

ENG 02298 TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

**ANÁLISE DO PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO
DO PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA**

Arthur Holstein de Camargo
00171089

Prof.^a Dr.^a Rejane Maria Candiota Tubino

Novembro

2013

Arthur Holstein de Camargo

**ANÁLISE DO PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO
DO PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de curso de Graduação apresentado à banca examinadora da disciplina ENG 02298 – Trabalho de Diplomação, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rejane Maria Candiota Tubino

Porto Alegre

2013

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, ao único Deus verdadeiro, criador de tudo o que há, ao Seu eterno Filho Jesus Cristo, meu senhor e salvador, razão da minha existência. Agradeço-O por tudo o que tenho, por tudo o que sou, e pela verdade que a mim me foi confiada, capaz de vencer o abismo epistemológico que existe no pensamento humano.

Agradeço a minha família, o maior presente que Deus já me deu, que em todos os momentos esteve presente. Ao meu pai, Paulo Roberto Lucca de Camargo, e a minha mãe, Elaine Holstein de Camargo, que me criaram com amor, educação e respeito, dedico esta conquista.

Aos grandes mestres e professores que me guiaram nesta jornada, em especial à professora Dr.^a Rejane Tubino e ao M.Sc. Pedro Buzin, meu sincero agradecimento e reverência, reconhecendo que sem a sua ajuda não teria sido capaz de alcançar o que alcancei.

Aos amigos que alegraram meu dia-a-dia, dividiram as dificuldades, e me ajudaram a crescer como pessoa, minha eterna gratidão.

Por fim gostaria de agradecer a minha falecida avó, que antes de partir me ensinou que uma vida é feita de lembranças, memórias valiosas que nos definem para sempre.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	x
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
PELOTIZAÇÃO EM DISCO	4
PREPARAÇÃO	5
PELOTAMENTO	5
PARÂMETROS DO PROCESSO.....	7
PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA (PAE)	8
PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	11
MATERIAIS UTILIZADOS	11
PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA (PAE)	11
PELOTIZADORA	12
ÓXIDO DE CÁLCIO (CaO)	13
METODOLOGIA APLICADA.....	13
COMPOSIÇÃO DAS AMOSTRAS.....	14
PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	14
PELOTIZAÇÃO	15
PENEIRAMENTO, PESAGEM E SECAGEM DAS AMOSTRAS	16
TESTES DE QUEDA	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	18
AMOSTRA NÚMERO 12	18
PESAGEM DAS FRAÇÕES.....	18
CONTROLE DE UMIDADE.....	22

TESTES DE QUEDA.....	23
FRAÇÕES DAS AMOSTRAS 13 E 14	30
CONCLUSÕES.....	32
SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo e a discussão de parâmetros no processo de pelotização em disco clássico de pó de aciaria elétrica, através de processos experimentais realizados no Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia (LEAMet). Foram pelotizadas amostras de resíduo, provenientes de aciaria elétrica de duas usinas siderúrgicas, conhecido como PAE. O processo de pelotização foi realizado em uma pelotizadora de disco, variando-se a quantidade de aditivos ligantes adicionados à mistura inicial, e a quantidade de água adicionada durante o processo. Obtiveram-se resultados que apontaram os efeitos que as variações aplicadas exerceram nos indicadores de resistência mecânica e umidade das pelotas cruas, sendo possível identificar as condições ideais de pelotamento dos resíduos utilizados. Entre os resultados observados estão a elevada resistência das pelotas obtidas através da metodologia ideal, com uma média de quedas entre 7,05 e 9,0 nos testes de queda, e as umidades de 16,6% e 21,6% encontradas nas pelotas das duas amostras, tendo sido produzidas com adição de 21,2% e 30,5% de água, respectivamente.

Palavras-chave: Pelotização. Pó de Aciaria Elétrica. Resíduo.

ABSTRACT

This work aims to study and discuss the parameters in the process of classic disk pelletizing of electric arc furnace dust (PAE), through experimental procedures performed at the Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia (LEAMet). Samples of waste, from electric arc furnace plants, known as PAE, were pelleted. The pelletizing process was performed in a disc pelletizer, varying the amount of binder additives added to the initial mixture, and the amount of water added during the process. Results were obtained, which pointed the effects that the variations applied exercised in the indicators of green pellets mechanical resistance and humidity, being possible to identify the ideal conditions for pelletizing the waste utilized. Among the results observed are the high resistance of the pellets obtained from the ideal methodology, with an average of drops between 7.05 and 9.0 in the drop test, and the humidities of 16.6% and 21.6% founded in the pellets from the two samples, that were produced with the addition of 21.2% and 30.5% of water, respectively.

Keywords: Pelletizing. Electric Arc Furnace Dust. Residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Etapas de uma planta de pelotização.....	4
Figura 3.2 – Pelotizadora de disco.....	5
Figura 3.3 – Influência das forças capilares nas ligações.....	6
Figura 3.4 – Estágios de formação das pelotas.....	6
Figura 3.5 – Alternativas para a formação das pelotas.....	7
Figura 3.6 – Formação do PAE em um FEA.....	8
Figura 4.1 – PAE peneirado e materiais retirados	11
Figura 4.2 – Pelotizadora.....	12
Figura 4.3 – Disco pelotizador	12
Figura 4.4 – Ângulo de inclinação do disco pelotizador	13
Figura 4.5 – Adição da água na pelotizadora através de um borrifador.....	16
Figura 4.6 – Retirada das pelotas de maneira controlada.....	16
Figura 4.7 – Peneiramento das pelotas obtidas.....	17
Figura 4.8 – Equipamentos do teste de queda	17
Figura 5.1 – Lodo formado na pelotização da amostra 12	18
Figura 5.2 – Porcentagem em massa das frações e da perda nas amostras 1, 2 e 3.....	19
Figura 5.3 – Porcentagem em massa das frações e da perda nas amostras 4, 5, 6, 7 e 8.....	20
Figura 5.4 – Porcentagem em massa das frações e da perda nas amostras 8, 9, 10 e 11.....	20
Figura 5.5 – Frações da amostra 8.....	21
Figura 5.6 – Frações da amostra 9.....	21
Figura 5.7 – Frações da amostra 10.....	21
Figura 5.8 – Porcentagem em massa das frações e da perda nas amostras 13 e 14.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Composição de PAE de uma usina brasileira	9
Tabela 3.2 – Composição de PAE de uma usina americana	9
Tabela 3.3 – Limites de lixiviação e solubilização do PAE	10
Tabela 4.1 – Composição das amostras pelotizadas.....	14
Tabela 5.1 – Massas das frações de cada amostra.....	19
Tabela 5.2 – Cálculo de umidade das frações de cada amostra.....	22
Tabela 5.3 – Testes de queda das amostras 1 a 7, com 0 dias	24
Tabela 5.4 – Testes de queda das amostras 8 a 14, com 0 dias	25
Tabela 5.5 – Testes de queda das amostras 1 a 7, com 3 dias	26
Tabela 5.6 – Testes de queda das amostras 8 a 14, com 3 dias	27
Tabela 5.7 – Testes de queda das amostras 1 a 7, com 10 dias	28
Tabela 5.8 – Testes de queda das amostras 8 a 14, com 10 dias	29
Tabela 5.9 – Dados das amostras 13 e 14.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS

CaO – Óxido de Cálcio

FEA – Forno Elétrico a Arco

p.a. – pureza analítica

PAE – Pó de Aciaria Elétrica

rpm – rotações por minuto

1 INTRODUÇÃO

Nas diversas atividades industriais do ramo metalúrgico tem-se a fabricação do aço em usinas semi-integradas, as quais em sua grande maioria utilizam o processo de fundição de aciaria elétrica. Nessa atividade, as matérias primas, que consistem principalmente de sucatas ferrosas, são submetidas a um processo de fusão em um equipamento denominado forno elétrico a arco (FEA), juntamente com agentes formadores de escória (cales dolomítica ou calcítica).

Durante o processo de fusão e lingotamento são gerados resíduos tais como escórias, carepas, e o pó de aciaria elétrica (PAE), sendo este último o objeto de estudo deste trabalho. Este resíduo é decorrente de fenômenos como a vaporização de metais e o arraste de partículas da carga. Trata-se de um resíduo considerado perigoso, tendo em vista que em seu conteúdo normalmente existem quantidades acima do permitido, conforme NBR 10004, de chumbo e cádmio. Os componentes principais do pó de aciaria são óxidos de ferro, como a magnetita (Fe_3O_4) e a hematita (Fe_2O_3), e de zinco, como a zincita (ZnO) e fraklinita (ZnFe_2O_4).

A geração desse resíduo gira em torno de 1 (um) à 2 (dois) por cento da produção de aço da usina, podendo representar mais de quinhentas toneladas por mês. Apesar de existirem pesquisas em desenvolvimento para a reutilização ou recuperação dos metais contidos nesse resíduo, atualmente a única unidade de processamento para grandes quantidades situa-se no estado de Minas Gerais. Por outro lado, a viabilidade econômica da reciclagem está atualmente vinculada ao conteúdo de zinco do resíduo, o qual nem sempre se encontra em níveis economicamente viáveis para o processo de recuperação (teor de zinco > 25%). Desta forma, para usinas situadas em locais mais distantes e/ou com baixos teores de zinco no resíduo, a destinação ainda se dá majoritariamente em aterros ou estocagem.

A correta destinação desse resíduo implica no seu manuseio e transporte, independentemente do destino escolhido. Entretanto uma das características desse material é sua baixíssima granulometria, o que favorece a sua dispersão por agentes atmosféricos e dificulta o seu manuseio, sendo, portanto necessária a utilização de meios de transporte especiais (caminhões a vácuo) durante sua realocação. É visando à resolução desse problema logístico, e de outros, que o processo de pelotização é empregado.

A pelotização é uma técnica originária da siderurgia e vem sendo desenvolvida e utilizada em diversas outras áreas. Esta técnica tem a finalidade de aglutinar partículas em estado de fina divisão, preparando aglomerados (pelotas) para o uso em outros processos

industriais ou transporte (MEYER, 1980). Considerando este contexto, neste trabalho procurou-se estabelecer as condições ideais de pelotização desse resíduo, tendo em vista que tal forma física favorece o transporte e a inclusão do referido material em outros processos, reduzindo custos e a insalubridade no ambiente de trabalho onde esse resíduo é manipulado.

O segundo capítulo deste trabalho trata dos objetivos que motivaram tal pesquisa laboratorial. Tais metas mostraram-se muito úteis nos momentos de definição da metodologia e das análises que seriam empregadas, servindo como base para o desenvolvimento do pensamento científico que fundamenta este trabalho.

O terceiro capítulo apresenta uma revisão bibliográfica de teses, dissertações e artigos publicados sobre o processo de pelotização, e sobre o resíduo conhecido com pó de aciaria elétrica (PAE).

O quarto capítulo apresenta os procedimentos experimentais utilizados, discorrendo sobre os equipamentos e a metodologia que foram empregados em laboratório.

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos, juntamente com uma análise e discussão dos mesmos.

Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as conclusões alcançadas, no sétimo capítulo sugestões para futuros trabalhos são feitas e no oitavo, e último capítulo as referências bibliográficas são listadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Definir os parâmetros ideais para pelotização do pó de aciaria elétrica (PAE) proveniente de duas usinas siderúrgicas diferentes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir a quantidade de água ideal para a pelotização do PAE;
- Definir o procedimento ideal de pelotamento a ser aplicado;
- Definir a quantidade ideal de CaO adicionado para a pelotização do PAE;
- Avaliar os efeitos que as modificações dos parâmetros supracitados obtêm nas amostras de pelotas formadas;
- Comparar os parâmetros ideais das duas amostras de PAE.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PELOTIZAÇÃO EM DISCO

No processo de pelletização, primeiramente, ocorre a formação de pelotas cruas em discos ou tambores, onde o minério ou resíduo, constituído por partículas de pequena granulometria, após ter sido misturado aos aditivos, é pelletizado com adição ou não de água complementar (COSTA, 2008). Tal etapa primária pode ser vista na Figura 3.1, que mostra de maneira esquematizada os estágios de uma planta de pelletização convencional.

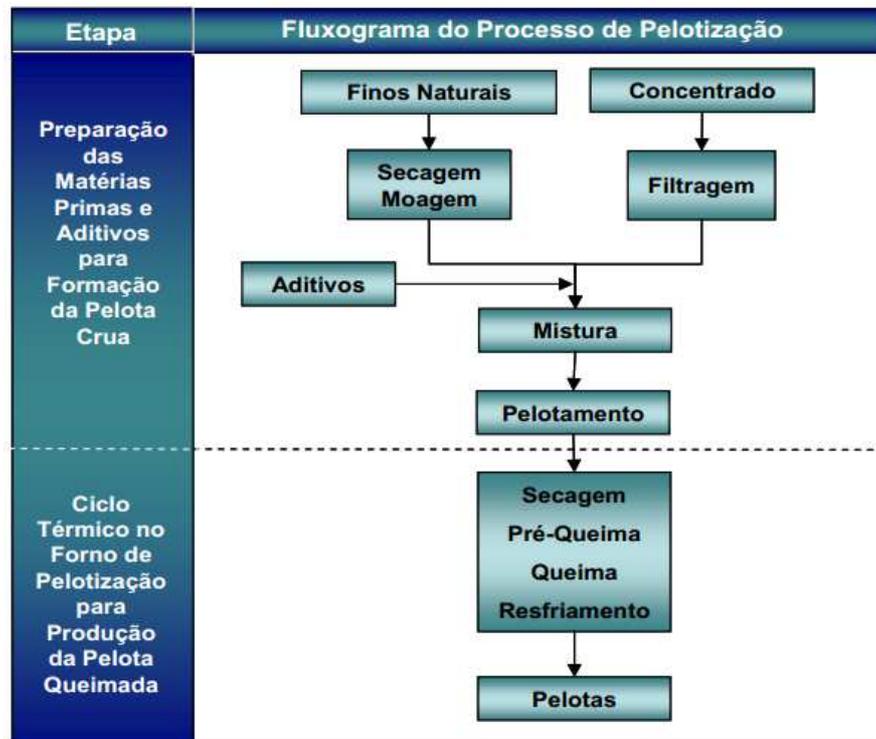


Figura 3.1 – Etapas de uma planta de pelletização (COSTA, 2008).

O processo de pelletização em disco consiste na formação de pelotas em um equipamento pelletizador de disco. Este equipamento é constituído de um disco de dimensões variadas, dependendo da escala de produção, que trabalha com um grau de inclinação regulado e em baixa rotação, onde é efetuada a pelletização, conforme adiante se descreve. Tal sistema se diferencia da pelletização em tambor devido ao tipo de equipamento utilizado e os parâmetros envolvidos no processo.

A Figura 3.2 ilustra uma pelletizadora de disco em funcionamento, mostrando também o movimento esperado das pelotas cruas em função do seu tamanho.



Figura 3.2 – Pelotizadora de disco (FONSECA, 2004).

3.1.1 PREPARAÇÃO

Na etapa de preparação, os componentes sólidos da pelota são pesados e devidamente homogeneizados (MEYER, 1980). Posteriormente o *blend* formado, cuja composição varia dependendo do material que se deseja pelotizar, é levado ao disco pelotizador para a etapa de pelotamento.

Os componentes que podem fazer parte dessa mistura são diversos, mas no caso de minérios e resíduos como o PAE, existem alguns compostos mais tradicionais que são geralmente usados. O CaO é um deles, pois tem papel fundamental no endurecimento da pelota através da formação de compostos que favorecem a ligação entre os grãos de minério (OLIVEIRA, 2009).

É de extrema importância que a etapa de mistura seja bem executada, pois caso contrário as pelotas apresentarão uma variação muito grande em seus resultados experimentais posteriores. Isso acontece, pois pelotas com menos aditivos apresentam menor resistência, tanto cruas quanto sinterizadas (COSTA, 2008).

3.1.2 PELOTAMENTO

Na etapa de pelotamento a mistura previamente homogeneizada, contendo o material-chave e os demais aditivos, é alimentada no disco pelotizador de maneira gradual, sendo a continuidade da alimentação dependente da metodologia utilizada. Juntamente com a mistura sólida a pelotizadora também é carregada com uma fase líquida necessária para a formação das pelotas (MEYER, 1980), que nos casos analisados e no presente trabalho é água.

Depois de carregados na pelletizadora os componentes supracitados formam, através da ação das forças coesivas de tensão e capilaridade, aglomerados denominados pelotas. Tais aglomerados são formados quando as partículas sólidas, envoltas em um filme líquido, aderem umas às outras, em um processo contínuo de quebra e formação de novas pontes líquidas. Após a formação de um aglomerado estável ocorre a sua densificação, onde os poros restantes são preenchidos com água (FONSECA, 2004). Na Figura 3.3, pode-se observar as forças coesivas que agem na formação das pelotas, na Figura 3.4 é possível verificar os estágios de formação das pelotas cruas e na Figura 3.5, verificam-se as diferentes alternativas para formação de pelotas verdes.

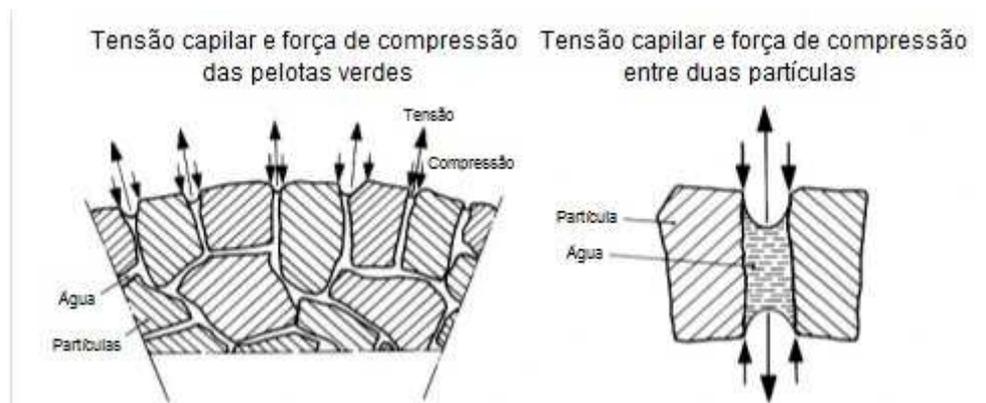


Figura 3.3 – Influência das forças capilares nas ligações (MEYER, 1980).

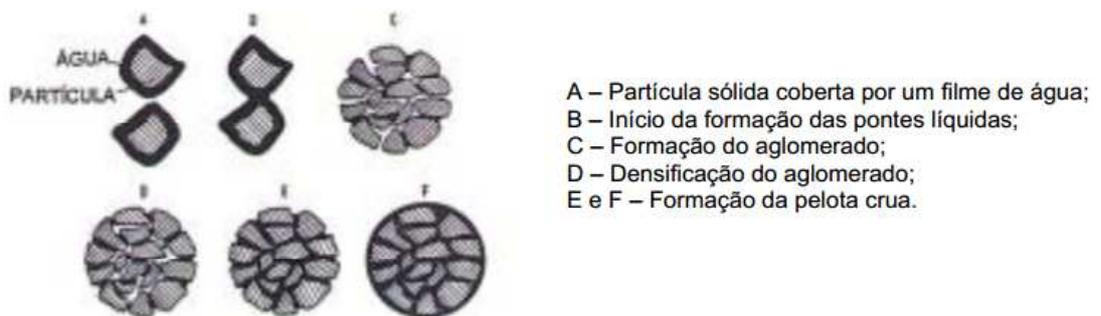


Figura 3.4 – Estágios de formação das pelotas (FONSECA, 2004).

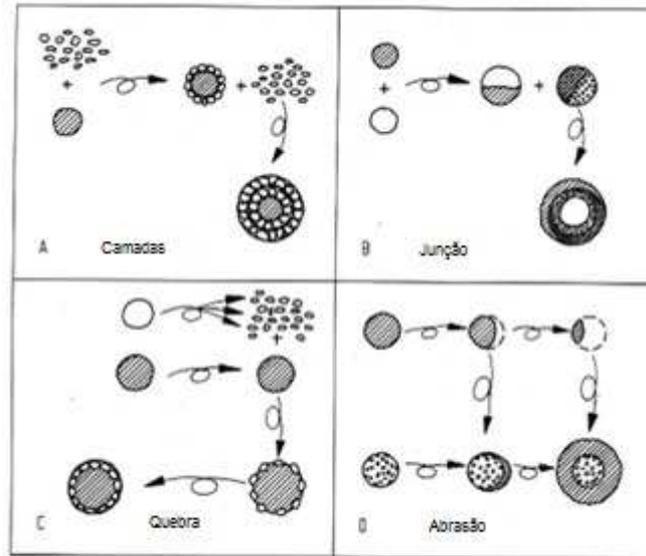


Figura 3.5 – Alternativas para a formação das pelotas (MEYER, 1980).

As diferentes rotas de formação das pelotas influenciam, de maneira significativa, nas propriedades finais das mesmas. Tal influência se deve pelo fato de que os distintos modos de formação proporcionam a existência de mais ou menos poros e vazios no interior da pelota. Obviamente tais diferenças na quantidade de poros, em função da rota de formação das pelotas, variam de acordo com os materiais usados no processo (MEYER, 1980).

Após a formação das pelotas cruas e sua separação granulométrica, geralmente elas seguem para um processo de secagem e/ou sinterização, dependendo do uso planejado. Apesar de estarem inclusos nas etapas de pelletização, tais processos não serão revisados neste trabalho, pois não foram executados em laboratório, visto que o intuito é a análise da resistência, entre outros fatores, das pelotas cruas.

3.1.3 PARÂMETROS DO PROCESSO

Os fatores decisivos na formação das pelotas cruas e nas características das mesmas podem ser divididos em dois grupos (MEYER, 1980):

- Não variáveis: relacionados à matéria prima. São fatores como a natureza dos minérios utilizados, porosidade, molhabilidade, etc.
- Variáveis: não dependem da matéria prima utilizada. São fatores como a distribuição granulométrica, eficiência dos aglomerantes, velocidade de rotação da pelletizadora, etc.

Apenas os fatores variáveis podem ser ajustados para a obtenção de pelotas ideais, portanto uma análise com o objetivo de definir os parâmetros ideais de pelotização deve se ater a este determinado conjunto, definindo um ou mais parâmetros de estudo para experimentação.

É importante lembrar que as características físicas e químicas dos materiais utilizados influenciam grandemente no aspecto e nas propriedades das pelotas produzidas (ARSHADI, 2008).

3.2 PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA (PAE)

O pó de aciaria elétrica é um resíduo proveniente do processo de fabricação do aço em usinas elétricas, e é gerado por uma série de fenômenos, tais como volatilização dos metais, vaporização do ferro abaixo do arco, arraste de partículas sólidas e outros (MACHADO, 2004). Devido ao fato de tais usinas utilizarem sucatas de composição variável, os resíduos decorrentes desse processo possuem uma composição rica e diversificada, o que configura um problema para tais empresas, pois nessa composição se encontram diversos materiais tóxicos e perigosos, como cádmio e chumbo (VARGAS, 2004). Tal periculosidade dificulta e torna muito custosa a correta destinação desse e de outros resíduos do processo, levando as empresas do setor em uma busca por novas tecnologias de tratamento e destinação dos resíduos.

Na Figura 3.6, vê-se uma representação esquemática da formação do PAE em um forno elétrico a arco (FEA). O PAE sai do processo através no sistema de exaustão, ficando armazenado em filtros de coleta.

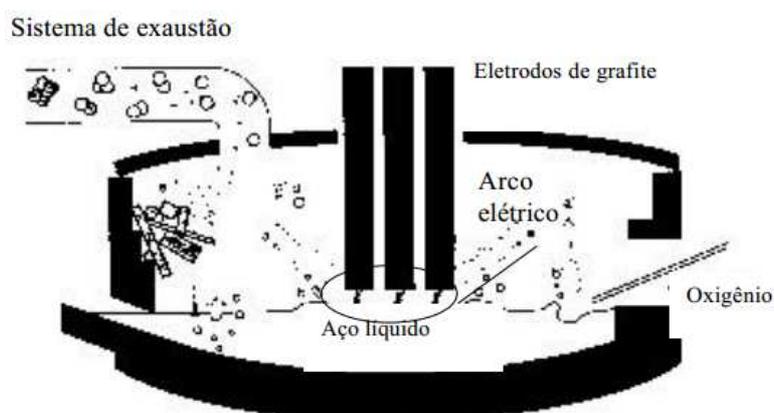


Figura 3.6 – Formação do PAE em um FEA (VARGAS, 2002).

Estima-se que, para cada 1 (uma) tonelada de aço produzido, sejam gerados entre 15 e 20 kg de PAE, ou seja, de 1,50% a 2,00% (VARGAS, 2002) da produção nominal da usina.

Para ajudar a ilustrar a variedade de elementos encontrados no PAE, as Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam exemplos de composições em diferentes aciarias.

Tabela 3.1 – Composição de PAE de uma usina brasileira (VARGAS, 2004).

Elemento	(%)	Elemento	(%)	Elemento	(%)	Elemento	(%)
Fe	42,00	Pb	1,34	Na	0,84	Cd	0,11
Zn	13,30	Si	1,29	S	0,32	Mo	0,07
Ca	4,28	C	1,10	Cu	0,24	Al	0,29
Mn	1,90	Cr	1,05	Ni	0,19	Co	0,05
Mg	1,61	K	0,97	P	0,17	-	-

Tabela 3.2 – Composição de PAE de uma usina americana (MACHADO, 2004).

Componente	Pó de aço carbono (% massa)	Pó de aço inoxidável (% massa)
Fe total	24,9-46,9	22,2-35,9
Zn	11,12-26,9	1,77-6,22
Pb	1,09-3,81	0,23-0,78
Cd	0,03-0,15	0,006-1,79
Cr	0,06-0,58	2,01-10,1
Ni	0,01-0,12	0,15-3,34
Mo	0,02-0,08	0,37-1,46
Cu	0,06-2,32	0,09-1,26
F	0,01-0,88	1,36-4,83
Cl	0,51-2,36	0,47-1,17
Si	1,35-2,49	1,36-4,83
Mn	2,46-4,60	2,36-4,59
Mg	0,77-2,93	1,70-4,74
Ca	1,85-10,0	1,76-6,93
K	0,06-1,12	0,80-5,07
Na	0,29-2,31	0,47-4,60

Além dessas composições, também é possível observar na Tabela 3.3 os limites máximos permitidos, na NBR 10004 (ABNT, 2004), de certos elementos nos testes de lixiviação e solubilização do PAE, feitos conforme NBR 10005 (ABNT, 2004) e NBR 10006 (ABNT, 2004), respectivamente.

Tabela 3.3 – Limites de lixiviação e solubilização do PAE, conforme NBR 10004 (ABNT, 2004).

Elemento	Lixiviação	Solubilização
As	1,0 mg/L	0,01 mg/L
Ba	70,0 mg/L	0,7 mg/L
Cd	0,5 mg/L	0,005 mg/L
Pb	1,0 mg/L	0,01 mg/L
Cr	5,0 mg/L	0,05 mg/L
Hg	0,1 mg/L	0,001 mg/L
Ag	5,0 mg/L	0,05 mg/L

As tabelas supracitadas explicam, de maneira significativa, a variedade de materiais que podem ser encontrados nesse tipo de resíduo, e mostram que embora exista certa variação nas concentrações, os elementos presentes em maior quantidade são sempre os mesmos, ferro e zinco. Esses dados e conclusões se tornaram, com o passar do tempo, uma ótima justificativa para a investigação da reutilização e recuperação do PAE, promovendo estudos de sua utilização inclusive na área da construção civil (VARGAS, 2002; VARGAS, 2004).

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A partir dos objetivos do presente trabalho, foram definidas as metodologias de pesquisa e os materiais a serem utilizados. Segue, portanto, uma descrição completa dos mesmos.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Todos os equipamentos aqui descritos pertencem, ou foram cedidos, ao Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia (LEAMet). Os resíduos PAE utilizados foram adquiridos via convênio com usinas siderúrgicas, sob cláusula de confidencialidade.

4.1.1 PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA (PAE)

Foram utilizadas neste trabalho duas amostras de PAE provenientes de usinas siderúrgicas de aciaria elétrica do estado do Rio Grande do Sul. Devido à maior disponibilidade de uma das amostras, denominada PAE 1, os primeiros testes, com o objetivo de identificar os efeitos da variação na quantidade de água e CaO da mistura, foram executados apenas com essa amostra. Posteriormente foram realizados testes com o intuito de definir a quantidade ideal de água na pelletização das amostras, onde ambas foram empregadas. A amostra utilizada apenas nos últimos testes foi denominada PAE 2.

A Figura 4.1 mostra os resultados do peneiramento do resíduo PAE 1, podendo ser possível observar pedaços de ferro fundido e de tecido dos filtros, retirados no processo.



Figura 4.1 – PAE peneirado e materiais retirados.

4.1.2 PELOTIZADORA

A pelotizadora empregada no presente estudo é uma Engendrar modelo DPL-600 série 2961. Tal equipamento inclui dois discos de diâmetros diferentes, tendo sido utilizado o disco de diâmetro 40 cm. Ela foi operada na velocidade de 42 rpm, com ângulo de inclinação do disco igual a $52,5^\circ$, visto que testes anteriores determinaram que estas condições são boas para pelotização. As Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 ilustram tal equipamento.



Figura 4.2 – Pelotizadora.



Figura 4.3 – Disco pelotizador.



Figura 4.4 – Ângulo de inclinação do disco pelotizador.

4.1.3 ÓXIDO DE CÁLCIO (CaO)

O único aditivo utilizado foi o óxido de cálcio, devido a este ser um aditivo amplamente difundido na indústria de pelotização, na forma de cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), e por seus efeitos serem um dos alvos de estudo deste trabalho. O CaO empregado nesta pesquisa para a produção das pelotas possui concentração p.a., com 95% ou mais de pureza.

4.2 METODOLOGIA APLICADA

Sabe-se que na pelotização a quantidade de água do material a ser pelotizado é determinante para o sucesso da operação. Portanto, primeiramente procurou-se definir os efeitos da quantidade de água adicionada na pelotização da amostra de PAE 1 (testes 1 à 8, incluindo a amostra 12). Para isso foi definida uma quantidade inicial de CaO utilizado (2,0% da massa de PAE), que foi mantida ao longo dos testes, até que a água adicionada ultrapassasse o ponto limite, ocorrendo a formação de um lodo incapaz de pelotizar (amostra 12).

Após os testes com variação de água, uma quantidade considerada ideal foi estabelecida e foram conduzidos, então, experimentos para definir os efeitos da quantidade de CaO adicionado à mistura (testes 8, 9, 10 e 11).

Por fim testes com as duas amostras de PAE (1 e 2) foram feitos com o objetivo de determinar a exata quantia de água ideal ao processo de pelotização, utilizando a quantidade de CaO determinada previamente (testes 13 e 14).

Durante os primeiros testes de pelotização (amostras 1, 2 e 3) foi implementada uma metodologia específica que se mostrou, ao longo da pesquisa bibliográfica e na avaliação dos resultados obtidos, ineficiente e pouco representativa para a indústria em geral, porém útil na aquisição de informações do processo. Visando uma melhor representatividade e esperando uma melhora nos resultados, essa metodologia foi alterada nos testes posteriores. Tal mudança não ocasionou problemas na interpretação dos dados.

4.2.1 COMPOSIÇÃO DAS AMOSTRAS

A composição inicial das amostras é apresentada na Tabela 4.1, lembrando que as quantidades de água das amostras 13 e 14 foram definidas durante o processo.

Tabela 4.1 – Composição das amostras pelotizadas.

Amostra	PAE utilizado	PAE (g)	CaO (g)	Água (g)	Água (%)	Total (g)
1	1	3.000	60	460	15,0	3.520
2	1	3.000	60	490	16,0	3.550
3	1	3.000	60	520	17,0	3.580
4	1	3.000	60	550	18,0	3.610
5	1	3.000	60	580	19,0	3.640
6	1	3.000	60	610	19,9	3.670
7	1	3.000	60	640	20,9	3.700
8	1	3.000	60	670	21,9	3.730
9	1	3.000	90	670	21,7	3.760
10	1	3.000	120	670	21,5	3.790
11	1	3.000	150	670	21,3	3.820
12	1	3.000	60	700	22,9	3.760
13	1	5.000	150	1094,2	21,2	6.244
14	2	5.000	150	1572,6	30,5	6.723

4.2.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras de PAE foram peneiradas, conforme recebidas das usinas, com uma peneira com abertura de 1 mm, para garantir a inexistência de corpos estranhos, como pedaços de ferro fundido, presentes anteriormente nas amostras, como visto na Figura 4.1. Juntamente ao processo de peneiramento os resíduos foram homogêneos, garantindo assim sua adequada utilização.

Após a etapa de preparação do PAE as quantidades descritas na Tabela 4.1 foram pesadas em duas balanças diferentes. A balança usada na pesagem do PAE foi uma Toledo modelo 9094C/4 série 10754914, e a balança utilizada para a pesagem da água e CaO foi uma Acculab modelo V-1200. Por último foi feita a mistura, de maneira homogênea, dos componentes sólidos empregados (PAE e CaO).

4.2.3 PELOTIZAÇÃO

No processo de pelotização a pelotizadora era ligada, aguardando-se que ela atingisse a velocidade de rotação adequada e previamente estabelecida. Depois que seu movimento estabilizava na velocidade definida, ela era carregada com a mistura dos componentes sólidos, de maneira gradual através de uma colher. Juntamente com os componentes sólidos ela também era aspergida com a fase líquida de forma contínua, através de um borrifador convencional, que visava uma maior dispersão de molhamento do resíduo e uma umidificação uniforme e paulatina da carga.

Nos primeiros testes (1, 2 e 3) o crescimento das pelotas era observado e a retirada das mesmas ocorria de maneira controlada. O operador do equipamento retirava as pelotas, utilizando uma colher, assim que atingissem o tamanho considerado ideal. Tal prática mostrou-se ineficiente, como explicado anteriormente, e suas consequências podem ser vistas adiante, nos resultados.

Depois de reavaliado, o processo de retirada das pelotas passou a ser espontâneo. Em tal metodologia o controlador apenas recolhe o material que cai no local de descarga. A grande vantagem desse método é o aumento do tempo de residência das pelotas na pelotizadora, o que de acordo com a literatura melhora suas propriedades mecânicas (MEYER, 1980).

Apenas nos últimos testes foram feitos dois ensaios de pelotização contínua, similar ao que poderá ser aplicado numa operação industrial. Com o objetivo de definir as quantidades ideais de água para as duas amostras de PAE (1 e 2), o material passante na peneira com abertura de 8 mm passou a ser devolvido à pelotizadora durante o processo. Tal método é utilizado na indústria com o objetivo de produzir o maior número de pelotas com tamanho considerado ideal (retidas em peneira com abertura de 8 mm).

Na Figura 4.5 é possível observar a alimentação da pelotizadora com a fase líquida, feita através de um borrifador. A Figura 4.6 ilustra a retirada das pelotas, conforme procedimento feito nos três primeiros testes, com o auxílio de uma colher.



Figura 4.5 – Adição da água na pelotizadora através de um borrifador.



Figura 4.6 – Retirada das pelotas de maneira controlada.

4.2.4 PENEIRAMENTO, PESAGEM E SECAGEM DAS AMOSTRAS

Após o término do processo de pelotização, as pelotas e todo o material restante foram peneiradas em duas peneiras, com abertura de 8 mm e 4 mm, com o objetivo de definir a quantidade de pelotas produzidas com tamanho ideal (retidas na peneira de 8 mm), pelotas pequenas (passantes na peneira de 8 mm e retidas na de 4 mm), e finos (passante em ambas peneiras). A fração de pelotas com tamanho ideal foi denominada fração A, as pelotas pequenas foram denominadas fração B, e os finos restantes foram denominados fração C.

As frações foram pesadas, na mesma balança utilizada na pesagem do PAE, armazenadas e identificadas para futuros testes. Uma amostra de cada fração, com cerca de 50 gramas, foi pesada e levada à estufa para secagem e posterior pesagem, com o objetivo de definir a quantidade de água presente em cada amostra. A estufa utilizada nesse teste foi uma Fabbe-Primar modelo 219/3, ajustada para operar à 90°C.

A Figura 4.7 mostra uma das etapas de peneiramento realizadas com o material obtido.



Figura 4.7 – Peneiramento das pelotas obtidas.

4.2.5 TESTES DE QUEDA

As pelotas presentes na fração A de cada amostra foram submetidas a testes de queda, feitos conforme a descrição apresentada por Meyer (1980), onde 20 (vinte) pelotas são derrubadas em uma superfície metálica dura, individualmente, de uma altura de 46 cm, até que ocorra o rompimento das mesmas, anotando-se em uma planilha quantas quedas foram necessárias para que isso acontecesse.

Os testes de queda foram efetuados em três idades diferentes para cada amostra. O primeiro teste foi feito no dia da pelotização, o segundo foi realizado três dias depois, e o terceiro teste ocorreu dez dias após a pelotização de cada amostra. Na Figura 4.8 é possível observar o local e os equipamentos utilizados no referido teste.



Figura 4.8 – Equipamentos do teste de queda.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos experimentos listados e explicados no capítulo anterior poderão ser vistos neste capítulo, juntamente com uma abordagem inicial das conclusões que tais resultados trouxeram.

5.1 AMOSTRA NÚMERO 12

A amostra número 12 não foi submetida aos experimentos programados para o material após a pelotização, pois foi na amostra número 12 que o limite de água máximo foi extrapolado, ocorrendo a formação de um lodo incapaz de pelotizar. Na Figura 5.1 é possível observar o lodo resultante.



Figura 5.1 – Lodo formado na pelotização da amostra 12.

5.2 PESAGEM DAS FRAÇÕES

As frações obtidas após o peneiramento foram pesadas, verificando-se os resultados mostrados na Tabela 5.1. A tabela também contém a quantidade de material perdido durante o processo, por derramamento e/ou evaporação. O dado de perda foi calculado a partir da diferença de massa entre o material utilizado inicialmente, e o material obtido no final da pelotização.

Tabela 5.1 – Massas das frações de cada amostra.

Amostra	A (kg)	A (%)	B (kg)	B (%)	C (kg)	C (%)	Total (kg)	Perda (kg)	Perda (%)
1	0,923	26,3	1,693	48,2	0,893	25,4	3,509	0,011	0,312
2	1,476	42,3	0,438	12,6	1,572	45,1	3,486	0,064	1,802
3	1,956	56,2	0,360	10,4	1,162	33,4	3,478	0,102	2,849
4	1,060	30,7	0,900	26,0	1,498	43,3	3,458	0,152	4,210
5	0,657	18,4	1,263	35,3	1,659	46,4	3,579	0,061	1,675
6	0,747	20,9	0,974	27,3	1,851	51,8	3,572	0,098	2,670
7	1,401	39,0	1,196	33,3	0,996	27,7	3,593	0,107	2,891
8	2,052	56,4	0,562	15,4	1,024	28,1	3,638	0,092	2,466
9	2,678	72,6	0,546	14,8	0,464	12,6	3,688	0,072	1,914
10	2,132	59,8	0,598	16,8	0,835	23,4	3,565	0,225	5,936
11	1,072	29,2	1,736	47,4	0,858	23,4	3,666	0,154	4,031
13	5,580	92,4	0,382	6,3	0,076	1,3	6,038	0,2062	3,302
14	5,918	93,4	0,267	4,2	0,149	2,4	6,334	0,3886	5,780

Através da observação dos dados contidos na Tabela 5.1, torna-se possível interpretar as quantidades de cada fração das amostras, como um indicador da eficiência alcançada no processo de pelletização em função da água e do CaO adicionados. Para facilitar tal interpretação foram feitos os gráficos das Figuras 5.2, 5.3 e 5.4, que ilustram a porcentagem de cada uma das frações obtidas e da perda de material.

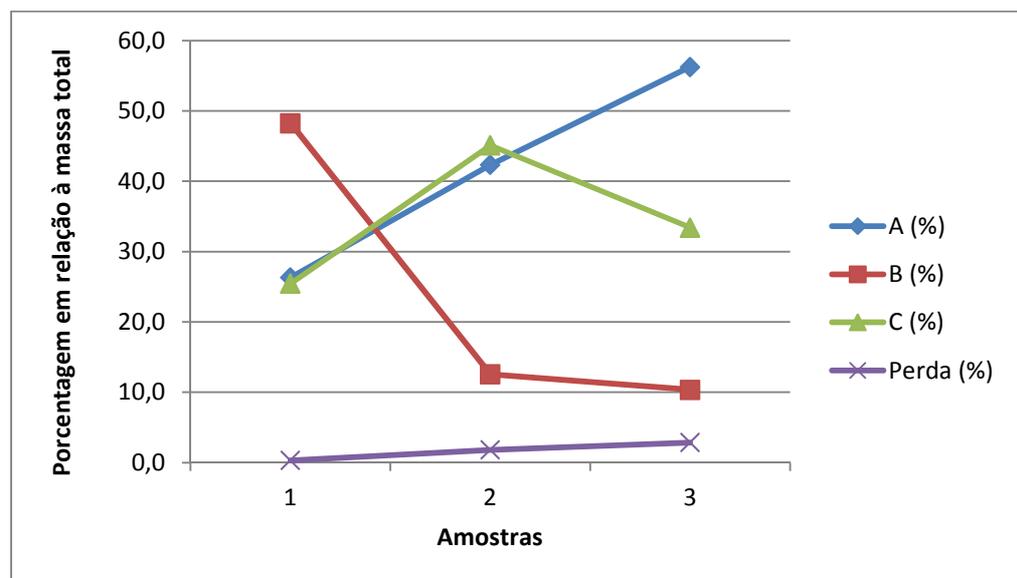


Figura 5.2 – Porcentagem em massa das frações e da perda nas amostras 1, 2 e 3.

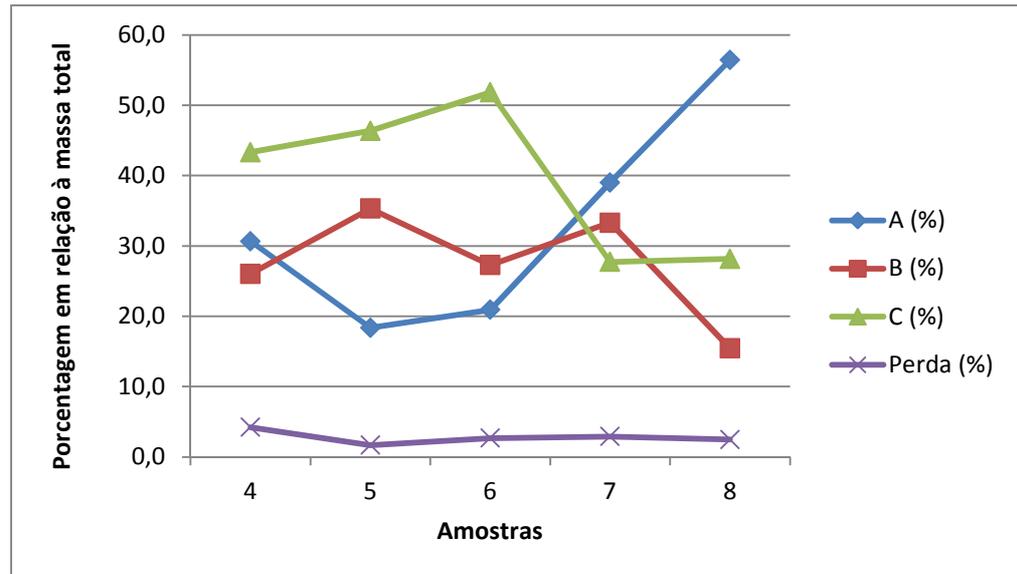


Figura 5.3 – Porcentagem em massa das frações e da perda nas amostras 4, 5, 6, 7 e 8.

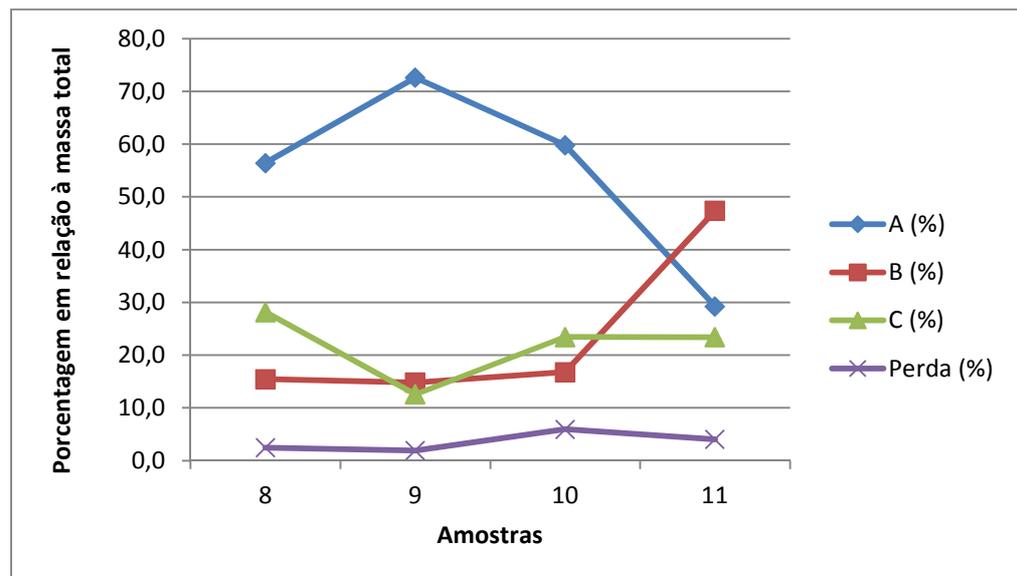


Figura 5.4 – Porcentagem em massa das frações e da perda nas amostras 8, 9, 10 e 11.

Foi a partir de uma análise da Figura 5.3 que a quantidade de água utilizada nos testes posteriores, com variação do CaO adicionado, foi determinada. A quantidade de água escolhida foi aquela cuja amostra obteve maior quantidade percentual de fração A, a amostra número 8. Portanto a quantidade de água determinada para os testes 9, 10 e 11 foi de 670 gramas, conforme apresentado na Tabela 4.1.

Na Figura 5.4, pode-se observar que a amostra com maior quantidade percentual de fração A foi a número 9. Isso indica que a quantidade de CaO utilizado na pelletização dessa amostra é a ideal para o processo, caso os testes de resistência sejam satisfatórios.

Nas Figuras 5.5, 5.6 e 5.7 são apresentadas porções das frações das amostras 8, 9 e 10, respectivamente.



Figura 5.5 – Frações da amostra 8.



Figura 5.6 – Frações da amostra 9.



Figura 5.7 – Frações da amostra 10.

As massas das frações das amostras 13 e 14 serão discutidos e analisados posteriormente, com o intuito de facilitar uma compreensão cronológica dos fatos.

5.3 CONTROLE DE UMIDADE

Após um período superior a três dias de secagem em estufa, as amostras foram pesadas, calculando-se a diferença entre a massa inicial e final de cada fração e, com isso, obtendo-se a umidade percentual de cada amostra. Os resultados são demonstrados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Cálculo de umidade das frações de cada amostra.

Amostra	Massa inicial (g)			Massa final (g)			Quant. de água (%)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	50,9	50,1	50,3	42,8	44,1	46,9	15,9	12,0	6,8
2	50,0	50,1	50,1	42,0	44,1	45,1	16,0	12,0	10,0
3	50,9	50,3	50,0	42,6	44,2	45,9	16,3	12,1	8,2
4	50,6	50,2	50,0	41,6	41,6	44,9	17,8	17,1	10,2
5	50,6	50,3	50,1	41,3	41,9	43,5	18,4	16,7	13,2
6	50,4	50,3	50,3	41,2	41,8	43,0	18,3	16,9	14,5
7	50,1	50,5	50,0	41,0	41,8	42,7	18,2	17,2	14,6
8	50,1	50,5	50,3	40,7	41,9	44,0	18,8	17,0	12,5
9	50,8	50,0	50,5	41,3	41,6	44,2	18,7	16,8	12,5
10	50,2	50,4	50,4	40,9	42,1	44,6	18,5	16,5	11,5
11	50,8	50,7	50,8	41,3	42,8	44,4	18,7	15,6	12,6
13	50,5	50,4	50,0	42,1	42,5	42,3	16,6	15,7	15,4
14	50,5	50,3	50,3	37,3	37,7	38,4	26,1	25,0	23,7

Analisando-se os dados contidos na Tabela 5.2, pode-se observar que as três primeiras amostras formaram pelotas com uma quantidade menor de água. Isso mostra que a retirada não espontânea das pelotas contribui para a formação de amostras com menor índice de umidade. Esta teoria foi corroborada pelo grande percentual de pelotas formadas nessas amostras, conforme a Tabela 5.1, apesar da pouca quantidade de água adicionada ao processo, comprometendo, porém, a sua resistência de acordo com o que adiante será visto.

Além da Tabela 5.2 mostrar uma estabilidade no valor de umidade presente nas frações, em relação à metodologia utilizada, é possível verificar os efeitos de cada metodologia nessa variável analisada. Outro efeito, diferente do anteriormente apresentado com relação à retirada espontânea ou não das pelotas, é a devolução ou não do material passante na peneira com abertura de 8 mm para a pelotizadora. Tal metodologia de devolução

foi aplicada, no PAE 1, apenas na amostra 13, mas comparando-se os números obtidos torna-se possível observar uma diminuição no percentual de água presente nas pelotas formadas. Tal diminuição ocorre, provavelmente, porque a formação das pelotas verdes passa a acontecer através de fenômenos alternativos, como vistos na Figura 3.5, e melhor descritos na conclusão deste trabalho.

5.4 TESTES DE QUEDA

Os testes de queda serviram como principal fator na tomada de decisões ao longo do experimento. Foi quando se percebeu a baixíssima resistência das pelotas a verde, produzidas nas três primeiras amostras, que a metodologia foi substituída. Os resultados positivos dessa mudança logo puderam ser percebidos, contribuindo para um melhor entendimento dos fatores que influenciam a formação das pelotas, como o tempo de residência na pelletizadora. Nas Tabelas 5.3 e 5.4 podem ser vistos os testes de queda feitos no mesmo dia da pelletização de cada amostra, as médias calculadas a partir dos dados e o desvio padrão de cada uma das médias.

Tabela 5.3 – Testes de queda das amostras 1 a 7, com 0 dias.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
Testes de queda	1	3	2	3	2	3	5
	1	3	2	4	2	2	3
	7	2	3	4	2	3	9
	1	2	3	5	6	3	2
	1	2	3	4	3	2	5
	2	2	2	3	2	2	4
	12	3	3	4	1	5	4
	1	3	3	4	3	8	3
	6	1	3	3	2	4	4
	15	4	3	4	7	4	5
	3	2	2	6	2	5	3
	13	2	1	7	2	3	2
	16	3	2	4	3	4	5
	1	2	1	4	2	3	2
	1	2	2	6	2	4	4
	1	2	1	5	4	4	4
	1	1	2	3	2	4	2
	12	2	3	5	2	7	3
	2	1	2	5	3	3	5
	3	4	2	2	4	3	8
Média	5	2,3	2,25	4,25	2,8	3,8	4,1
Desvio	5,419	0,864	0,716	1,208	1,472	1,542	1,86

Tabela 5.4 – Testes de queda das amostras 8 a 14, com 0 dias.

Amostra	8	9	10	11	13	14
Testes de queda	3	7	5	1	5	8
	1	6	8	4	7	12
	2	9	10	4	12	3
	1	5	7	2	7	10
	2	4	5	6	14	8
	2	7	6	6	7	9
	4	6	3	4	7	9
	4	7	3	8	6	8
	4	3	5	2	12	8
	5	8	7	3	7	12
	4	4	8	6	5	8
	4	5	6	9	7	11
	3	7	6	8	5	7
	2	10	6	4	9	9
	2	5	4	7	3	9
	3	7	3	2	9	9
	4	7	8	12	8	7
	6	3	7	7	11	14
	1	9	10	6	4	10
	4	8	5	7	5	7
Média	3,05	6,35	6,1	5,4	7,5	8,9
Desvio	1,394	1,98	2,074	2,779	2,91	2,314

Observando-se a Tabela 5.3 é necessário fazer uma ressalva com relação aos resultados da amostra número 1 nos testes de queda, pois apesar de a média alcançada ser um ótimo número, o elevado desvio padrão e a grande quantidade de resultados insignificantes (rompimento com 1 queda), mostram que provavelmente ocorreu um problema durante o procedimento, por falta de experiência na operação do equipamento. Este fato acabou afetando os resultados somente nesta amostra, conforme pode ser observado no desvio padrão dos demais ensaios.

É possível, também, se verificar o aumento da resistência mecânica das pelotas nos testes 4 a 8, em relação às amostras 2 e 3, evidenciando o pensamento anteriormente proposto de que, simplesmente com o aumento do tempo de residência das pelotas na pelletizadora, as pelotas produzidas obteriam melhores resultados nos testes de resistência.

Nas Tabelas 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 podem ser vistos os resultados dos testes de queda com 3 e 10 dias, respectivamente.

Tabela 5.5 – Testes de queda das amostras 1 a 7, com 3 dias.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
Testes de queda	15	3	3	3	1	2	3
	11	3	2	2	2	1	3
	4	2	1	6	2	2	4
	16	3	1	4	2	3	4
	3	3	3	14	1	3	2
	4	3	2	5	1	4	5
	1	2	3	3	1	3	14
	10	3	3	8	3	3	7
	3	3	3	4	3	3	2
	3	2	2	7	1	2	3
	15	2	3	4	2	2	2
	9	2	2	4	1	3	14
	4	2	2	3	2	3	2
	4	1	1	3	3	3	3
	5	2	2	5	2	1	6
	16	3	2	3	6	2	4
	7	2	1	3	1	2	1
	9	3	3	4	4	2	6
	1	4	2	4	6	5	3
	2	2	5	4	3	4	9
Média	7,1	2,5	2,3	4,65	2,35	2,65	4,85
Desvio	5,169	0,688	0,978	2,641	1,531	0,988	3,688

Tabela 5.6 – Testes de queda das amostras 8 a 14, com 3 dias.

Amostra	8	9	10	11	13	14
Testes de queda	3	5	3	4	10	6
	2	2	4	7	7	6
	2	6	3	2	14	8
	2	5	5	4	4	6
	1	3	5	5	7	10
	2	5	4	4	6	6
	5	2	6	8	5	5
	4	1	6	5	8	8
	4	4	4	2	7	6
	3	7	8	5	8	6
	5	3	5	3	5	5
	2	4	2	3	11	11
	2	7	6	4	9	7
	3	2	10	2	3	7
	3	7	6	3	3	11
	3	6	3	6	7	12
	2	7	7	10	5	6
	4	3	9	5	7	8
	2	1	6	5	10	7
	4	11	6	4	5	3
Média	2,9	4,55	5,4	4,55	7,05	7,2
Desvio	1,119	2,543	2,062	2,038	2,781	2,284

Tabela 5.7 – Testes de queda das amostras 1 a 7, com 10 dias.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
Testes de queda	1	2	4	3	1	4	3
	4	5	2	2	3	2	3
	5	3	6	3	1	1	3
	4	2	2	4	2	6	3
	7	6	4	1	1	3	3
	1	9	2	4	7	1	2
	2	2	2	1	1	1	2
	4	4	2	4	2	1	4
	5	2	3	1	2	2	3
	1	6	1	5	10	1	3
	2	4	2	5	1	4	3
	2	5	1	4	1	3	3
	2	2	3	5	2	2	5
	10	2	4	2	2	3	4
	17	3	4	2	1	8	4
	7	2	5	2	1	1	3
	13	4	2	4	1	2	2
	1	3	2	2	3	1	2
	24	4	4	2	1	1	3
	1	3	2	2	2	2	2
Média	5,65	3,65	2,85	2,9	2,25	2,45	3
Desvio	6,124	1,843	1,348	1,373	2,291	1,877	0,795

Tabela 5.8 – Testes de queda das amostras 8 a 14, com 10 dias.

Amostra	8	9	10	11	13	14
Testes de queda	1	3	7	4	10	4
	2	5	2	3	8	3
	2	6	3	3	15	3
	1	2	2	4	14	5
	2	4	2	3	19	7
	1	2	5	6	3	7
	2	3	2	5	6	4
	1	3	4	3	7	5
	1	2	5	4	8	3
	4	4	5	6	9	4
	2	5	5	5	5	5
	3	4	4	5	8	15
	5	2	3	2	10	5
	2	3	3	4	11	7
	2	3	4	3	3	8
	3	3	3	4	6	8
	1	3	4	4	8	11
	3	3	3	3	8	7
	3	4	7	5	12	3
	5	4	4	5	10	11
Média	2,3	3,4	3,85	4,05	9	6,25
Desvio	1,261	1,095	1,496	1,099	3,92	3,193

Ao analisar as tabelas anteriores, pode-se concluir que a amostra número 9 contém, de fato, a quantidade ideal de CaO para a pelletização do resíduo em estudo, visto que os resultados do teste de queda foram extremamente satisfatórios com 0 dias, apresentando uma leve queda nos testes de 3 e 10 dias. Este resultado, juntamente com os resultados da pesagem das frações, fizeram com que a quantidade de CaO ideal fosse definida em 3,0% com relação à massa do PAE. Os testes 13 e 14 foram, portanto, realizados com essa porcentagem definida de CaO, conforme consta na Tabela 4.1.

Além da análise feita a respeito do CaO, foi possível observar que as amostras 13 e 14 obtiveram resultados nos testes de queda significativamente maiores que os demais. Isso indica que as rotas alternativas de formação das pelotas a verde contribuem, não só para a obtenção de pelotas com menor quantidade de umidade, mas também com o aumento da resistência mecânica das pelotas formadas. É importante ressaltar que, apesar da elevada resistência média encontrada, o desvio padrão manteve-se no mesmo nível, sendo ligeiramente maior, que o medido nas outras amostras.

5.5 FRAÇÕES DAS AMOSTRAS 13 E 14

As amostras 13 e 14 foram feitas com o intuito de produzir a maior quantidade possível de fração A. Para que isso acontecesse foi estabelecida uma quantidade ideal de CaO, através da análise dos testes anteriores, e a quantidade de água utilizada para pelotizar o máximo possível da amostra foi medida apenas após o fim do processo, de modo que operador pudesse definir visualmente o melhor andamento do processo. Com isso se obteve os seguintes resultados, apresentados no gráfico da Figura 5.8 e na Tabela 5.9.

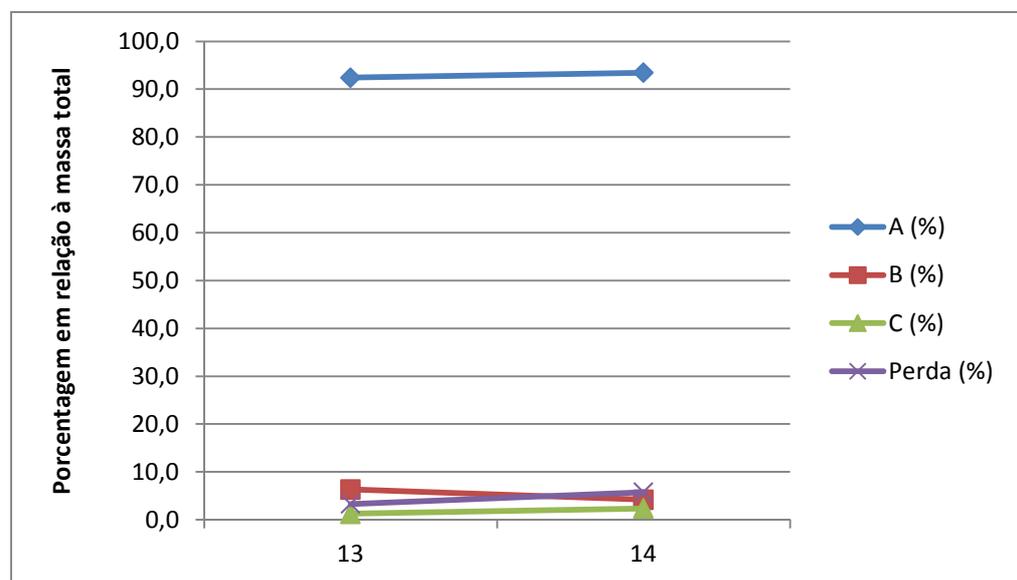


Figura 5.8 – Porcentagem em massa das frações e da perda nas amostras 13 e 14.

Tabela 5.9 – Dados das amostras 13 e 14.

Amostras	13	14
Água (%)	21,2	30,5
Fração A (%)	92,4	93,4
Perda do processo (%)	0,206	0,388
Umidade em A (%)	16,6	26,1
Média de quedas 0 dias	7,5	8,9
Média de quedas 3 dias	7,05	7,2
Média de quedas 10 dias	9	6,25

Por fim os dados das amostras 13 e 14, dispostos na Tabela 5.9, mostram que apesar de muito parecidas em sua composição e origem, as diferentes amostras de PAE (1 e 2) necessitam de quantidades significativamente diferentes de água para pelotizar ao máximo em um sistema contínuo. Este dado ilustra de maneira satisfatória a necessidade de redefinição de

parâmetros para cada tipo diferente de material a ser pelletizado, fato este já apontado por Meyer (1980).

6 CONCLUSÕES

Conclui-se, no presente trabalho, que a pelotização do PAE de ambas as usinas estudadas é viável, mediante a utilização dos parâmetros aqui definidos. Tais parâmetros incluem a metodologia clássica de pelotização industrial, onde todo o material passante na peneira com abertura de 8 mm é devolvido para a pelotizadora, e onde a saída do material ocorre de maneira espontânea.

Observou-se que pequenas mudanças na metodologia do processo de pelotização podem influenciar, e muito, nos resultados de resistência e percentual de fração produzido. Juntamente com isso, verificou-se a grande diferença entre as quantidades necessárias de água para pelotizar duas amostras de resíduo de mesma natureza.

Finalmente, como proposto nos objetivos específicos, evidenciou-se de maneira satisfatória as diferenças causadas no percentual das frações obtidas e na resistência mecânica, pela variação na quantidade de água adicionada e, posteriormente, pela variação na quantidade de CaO adicionado. Tais evidências auxiliaram na compreensão dos fatores de formação das pelotas a verde, desde as rotas alternativas na referida formação, até um entendimento mais aprofundado a respeito da influência do grau de umidade das pelotas. Ficou claro, ao observar-se a grande diferença de resistência entre as amostras 3 e 13, que apesar de ambas possuírem um grau de umidade semelhante, a formação das pelotas se deu de maneira completamente diferente. Após certo tempo de residência na pelotizadora as pelotas sofrem um processo de compactação, expulsando água de dentro de si e fechando capilares e poros. Tal processo explica a menor umidade da amostra 13 e sua alta resistência, enquanto que a baixa umidade da amostra 3 é resultado de uma metodologia de retirada controlada das pelotas, levando à criação de pelotas que não completaram o processo de formação, conforme descrito na Figura 3.4, e que, portanto, permanecem frágeis como observado nos testes de queda.

7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Novos experimentos, como o tamboreamento e a microscopia eletrônica de varredura (MEV), podem ser realizados com o intuito de melhorar a compreensão dos fatos observados.

Estudos sobre a composição e a distribuição granulométrica dos resíduos analisados podem ajudar a entender a grande diferença na quantidade de água consumida no processo de pelotização das duas amostras.

Os mesmos experimentos realizados com a amostra de PAE 1 podem ser realizados com o PAE 2, desde que quantidades suficientes do mesmo sejam disponibilizadas, afim de verificar se tal amostra se comporta da mesma maneira, obtendo dados semelhantes aos apresentados neste trabalho.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSHADI, M. et al. **The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality**. Suécia, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- COSTA, R.V.P. **Otimização da resistência à compressão de pelotas de minério de ferro para redução direta pela aplicação de projeto robusto**. Dissertação de Mestrado, Ouro Preto/MG, 2008.
- FONSECA, M.C. **Influência da distribuição granulométrica do *pellet feed* no processo de aglomeração e na qualidade da pelota de minério de ferro para redução direta**. Dissertação de Mestrado, Ouro Preto/MG, 2004.
- MACHADO, J.G.M.S. **Estudo de caracterização e avaliação da influência do tempo na redução carbotérmica do pó de aciaria elétrica**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre/RS, 2004.
- MEYER, K. **Pelletizing of Iron Ores**. Alemanha, 1980.
- OLIVEIRA, J.R., BROSEGHINI, F.C. **Utilização de resíduos siderúrgicos através de pelletização**. Vitória/ES, 2009.
- VARGAS, A.S. **Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica a arco na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre/RS, 2002.
- VARGAS, A.S., MASUERO, A.B., VILELA, A.C.F. **Estudo microestrutural e determinação do calor de hidratação em pastas de cimento Portland com pó de aciaria elétrica (PAE)**. Porto Alegre/RS, 2004.