

*IVAN PARREIRAS DE CARVALHO JUNIOR*

***MINIMIZAÇÃO DO FENÔMENO  
DE AMOLECIMENTO A QUENTE DE PELOTAS  
AUTO-REDUTORAS.***

*Trabalho apresentado à Escola  
Politécnica da USP para a disciplina  
PMT-594 - Trabalho de Formatura.*

*São Paulo  
1995*

DEDALUS - Acervo - EPMT



31800004078

*Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo*

*Departamento de Engenharia Metalúrgica  
e de Materiais*

*Orientado: Ivan Parreiras de Carvalho Junior*

*Orientador: Prof. Dr. Marcelo B. Mourão*

*Coordenador da Disciplina: Prof. Dr. Stephan Wolyneec*

## **RESUMO**

*NO PRESENTE TRABALHO REALIZOU-SE UMA BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO E O MECANISMO DE CURA DAS PELOTAS AUTO-REDUTORAS, MOSTRANDO TAMBÉM UM FORNO DE AUTO-REDUÇÃO. FOI OBTIDO VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (A FRIO E A QUENTE) PARA QUATRO COMPOSIÇÕES DIFERENTES DE PELOTAS, ALÉM DE DOIS MÉTODOS ALTERNATIVOS DE PELOTIZAÇÃO COM A ADIÇÃO DE 8,5% DE ÁGUA ANTES DA PELOTIZAÇÃO.*

*O CICLO TÉRMICO, QUE SIMULA AS CONDIÇÕES DE UMA PELOTA DENTRO DE UM FORNO DE REDUÇÃO, FOI EFETUADO VERIFICANDO-SE O FENÔMENO DE INCHAMENTO VOLUMÉTRICO E CONSEQUENTE PERDA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS PELOTAS AUTO-REDUTORAS.*

## **SUMÁRIO**

*página*

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 1. Objetivo.....                             | 1  |
| 2. Revisão Bibliográfica.....                | 1  |
| 2.1. Introdução.....                         | 1  |
| 2.2. Mecanismo de Formação das Pelotas.....  | 3  |
| 2.3. Mecanismo de Cura das Pelotas.....      | 4  |
| 2.4. Forno de Auto-Redução (Tecnored).....   | 6  |
| 3. Materiais e Métodos.....                  | 9  |
| 3.1. Aparelhagem Utilizada.....              | 9  |
| 3.2. Procedimento Experimental.....          | 11 |
| 3.3. Composição das Pelotas.....             | 11 |
| 3.3.1. Resultados.....                       | 12 |
| 3.4. Ciclo Térmico.....                      | 14 |
| 3.4.1. Resultados.....                       | 16 |
| 3.5. Métodos de Pelotização.....             | 18 |
| 3.5.1. Resultados.....                       | 19 |
| 3.6. Influência dos Teores da Mistura.....   |    |
| Aglomerante na Resistência à Compressão..... | 20 |
| 3.6.1. Composição das Pelotas.....           | 20 |
| 3.6.2. Resultados.....                       | 21 |
| 4. Conclusão.....                            | 23 |
| 5. Bibliografia.....                         | 25 |

## **1. OBJETIVO**

*Estudar meios de aumentar a resistência mecânica a quente em pelotas auto-redutoras, visando estabelecer critérios para seleção de aglomerantes e/ou adições às pelotas e para definir possíveis restrições ao ciclo térmico a que as pelotas são submetidas, a fim de minimizar o fenômeno de amolecimento a quente.*

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Introdução**

*A pelletização é um processo de aglomeração por meio do qual tem-se o aproveitamento integral dos recursos minerais não renováveis. A matéria prima para tal processo consiste de finos gerados nas operações de mineração, briquetagem, moagem e na indústria metalúrgica.*

*No estágio atual do desenvolvimento <sup>(3)</sup>, a utilização de finos através do processo de pelletização pode ser analisado considerando-se três classes de pelotas:*

- a) Pelotas convencionais curadas em temperatura elevada;*
- b) Pelotas convencionais de cura a frio;*
- c) Pelotas auto redutoras de cura a frio;*

*A produção de pelotas convencionais vem de mais longa data e foi desenvolvida com o objetivo de atingir propriedades que possibilitassem seu uso como*

componente da carga dos altos fornos. As exigências operacionais dos altos fornos determinam que as pelotas convencionais devem ser submetidas a um pré-tratamento de queima (pré-redução, calcinação ou sinterização), para alcançar as propriedades que são exigidas para os componentes da carga, consumindo elevadas quantidades de energia.

O uso de pelotas auto-redutoras como forma de carga para redução tem alguns atrativos que indicam um alto potencial de utilização desta técnica.<sup>(1)</sup>

a) possibilidade de utilização de diversas fontes de ferro e de carbono como redutor.

b) devido à fina granulometria, contato íntimo entre as partículas, favorecendo a velocidade das reações de redução.

c) flexibilidade em relação ao equipamento de redução e/ou fusão das pelotas, que podem ser tratadas antes ou depois da redução em equipamentos como alto-forno, fornos cubilô, rotativos, elétricos, etc.

Pelotas auto-redutoras aglomeradas a frio, quando aquecidas, perdem a resistência mecânica na faixa de temperaturas em que as ligações químicas, responsáveis pela resistência a frio, se desfazem.

Como consequência, pode ocorrer a desintegração total ou parcial do aglomerado, com reflexos indesejáveis na operação do equipamento de redução e com a provável redução apenas parcial dos óxidos presentes inicialmente na pelota.

Neste sentido o presente trabalho visa obter novas composições para as pelotas e/ou processos alternativos de

pelotização para aumentar a resistência à compressão das pelotas.

## 2.2. Mecanismo de Formação das Pelotas

Durante o pelotamento vários fatores influenciam nos mecanismos de união das partículas tais como: teor de umidade; forma, tamanho médio e distribuição granulométrica das partículas; equipamento empregado (neste trabalho utilizou-se um pelotizador de laboratório de 0,45 m de diâmetro); molhabilidade; características químicas, natureza e quantidade de aglomerantes, etc.

Para a formação das pelotas cruas, há a interação de duas fases, sendo uma sólida e a outra líquida (no caso, a água).

As forças de interface têm um efeito coesivo envolvendo o líquido, o ar e as partículas minerais. Essas forças, consistem em primeira mão, de forças capilares, desenvolvidas nas pontes líquidas existentes entre as partículas da superfície da pelota (fig.1).

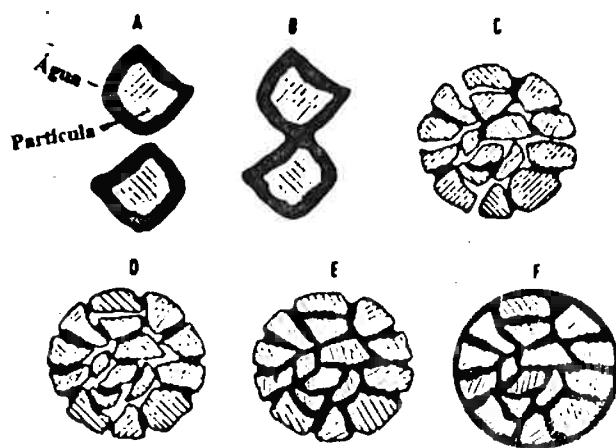


fig.1 : Influência da água na formação das pelotas cruas.

- a) *As partículas de minério são cobertas com uma película de água.*
- b) *Devido a tensão superficial da água, as pontes líquidas são formadas.*
- c) *Devido ao rolamento do disco, gotículas d'água contendo uma ou mais partículas se unem.*
- d) *As pontes líquidas vão aumentando e o aglomerado é adensado.*
- e) *Nessa fase as forças capilares exercem grande ação. A situação considerada ótima é aquela em que todos os poros internos são preenchidos com água.*
- f) *Situação indesejável, a pelota está totalmente coberta com uma película de água, reduzindo drasticamente a resistência do aglomerado.*

### **2.3. Mecanismo de Cura das Pelotas**

*Nas pelotas auto-redutoras, além da mistura minério de ferro e carvão, para se obter uma resistência mecânica adequada, é necessário a presença da mistura aglomerante ou ligante.*

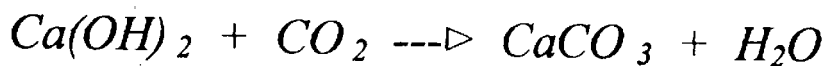
*As exigências com relação as propriedades mecânicas a frio das pelotas auto-redutoras são significativamente maiores em relação às pelotas convencionais, pois nestas o endurecimento é obtido por um mecanismo de intercrescimento dos grãos cristalinos durante o aquecimento. Já as pelotas auto-redutoras são diretamente usadas no forno após um período de aproximadamente 28 dias de cura.*

A obtenção de propriedades a frio que satisfaçam os níveis de exigências existentes tem se fundamentado nos princípios de cura do cimento e da cal hidratada associados ou não com outros materiais empregados também para satisfazer a necessidade de compor uma escória apropriada para a pelota ou resultantes da ganga do minério de ferro e da própria cal. Esses ligantes endurecem por hidratação e/ou carbonatação desenvolvendo resistência na pelota através de mecanismos químicos e físico-químicos bastante complexos.

Utilizou-se como aglomerante cal hidratada, escória de alto-forno ( $\text{CaO}, \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3$ ) e sílica.

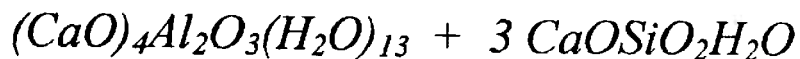
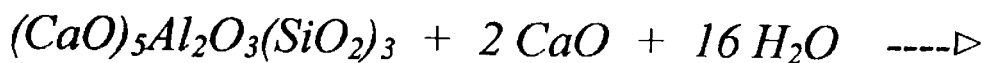
A ação da cal como ligante ocorre através da combinação de duas reações distintas: a reação de carbonatação e a reação hidráulica de hidratação, semelhante à hidratação do cimento, admitida que na presença de sílica e alumina livres, formem cimento "in loco".

A carbonatação resulta da reação do hidróxido de cálcio com o  $\text{CO}_2$  do ar:



Trata-se de uma reação bastante lenta pela baixa concentração de  $\text{CO}_2$  no ar (cerca de 0,04%) e pelo fato de que o carbonato formado na superfície dificulta a difusão de  $\text{CO}_2$  e portanto a continuidade da reação. A segunda reação da cal é a reação de hidratação que é precedida da reação entre a cal e as argilas presentes com a formação de silicatos e aluminatos que se hidratam desenvolvendo propriedades ligantes, o que caracteriza este tipo de cal como um aglomerante hidráulico.

A seguir temos a reação típica de hidratação<sup>(5)</sup> que ocorre nas pelotas auto redutoras, quando se utiliza a cal hidratada e a escória de alto-forno como aglomerante:



Com o aquecimento da pelota as ligações hidráulicas se desfazem, desta forma, estudou-se neste trabalho o emprego de alguns ADITIVOS que formem com os constituintes da pelota compostos de baixo ponto de fusão, promovendo uma sinterização a baixa temperatura.

#### **2.4. Forno de Auto-Redução (Tecnored)**

O processo Tecnored compreende a redução e a fusão de pelotas auto-redutoras de cura a frio, processadas em um forno de geometria especial (fig. 2).

O forno de auto-redução (FAR) dispõe de dutos laterais para a alimentação do combustível sólido e uma cuba central, por onde são carregados as pelotas e por onde passa todo o fluxo gasoso em contra corrente. Na cuba inferior situam-se as ventaneiras refrigeradas a água, para injeção do sopro primário de ar quente. Na base da cuba superior localizam-se as ventaneiras secundárias, para sopro de ar frio.

*O FAR pode ser dividido em três zonas distintas:*

*-Cuba Superior: compreendida entre o nível de carregamento das pelotas e as ventaneiras secundárias;*

*-Zona de Fusão: compreendida entre as ventaneiras secundárias e o topo da camada de combustível;*

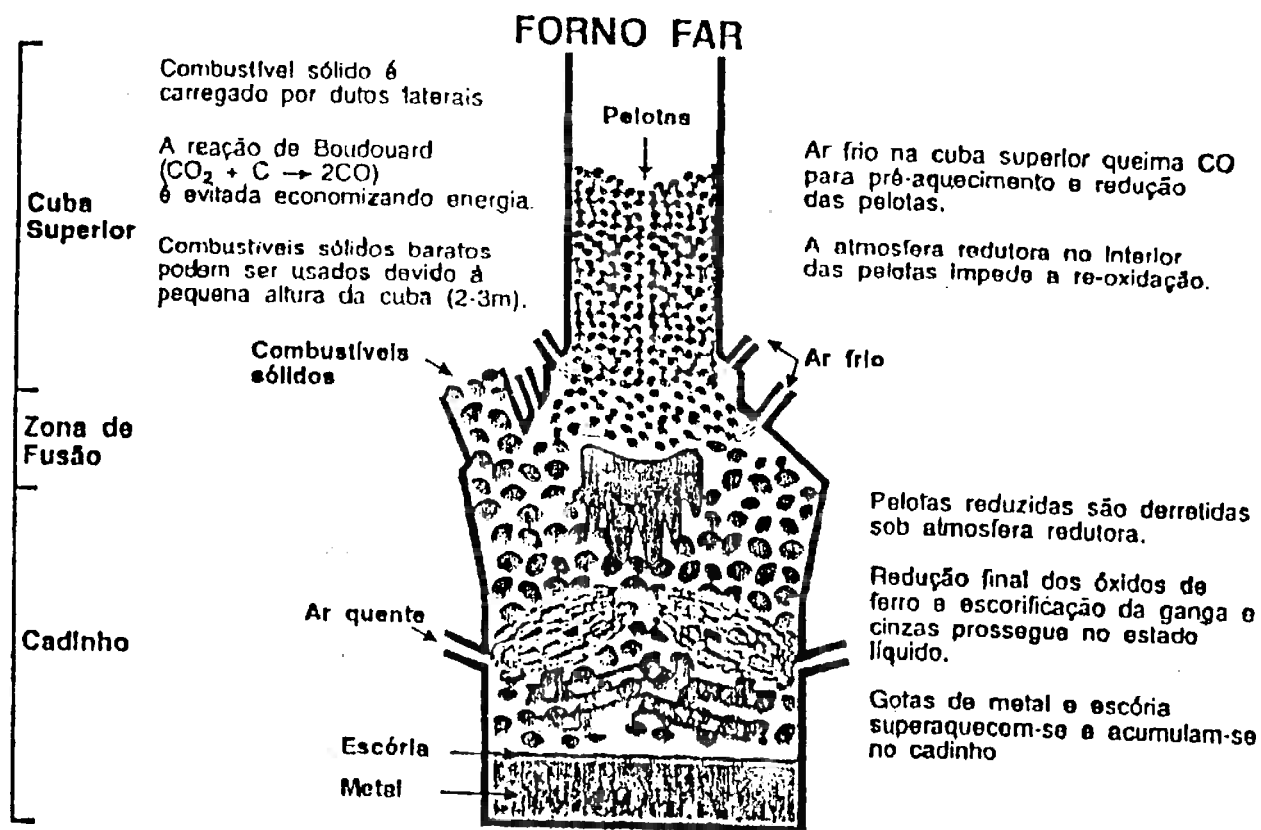
*-Cuba Inferior: compreendida entre o topo da camada de combustível e as bicas de vazamento de metal.*

*Na cuba superior as pelotas são pré-aquecidas e ocorre a redução dos óxidos de ferro. A energia necessária ao processo nesta zona é fornecida pelos gases quentes provenientes das zonas inferiores e também pela combustão do CO nas ventaneiras secundárias.*

*Na zona de fusão ocorrem fusão das pelotas reduzidas, a formação da escória, a redução dos óxidos de ferro residuais, bem como parte da carburação do metal.*

*Na parte inferior ocorrem o super-aquecimento do metal e da escória até as temperaturas de vazamento, a carburação final, a redução final dos óxidos residuais, a remoção do enxofre pela escória e a redução e incorporação do silício ao banho metálico.*

*O FAR, à semelhança do alto-forno, também dispõe de um cone de combustível sólido inerte, que assegura a sustentação de toda a coluna de carga do forno.*



*fig.2 : características principais do FAR*

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Aparelhagem Utilizada

a) *balança digital de decigramas;*

b) *peneiras;*

*- utilizadas para manter a uniformidade da granulometria dos constituintes das pelotas e para classificar o diâmetro final das pelotas ( entre 12,0 a 16,0 mm ).*

c) *disco pelotizador;*

*- foi utilizado um disco pelotizador disponível no "Hall Tecnológico do Departamento, o qual gira acoplado a uma betoneira.*

d) *moinho de bolas;*

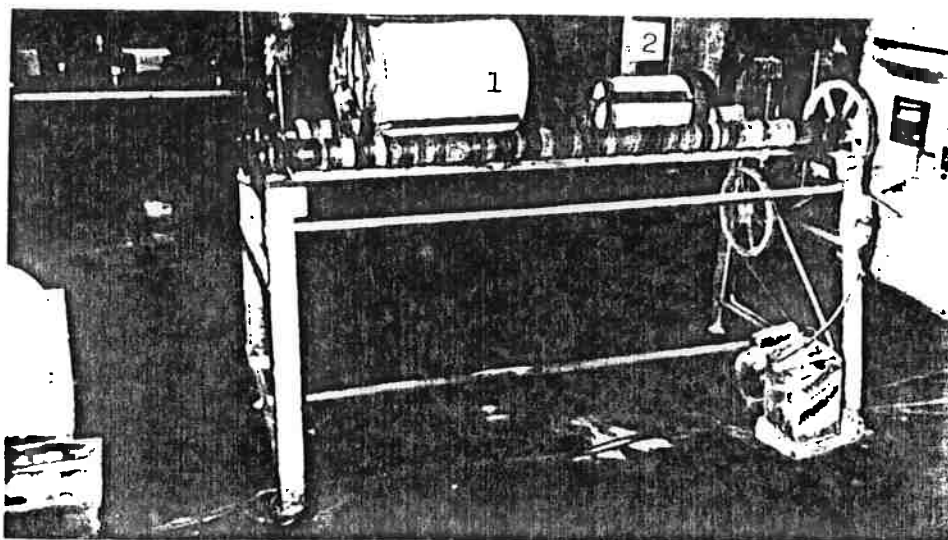
*- utilizado na homogeneização da mistura a ser pelotizada (fig. 3).*

e) *"Sand Strenght Machine"-Detroit-Universal-Automática. Máquina para medir compressão de areia (fig. 4).*

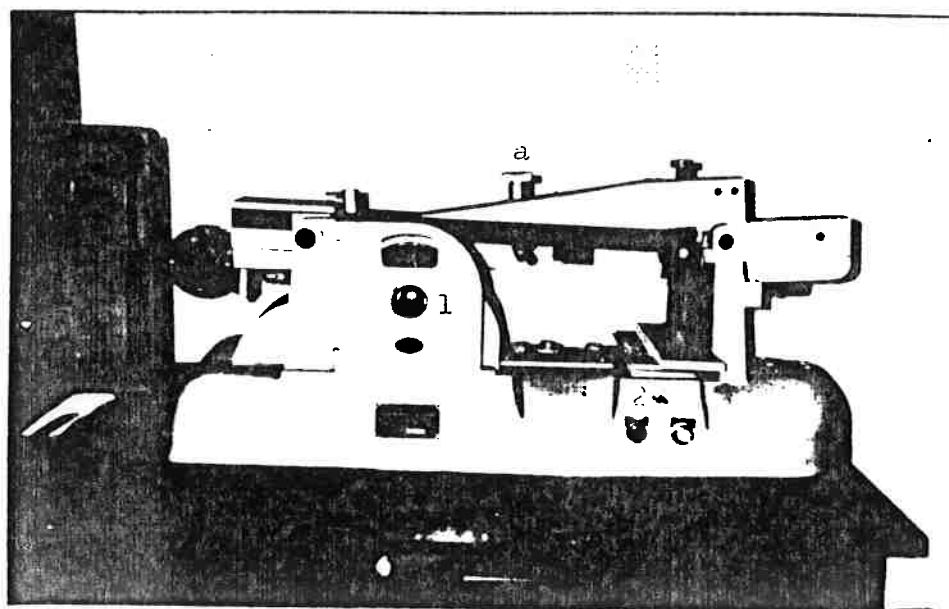
*- foi utilizada para avaliar a resistência à compressão das pelotas, sendo que a leitura na máquina era em PSI , havendo então um fator de correção (0,143) para kgf.*

f) *forno elétrico de mufla*

*- utilizado nos ensaios a quente (maiores detalhes sobre o forno será dado no item 3.4).*



*fig. 3: moinho de bolas*



*fig. 4: máquina para avaliar resistência à compressão*

### 3.2. Procedimento Experimental

Inicialmente preparou-se 4 composições diferentes (ver item 3.3) , sendo que os aditivos foram NaCl e Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

A essas pelotas foram realizados ensaios de resistência à compressão durante um período de cura de 49 dias.

Foi efetuado também um tratamento térmico em forno elétrico de mufla, por períodos de 30 minutos, em temperaturas de 200 a 800°C.

As pelotas fabricadas estão na faixa de 12\_16 mm e na água de adição foi acrescentado 0,5% de HCl.

### 3.3. Composição das Pelotas (%)

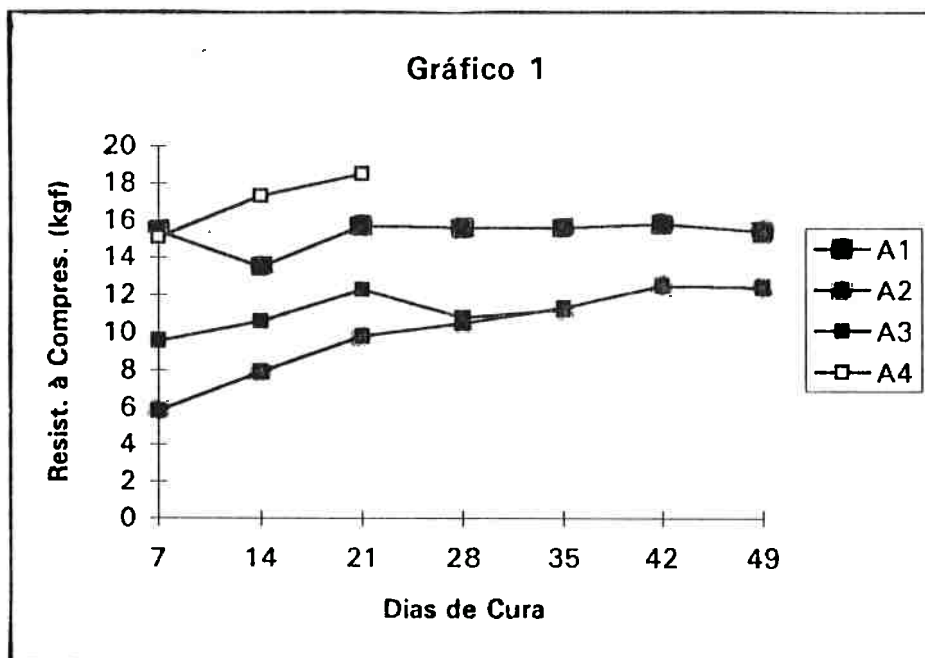
|                                 | A1    | A2    | A3    | A4    |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Minério Fe                      | 67,00 | 67,00 | 67,76 | 67,38 |
| Carvão                          | 21,00 | 21,00 | 21,24 | 21,12 |
| Cal Hidrat.                     | 7,50  | 6,56  | 6,56  | 6,56  |
| Escória AF                      | 3,50  | 3,06  | 3,06  | 3,06  |
| Sílica                          | 1,00  | 0,87  | 0,87  | 0,87  |
| NaCl                            | ---   | 1,00  | ---   | 1,00  |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | ---   | 0,50  | ---   | 0,50  |

### 3.3.1 Resultados

A seguir temos os valores da resistência à compressão em kgf/pelota, sendo que cada valor corresponde a uma média aritmética entre 5 pelotas.

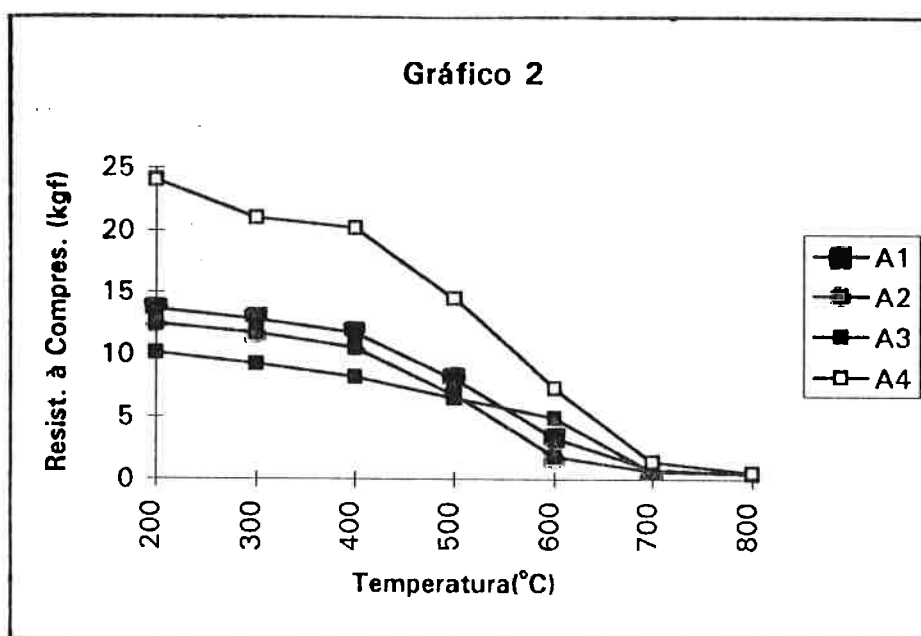
Com esses dados construiu-se o gráfico 1.

| Dias | A1   | A2   | A3   | A4   |
|------|------|------|------|------|
| 7    | 15,4 | 5,8  | 9,5  | 15,1 |
| 14   | 13,5 | 7,9  | 10,6 | 17,3 |
| 21   | 15,7 | 9,8  | 12,3 | 18,5 |
| 28   | 15,6 | 10,5 | 10,8 |      |
| 35   | 15,6 | 11,3 | 11,2 |      |
| 42   | 15,8 | 12,5 |      |      |
| 49   | 15,4 | 12,4 |      |      |



*Abaixo temos a tabela e o gráfico 2 correspondentes à variação da resistência a compressão das pelotas nas várias temperaturas de tratamento.*

| T(°C) | A1   | A2   | A3   | A4   |
|-------|------|------|------|------|
| 200   | 13,6 | 12,4 | 10,1 | 24   |
| 300   | 12,8 | 11,7 | 9,2  | 21   |
| 400   | 11,7 | 10,5 | 8,2  | 20,2 |
| 500   | 8    | 6,8  | 6,5  | 14,5 |
| 600   | 3,3  | 1,8  | 4,9  | 7,3  |
| 700   | 0,8  | 0,6  | 0,6  | 1,4  |
| 800   | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,5  |



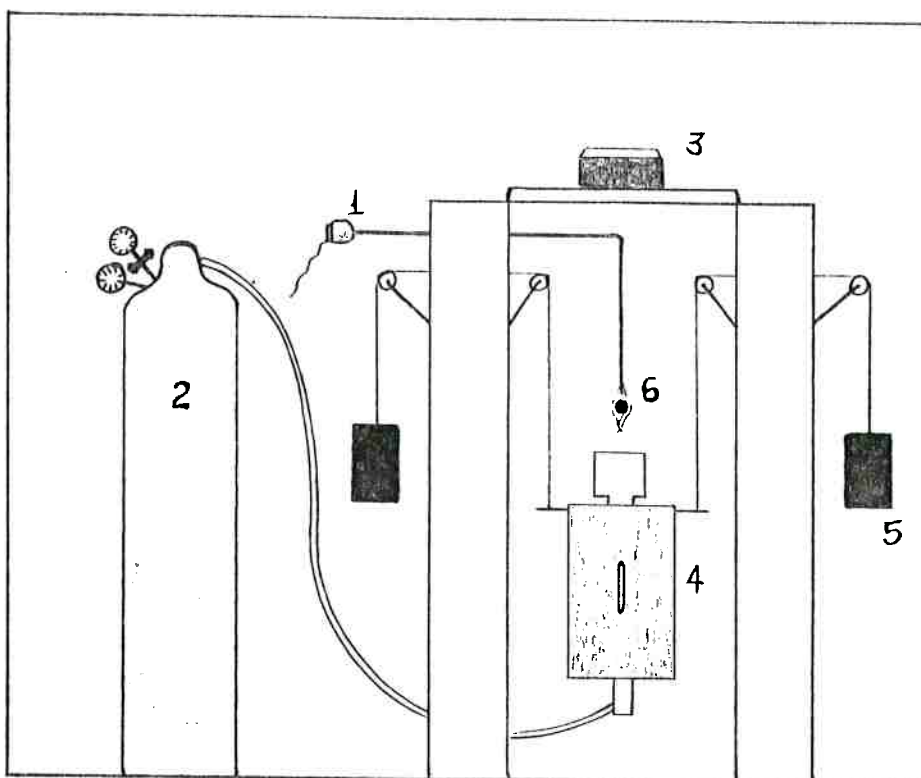
### 3.4. Ciclo Térmico

*Nesta parte do trabalho empregamos o ciclo térmico que simula as condições de temperaturas a que uma pelota é submetida em um forno de redução. Sabendo-se que a pelota apresenta determinado perfil térmico dentro do forno, obteve-se tal simulação através de um forno elétrico de mufla móvel na direção vertical(fig.5). Desta forma, a pelota era fixada por meio de um fio e a ela um termopar era acoplado de modo a acompanhar a variação de temperatura devido à movimentação do forno.*

*As experiências foram efetuadas sob uma vazão de 1L/min de argônio e antes do ensaio, o forno era regulado para a temperatura de 1150°C, sendo que essa temperatura era observada apenas na região central do forno.*

*Na estrutura de sustentação do forno era afixado um termopar cromel-alumel com revestimento metálico, na extremidade do qual a pelota a ser ensaiada era afixada com auxílio de um fio de níquel-cromo, de modo que a ponta do termopar encostasse na superfície da pelota.*

*Para as pelotas de composição Al foram feitos vários ciclos, de tal forma que a cada 2 minutos o ciclo era interrompido, até o tempo de 22 minutos. Através de um paquímetro, as pelotas eram medidas antes e depois de cada experiência, e a sua resistência à compressão era medida após o ciclo térmico. Desta forma obteve-se a variação do inchamento volumétrico e da resistência à compressão durante a "descida" da pelota pelo forno.*



*fig. 5: esquema do equipamento utilizado*

- 1 : termopar cromel-alumel;*
- 2 : recipiente com argônio;*
- 3 : balança digital (utilizada em ensaios termogravimétricos);*
- 4 : forno elétrico de mufla;*
- 5 : peso móvel (para a sustentação do forno);*
- 6 : "cestinha" com a pelota (feita com um fio de níquel cromo).*

### 3.4.1. Resultados

*Abaixo temos os valores obtidos em 11 ensaios, utilizando as pelotas A1.*

*Com esses dados construiu-se os gráficos 3 e 4.*

| <i>Tempo no<br/>forno(min)</i> | <i>Temperatura<br/>(°C)</i> | <i>Inchamento<br/>Volum.(%)</i> | <i>Resist. Compres.<br/>(kgf)</i> |
|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 2                              | 520                         | 0,9                             | 12,19                             |
| 4                              | 635                         | 2,7                             | 5,13                              |
| 6                              | 694                         | 5,1                             | 1,95                              |
| 8                              | 789                         | 6,1                             | 1,14                              |
| 10                             | 795                         | 8,4                             | 0,78                              |
| 12                             | 822                         | 20,5                            | 0,57                              |
| 14                             | 857                         | 33,0                            | ---                               |
| 16                             | 902                         | 50,1                            | 0,57                              |
| 18                             | 961                         | 79,2                            | 0,46                              |
| 20                             | 1068                        | 119,9                           | 0,36                              |
| 22                             | 1129                        | 115,4                           | 0,28                              |

Gráfico 3

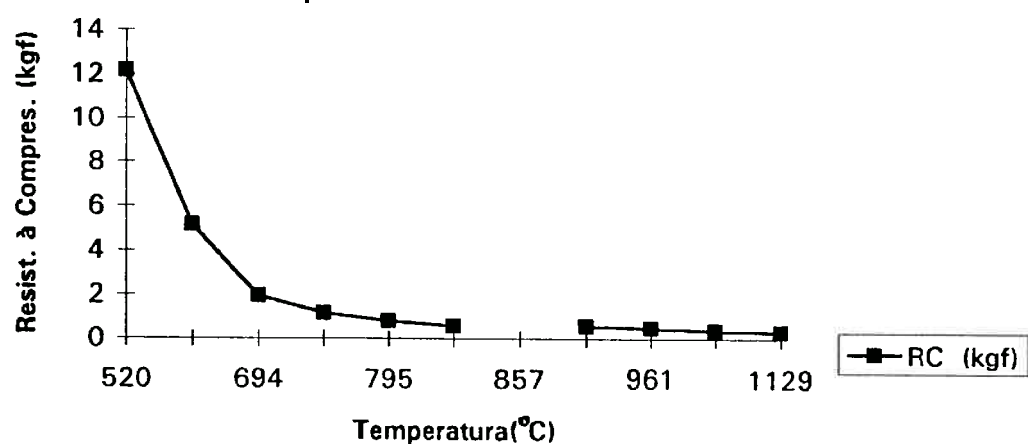
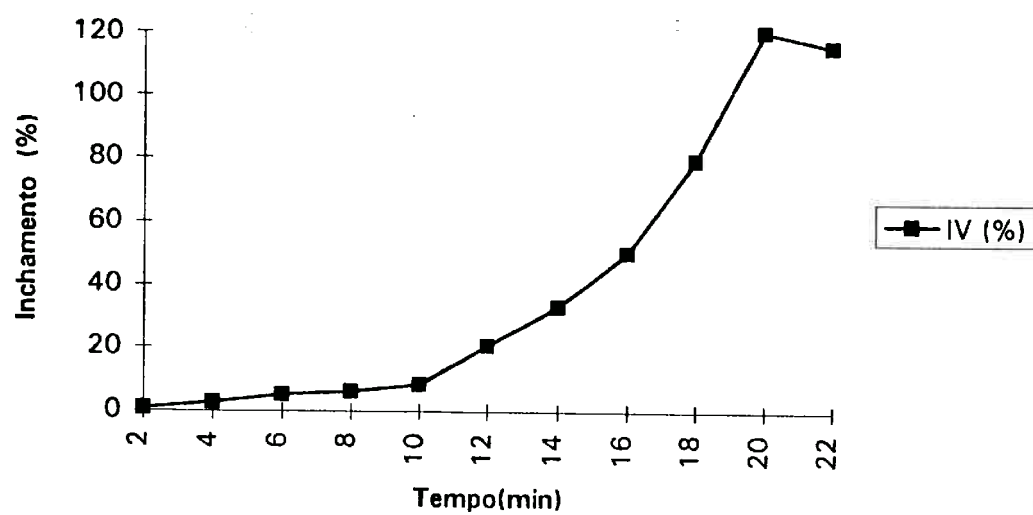


Gráfico 4



### **3.5. Métodos de Pelotização**

*Novos métodos de pelotização foram estudados com o objetivo de aumentar a resistência mecânica das pelotas. Foi efetuado três formas diferentes de pelotização, utilizando a mesma composição de pelota (A1) :*

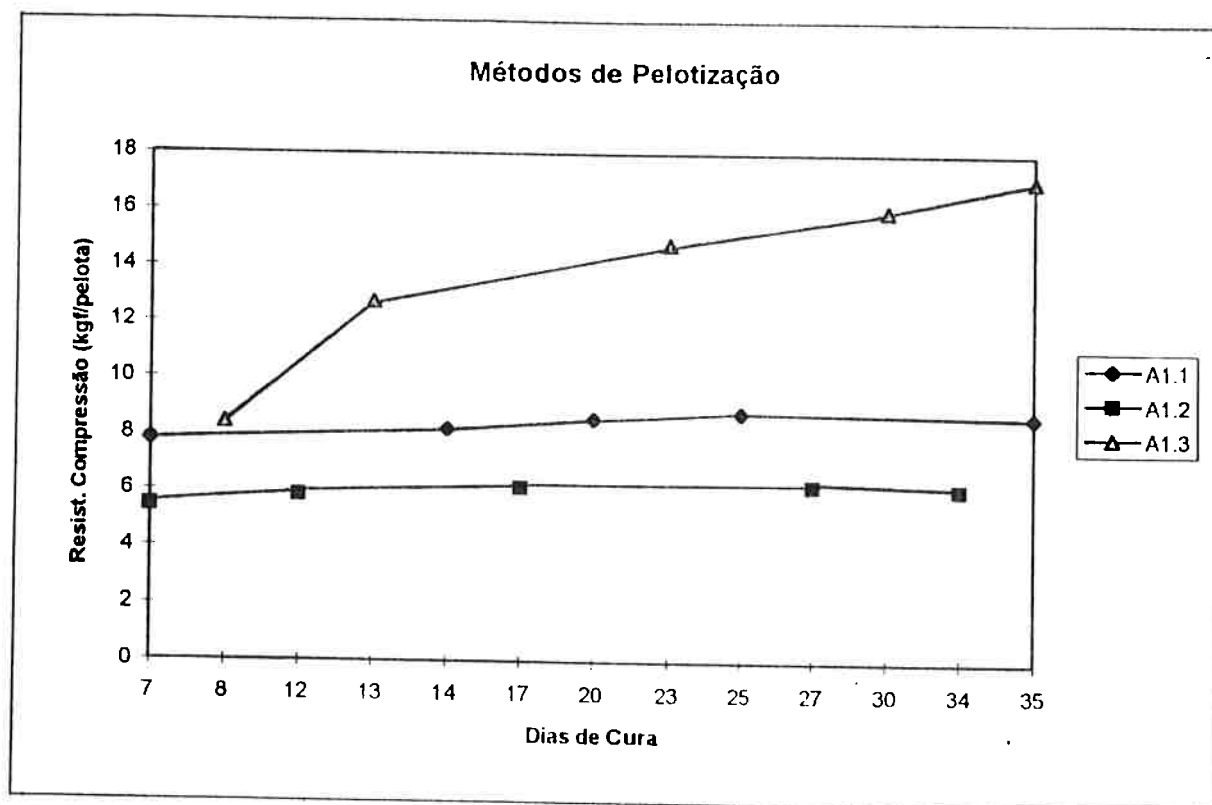
- a) Método Convencional : pesagem dos materiais, homogeneização e posterior pelotização.*
- b) Método Alternativo 2 : semelhante ao método convencional, diferenciando-se do fato de que, antes da pelotização, 8,5% de água é adicionada à mistura.*
- c) Método Alternativo 3 : esse método corresponde a continuação do método alternativo 2, pois após a adição de 8,5% de água, a mistura é colocada em um moinho de bolas durante uma hora para posteriormente ocorrer a pelotização.*

### 3.5.1. Resultados

A resistência a compressão a frio foi obtida para os três métodos, com a mesma composição de pelota, sendo que A1.1 corresponde ao método convencional, A1.2 ao método alternativo 2 e A1.3 ao método alternativo 3.

A seguir temos a tabela com os valores da resistência à compressão durante um período de cura de 35 dias e o gráfico correspondente.

| Dias | A1.1 | A1.2 | A1.3 |
|------|------|------|------|
| 7    | 7,8  | 5,4  |      |
| 8    |      |      | 8,4  |
| 12   |      | 5,8  |      |
| 13   |      |      | 12,7 |
| 14   | 8,2  |      |      |
| 17   |      | 6,1  |      |
| 20   | 8,6  |      |      |
| 23   |      |      | 14,8 |
| 25   | 8,8  |      |      |
| 27   |      | 6,2  |      |
| 30   |      |      | 16   |
| 34   |      | 6,1  |      |
| 35   | 8,7  |      | 17,1 |



### 3.6. Influência dos Teores da Mistura Aglomerante na Resistência à Compressão.

Estudou-se também a influência das porcentagens da mistura aglomerante (cal hidratada e escória de alto forno) na resistência à compressão das pelotas auto-redutoras, para isto as pelotas foram fabricadas com teores fixos de minério de ferro, carvão mineral, sílica e variou-se os teores da cal hidratada e da escória de alto-forno.

Essas pelotas foram fabricadas utilizando o método alternativo 3 e como será descrito adiante a pelota com a maior porcentagem de cal (90% da mistura aglomerante) foi chamada de Pelota 90% CaO.

#### 3.6.1. Composição das Pelotas

| Composição (%) |         |        |        |           |         |
|----------------|---------|--------|--------|-----------|---------|
| PELOTA *       | Min. Fe | Carvão | Sílica | Cal Hidr. | Escória |
| 10%CaO         | 67      | 21     | 1      | 1,1       | 9,9     |
| 20%CaO         | 67      | 21     | 1      | 2,2       | 8,8     |
| 30%CaO         | 67      | 21     | 1      | 3,3       | 7,7     |
| 40%CaO         | 67      | 21     | 1      | 4,4       | 6,6     |
| 50%CaO         | 67      | 21     | 1      | 5,5       | 5,5     |
| 60%CaO         | 67      | 21     | 1      | 6,6       | 4,4     |
| 70%CaO         | 67      | 21     | 1      | 7,7       | 3,3     |
| 80%CaO         | 67      | 21     | 1      | 8,8       | 2,2     |
| 90%CaO         | 67      | 21     | 1      | 9,9       | 1,1     |

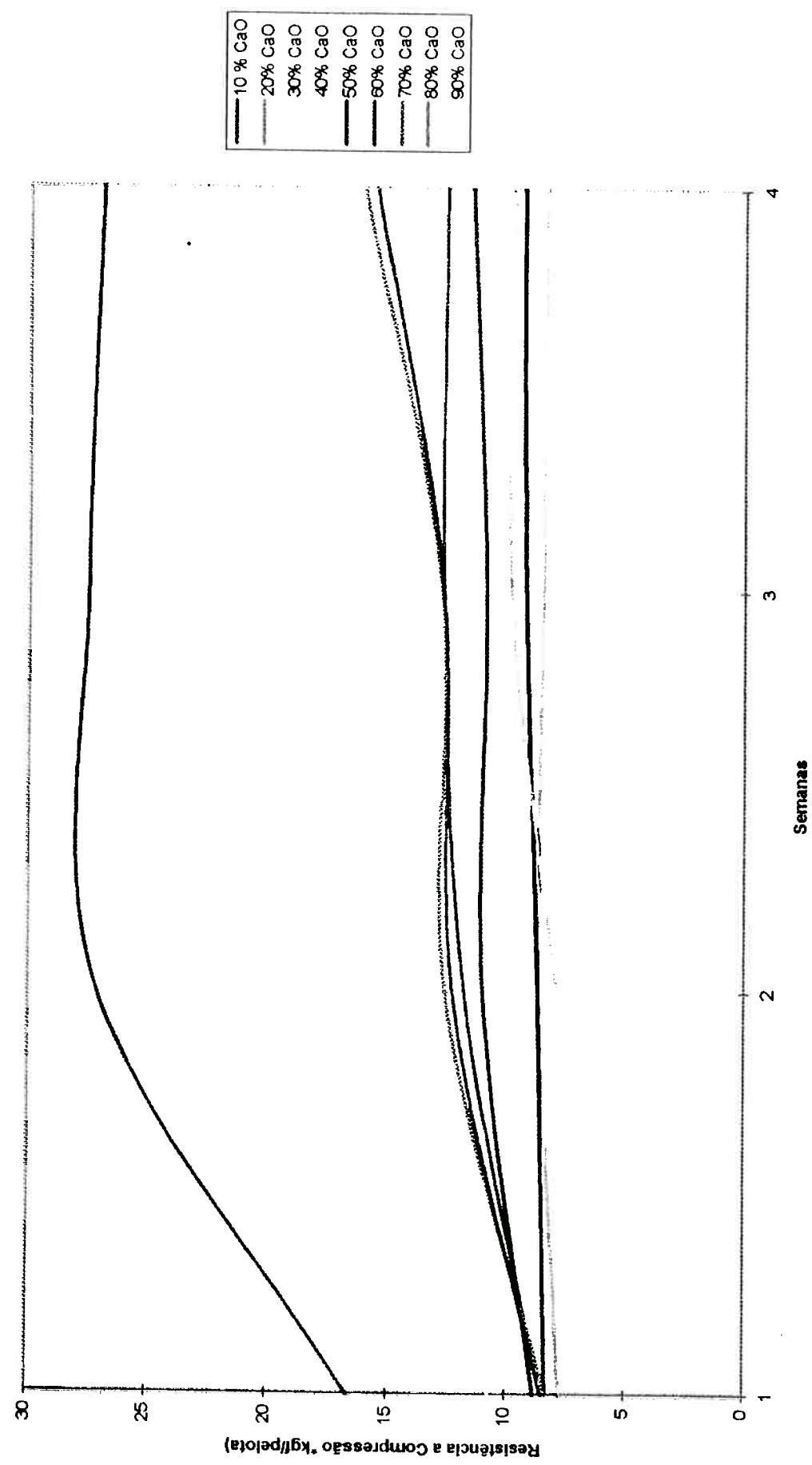
### 3.6.2. Resultados

*A seguir temos os valores da resistência à compressão (para as nove composições de pelota) obtidas durante um período de cura de 28 dias (4 semanas), e o gráfico correspondente:*

*Resistência à Compressão (kgf)*

| semana | 10 % CaO | 20% CaO | 30% CaO | 40% CaO | 50% CaO | 60% CaO | 70% CaO | 80% CaO | 90% CaO |
|--------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1      | 16,6     | 8,5     | 7,7     | 10,7    | 8,8     | 8,3     | 8,3     | 8,5     |         |
| 2      | 27,1     | 11,8    | 8,6     | 15,2    | 11      | 8,7     | 12,6    | 12,3    | 7,9     |
| 3      | 27,5     | 12,7    | 8,5     | 19,3    | 10,9    | 9,2     | 12,8    | 12,7    | 9,8     |
| 4      | 26,9     | 12,6    | 8,4     | 20,4    | 11,5    | 9,3     | 16,1    | 15,6    | 9,7     |

Cura em função do teor de cal



## 6. CONCLUSÕES

1.) Percebe-se que, na resistência à compressão a frio, apenas as pelotas de composição A4 tiveram valores superiores em relação à composição padrão A1. Fato também observado após tratamento térmico.

2.) Para efeito de melhor comparação entre as pelotas na resistência à compressão, deve-se fazer o ensaio com pelotas de diâmetros iguais ou fazer uma normalização, pois foi verificado que pelotas maiores apresentavam maior resistência.

3.) A substituição de 1,5% dos aglomerantes utilizados na pelota A1 por 1,5% de mistura  $\text{NaCl Na}_2\text{CO}_3$  (na proporção 1:2) não mostra diferenças significativas no comportamento da resistência à compressão a frio, nem após tratamento térmico. O mesmo ocorre para pelotas onde 0,5% do aglomerante foi substituído por 0,5% de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

4.) A partir do gráfico 3, percebe-se que a grande queda de resistência à compressão das pelotas dentro do forno, ocorre em temperaturas maiores que  $550^\circ\text{C}$ , isto devido à reversão das reações de hidratação dos ligantes hidráulicos.

5.) Através do gráfico 4, percebe-se que a aceleração do inchamento volumétrico ocorre a partir do décimo minuto, instante em que a temperatura está em  $795^\circ\text{C}$ , portanto

*conclui-se que a maior queda da resistência à compressão ocorre antes da aceleração do inchamento volumétrico.*

*6.) Com relação aos métodos de pelletização percebe-se a melhoria da resistência à compressão quando se processa o método alternativo 3, isto se deve a uma melhor homogeneização da água na mistura, favorecendo as reações de hidratação na pelota.*

*7.) Nas experiências onde se estudou a influência dos teores da mistura aglomerante na resistência mecânica das pelotas, observa-se que as pelotas com 10% CaO obtiveram os maiores valores de resistência à compressão e essas pelotas correspondem ao menor custo, pois a escória de alto forno é mais barata em relação a cal hidratada.*

## **7. Bibliografia**

1. MOURÃO, M.B. *Análise do processo de redução de minério de ferro por carbono na forma de pelotas auto-redutoras*. Tese de Doutorado, EPUSP, 1988.
2. NASCIMENTO, R.C. *Estudo experimental da pelletização de finos de minério de manganês*. Dissertação de Mestrado, EPUSP, 1983.
3. RUZICKOVA, Z. *Pelletization of Fines*. Developments in Mineral Processing, vol. 7.
4. *Tecnored Process*, Apostila do fabricante.
5. YAMAGUCHI, K.; AMANO, S.; MATSUNAGA, S.; MATSUOKA, H. *Development of a Cementless Cold-Bonded Pellets Process at Kimitsu Works*. Ironmaking Conference Proceedings, 1991.