

MATERIAIS DE CORTE

Os materiais utilizados para as operações de usinagem devem ser suficientemente resistentes a fim de terem uma vida útil mais longa, proporcionando superfícies de corte com a qualidade e precisão desejadas. Os materiais utilizados para a obtenção de superfícies de corte podem ser divididos em ligas e material sinterizado.

• Requisitos desejados em uma ferramentas de corte

- Resistência à compressão
- Dureza
- Resistência à flexão e tenacidade
- Resistência do gume
- Resistência interna de ligação
- Resistência a quente
- Resistência à oxidação
- Pequena tendência à fusão e caldeamento
- Resistência à abrasão
- Condutibilidade térmica, calor específico e expansão térmica



Nenhum material de ferramenta possui todas estas características

Minério de ferro

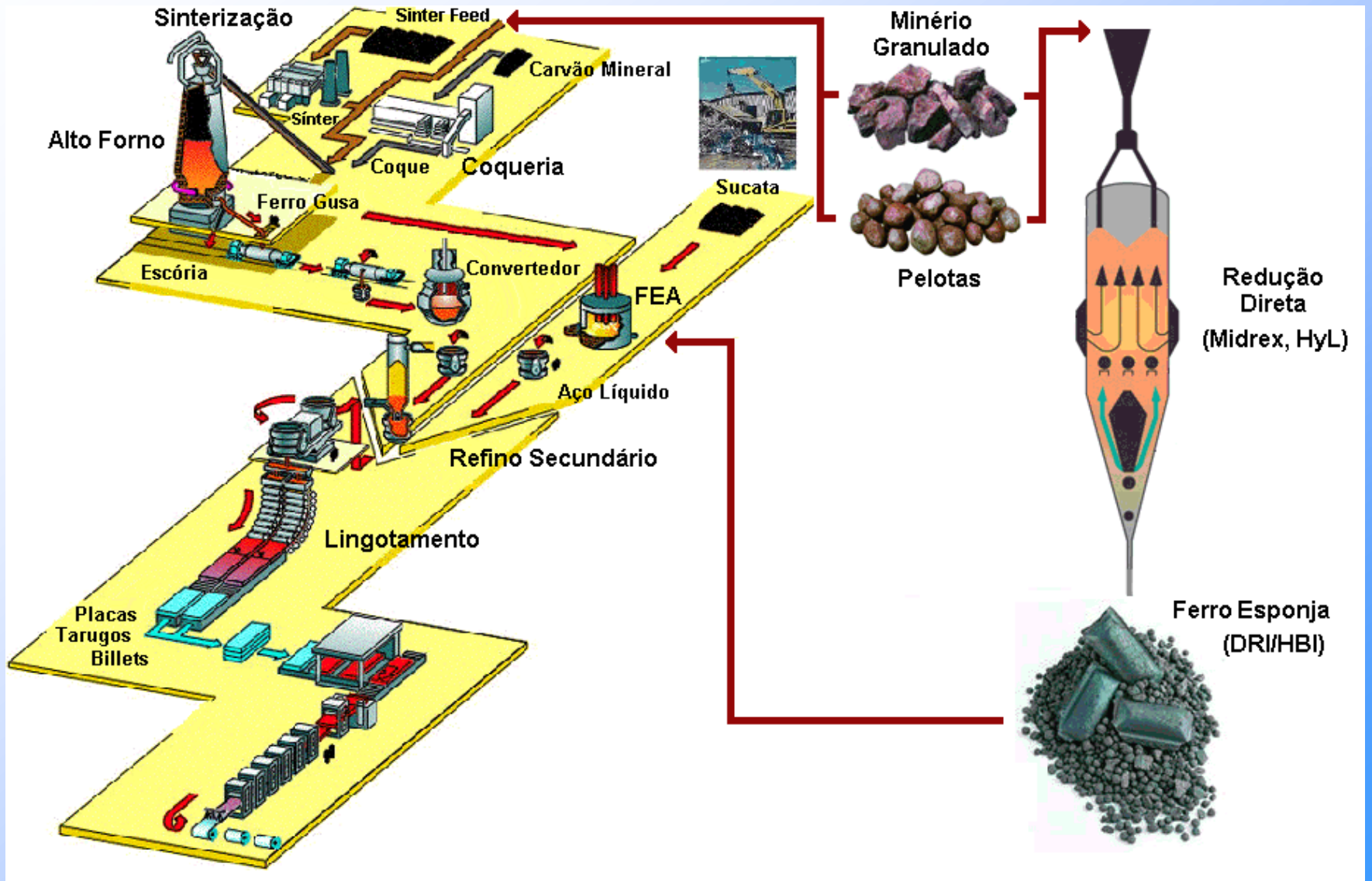
Sistema Norte – Minérios de alto teor

Esse sistema é composto pelo Complexo Minerador da Serra dos Carajás, no Pará, e pelo Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM), no Maranhão.

Sistema Sul – baixo teor (precisam de concentração)

O Sistema Sul é composto por quatro complexos mineradores: Itabira, Mariana, Minas Centrais e Minas do Oeste. Esses complexos englobam mais de 15 minas, localizadas no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais.

Produção do Aço



Ferro Primário

Fontes de Ferro



5mm<Pelotas<18mm



5mm<Sinter<50mm



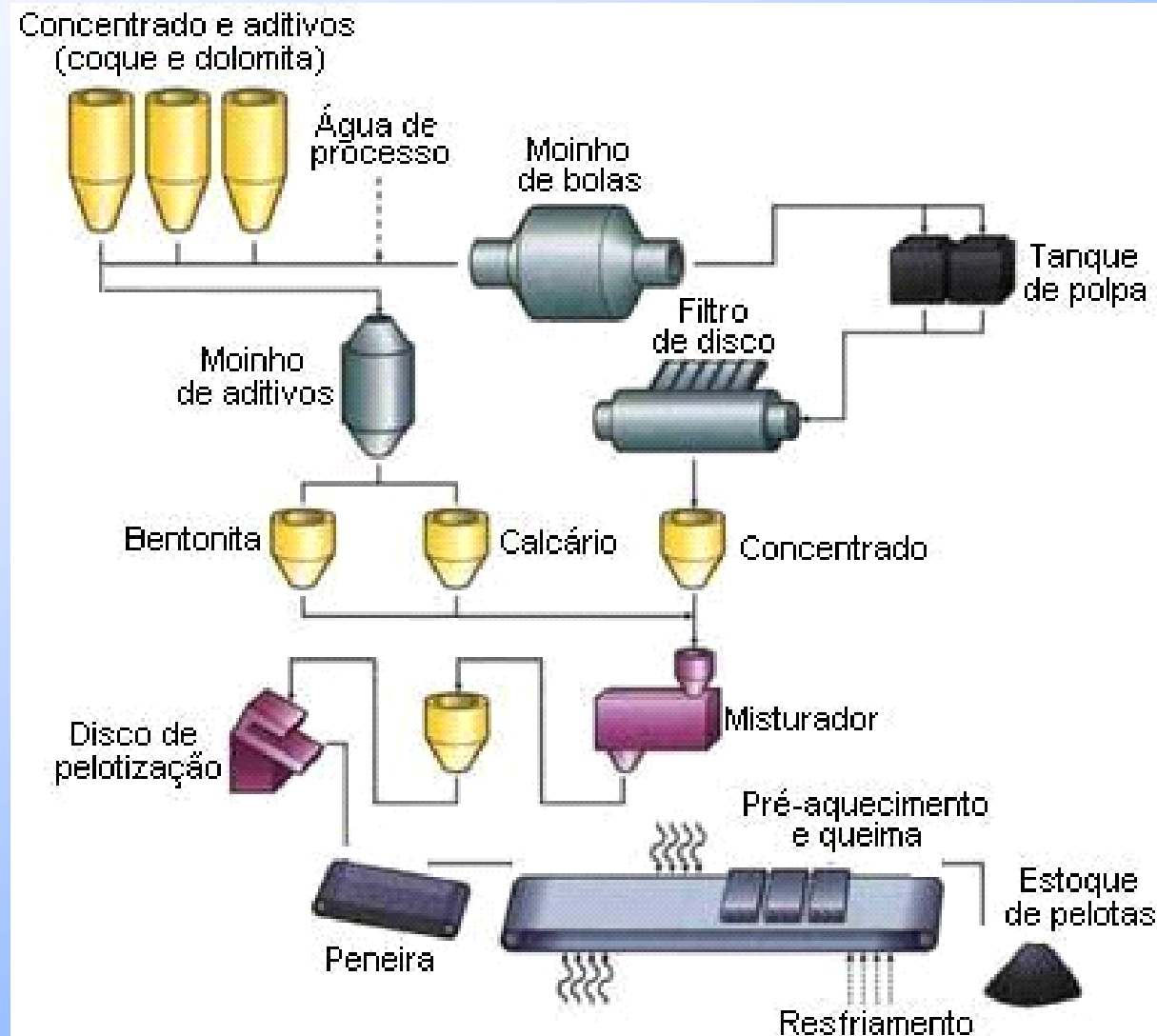
**6mm< Minério <40mm
granulado**



Processo de Pelotização

Pelotas são aglomerados de forma esférica formados pela pelotização de minérios finos com o auxílio de aditivos seguido por um endurecimento a frio ou a quente.

Os aditivos geralmente utilizados são: fundentes (calcário, dolomita), aglomerantes (bentonita, cal hidratada) e combustível sólido (antracito)

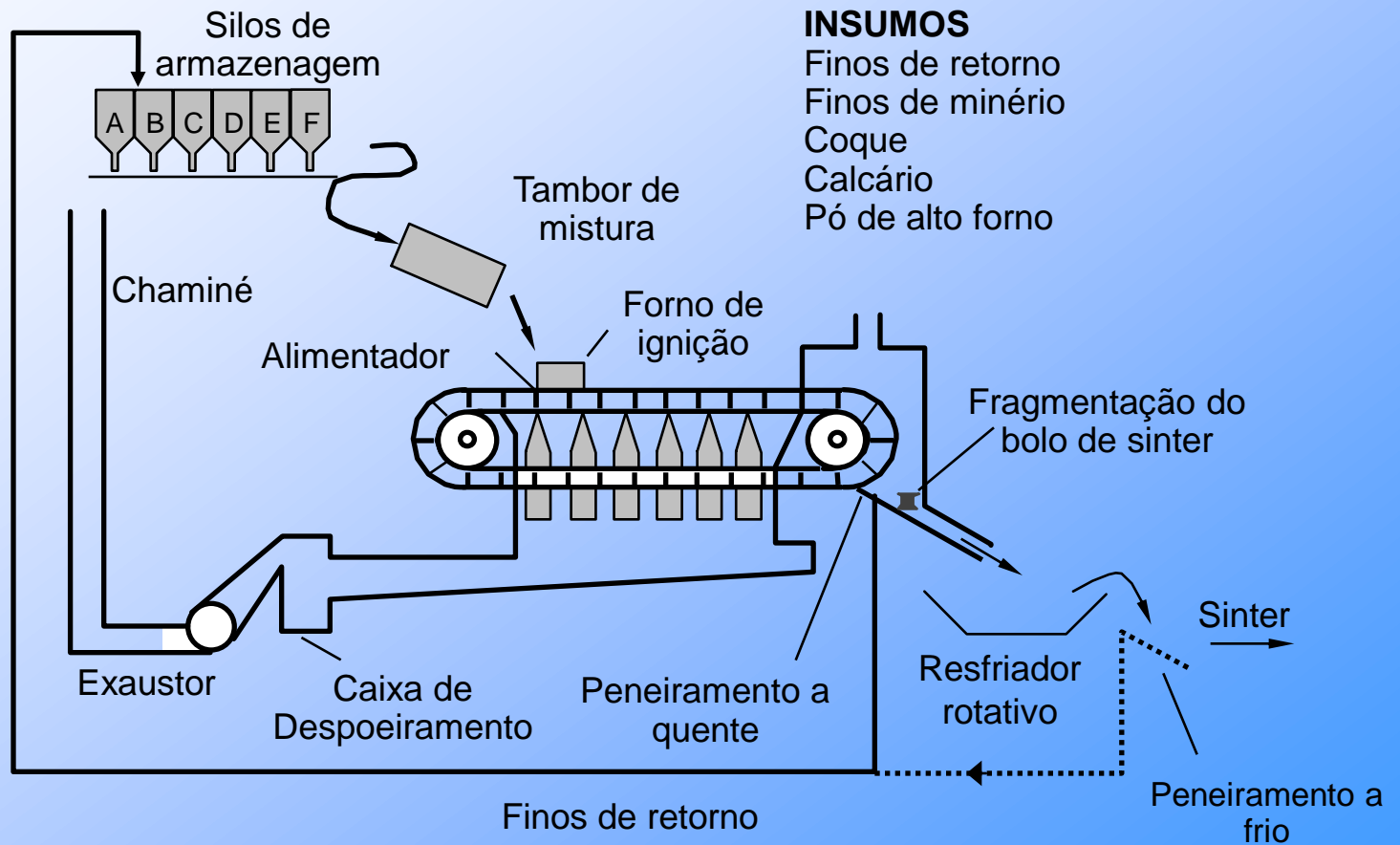


Processo de Sinterização

- ↪ **Sínteres** são aglomerados de forma irregular e esponjosa formados por meio de uma combustão forçada (sinterização) de um combustível previamente adicionado à mistura (finos minério de ferro; fundentes – calcário, areia; combustível – finos de coque; aditivos – corretivo de características para aproveitamento de resíduos de recirculação).
- ↪ Tecnologia criada com o objetivo de aproveitar minérios finos (quantidade crescente no mundo) e resíduos industriais.

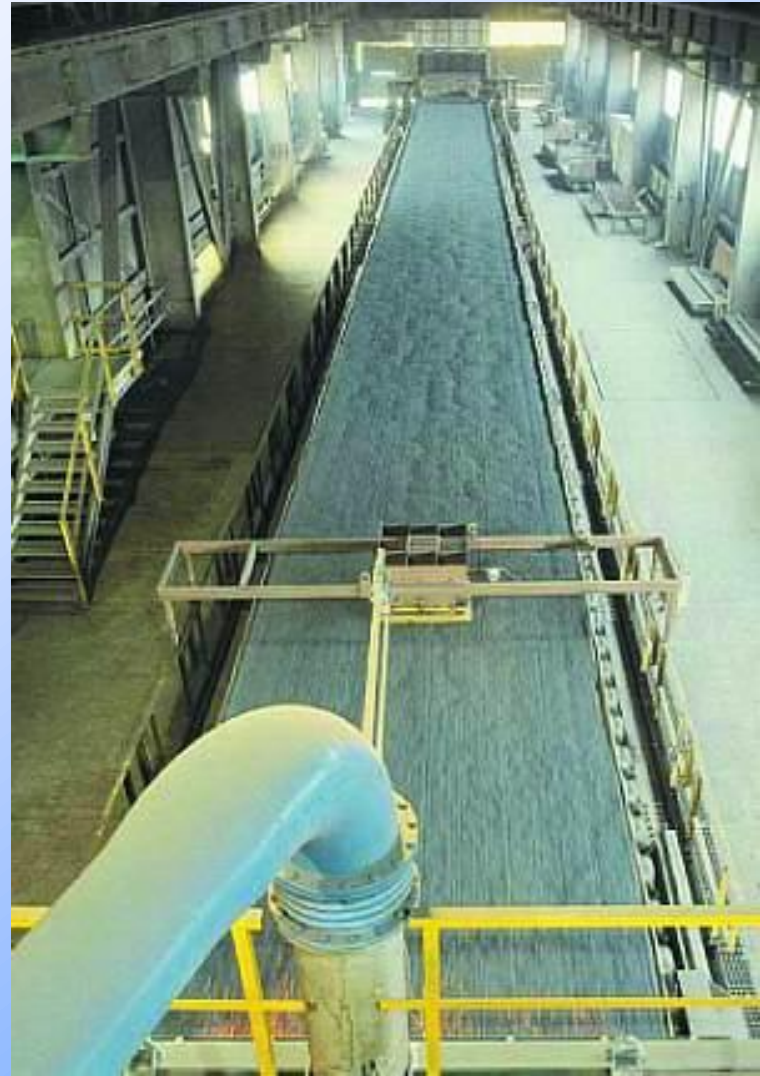
Processo de Sinterização

Máquina de sinterização





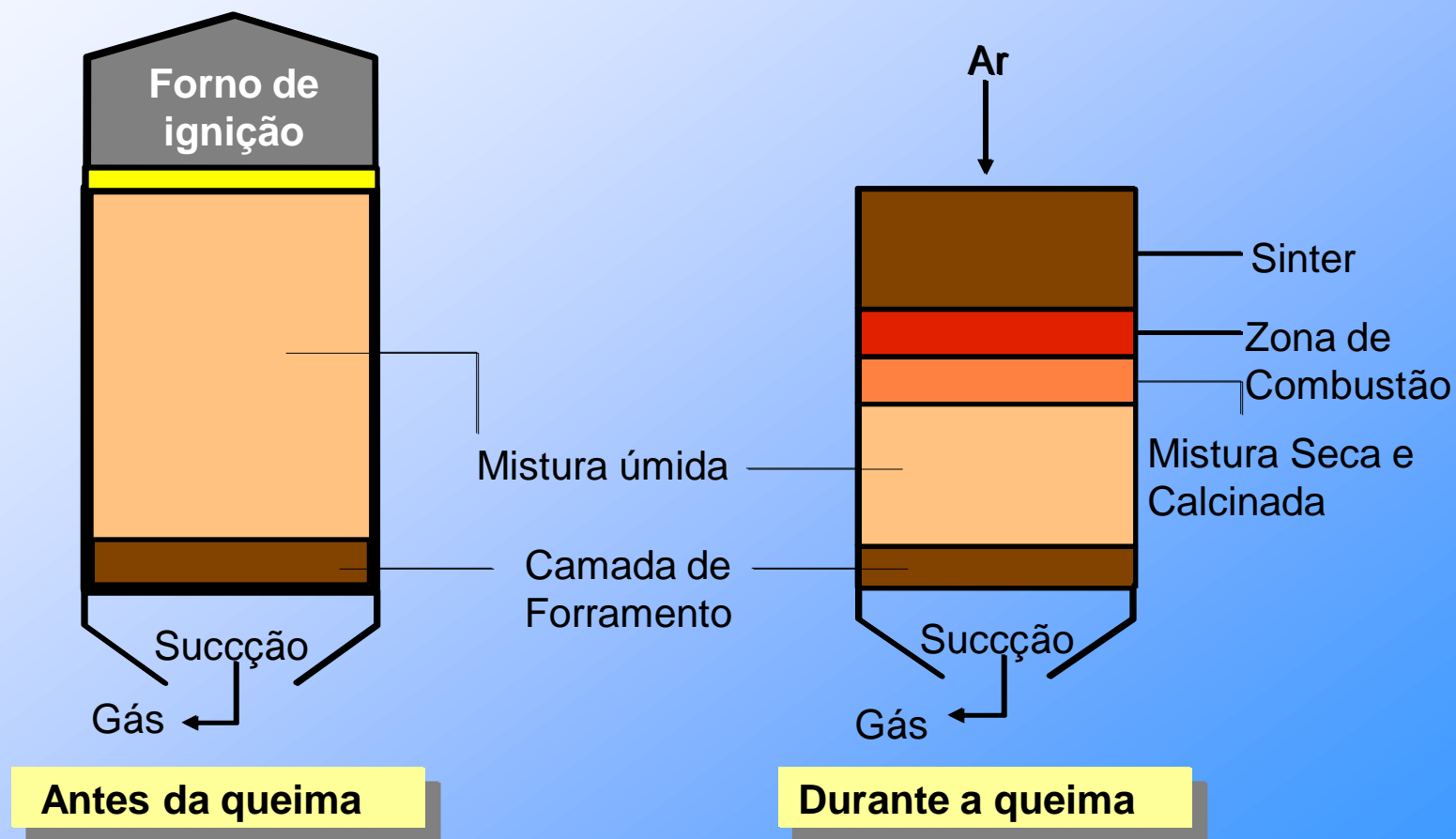
pelotização



sinterização

Processo de Sinterização

Forno de ignição e evolução do processo

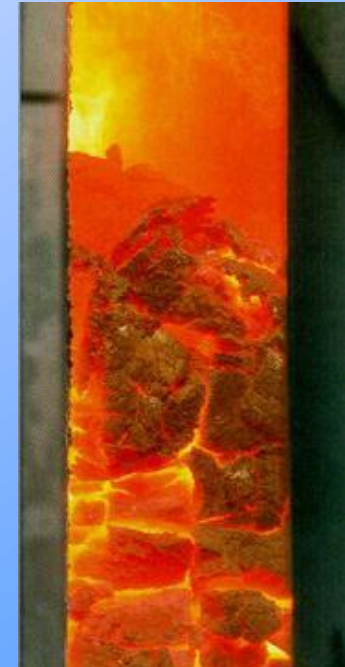


Coqueria

- ↪ O coque é o produto sólido da destilação de uma mistura de carvões realizada a em torno de 1100 °C em fornos chamados coquerias.
- ↪ A destilação dá origem aos produtos carbo-químicos (gases, vapores condensáveis, benzol, alcatrão, etc) que são comercializados pelas siderúrgicas. O gás de coqueria é um importante insumo para a própria usina.



Típica Bateria de coqueificação

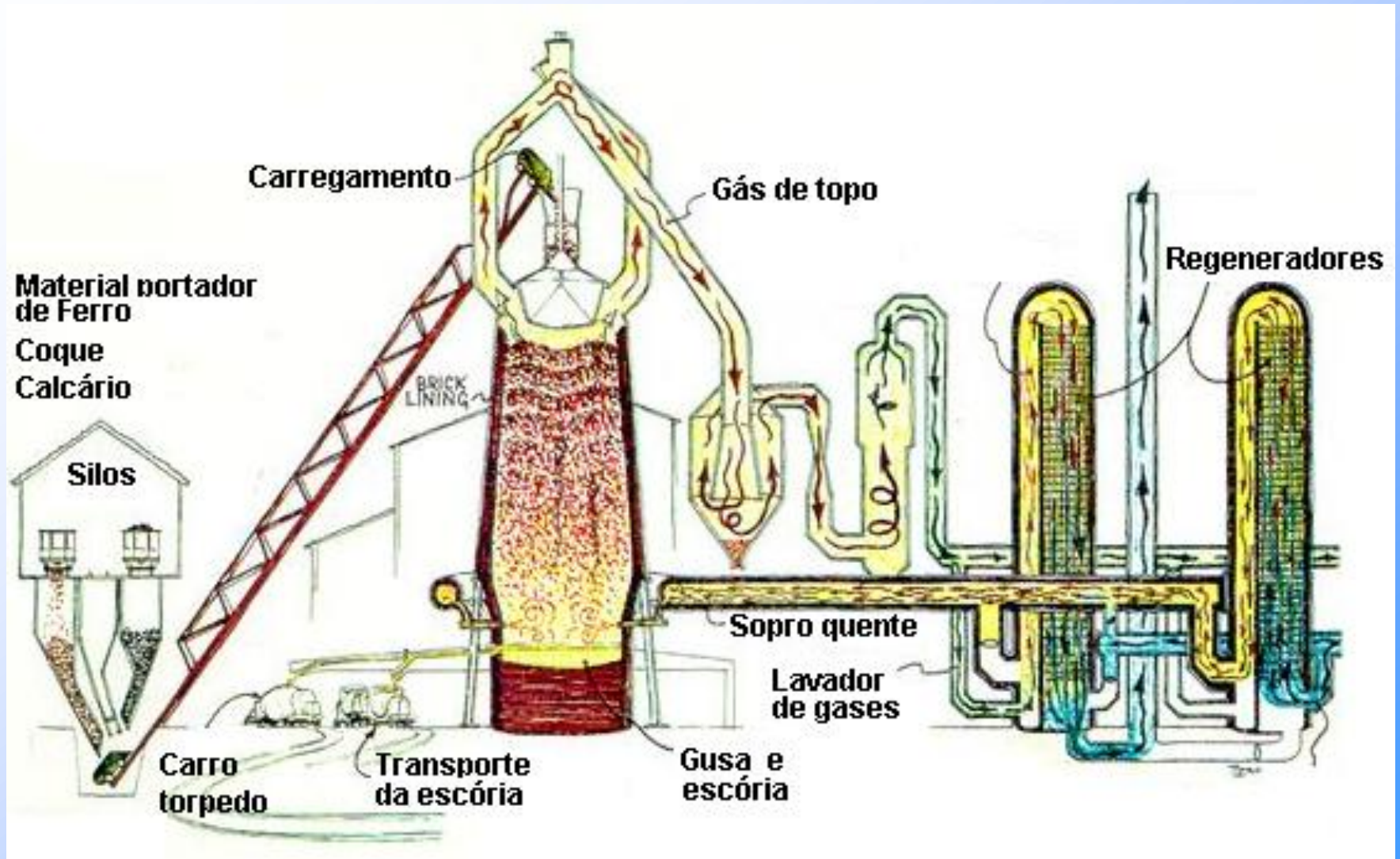


Coque incandescente pronto para ser descarregado

Alto Forno

- ↪ O alto forno é um forno de cuba, no topo do forno o coque, calcário, e o material portador de ferro (sinter, pelotas e minério granulado) são carregado em diferentes camadas.
- ↪ A carga sólida, alimentada pelo topo, desce por gravidade reagindo com o gás que sobe.
- ↪ Na parte inferior do forno ar quente é injetado.
- ↪ Em frente as ventaneiras o O_2 , presente no ar, reage com o coque formando monóxido de carbono (CO) que ascende no forno reduzindo o óxido de ferro presente na carga que desce em contra corrente.

Alto Forno



Alto Forno

- ↪ A matéria-prima requer de 6 a 8 horas para alcançar o fundo do forno na forma do produto final de metal fundido (gusa) e escória líquida (mistura de óxidos não reduzidos).
- ↪ Os produtos do alto forno são o gusa (que segue para o processo de refino do aço), a escória (matéria-prima para a indústria de cimento), gases de topo e material particulado.

Processo		Temperatura (°C)	ΔH (kJ/Kmol)
Evaporação da umidade		100	+ 6,490
Remoção da água de hidratação		120 - 300	+ 7,955
Remoção do CO ₂ :	3 MnCO ₃ → Mn ₃ O ₄ +CO ₂ +CO	> 525	+ 363,791
	3 FeCO ₃ → Fe ₃ O ₄ +CO ₂ +CO	380 - 570	+ 236,973
	FeCO ₃ → FeO+CO ₂	> 570	+ 112,206
Redução do Fe ₂ O ₃ a Fe ₃ O ₄ :	3Fe ₂ O ₃ +CO → Fe ₃ O ₄ +CO ₂	400 - 550	- 52,854
Remoção do CO ₂ :	MgCO ₃ → MgO+CO ₂	400 - 500	+ 114,718
	MgCO ₃ ·CaCO ₃ → MgO·CaO+CO ₂	400 - 750	+ 304,380
Decomposição do CO:	2CO → CO ₂ +C	450 - 600	- 172,467
Redução do Fe ₃ O ₄ a FeO:	Fe ₃ O ₄ +CO → 3FeO+CO ₂	570 - 800	+ 36,463
Remoção do CO ₂ :	CaCO ₃ → CaO+CO ₂	850 - 950	+ 177,939
Redução do FeO a Fe:	FeO+CO → Fe+CO ₂	650 - Ts	- 17,128
Reação de Boudouard:	CO ₂ +C → 2CO	> 900	+ 172,467
Fusão da escória primária		1100	+ 921,1 (kg slag)
Dissolução do CaO na escória primária		1250	+ 1046,7 (kg Fe)
Combustão do C _{coque} :	C _{coque} +O ₂ → CO	1800 - 2000	- 406,120
	2C _{coque} +CO ₂ → 2CO	2000 - 1450	+ 172,467
	C _{coque} +0.5O ₂ → CO	1550	- 116,83

Aço

O aço, como produto industrial, é uma liga ferro-carbono na qual se adicionam elementos de liga para conseguir propriedades especiais que o deixem em condições de uso dentro dos objetivos para o qual foi fabricado.

Os elementos de liga mais usuais são: cromo (Cr), níquel (Ni), tungstênio (W), vanádio (V), molibdênio (Mo), cobalto (Co), manganês (Mn), silício (Si), alumínio (Al), fósforo (P), enxofre (S), entre muitos outros.

É a variedade desses elementos nos aços que permite a formação de diferentes tipos de aços.

Os aços conhecidos como aços-ferramenta se destinam à transformação de outros materiais e são produzidos forjados e laminados.

Aços-ferramenta

Aços-Ferramenta para trabalho a frio: utilizados no processamento de outros aços, ferros fundidos, metais não-ferrosos e de materiais não-metálicos, em operações como corte, dobramento, estampagem, cunhagens, extrusão, trabalhos em madeira, perfurações de rocha, corte de papel, etc.

Aços para trabalho a quente: destinam-se à fabricação de ferramentas utilizadas no processamento de aços, ferros fundidos, ligas não-ferrosas. São usados em matrizes de forjamento de peças em aços, bronze, latão, injeção e extrusão de alumínio, latão, bronze e outras ligas, injeção de plásticos, forjamento de válvulas automotivas, etc.

Aços rápidos: de alta-liga. Uma de suas mais importantes propriedades é que sua dureza não se altera com o aumento da temperatura pelo atrito durante o trabalho, pode aquecer até 550 °C por longos tempos sem perder dureza e sem alterações dos ângulos de corte.

Aços-ferramenta

Aços para moldes e matrizes: destinados a moldes e matrizes cujas características mais importantes são uma boa ***usinabilidade*** em função de gravuras profundas que são típicas desses moldes; ***resistência uniforme, polibilidade***, superfícies transparentes durante o processo de injeção; e ***soldabilidade***.

*O complemento mais importante é o **tratamento térmico** que permite alterar a estrutura do material depois de operações mecânicas como forjamento e laminação, trefilação a frio e a quente, usinagem, soldas de recuperação.*

Aços-ferramenta – tratamento térmico

*Um aço, após deformação a quente de forjamento ou laminação, apresenta estrutura grosseira e mista, em função de seu resfriamento em geral irregular, e com dureza elevada que dificulta operações posteriores, como usinagem e acabamento. Nessas condições, o material deve sofrer um tratamento conhecido como **recozimento**, que visa homogeneizar sua estrutura interna.*

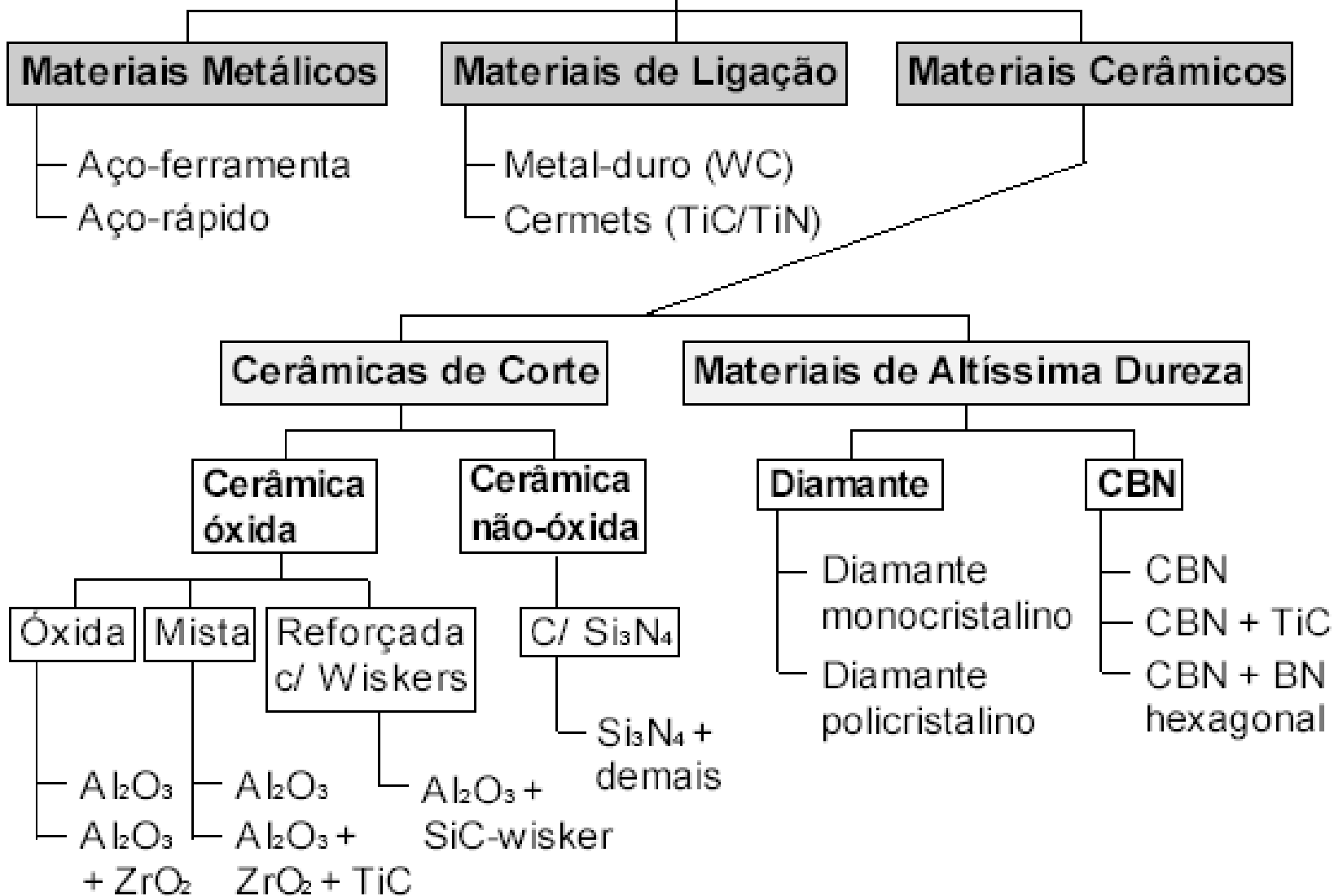
Com o aço recozido e mole, o passo seguinte é sua usinagem para a fabricação das peças que devem ser tratadas termicamente, ou seja, ter o aço endurecido, para que possa ficar em condições de ser utilizado.

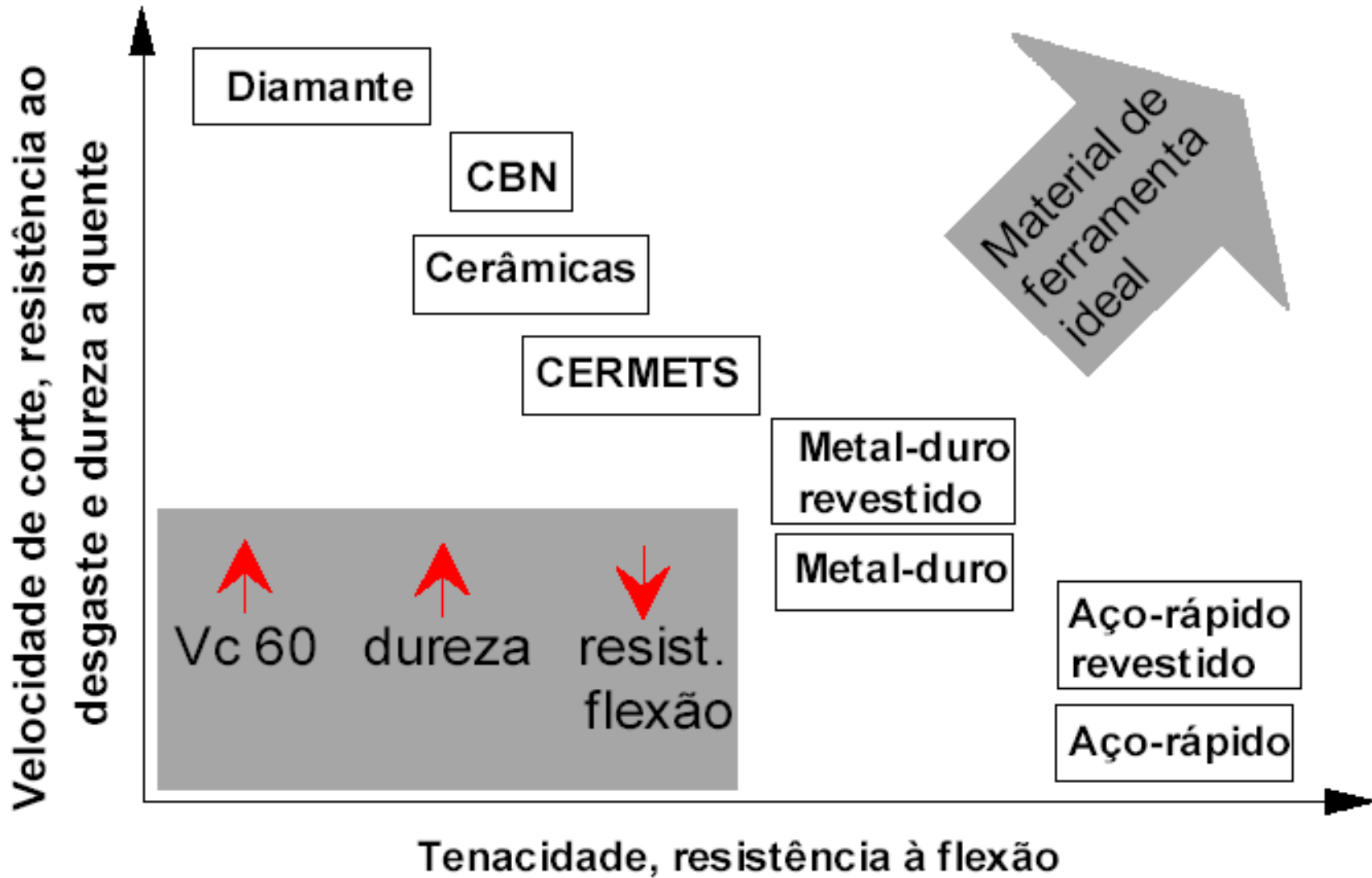
*Este tratamento térmico é conhecido como **têmpera**, seguido do **revenimento** que deixará as peças com dureza adequada ao trabalho.*

Evolução dos materiais das ferramentas

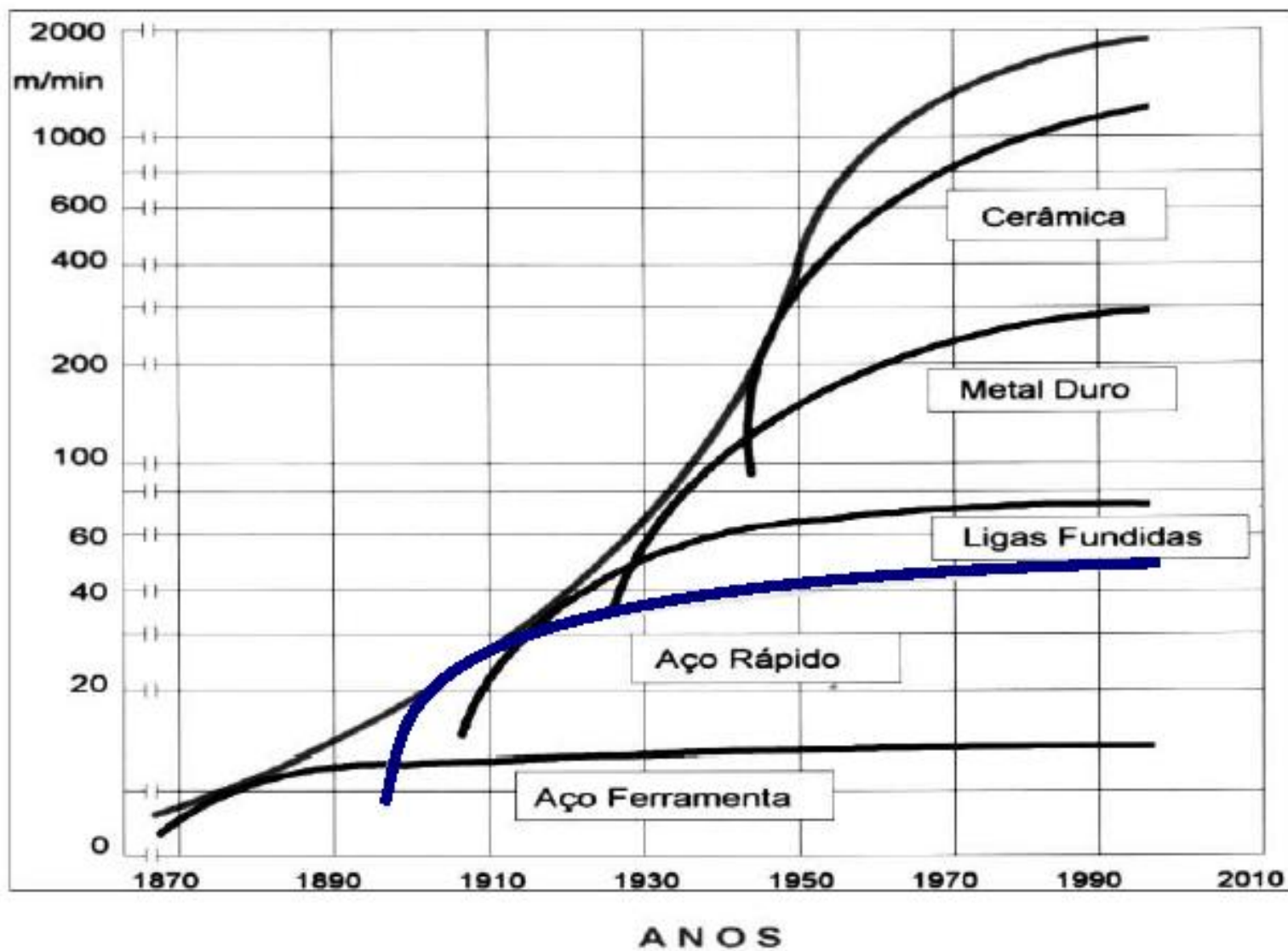
- Aço ferramenta (1868)
- **Aço rápido (1900)**
- Stellite (1910)
- **Metal duro (1926)**
- Cerâmicas (1938)
- Nitreto de boro cúbico (década de 50)
- Diamante mono e policristalino (década de 70)

Materiais para Usinagem com Ferramenta de Geometria Definida





VELOCIDADE DE CORTE V_c



Aços-rápidos

São estes os principais tipos de aços utilizados em ferramentas, face aos suas características de alta dureza no estado temperado e retenção da dureza a temperaturas em que o gume cortante da ferramenta se torna vermelho, devido ao calor gerado na usinagem.

Sua característica principal é a capacidade de operar em velocidades e outras condições de corte que podem elevar a temperatura do gume cortante da ferramenta a cerca de 550 °C-600 °C, durante a operação de usinagem.

*Nessas temperaturas, os aços retêm a dureza que lhes permite ainda continuar na operação de usinagem; ao resfriar , após realizada essa operação readquirem a dureza original. Esta característica é chamada de **dureza a quente** e constitui a mais importante propriedade dos aços rápidos.*

Aços-rápidos

Além disso, devido ao alto teor de carbono e ao elevado número de carbonetos de liga, o que confere ao aço uma resistência ao desgaste superior a de outros tipos de aços para ferramentas, tornando sua durabilidade maior.

Sua composição é tal que os torna facilmente endurecíveis por têmpera, com resfriamento em óleo ou em banhos de sal; nessas condições, a tendência a empenamento ou ruptura, no resfriamento, é menor, as temperaturas de austenização são muito elevadas.

São de difícil retificação, exigindo maiores cuidados.

Aços rápidos

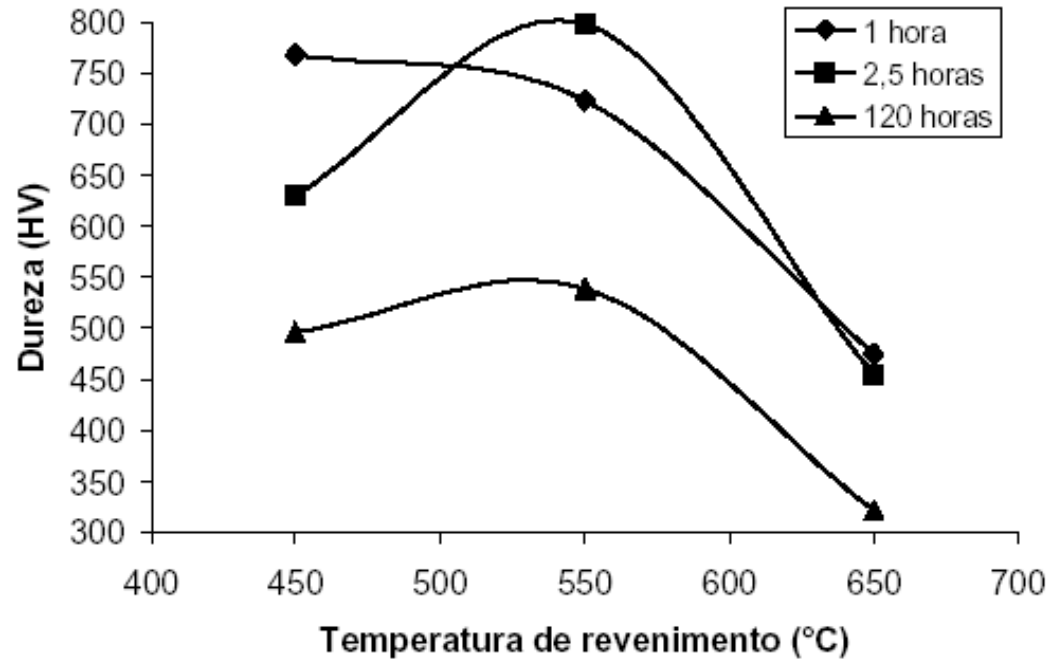


Figura 1: diagrama de revenimento do aço ABNT M2^[10].

Aços rápidos

Tabela I: efeito de ciclo de revenimento simples e duplo nas propriedades mecânicas do aço AISI T1 (0,75 C – 18 W – 4 Cr – 1 V)^[9].

Tempo na temperatura de revenimento	Dureza (HRC)	Resistência à flexão (MPa)	Energia absorvida sob impacto torsional (J)
Revenimento simples a 565°C			
6 minutos	65.1	2150	22
1 hora	65.7	1860	41
2,5 horas	65.0	2810	65
5 horas	64.5	2590	65
Revenimento duplo a 565°C			
2,5 h + 2,5 h	64.5	3130	85

Aços rápidos

Características

- Principais elementos constituintes (W, Mo, Co, V), elementos que conferem alta tenacidade às ferramentas.
- Dureza de 60 a 67 HRC
- Resistem a temperaturas de até aproximadamente 520 a 600 °C
 - Clássico 18 (%W) – 4 (%Cr) – 1 (%V)
 - Aço super rápido adição de Co
 - Tratamento térmico complexo
 - Preço elevado.

Aços rápidos

Características

- Composição química usual (5 a 7 % formam carbonetos):
 - 0,6 a 1,6 % C
 - 4 % Cr
 - 7 a 10 % W
 - 85 a 89 % Fe
 - 4 a 5 % Mo
 - 0,9 a 3 % V

Designação: HS + % W – Mo – V – Co (ex. HS 10-4-3-10)

Aços rápidos

Subdivisão em 4 grupos, segundo o teor de W e Mo

Grupo	Nomenclatura W Mo V Co	Para usinagem de aço			
		de médio esforço < 850 N/mm ²		de alto esforço desbaste / acabamento	
18% W	HS18 - 0 - 1	+	-	-	-
	HS18 - 1 - 2 - 5	-	-	+	-
12% W	HS12 - 1 - 4 - 5	-	-	(+)	+
	HS10 - 4 - 3 - 10	-	-	(+)	+
6% W + 5% Mo	HS 6 - 5 - 2	-	+	-	-
	HS 6 - 5 - 3 - 5	-	-	(+)	+
	HS 6 - 5 - 2 - 5	-	-	+	-
2% W + 9% Mo	HS 2 - 9 - 1	+	-	-	-
	HS 2 - 9 - 2	-	+	-	-
	HS 2 - 10 - 1 - 8	-	-	+	-

Aços rápidos – Subdivisão

Grupo 1

- Alto teor de W (até 18%)
- Bom revenimento
- Empregado para desbaste de aço e ferro fundido

Grupo 2

- Teores de W de até 12 %
- Crescente teor de V
- Revenimento um pouco pior que grupo 1
- Empregado para acabamento de materiais ferrosos
- Ferramentas forma complexa (maleabilidade e tenacidade)

Grupos 3 e 4

- W + Mo (Mo substitui W)
- Possui tenacidade muito boa
- Empregada para todos tipos de ferramentas (madeira)

Aços rápidos

Influência dos elementos de liga

- **Tungstênio (W)**

- Formador de carbonetos
- Melhora revenimento
- Melhora resistência ao desgaste

- **Vanádio (V)**

- Formador de carbonetos
- Melhora resistência ao desgaste (resist. a quente)
- Usado para acabamento

- **Molibdênio (Mo)**

- Melhora temperabilidade
- Melhora tenacidade
- Substitui W

- **Cobalto (Co)**

- Eleva temperatura de sensibilização a quente
- Melhora dureza a quente
- Melhor solubilidade de carbonetos

Estrutura e propriedades de aços-rápidos

AÇOS RÁPIDOS: *Obtidos de maneira CONVENCIONAL (fusão, lingotamento e trabalho mecânico dos lingotes) ou por METALURGIA DO PÓ (pó de determinada liga é compactado e sinterizado)*

AISI (American Iron and Steel Institute):

Aços rápidos ao tungstênio ou Série T: os principais elementos de liga são, além do tungstênio, cromo vanádio, cobalto e carbono;

Aços rápidos ao molibdênio ou Série M: os elementos de liga, além do molibdênio, os mesmos citados na série T. Apresenta uma sub-divisão: Aços rápidos intermediários, menores teores de elementos de liga (ferramentas de corte de madeira)

Aços rápidos da série M constituem 95% da produção dos EUA.

¡ AMBOS SÃO EQUIVALENTES !

Estrutura e propriedades de aços-rápidos

Denominação: Capacidade de reter elevadas durezas (1000 HV ou 65-70 HRc) mesmo se utilizados no corte rápido de materiais.

Capacidade de manter durezas se submetidos a temperaturas de até 600 °C, habilitando como matéria-prima para confecção de ferramentas de corte, além de matrizes de estampagem, prensagem e forjamento.

A microestrutura é composta por CARBONETOS PRIMÁRIOS (proteção contra desgaste abrasivo) e MATRIZ DE MARTENSITA REVENIDA REFORÇADA POR CARBONETOS FINAMENTE DISPERSOS (reter carbonetos primários sob altas temperaturas e tensões cisalhantes)

Elementos de liga

Carbono: presença obrigatória, formação de carbonetos primários (resistência ao desgaste e abrasão) e uma matriz de elevada dureza após a têmpera e revenimento (0,65 a 2,30%).

Estrutura dos aços rápidos caracteriza-se pela presença de CARBONETOS PRIMÁRIOS.

Carbonetos primários: fórmula geral M_6C , sendo **M = ferro, tungstênio e molibdênio**. Apresenta estrutura cúbica de face centrada, podendo apresentar fórmula química entre Fe_4Me_2C e Fe_3Me_3C , sendo **Me = tungstênio ou molibdênio**.

Outros carbonetos primários: MC (M = vanádio); M_2C ; M_4C_3 ;

Carbonetos secundários: são formados em várias etapas, no resfriamento durante a têmpera, durante o recozimento e durante o revenimento. Particularmente M_6C e MC .

Elementos de liga

MOLIBDÊNIO e TUNGSTÊNIO: presença obrigatória
(Resistência ao desgaste, dureza a quente e estabilidade térmica)

Molibdênio: aumenta dureza, tenacidade, temperabilidade, redução custo inicial do aço. Porém, não deve substituir totalmente o tungstênio, pois este fornece proteção contra o crescimento do grão, descarbonetação e oxidação.

Série M: teor de tungstênio (0 a 2%) e molibdênio (0 a 9%)

Cromo: temperabilidade, inibe precipitação dos carbonetos secundários, redução da oxidação (3 a 5%)

Vanádio: elevada dureza (resistência a abrasão) e estabilidade (restringe movimentação) teor de 1 a 5%.

Cobalto: dissolução de carbonetos, aumenta dureza secundária e estabilidade térmica; dificulta afiação, reduz tenacidade e ductilidade (5 a 12%)

Aços rápidos

Influência dos elementos de liga

- Aumento no teor de elementos de liga
 - Maior produtividade destes materiais
 - Aumento na resistência ao desgaste
 - Aumento na vida das ferramentas
 - Porém, torna-se mais difícil a fabricação deste material
 - Maiores custos de produção

Aços rápidos

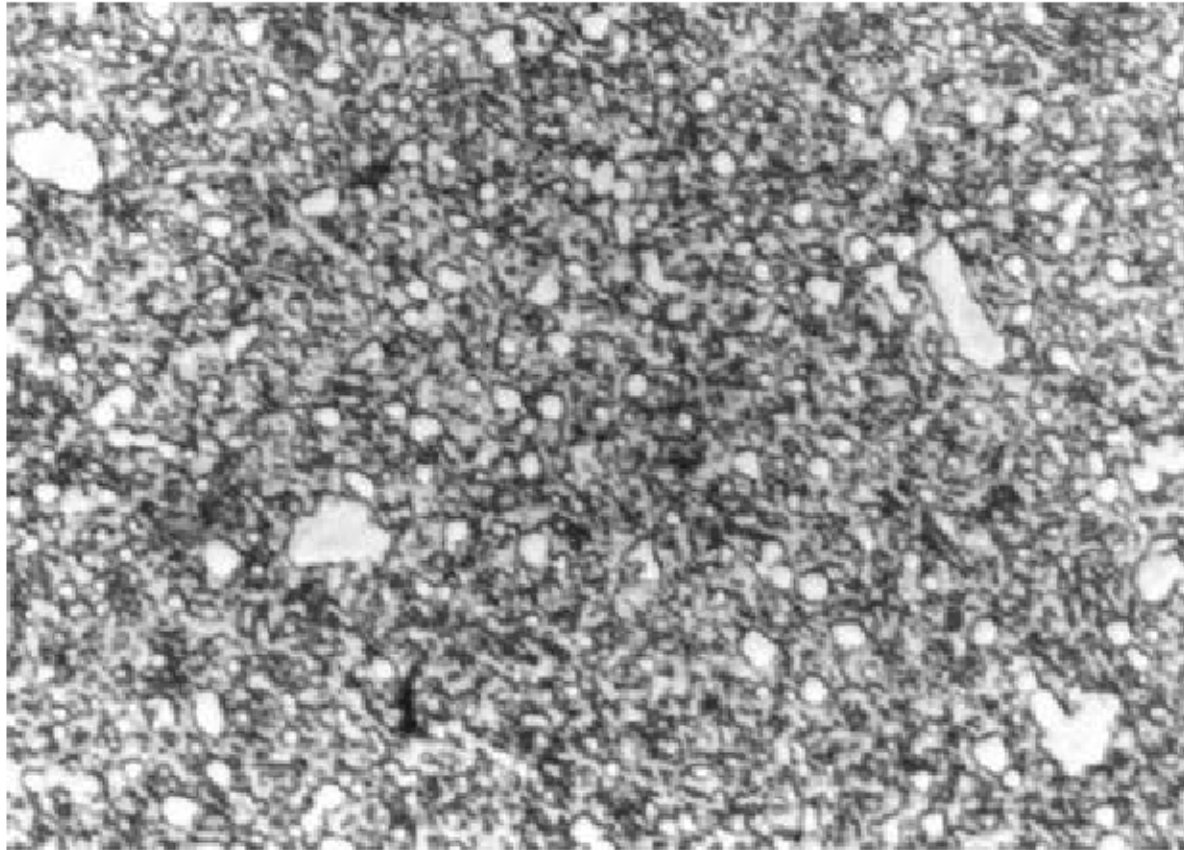


Figura 2: aço ABNT M2 recozido a 850°C por 2 horas, resfriado a razão de 30°C/h até 640°C para posterior resfriamento ao ar calmo. Carbonetos dispersos em matriz ferrítica. Ataque: Nital 2%. Aumento: 1000x. ^[11]

Aços rápidos

Tabela III: frações volumétricas aproximadas dos diversos microconstituintes do aço ABNT M2^[2,8] e valores de dureza associados^[11].

Condição	fração volumétrica do microconstituente (%) ^[2,8]						Dureza ^[11]
	M ₆ C	M ₂₃ C ₆	MC	Ferrita	martensita	austenita	
Recozido	16	9	3	balanço	-.-.-	-.-.-	282 HB
Temperado	8	-.-.-	2	-.-.-	80	10	64 HRC
Temperado + duplo revenimento	8	-.-.-	2	-.-.-	90	traços	64 HRC

Aços rápidos

Áreas de aplicação dos aços-rápidos

- Ferramentas para todas as operações de usinagem
- Ferramentas para desbaste e acabamento
- Machos e cossinetes de roscas
- Brocas helicoidais
- Alargadores
- Fresas de todos os tipos
- Ferramentas de aplainar
- Escareadores
- Ferramentas para trabalho a frio
- Ferramentas para trabalho em madeira
- Outras.