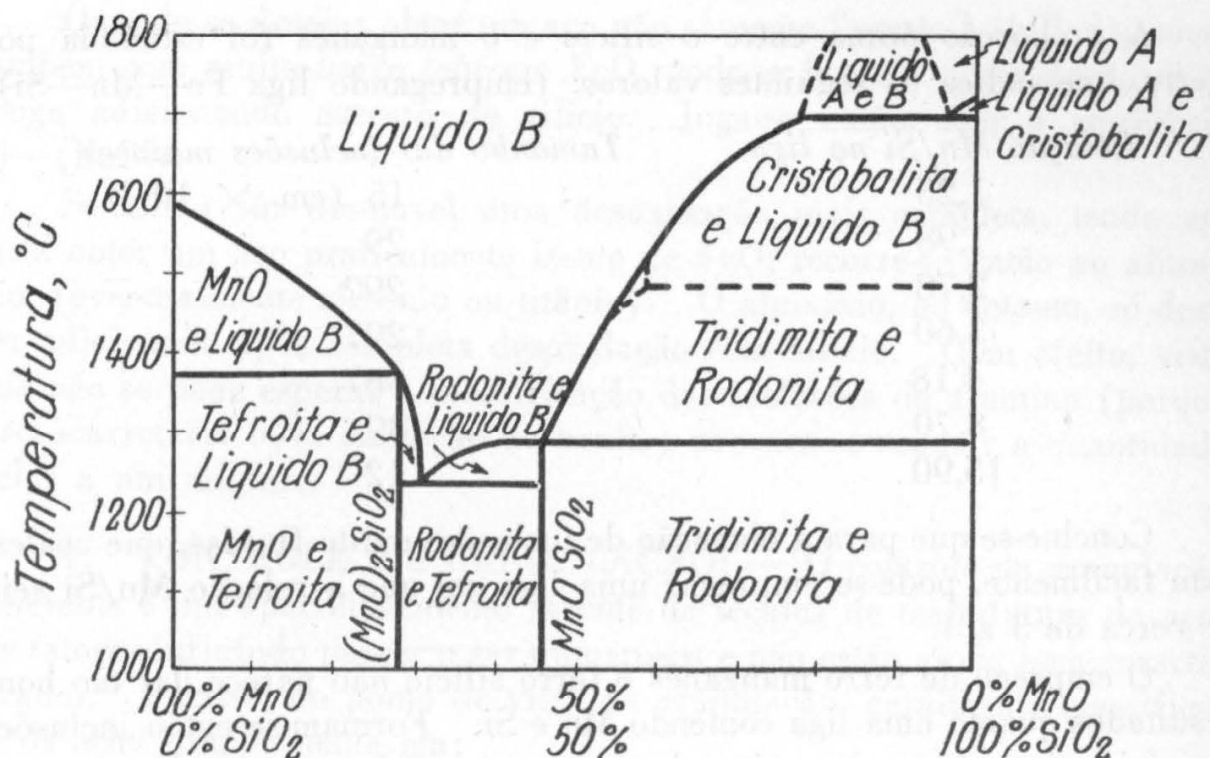


Fig. 21

c) *Desoxidação simultânea pelo silício e pelo manganês:*

A adição de silício e manganês simultaneamente acarreta a formação de silicatos duplos (Mn e Fe). O sistema (Mn—SiO₂) é muito semelhante ao sistema FeO—SiO₂ (como se pode ver comparando a fig. 21 à fig. 20). Em ambos os sistemas, o ponto de fusão mais baixo, é 1230° C, correspondendo a 78% FeO e a 68% MnO. No sistema ternário MnO-FeO-SiO₂ aparecem, no entanto, composições com ponto de fusão ainda mais baixo (gráfico 22).

O emprego de manganês e silício simultaneamente, como desoxidantes, permite a formação de compostos mais fusíveis; resultam, por coalescimento, partículas de grande tamanho, que podem ser mais rapidamente eliminados.

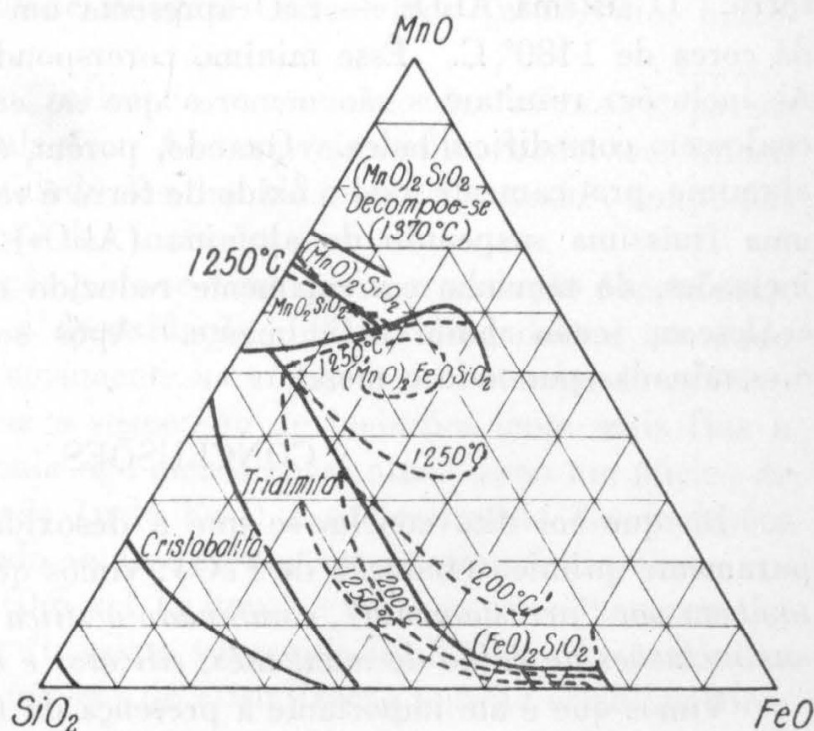


Fig. 22

A proporção ótima entre o silício e o manganês foi estudada por Herty, que indica os seguintes valores: (empregando liga Fe—Mn—Si).

<i>Relação Mn/Si na liga</i>	<i>Tamanho das inclusões maiores</i>
1,25	15 (cm \times 10 ⁻⁴)
1,98	29
2,78	292
3,60	297
4,18	367
8,70	39
15,90	12

Conclue-se que para a obtenção de inclusões muito fluidas, que coalesçam facilmente, pode-se empregar uma liga em que a relação Mn/Si seja de cerca de 3 a 4.

O emprego de ferro manganês e ferro silício não parece dar tão bons resultados quanto uma liga contendo Mn e Si. Formam-se então inclusões de vários tipos, havendo muitas de pequeno tamanho constituídas quasi só por SiO₂.

d) *Desoxidação pelo alumínio:*

O produto da reação entre o alumínio e o FeO é, como sabemos, a alumina (Al₂O₃). Do mesmo modo que no caso do manganês e do silício, se insuficiente alumínio é adicionado, a alumina formada vai ser escorificada pelo (FeO)_b residual. Formam-se inclusões de aluminato de ferro. O sistema Al₂O₃ — FeO apresenta um ponto em que a fusão se dá cerca de 1480° C. Esse mínimo corresponde a 55 a 60% de Al₂O₃. As inclusões resultantes são menores que no caso de silicato de ferro e coalescem com dificuldades. Quando, porém, se adiciona um excesso de alumínio, praticamente todo o óxido de ferro é reduzido, formando-se então uma finíssima suspensão de alumina (Al₂O₃) no banho líquido. Tais inclusões, do tamanho extremamente reduzido e em grande número, não coalescem senão muito dificilmente. Após solidificação apresentam-se disseminadas por todo o metal.

CONCLUSÕES

Do que foi dito conclue-se que a desoxidação não é um fenômeno puramente químico (redução de FeO); vimos que este pode ser eliminado *tambem por "arrastamento", combinado à sílica ou alumina, ou dissolvido nas inclusões de óxido de manganês, silicatos e aluminatos.*

Vimos que é até importante a presença de (FeO)_b residual para facilitar a escorificação dos produtos de desoxidação.

Quando se desejar obter um aço não somente “morto” (killed), como também com muito baixo teor em FeO, pode-se levar a desoxidação mais longe adicionando excesso de silício. Joga-se então com o equilíbrio $\text{Si}-(\text{FeO})_b$.

Se ainda fôr desejável uma desoxidação mais completa, tendo em vista obter um aço praticamente isento de FeO, recorre-se então ao alumínio, (eventualmente zircônio ou titânio). O alumínio, no entanto, só deve ser adicionado após completa desoxidação com silício. Com efeito, visto que não se pode esperar a escorificação das inclusões de alumina (porque isso acarretaria nova oxidação do banho) procura-se reduzir a quantidade delas a um mínimo.

4. **CONTRÔLE DE GRANULAÇÃO:** — O contrôle de granulação inerente é um aperfeiçoamento recente da técnica de manufatura do aço. Os fatores influindo parecem ser numerosos e não estão ainda bem caracterizados. Porisso, do ponto de vista da granulação, geralmente classifica-se os aços simplesmente em:

- aços de granulação fina (“shallow hardening”).
- aços de granulação grosseira (“deep hardening”).

Contudo, numa mesma aciaria, produzindo somente um dado tipo de aço é possível determinar métodos de trabalho que conduzem a uma granulação conveniente.

Aparentemente a granulação é determinada por:

- Natureza, quantidade, dimensões e distribuição das inclusões.
- Natureza e quantidade de gases dissolvidos (nitrogênio, hidrogênio).

O grau de desoxidação, influindo na natureza das inclusões, parece influir diretamente na granulação. As variáveis são, portanto, teor inicial do $(\text{FeO})_b$, natureza e quantidade dos desoxidantes empregados, tempo das adições, grau de escorificação das inclusões resultantes, etc.

Em primeira aproximação pode-se dizer que a granulação é tanto mais fina quanto mais completa a desoxidação. Isso é verdade até um dado valor, ótimo. Além disso, novamente há aumento do tamanho do grão.

Isto é, quanto mais fina a suspensão de inclusões tanto mais fina a granulação, pois cada partícula não metálica vai atuar como um núcleo de cristalização. A escorificação (pelo FeO) e coalescimento das inclusões deve, pois, ser evitada quando se desejar um aço de granulação fina.

A adição de alumínio (0,5 a 1 kg/ton.) a um aço completamente desoxidado pelo silício produz finíssima suspensão de Al_2O_3 . As partículas de alumina vão atuar como núcleos de cristalização e como estabilizadores da fina granulação obtida.

Se fôr usada uma quantidade excessiva de silício ou alumínio o aço resultante poderá ter granulação francamente grosseira. Êsses elementos começam então a influir pela formação de ligas e não como desoxidantes.

Os gases eventualmente presentes no aço também parecem influir na granulação. Essa influência ainda não está bem definida. É possível que sejam eles os responsáveis por certos efeitos de hereditariedade observados em relação à granulação dos aços. Sabe-se, por exemplo, que um aço obtido a partir de gusa ou sucata de má qualidade dificilmente apresentará tão bons característicos como um outro obtido a partir de sucata escolhida.

CONTROLE E REGISTRO DA OPERAÇÃO: — Para permitir um controle de custo de produção é indispensável o uso de *fichas de corrida*. Estas, para serem completas, deve ser capazes de fornecer a qualquer tempo as seguintes informações:

Usina de Metalurgia - I. P. T.				FORNO HEROULT			
NAT. DO PRODUTO Aço 1020 S.A.S.				DATA: 9 - 2 - 1944		CORRIDA N.º 794	
COMPOSIÇÃO DESEJADA							
C	0,15 0,25	Mn	0,30 0,50	Si	0,15 min.	P	0,045 0,055
COMPOSIÇÃO OBTIDA							
C	0,16	Mn	0,30	Si	0,25	P	0,043
CARGA METALICA				CARGA NÃO METALICA		PESO	
Sucata compr. "Gomes"	900 kg			Mín Fe	37		
Sucata nossa				Mín Mn	0		
Gusa (baixo P)	100			Calcáreo	103		
Restos				Cal	82		
				Flocspato	5		
FeSi	11			C. mad.			
FeMn (AC)	3,2			Coque	7		
FeMn (BC)							
FeCr							
Ni eletr.							
Ox. Mo							
TOTAL				TOTAL		TOTAL	
1.014,2				873		1.570	
REND. UTIL. 86,0%				REND. MET. 86,0%			
ESTADO DO FORNO				FANELA N.º 2		N.º/Pax. 1	
N.º/Abobada 65	N.º/Revest. 13		N.º/Sela 2		Est. antes 0.K. (nova)		Modo de 4 lenha
Est. antes 0.K.	Est. antes 0.K.		Est. antes 0.K.		Est. depois 0.K.		
Est. depois 0.K.	Est. depois 0.K.		Est. depois 0.K.		Válvula 3/4" C.S. Cast.		Temp. Caba quente
MODO DE FAZER A CARGA				INCIDENTES & OBSERVAÇÕES			
4 pás de MFe na carga						(Eng. responsável)	
4 " " calcáreo na carga						(Forneteiro)	

Fig. 23

- Material que se teve em vista obter (composição e quantidade).
- Material obtido (composição e quantidade) .
- *Materiaes consumidos* (incluindo eletrodos, energia etc.).
- *Estado do aparelhamento antes e depois da corrida* (forno, painéis, lingoteiras).
- *Modo de operação* (relatório sucinto da corrida).

HORA	OPERAÇÃO
8.00	F. ligada - Tap I
9.00	4 pás de calcáreo
9.40	5 " " " Tudo fundido. Tap II
9.45	1a. Prova para laboratório (análise posterior). Banho frio. 2 pás de calcáreo mais 2 pás de M.Fe.
9.55	Retirada parte da escória.
10.00	2 pás de M.Fe. mais 3 pás de calcáreo.
10.05	1 pá de M.Fe. mais 3 " " "
10.07	4 pás de calcáreo.
10.15	4 " " "
10.43	2a. Prova para laboratório (análise posterior) (Metal e Escória)
10.43	2 pás de cal. Início da retirada da escória.
10.52	Fim da retirada da escória.
10.54	2 kg de Fe Silício mais 6 pás de mistura (35 + 7 + 4)
11.07	3a. Prova para laboratório (análise posterior)
11.08	3 kg de Fe Silício mais 2,4 kg de Fe Manganês.
11.16	4a. Prova para laboratório (C. e Mn - boca de forno)
11.17	2 kg de Fe Silício mais mistura.
11.32	C = 0,18% Mn = 0,26%
11.45	0,8 kg de Fe Manganês mais 1 kg de Fe Silício mais mistura.
11.57	1 kg de Fe Silício
	Prova de forja - oxidada.
12.07	1 kg de Fe Silício
	Prova de forja - O.K.
12.20	Prova de temperatura - O.K.
	1 kg de Fe Silício
12.25	Vazamento
	Resultado das análises
	1a. Prova - C = 0,33 % Mn = 0,11 % Si = 0,12 % P = 0,091 % S = 0,044 %
	2a. " - 0,06 % 0,03 % - - 0,002 0,046
	3a. " - - - 0,17 % - 0,042
	4a. " - 0,18 % 0,26 % 0,14 % - 0,020
	Análise da escória: SiO ₂ - 11,2 % Al ₂ O ₃ - 1,68 % FeO - 26,3 %
	MnO - 3,68 % CaO - 45,5 % MgO - 9,4 %
	P ₂ O ₅ - 1,22 %

Fig. 24

Como exemplo incluímos uma ficha de corrida, da Usina de Metalurgia do I. P. T., ficha essa elaborada segundo os princípios enumerados acima. (figs. 23 e 24).

A corrida registrada nessa ficha não pode no entanto, ser considerada uma corrida regular; procuramos atingir na 1.ª fase da mesma um relativo estado de equilíbrio entre a escória e o banho, com o intuito de tentar verificar as relações de composição então existentes. Para isso retiramos amostra do metal e da escória pouco antes de retirar esta última.

Pelo resultado da análise podemos calcular o *teôr de (FeO)_b* a formula já indicada é:

$$(FeO)_b = \frac{0,01}{(C)_b} + 0,09$$

No caso:

$$(FeO)_b = \frac{0,01}{0,06} + 0,09 = 0,167 + 0,09 = 0,257\%$$

Por outro lado já vimos que, em média, pode-se adotar para condições normais de trabalho:

$$\frac{(FeO)_e}{(FeO)_b} = 100$$

Podemos então calcular $(FeO)_e$:

$$(FeO)_e = 100 (FeO)_b = 100 \times 0,257\% = 25,7\%$$

Óra, a análise da escória nos deu:

$$(FeO)_e = 26,3\%$$

Vê-se que a concordância foi boa.

O que na ficha chamamos *rendimento metálico* é a relação entre o peso total do aço saído do forno e o peso total dos materiais metálicos carregados.

O *rendimento útil* é a relação entre o peso de aço utilizavel (vendavel) e o peso total de materiais metálicos carregados.

REFERÊNCIAS

- 1 — Rassbach Trans. Am. Soc. Metals.
- 2 — Herty — Bulletin n.º 68 — A. I. M. M. E..
- 3 — Chipman — Trans. Am. Soc. Metals — 1934.
- 4 — E. Cook — Open-Hearth Steel Making.
- 5 — Making, Shaping and Treating of Steel — U. S. S.
- 6 — Larsen — Controlling Open Hearth Making — U. S. S.
- 7 — Herty — Slag Control — A. I. M. E. — Iron & Steel Div. 1940.
- 8 — Oberhoffer & Shenck — Stahl und Eisen — 1927.
- 9 — Herty — Bulletin n.º 69 — A. I. M. M. E.

AGLOMERANTES PARA AREIA DE MACHO

Clovis Bradaschia (*)

RESUMO

Nesse estudo o nosso objetivo é dar apenas uma idéia do grande número de aglomerantes usados em areias de macho, uma classificação moderna dos mesmos e os principais usos de cada um. Muitos desses aglomerantes já foram estudados e estão sendo utilizados na Usina de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Cada um desses aglomerantes poderia ser estudado com grande desenvolvimento, o que no entanto, seria muito extenso. Estudo, um pouco mais desenvolvido foi feito sobre óleos aglomerantes.

I) — GENERALIDADES SÔBRE AGLOMERANTES. CLASSIFICAÇÃO.

Existem muitos tipos de aglomerantes e cada tipo é utilizado com o fim de dar ao macho uma propriedade particular que se deseja. Os requisitos principais de um bom aglomerante, são: 1) Conferir ao macho a resistência desejada. Como a resistência necessária varia, deve-se utilizar um aglomerante em proporção adequada para cada caso. 2) Permitir que o macho atinja a colapsibilidade (***) no fim de um tempo ótimo, evitando trincas por contração. 3) Desenvolver o mínimo de gases quando o macho entra em contato com o metal fundido. 4) Conferir ao macho uma resistência a verde suficiente que permita a sua trabalhabilidade e o seu transporte até a estufa. 5) Um bom aglomerante não deve produzir a deformação do macho durante o aquecimento. 6) O aglomerante deve ser tal que permita o armazenamento dos machos sem que a sua resistência se altere. 7) O aglomerante deve absorver o mínimo de umidade quando o macho é armazenado ou depois de ter sido colocado no lugar, no molde. 8) O aglomerante deve possuir boas propriedades dispersantes que per-

(*) Aluno do 6.º ano do Curso de Engenheiros de Minas e Metalurgistas da Escola Politécnica de São Paulo e assistente-aluno da Divisão de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

(**) *Colapsibilidade*. Denomina-se colapsibilidade a propriedade que deve ter o macho de esboroar, quando o metal se contrae durante o esfriamento, impedindo o aparecimento de trincas na peça.

mitam a sua distribuição uniforme durante a mistura, gastando para isso um tempo mínimo. 9) Um aglomerante deve ser barato.

Os aglomerantes para macho podem ser divididos em quatro classes principais: 1.º — Aglomerantes que endurecem pelo resfriamento. 2.º — Aglomerantes que endurecem à temperatura ambiente. 3.º — Aglomerantes que endurecem pelo cozimento. 4.º — Argilas.

AGLOMERANTES DA 1.ª CLASSE

Dos aglomerantes da 1.ª classe a água é o único utilizado atualmente. Machos congelados foram pela primeira vez utilizados na Rússia. Utiliza-se areia de macho comum à qual se adiciona 12% de água. O macho é fabricado, pelos métodos usuais, e ainda verde é colocado em uma câmara e esfriado a uns 15°C abaixo de zero. Uma vez congelado, o macho é colocado no molde, e o vazamento deve se dar logo depois, tardando no máximo alguns minutos. Machos congelados sofrem o colapsibilidade muito rapidamente, e podem ser empregados na fundição de peças pequenas nas quais se exige colapsibilidade rápida.

AGLOMERANTES DA 2.ª CLASSE

Silicato de sódio. É utilizado em solução e somente em casos especiais. Ao contrário dos aglomerantes orgânicos o silicato de sódio é um aglomerante permanente, isto, é não se queima às baixas temperaturas em que os aglomerantes orgânicos se decompõem. Os machos aglomerados com esse material não são colapsíveis. É utilizado principalmente na proteção do molde, em regiões frágeis. Devido a sua tendência de abaixar o ponto de fusão, o silicato de sódio é utilizado principalmente na fundição de não ferrosos.

Cimento Portland. Machos feitos com areia e aglomerados com cimento estão sendo utilizados na fundição de peças de aço, ferro cinzento e não ferrosos, quando se deseja um bom acabamento da superfície. A areia e o cimento são misturados convenientemente em misturadores especiais. Em geral utiliza-se 12% de cimento, em peso, e água suficiente para o trabalho de conformação do macho. Os machos são fabricados da maneira usual e são secados em uma câmara, com circulação de ar, durante 3 dias, a uma temperatura compreendida entre 20 a 30°C. No fim desse tempo o cimento terá endurecido e a maior parte da água terá se evaporado. Esse aglomerante é utilizado em muitas usinas.

Cimento de borracha. A areia é misturada com água e depois adiciona-se o látex. O macho é fabricado e é deixado endurecer à temperatura

ambiente. Machos assim aglomerados apresentam uma colapsibilidade rápida e permitem uma fácil limpeza da peça.

Cimentos químicos. Usam-se em certos casos cimentos outros que o Portland. Um aglomerante dessa categoria é a mistura de 20%, em pêso, de cloreto de magnésio e 80% de magnésia. Cêrca de 8% desta mistura é adicionada à areia e misturada com água. O macho é fabricado da maneira usual e deixado secar à temperatura ambiente por um período de 48 horas. Êsses aglomerantes são pouco usados e ainda se encontram na fase experimental.

Esteres de sílica. Esteres de sílica são esterres de ácido orto-silícico e contêm quantidades variáveis de sílica ativa. Por exemplo, tetraetil ortosilicato contem cêrca de 28% de sílica ativa e cêrca de 38 a 42% de etil silicato. Quando misturados com quantidade adequada de água, êstes esterres se hidrolisam formando álcool e ácido silícico, o qual evapora formando um aglomerante adesivo de sílica. Êsses aglomerantes se baseiam na propriedade dos esterres se hidrolisarem. Essas informações se baseiam unicamente em ensaios de laboratório. Não têm sido utilizados na prática.

AGLOMERANTES DA 3.^a CLASSE

É a classe mais numerosa. Inclue aglomerantes como: óleos, cereais, resinas, sulfitos, proteína. Êstes aglomerantes não desenvolvem sua resistência pelas mesmas transformações físicas ou químicas. Sob êste aspecto podem ser divididos em 3 tipos: A — Aglomerantes que secam pelo aquecimento; B — Aglomerantes que endurecem pelo resfriamento depois de terem sido aquecidos; C — Aglomerantes que aderem pelo aquecimento.

Sub-classe A — Óleos para machos.

Usam-se diversos óleos minerais, vegetais e animais como aglomerantes para machos. Serão estudados mais adiante.

Sub-classe B — Aglomerantes que endurecem pelo resfriamento.

Resinas. As resinas são utilizadas como aglomerantes para areia de macho e podem ser divididas em naturais e sintéticas. Resinas naturais (ocorrem na natureza) são de origem vegetal; resinas sintéticas são as que resultam de reações químicas provocadas. As resinas naturais mais abundantes são as obtidas do pinheiro. Resinas do petróleo são sub-produtos da refinação do petróleo. O alcatrão de hulha é um sub-produto de destilação da hulha.

A resina pode ser adicionada à areia de dois modos: diretamente, devendo estar finamente pulverizada no caso de ser sólida; ou indiretamente por meio de uma solução. Assim no caso de se utilizar o breu, êste deverá ser dissolvido em querosene. A solução é que será adicionada à areia.

Óleos de resina. Êstes óleos são obtidos submetendo-se certas resinas a uma destilação destrutiva fracionária. A composição química dêsses óleos ainda não é completamente conhecida; sabe-se que êles são constituídos principalmente de hidrocarbonetos. Êsses óleos têm sido usados em muitas fundições, mas não têm dado resultados muito satisfatórios.

Óleos de resinas sintéticos, são produzidos em escala comercial pelo aquecimento do colofônio com óleo de parafina (de origem mineral).

Pixe. É um sub-produto da destilação do carvão a 180°C. Composto de pixe e dextrina é muito usado como aglomerante de machos grandes para ferro cinzento. O pixe é o aglomerante mais resistente à absorção de umidade. Por essa razão é utilizado na fabricação de machos de moldes grandes que devem ficar armazenados durante muito tempo antes do vazamento.

Sub-classe C — Aglomerantes que aderem pelo aquecimento.

Agglomerantes a base de sulfitos. Os sulfitos têm sido fonte de uma importante classe de aglomerantes que se apresentam nos estados sólidos e líquido. Os sulfitos utilizados são sub-produtos da indústria do papel.

Proteínas. Os aglomerantes a base de proteínas são constituídos de substâncias contendo nitrogênio. Nesta classe de aglomerantes incluem-se as gelatinas, a caseína e as colas. Êsses aglomerantes são usados pelas fundições quando é essencial uma alta colapsibilidade do macho e quando se deseja diminuir a quantidade de gases. São usados com vantagem na fundição de alumínio e de outros não ferrosos, quando o desenho é complicado.

Melaço. Os melaços são sub-produtos da refinação de açúcar de cana ou de beterraba. Geralmente são utilizados com outros aglomerantes, e sempre em meio aquoso. A umidade deve ser muito bem controlada.

Agglomerantes derivados de cereais. Durante muitos anos as farinhas de trigo e de centeio foram utilizadas como aglomerantes em fundição, mas com resultados pouco satisfatórios. Mais tarde apareceram a dextrina e a goma britânica. Êsses materiais, convenientemente usados dão bons resultados. O aglomerante, em quantidade relativamente pequena, deve ser bem distribuído pela areia. Melhores resultados são obtidos para quantidades baixas de umidade.

Atualmente os aglomerantes derivados de cereais são de três classes: 1) Amido gelatinizado, obtido da moagem úmida de amido de milho; 2) dextrina, feita de amido de milho; e 3) farinha de milho gelatinizada.

Os aglomerantes cereais apresentam vantagens particulares. Entre outras notam-se boa resistência a verde e boa resistência a sêco. O uso dêstes aglomerantes permite uma economia de óleo, conclusão a que se chegou experimentalmente. Em muitos casos é necessário misturar o aglomerante cereal a outros tipos de aglomerantes, para se obter determinadas propriedades da areia.

AGLOMERANTES DA 4.^a CLASSE

Argilas. As argilas são adicionadas a uma areia de macho com o fim de dar resistência a verde, retardar a colapsibilidade do macho, prevenir lavagem ou penetração.

Argila. É adicionada a areia de macho com o fim de dar uma superfície bem acabada e a resistência a verde indispensável para a confecção do macho. A permeabilidade decresce com o aumento do teor de argila. Por êsse motivo a qualidade e quantidade da argila deve ser bem controlada. Uma quantidade suficiente de argila, na areia de macho, diminue a colapsibilidade do macho.

Bentonita. A bentonita é um tipo de argila muito usado na América do Norte, que resulta da transformação de cinzas vulcânicas de idade cretácea. É constituída principalmente do mineral chamado montmorilonita. É adicionada à areia de macho quando se necessita de uma boa resistência a verde. A quantidade a adicionar depende do fim que se tem em vista e deve ser muito bem controlada.

II) — ÓLEOS AGLOMERANTES

Definição. São os aglomerantes que secam, endurecendo, pelo cozimento.

Secamento. O aquecimento de um macho, que levou como aglomerante um óleo, envolve uma série de reações físicas e químicas. Durante o aquecimento, a primeira ação do calor é expelir a umidade. No decorrer do aquecimento dão-se fenômenos de oxidação, polimerização e decomposição. Os resultados obtidos dependem do calor fornecido e da composição do óleo. Essa conclusão se aplica tanto a um óleo simples, com a mistura de vários óleos (1). A oxidação procede-se quando o óleo é constituído de substâncias não saturadas. Por exemplo, sabe-se que o óleo de linhaça contém certas quantidades de ácidos oléico, linoléico e linolenico. Sabe-se também que êsses ácidos não são saturados, isto é, êles podem se unir a uma molécula de um elemento ou radical. Assim, o ácido linoléico pode se unir a duas moléculas e o linolenico é três vêzes sub-saturado, podendo se unir a três moléculas.

O aquecimento de um macho contendo óleos vegetais é primeiramente um processo de oxidação. Pelo aquecimento o macho ficará tanto mais resistente quanto maior fôr a capacidade de se oxidar dos óleos utilizados, o que é função do seu grau de sub-saturação.

Constatou-se que os óleos vegetais, como o de linhaça, apresentam a capacidade de se unir ao oxigênio à temperatura ambiente, porém essa capacidade é muito baixa. Pela aplicação do calor, aumenta a capacidade do oxigênio se unir à molécula e a polimerização se dá mais rapidamente, formando-se o filme sólido exigido. Essa é a razão porque os machos são aquecidos.

A polimerização é definida por Webster do seguinte modo: "É a transformação (pela união de duas ou mais moléculas da mesma espécie) em outro composto tendo os mesmos elementos (por exemplo, carbono, hidrogênio e oxigênio), nas mesmas proporções, mas tendo um pêso molecular multiplo".

De um ponto de vista prático a formação do filme sólido se dá em duas partes: o proceso de oxidação e o processo da polimerização. Em geral a oxidação precede a polimerização, mas as duas podem se dar simultaneamente.

Para facilitar a secagem costuma-se ferver os óleos com produtos oxidantes ou catalisadores (litargirio, bióxido de manganês). Isso aumenta ligeiramente a rapidez de secagem em estufa, mas a resistência final não é aumentada (8).

Tipos de óleos.

Quanto à secatividade os óleos se dividem em duas grandes categorias (8): óleos secativos e óleos não secativos. Os primeiros compreendem óleo de peixe e os diversos óleos vegetais. A segunda categoria compreende os óleos minerais, óleos que provêm da destilação da hulha, da madeira e óleo de resina.

Quanto à origem os óleos podem ser: vegetais, minerais e animais. Os óleos vegetais secativos são os mais comumente empregados. Os óleos minerais, que agem por polimerização, estão sendo empregados em quantidades crescentes. O uso de óleos animais está decrescendo nas fundições.

Requisitos de óleos para macho.

Um óleo aglomerante para macho deve satisfazer as seguintes exigências, mais importantes, que se encontram entre os requisitos gerais de um aglomerante para macho, especificados páginas atrás: 1) Deve possuir boas propriedades dispersantes de modo que êle possa envolver todos os grãos de areia. 2) Deve produzir machos com a resistência desejada. 3) Deve gerar o mínimo de gases.

Ensaio realizados.

Vários ensaios foram feitos visando os seguintes objetivos: 1) Economia de óleo aglomerante. 2) Escolha de um óleo tão bom ou melhor que o de linhaça, porém, mais barato.

Nesses ensaios utilizou-se uma areia cuja composição era mantida sempre constante, variando apenas a qualidade do óleo em cada experiência. A composição da areia era a seguinte:

Areia do mar	2 kg
Óleo aglomerante	40 cm ³ (2 lt em 100 kg de areia)
Argila	140 g (7%)
Água	4 a 6%

Nenhum outro aglomerante foi adicionado. Assim, a variação da resistência a sêco pode ser atribuída unicamente ao óleo aglomerante.

A argila foi adicionada com o fim de dar resistência a verde, à areia, sem o que não seria possível a fabricação dos corpos de prova. Os ingredientes foram adicionados e misturados na seguinte ordem:

areia + argila — mistura de 2 minutos.

mistura anterior + óleo aglom. — mistura de 2 minutos.

Finalmente adicionou-se água e a areia foi misturada durante 5 minutos.

Foram experimentados os seguintes óleos: óleo de mamona, óleo de caroço de algodão (semi-refinado) e óleo de amendoim (fabricado pela Secção de Óleos do I.P.T.). Com o fim de permitir comparações, foram feitos ensaios com óleos já conhecidos: óleo de linhaça, óleo de milho, óleo para macho (norte-americano). A tabela abaixo resume os resultados obtidos:

N.º de ordem do ensaio	Óleo aglomerante usado	Umidade %	Dureza A. F. A.	Tração kg/ cm ²	Observações
1.º	Óleo de linhaça	4,9	76	3,87	Aquecimento em estufa 2 h a 200°C
2.º	Óleo de mamona	4,8	63	3,16	„
3.º	Óleo de mamona	6,2	72	3,16	„
4.º	Óleo de linhaça } Óleo de mamona }	4,1	64	3,16	„
5.º	Óleo de milho	4,3	63	2,46	„
6.º	Óleo para macho (americano) ...	4,8	50	2,11	„
7.º	Óleo para macho (americano) ...	5,8	60	1,97	„
8.º	Óleo de caroço de algodão	4,3	65	2,46	„
9.º	Óleo de amendoim	4,3	60	2,46	„

Do quadro acima concluem-se que: 1) Com o uso unicamente de óleo, sem adição de nenhum outro aglomerante, o óleo de linhaça se mostrou o mais eficiente. 2) O óleo de mamona se aproxima bastante do óleo de linhaça. 3) A mistura de óleo de mamona e óleo de linhaça (1:1) não deu melhores resultados que o óleo de mamona simples. 4) Os óleos de caroço de algodão e de amendoim deram resultados idênticos ao do óleo de milho. De um modo geral os resultados obtidos foram muito baixos. Novos ensaios foram feitos visando melhorar as propriedades da areia, sendo adicionado mais um aglomerante, a dextrina.

Novos ensaios.

Nesses ensaios verificou-se a influência da dextrina sobre as qualidades das areias de macho aglomeradas a óleo. A composição da areia, mantida constante em todos os ensaios, foi a seguinte:

Areia do mar	2 kg
Argila	140 g (7%)
Óleo aglomerante	40 cm ³ (2 lt em 100 kg de areia)
Dextrina	30 g (1,5%)
Água	100 cm ³ (4,5 a 4,7%)

Variando apenas a espécie de óleo e mantendo constante todos os outros fatores, pode-se verificar o comportamento da dextrina com cada tipo de óleo. A tabela abaixo resume os resultados obtidos.

N.º do ensaio	Óleo aglomerante usado	Umidade	Dureza A. F. A. (a seco)	Tração kg/cm ² (c/ dextrina)	Tração kg/cm ² (s/ dextrina)	Observações
10	Óleo de milho	4,7	90	7,45	2,46	Aquecimento em estufa 2 h a 200°C
11	Óleo de mamona	4,5	88	7,03	3,16	„
12	Óleo de caroço de algodão ..	4,7	88	9,28	2,46	„
13	Óleo de amendoim	4,7	86	8,44	2,46	„
14	Óleo de linhaça	4,6	85	5,77	3,87	„

Mostram os resultados que:

1) A ação da dextrina é muito grande. A mistura de dextrina e óleo aglomerante confere à areia de macho resistência à tração muito superior a que se poderia obter se se usasse unicamente óleo aglomerante ou unicamente dextrina.

2) A dextrina, adicionada a uma areia de macho, permite economizar óleo aglomerante.

3) Os óleos de caroço de algodão, de amendoim e de mamona, deram resultados melhores que o óleo de linhaça.

Conclusões.

Êstes ensaios mostram que outros óleos poderão ser utilizados como aglomerantes de areia de macho. Mas os resultados obtidos não devem ser tomados em valor absoluto; são apenas comparativos e poderão servir de base para outros estudos. De fato, os teores de umidade, argila, dextrina e óleo poderão ser modificados e nada nos garante que êles tenham sido tomados nas melhores condições.

Atualmente, os óleos de caroço de algodão (semi-refinado), de amendoim e de mamona, são mais baratos que o de linhaça (*). Portanto, esta é uma outra vantagem que se deve considerar.

III — AGLOMERANTES PARA MACHOS UTILIZADOS, ATUALMENTE NA FUNDIÇÃO DO I.P.T.

Atualmente são utilizados no I.P.T. os seguintes aglomerantes para machos:

Aglomerantes da 2.^a classe:

cimento portland

Aglomerantes da 3.^a classe:

Sub-classe A (óleos):

óleo de linhaça

óleo de milho

Sub-classe C:

dextrina

Aglomerantes da 4.^a classe:

argilas

bentonita.

Numa dada areia de macho, em geral, utiliza-se mais de um dos aglomerantes acima citados. A mistura de vários aglomerantes é sempre feita com o fim de comunicar à areia características que não poderiam ser fornecidas por um único aglomeramento. Assim, podemos encontrar uma areia com os seguintes aglomerantes: argila, dextrina, óleo de linhaça. A função da argila é permitir a trabalhabilidade da areia, dando-lhe uma certa resistência a verde, enquanto que a dextrina e o óleo vão conferir ao macho a reistência, a sêco, desejada. No caso da areia aglomerada com cimento portland, o único aglomerante é o cimento.

No Laboratório de Areias já se encontram estudos bastante completos dos aglomerantes citados. No entanto, muitos outros aglomerantes que são

(*) Nota do autor. Isto era verdade na época em que o trabalho foi feito, outubro de 1945.

freqüentemente usados nas fundições norte-americanas ainda não foram experimentados entre nós. Entre êles pôde-se citar: silicato de sódio cimento de borracha, resinas, pixe, etc. Machos congelados também nunca foram utilizados.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Modern Core Practices and Theories — Dietert. (1942).
- (2) Foundry Sand Control — Dietert.
- (3) The Properties of Resin Bonded Cores.
Emile Pragoff (A. F. A.).
- (4) Foundry Sands.
T. B. Walker (pg. 116).
- (5) Aglomeração das Areias para Machos.
Rev. Fond. Mod. 1932 — pg. 223.
- (6) Noyaux agglomérés au caoutchouc.
Rev. Fond. Mod. 1929 — pag. 98.
- (7) Des agglomérants dans la preparation des sables pour noyaux.
Rev. Fond. Mod. 1931 — pag. 464.
- (8) Les agglomérants en fonderie.
M. E. Ronceray.
Rev. Fond. Mod. 1932 — pag. 21.
- (9) Agglutinants artificiaux pour nouyaux.
A. Swargeman.
Rev. Fond. Mod. 1935 — pg. 345.
- (10) La cuisson des noyaux en sable a l'huile.
L. Campbell.
Rev. Fond. Mod. 1929 — p. 517.
- (11) Contribution á l'étude des sables pour noyaux á l'huile á haute resistance.
Stephane de Nagourski.
Rev. Fond. Mod. 1929 — pg. 367.
- (12) Mélanges économiques de sable á noyaux.
Rev. Fond. Mod. 1924 — pg. 383.
- (13) Les conditions atmosferiques et les noyaux á l'huile.
A. S. Gouttier.
Rev. Fond. Mod. 1933 — pg. 128.
- (14) Un nouvel essai des noyaux a l'huile.
H. Nipper.
Rev. Fond. Mod. 1937 — pg. 317.
- (15) Noyaux á l'huile en fonderie d'acier.
Rev. Fond. Mod. 1932 — pg. 398.
- (16) De l'influence d'additions croissantes d'argila et d'eau sur les propriétés de resistance des noyaux a l'huile, a l'état vert et a l'état sec.
H. Nipper.
Bull. Assi. Techn. Fond. — 1934 — pg. 373.
- (17) Value of Analisis and Specification for Core oils.
J. A. Citzen.
Transaction of the A. F. A. Vol. XXXVII (1930) — pag. 97.

O “II CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA”

O segundo Congresso Panamericano de Engenharia de Minas e Geologia a realizar-se na capital federal em outubro do corrente ano virá continuar os seus trabalhos interrompidos durante a última guerra mundial.

E' com grande jubilo, para nós americanos, que recebemos esse Congresso, cuja realização repercutirá favoravelmente na nossa vida politico-economica e social.

Esta última guerra mundial veio demonstrar claramente, mais uma vez, a necessidade e o aproveitamento de novos minerais na industria e de outros que se tornaram estrategicos devido a sua posição geografica, particularmente na America do Sul. O estudo intensivo de nossos depositos minerais, exigindo para isso o levantamento geologico-extrutural, etc, se torna imperioso. Nesse sentido o primeiro Congresso Panamericano traçou as linhas mestras, criando o INSTITUTO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA, com séde em SANTIAGO DO CHILE, recomendando a criação de institutos tecnologicos de mineração, geologia, metalurgia, em cada país da America, e a elaboração da carta GEOLOGICA da América do Sul. Para exploração de nossa riqueza mineral, extração, beneficiamento, metalurgia, recomendou a defesa perante os poderes publicos de cada país da America um acôrdo de “POLITICA AMERICANA” tendente á atração de capitais, criou o INSTITUTO PANAMERICANO DO FERRO E AÇO.

Inumeras outras medidas, moções, recomendações, designação de comissões, e comités, no vasto campo da Geologia, Mineração e Metalurgia, foram elaborados no primeiro congresso, realizado em 1942 na Republica do Chile.

O esperado segundo congresso, que devia ter sido levado a efeito no ano de 1943 no Rio de Janeiro, recomendará novas diretrizes na Política mineiro-economica da América e reforçará aquelas deliberadas no primeiro congresso.