

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

Minimização de descarte de areias de fundição

Engº. Francisco Augusto D'Elboux
Orientador: Prof.Dr. Gilberto Martins

Santa Bárbara d'Oeste
2000

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

Minimização de descarte de areias de fundição

Engº. Francisco Augusto D'Elboux
Orientador: Prof. Dr. Gilberto Martins

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UNIMEP como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Sistemas de Gestão Ambiental.

Santa Bárbara D'Oeste , SP
2000

Minimização de descarte de areias de fundição

Engº. Francisco Augusto D'Elboux

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Jorge Moraes Figueiredo
UNIMEP

Prof. Dr. Gilberto Martins
UNIMEP

Profª. Dra. Maria Helena Robert
UNICAMP

17/02/2000

Este trabalho dedico à minha família, especialmente à minha mãe D. Yolanda e ao meu pai Edgard (que Deus o tenha em bom lugar) pelo exemplo de dedicação que me passaram durante a vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Gilberto Martins, que sempre me dedicou atenção e me orientou de tal forma que busquei novamente motivação para este apaixonante assunto.

Ao Dr. Nivaldo Coppini pelo constante incentivo para que conseguisse concluir o meu trabalho.

Às Indústrias Romi S/A, que me proporcionaram a oportunidade e as condições para a realização deste trabalho.

Ao Eng^o Paulo Romi pelo seu incentivo e pela confiança depositada nesse projeto.

Aos amigos da empresa, Adilson A. Soave, Adilson L. de Souza, Ângelo O. Cerchiari, Antonio C. Estevam, Antonio F. P. da Cunha, Antonio J. Fornazari, Carlos A. Marcatto, Carlos A. Demarchi, Carlos I. Cury, José A. de Moraes, José O. Tardelli, José P. A. Ruiz, Onivaldo A. Martignago, Paulo R. Begnami, Plínio A. Rensi, Silvestre de A. Neto, Wilson C. Bizzeto e demais pela colaboração quando solicitei.

À minha esposa Márcia e aos meus filhos Luciana e Junior pela compreensão e pelos sacrifícios impostos durante a realização deste trabalho.

“ O talento não pede passagem; impõe-se ao mundo”
(Monteiro Lobato)

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTAGEM DE FIGURAS | XI |
| LISTAGEM DOS QUADROS | XV |
| RESUMO | XVII |
| ABSTRACT | XIII |
| | |
| Capítulo 1 - INTRODUÇÃO | 01 |
| 1.1. A QUESTÃO AMBIENTAL NA ATUALIDADE | 01 |
| 1.2. ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO PROCESSO DE FUNDIÇÃO | 06 |
| | |
| Capítulo 2 - O DESENVOLVIMENTO DA FUNDIÇÃO | 12 |
| 2.1. O PROCESSO DE FUNDIÇÃO | 14 |
| 2.1.1. Moldagem pelo processo de areia a verde (sintética) | 15 |
| 2.1.2. Moldagem pelo processo de cura a frio | 22 |
| 2.1.3. Resinas sintéticas para fundição | 26 |
| 2.1.4. Catalisadores | 30 |
| | |
| Capítulo 3 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE AREIA NA FUNDIÇÃO | 32 |
| 3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS | 32 |
| 3.2. GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE AREIA | 33 |
| 3.3. RESÍDUOS DO PROCESSO DE MOLDAGEM EM AREIA A VERDE (SINTÉTICA) | 34 |

| | |
|--|-----|
| 3.4. RESÍDUOS DO PROCESSO DE MOLDAGEM CURA A FRIO (FURÂNICO) | 36 |
| 3.5. GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO PROCESSO DE MACHARIA | 39 |
| 3.6. GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE AREIA NO BRASIL | 40 |
| 3.7. GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE AREIA NO MUNDO | 40 |
| 3.8. IMPACTO AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA | 42 |
| | |
| Capítulo 4 - PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO DE AREIA | 53 |
| 4.1. RECUPERADOR MECÂNICO | 55 |
| 4.2. SISTEMA DE RECUPERAÇÃO TÉRMICA | 60 |
| 4.3. CUSTOS DE RECUPERAÇÃO | 65 |
| | |
| Capítulo 5 - MEDIDAS TÉCNICAS PARA MINIMIZAÇÃO DO DESCARTE DE AREIA | 68 |
| 5.1. MÉTODOS/ARTIFÍCIOS PARA FACILITAR A SAÍDA DE GASES | 76 |
| 5.2. MELHORIA NO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DA AREIA CURA A FRIO(FENÓLICO) | 80 |
| 5.2.1. ESTUDO DE CASO | 86 |
| 5.3. MINIMIZAÇÃO DE AREIA NOS MOLDES E MACHOS | 88 |
| 5.3.1. Moldagem pelo processo cura a frio (furânico) | 89 |
| 5.4. REUTILIZAÇÃO DA AREIA DE DESCARTE EM DIFERENTES PROCESSOS DE MACHARIA | 93 |
| 5.4.1. Experiências na fabricação de machos pelo processo cold box que são empregados para a fabricação de peças na linha de moldagem em areia a verde (sintética) | 94 |
| 5.4.2. Experiências na fabricação de machos pelo processo cold box que são empregados para a fabricação de peças na linha de moldagem com cura a frio (furânica) | 106 |

| | |
|---|------------|
| Capítulo 6 - REDUÇÃO DO CONSUMO DE AREIA E ECONOMIA GERADA COM A PROPOSTA DE MINIMIZAÇÃO DE DESCARTE DE AREIAS | 121 |
| Capítulo 7 - CONCLUSÕES FINAIS | 124 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 130 |
| BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS | 135 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1 - Recuperador de areia mecânico abrangendo: Primário, Secundário, Resfriamento e Classificação da areia | 56 |
| Figura 2 – Grãos de areia com aglomerante e após a decapagem – recuperação mecânica | 58 |
| Figura 3 – Esquema do regenerador térmico de areia infravermelho | 62 |
| Figura 4 - Componentes do sistema de recuperação rotativo térmico (à gás) | 63 |
| Figura 5 – Total de gases gerados ao longo do tempo nos processos de moldagem com resinas fenólica, furânica, cold box e sistema areia a verde | 69 |
| Figura 6 – Esquema do molde da peça (coluna de torno) empregada como amostra na realização da experiência | 70 |
| Figura 7 – Levantamento de temperatura da areia do molde em função do tempo decorrido após o vazamento | 71 |
| Figura 8 – Esquema do molde da peça (coluna de fresadora) empregada como amostra na realização da experiência | 72 |
| Figura 9 – Levantamento de temperatura da areia do molde em função do tempo decorrido após o vazamento | 73 |
| Figura 10 - Macho com saída de gases direcionada na vertical | 76 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 11 - Macho com saída de gases direcionada na horizontal (laterais) | 77 |
| Figura 12 - Macho com saída de gases direcionada para a parte inferior | 77 |
| Figura 13 - Macho com saída de gases direcionada para a parte inferior com orifício (cordão) | 77 |
| Figura 14 - Macho com alívio (para economia de areia) na parte superior | 78 |
| Figura 15 - Molde fechado com macho já assentado nas marcações e saída de gases direcionada para a parte superior | 78 |
| Figura 16 - Molde fechado com macho já assentado nas marcações e saída de gases direcionadas para a horizontal (laterais) | 79 |
| Figura 17 - Molde fechado com o macho já assentado e com saída de gases direcionada para parte inferior | 79 |
| Figura 18 - Molde fechado com o macho já assentado nas marcações com saída de gases direcionada para parte inferior e com cordão de nylon para auxiliar a retirada de gases | 80 |
| Figura 19 - Dimensões do corpo de prova para teste de resistência (NBR-10611 – ABNT) | 81 |
| Figura 20 - Interação entre aglomerante e grão de areia | 82 |
| Figura 21 – Peneira vibratória para retirada de impurezas do sistema de recuperação de areia cura a frio (furânico) | 87 |

| | |
|--|------------|
| Figura 22 - Melhoria da característica de perda ao fogo da areia, comparada com a areia nova | 88 |
| Figura 23 - Dimensões num sistema de moldagem cura a frio (máximas) | 90 |
| Figura 24 - Caixa anatômica desmontada | 91 |
| Figura 25 - Caixa anatômica montada com parafusos | 92 |
| Figura 26 – Machos confeccionados pelo processo cold box com areia nova e com areia a verde (sintética) recuperada | 94 |
| Figura 27 - Resistência a tração dos corpos de prova das misturas com 100% de areia nova - misturas de 1 a 20 | 97 |
| Figura 28 - Resistência a tração dos corpos de prova das misturas com 50% de areia nova + 50% de areia recuperada – misturas 21 a 40 | 98 |
| Figura 29 - Peça empregada para a realização das experiências e analisada a estabilidade dimensional - Moldada no processo areia a verde (sintética) e empregado macho confeccionado no processo cold box | 101 |
| Figura 30 - Dimensões da cota A das peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova | 102 |

| | |
|--|------------|
| Figura 31 - Dimensões da cota A das peças produzidas com machos no processo cold box com 50% de areia nova + 50% areia recuperada (areia a verde) | 103 |
| Figura 32 - Dimensões da cota B das peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova | 104 |
| Figura 33 - Dimensões da cota B das peças produzidas com machos no processo cold box com 50% de areia nova + 50% areia recuperada (areia a verde) | 105 |
| Figura 34 - Machos fabricados pelo processo cold box empregando 100% de areia nova e com 90% de areia recuperada cura a frio (furânica) e 10% de areia nova | 107 |
| Figura 35 - Resistência a tração dos corpos das misturas com 100% de areia nova - mistura 1 a 20 (furânica) | 110 |
| Figura 36 - Resistência a tração dos corpos das misturas com 10% de areia nova + 90% de areia recuperada cura a frio (furânica) misturas 21 a 40 | 111 |
| Figura 37 - Peça empregada para a realização das experiências e analisada a estabilidade dimensional empregando-se o macho confeccionado no processo cold box | 113 |
| Figura 38 - Dimensões da cota A das peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova cura a frio (furânica) | 114 |

| | |
|---|------------|
| Figura 39 - Dimensões da cota A das peças produzidas com Machos no processo cold box com 10% de areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica) | 115 |
| Figura 40 - Dimensões da cota B das peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova cura a frio (furânica) | 116 |
| Figura 41 - Dimensões da cota B das peças produzidas com Machos no processo cold box com 10% de areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica) | 117 |
| Figura 42 - Dimensões da cota C das peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova cura a frio (furânica) | 118 |
| Figura 43 - Dimensões da cota C das peças produzidas com Machos no processo cold box com 10% de areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica) | 119 |

LISTAGEM DOS QUADROS

| | |
|--|-----------|
| Quadro 1 - Especificação de areia a verde (sintética) da Fundição da Romi | 18 |
| Quadro 2 - Especificação da areia aglomerada com resina furânica da Fundição da Romi | 28 |
| Quadro 3 – Dados proporcionais de descarte de areia em 1997 da Fundição da Romi | 33 |
| Quadro 4 – Caracterização dos resíduos de areia de fundição (areia verde + machos cold box) - Resultados analíticos – Massa Bruta – Fundição da Romi | 35 |
| Quadro 5 – Caracterização dos resíduos de areia de fundição (areia verde + machos cold box) - Resultados analíticos – Extrato Lixiviado – Fundição da Romi | 35 |
| Quadro 6 – Caracterização dos resíduos de areia de fundição (areia verde + machos cold box) - Resultados analíticos – Extrato Solubilizado – Fundição da Romi | 36 |
| Quadro 7 – Caracterização dos resíduos de areia de fundição (cura a frio furânica) - Resultados analíticos – Massa Bruta - Fundição da Romi | 37 |
| Quadro 8 – Caracterização dos resíduos de areia de fundição (cura a frio furânica) - Resultados analíticos – Extrato Lixiviado – Fundição da Romi | 38 |

| | |
|---|------------|
| Quadro 9 – Caracterização dos resíduos de areia de fundição (cura a frio furânica) - Resultados analíticos – Extrato Solubilizado – Fundição da Romi | 38 |
| Quadro 10 – Produção mundial de fundidos | 41 |
| Quadro 11 – Classificação dos elementos químicos em função da toxicidade e disponibilidade | 43 |
| Quadro 12 - Processo de geração de gases de machos e moldes durante o vazamento – Fundição da Romi | 68 |
| Quadro 13 - Porcentagem máxima orientativa de perda ao fogo permitida em processos cura a frio e areia a verde | 74 |
| Quadro 14 – Tamanho das aberturas das peneiras de classificação de areias | 85 |
| Quadro 15 – Dimensões orientativas para uma boa relação Metal/Areia | 90 |
| Quadro 16 - Resumo das resistências a tração (N/cm²) – areia a verde (sintética) | 99 |
| Quadro 17 – Dados dimensionais estatísticos – Cota A – 100% areia nova | 102 |
| Quadro 18 – Dados dimensionais estatísticos – Cota A – 50% areia nova + 50% areia recuperada areia a verde (sintética) | 103 |
| Quadro 19 – Dados dimensionais estatísticos – Cota B – 100% areia nova | 104 |

| | |
|--|------------|
| Quadro 20 – Dados dimensionais estatísticos – Cota B – 50% areia nova + 50% areia recuperada areia a verde (sintética) | 105 |
| Quadro 21 - Resumo das resistências a tração (N/cm²) – furânica | 112 |
| Quadro 22 – Dados dimensionais estatísticos – Cota A – 100% areia nova | 114 |
| Quadro 23 – Dados dimensionais estatísticos – Cota A – 10% areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica) | 115 |
| Quadro 24 – Dados dimensionais estatísticos – Cota B – 100% areia nova | 116 |
| Quadro 25 – Dados dimensionais estatísticos – Cota B – 10% areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica) | 117 |
| Quadro 26 – Dados dimensionais estatísticos – Cota B – 100% areia nova | 118 |
| Quadro 27 – Dados dimensionais estatísticos – Cota B – 10% areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica) | 119 |
| Quadro 28 - Redução do consumo de areia nova nos sistema (areia a verde + cura frio) com a implantação das medidas propostas | 122 |
| Quadro 29 - Economia total gerada pela redução do consumo e conseqüente descarte de areia utilizada e custo para deposição em aterro particular, para uma produção de 1.500 t mensais | 123 |

D'ELBOUX, Francisco Augusto. *Minimização do Descarte de Areias de Fundição*. Santa Bárbara d'Oeste: UNIMEP, 2000. 138p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 2000.

Resumo

Este trabalho nasceu da constatação de que pouca atenção tem sido despendida na divulgação e exploração dos limites para a reutilização da areia dentro do próprio processo de fundição. Grande parte da literatura a respeito de areias de fundição é voltada para pesquisas sobre seu aproveitamento como insumo em outros processos.

O trabalho consiste em um estudo de alternativas visando a minimização do descarte de areia de fundição, originada durante o processo de obtenção de peças fundidas. Incluímos, também, um breve histórico do desenvolvimento da fundição, assim como a descrição de alguns dos principais processos e dos tipos de aglomerantes e aditivos utilizados nas areias de fundição.

São também apresentadas algumas caracterizações dos resíduos de areias de uma fundição de porte médio, localizada no interior do Estado de São Paulo e discutida a toxicidade de alguns dos metais pesados passíveis de serem encontrados nessas areias.

Algumas medidas técnicas visando a redução do emprego de areia são apresentadas e discutidas, dentre as quais podemos destacar o aumento da eficiência do sistema de recuperação de areia, a utilização racional do volume de areia no molde, o eficiente sistema de saída de gases dos machos/moldes, a correta compatibilização das peças com o tamanho das caixas de moldagem e a redução da espessura dos machos com os artifícios de alívios internos.

São também relatadas experiências conduzidas na referida empresa procurando aumentar o índice de utilização da areia recuperada nos próprios processos de macharia e moldagem. Os resultados ambientais e econômicos da implementação de todas as medidas analisadas, que possibilitaram uma redução no descarte de areia, são apresentados e discutidos.

PALAVRAS-CHAVE: Areia de Fundição, Recuperação de Areia, Minimização de Resíduos de Areia.

D'ELBOUX, Francisco Augusto. ***Minimization of discarded foundry sand***. Santa Bárbara d'Oeste: UNIMEP, 2000. 138p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 2000.

Abstract

The main motivation for the development of this work was the realization of the fact that little effort has been spent on the publishing and exploitation of the limits of the reutilization of the foundry sand within the casting process itself. Most of the literature about foundry sand reuse focuses on the possibilities of using this solid waste as input for other processes.

This work presents a study to minimize the discarding of foundry sand originated from the casting process. To facilitate the analysis, a brief description of some of the main foundry processes as well as types of binders and additives used have been included.

The characterization of some of the solid waste from a medium size foundry plant located in the state of São Paulo is presented and the potential harm for the human health due to the most probable heavy metals present in these sands are discussed.

The efficiency of the sand reclaiming system, the rational use of the volume of mould sand, the efficient system of core/mold gas vent, the correct parts and flasks size compatibility, the core thickness reduction and the addition of internal relief are some of the measures discussed in the work to minimize the use of sand.

Some experiments to evaluate the influence of the increase in the reutilization of reclaimed sand in the coremaking and molding process on the quality of the parts, performed in the referred plant are also described and analyzed, both in terms of the reduction of waste generation and in economical terms.

KEYWORDS: Foundry Sand, Reclaiming Sand, Foundry Sand Minimization.

Capítulo 1

1 - INTRODUÇÃO

1.1. A QUESTÃO AMBIENTAL NA ATUALIDADE.

A questão ambiental vem impondo uma ampla revisão de conceitos e profunda reflexão, sobretudo nas esferas política, social, cultural, filosófica, científica, tecnológica e econômica.

É imprescindível que a relação do homem com o meio ambiente seja reformulada e, para tanto, far-se-á necessário que os vários campos de conhecimento busquem soluções com vistas à obtenção de processos de produção mais adequados do ponto de vista ambiental.

Após a 2ª Guerra Mundial observou-se um progressivo crescimento populacional e os impactos sobre os recursos da terra. O consumo e a produção de alimentos, energia e artigos industrializados estão fortemente relacionados à deterioração do sistema que garante a vida na terra. Entre 1950 e 1986, quando a população do mundo duplicou, o consumo de grãos aumentou em 2,6 vezes, o uso de energia cresceu 3,2 vezes, a economia em geral quadruplicou e a produção de bens manufaturados cresceu 7 vezes. Durante o mesmo período a produção, somente dos EUA, de produtos químicos orgânicos e sintéticos (um importante fator de poluição das águas e ar) cresceu mais de 9 vezes (CARSON, 1996).

Ainda de acordo com CARSON, atualmente o ser humano utiliza para a produção de alimentos, direta ou indiretamente, cerca de 40% do total de terras cultivadas no mundo.

Segundo relatório da OMS (Organização Mundial da Saúde), cerca de 75% dos 49 milhões de pessoas que morrem todos os anos são vítimas de doenças relacionadas às questões ambientais ou a estilos de vida. Hiroshi Nakajima, diretor geral da OMS, afirma que é vital que a cúpula da terra relacione saúde e meio ambiente (PASCALICCHIO, 1997).

O crescimento acentuado das comunidades e, sobretudo das atividades industriais, tem acarretado um aumento considerável na produção de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

Para que os impactos sobre os recursos da terra, que geram alterações nos processos ambientais, possam ser reduzidos, o uso e a ocupação do solo necessitam de uma avaliação, pois o conhecimento adequado das alterações passa pela identificação e análise das limitações e potencialidades do ambiente.

O meio físico é um componente de grande resistência nas interações produzidas pelo uso e ocupação dos solos, e seus processos são a base de sustentação do ambiente e tendem a continuar manifestando-se ao longo da história do uso do solo.

A adoção de novos conceitos relacionados aos produtos e processos de fabricação tem apontado para a minimização dos desperdícios na fabricação e também a maximização da reciclagem dos materiais.

A reciclagem de materiais, principalmente de resíduos sólidos, é uma perspectiva de negócio que vem sendo desenvolvido e disseminado pelo meio empresarial e governamental, dada a possibilidade de sua efetiva implementação, seja em busca do lucro ou da qualidade de vida da sociedade. É necessário que toda a tecnologia, conceitos e capacidade empresarial sejam disponibilizados na busca de objetivos ecologicamente corretos, em uma realidade produtiva adequada.

De acordo com estudos do CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem), criado em 1992, o Brasil é o campeão mundial do desperdício. Anualmente são jogados fora US\$ 6,7 bilhões em materiais de construção, além de 14 milhões toneladas de alimentos, representando 30% da safra, 20% da energia consumida no país e quase a metade de toda água distribuída (GORGUEIRA, 1996).

Algumas alternativas apontadas pelo CEMPRE para que as indústrias como co-responsáveis pelo processo de geração de resíduos atuem mais intensamente nesta questão, apontam para redução da geração de resíduos.

A idéia é fazer o gerenciamento do resíduo gerado com o mesmo empenho tecnológico com que se busca a qualidade do processo industrial, evitando a utilização de materiais não recicláveis.

De acordo com WELLS (1996), diretor executivo do CEMPRE, o processo de reciclagem não necessita de alta tecnologia, embora existam algumas tecnologias bastante avançadas. A reciclagem consiste basicamente em formas de organização dentro da empresa e na sociedade em geral, para separar e encaminhar os resíduos. O que é diferenciado é a separação, o treinamento do funcionário e o transporte a um custo reduzido. Isto é o difícil. Para se reciclar não existe uma técnica muito avançada: o que é avançado é a maneira de “organizar” as pessoas.

Desde 1972, declarações, convenções e tratados internacionais vêm abordando a necessidade de se projetar estratégias ambientalmente adequadas para a promoção de um desenvolvimento sustentável.

O conceito original de “desenvolvimento sustentável” foi proposto por comunidades alternativas nos anos 60 e 70 com um estilo de vida diferente. Após a *United Nations Conference on Environment and Development* (UNCED), Rio 92, este conceito foi apropriado pelas agências internacionais e redefinido.

De acordo com FIGUEIREDO (1998), a expressão “desenvolvimento sustentável” redefinida pela *World Commission on Environment and Development* (WCED) baseia-se na política de desenvolvimento atual inserida no mercado, de intensa tecnologia e acelerado consumo dos elementos finitos naturais, não renováveis e não recuperados. Ao mesmo tempo, esta política implica em altas taxas de descarte de resíduos perigosos.

Analisando as influências ambientais e características do estilo de vida das “sociedades desenvolvidas”, observa-se que este modelo não pode ser adotado por todos os países. Isto resultaria em uma catástrofe ambiental e não pode ser considerado sustentável.

No Brasil e países da América Latina o debate ambiental enfoca as influências ambientais associadas ao estilo de vida dos países ricos, adotado como modelo de desenvolvimento.

A qualidade de vida, os valores sociais e a dinâmica comportamental apresentados por eles foram tomados como referência.

O centro do debate, portanto, é essencialmente ético e diz respeito às possibilidades do real “desenvolvimento sustentável humano”, passível de ser adotado por todas as sociedades do mundo.

Nas sociedades mais avançadas do mundo, onde as políticas públicas já vêm reagindo às novas exigências sociais, emerge a complexidade da transição para um novo conceito de desenvolvimento.

Pesquisadores brasileiros apontam que a expansão do capitalismo experimentado no âmbito global, resulta no inevitável crescimento das desigualdades sociais, das injustiças e na devastação da natureza.

Enquanto o Brasil começa a realizar ajustes no perfil da indústria nacional, a economia mundial ingressa em um novo ciclo e paradigma tecnológico. Ao contrário da industrialização do pós-guerra, altamente consumidora de recursos naturais, matérias primas, *commodities* e energéticos, o novo padrão de crescimento tende a uma demanda elevada com diminuição relativa do consumo de recursos ambientais e de produção de efluentes poluidores.

Há de se reconhecer que tem ocorrido no Brasil alterações no tratamento das questões ambientais, do ponto de vista político, legal e institucional. Entretanto, do ponto de vista econômico, financeiro, científico e tecnológico, questões estruturais impedem a plena concretização de esperanças a curto prazo.

As restrições dos gastos públicos, as medidas de contenção da inflação e o peso da dívida externa são alguns dos fatores que limitam consideravelmente a possibilidade de atuação governamental em larga escala.

Em contrapartida, configura-se atualmente no cenário institucional do país, um fato novo a ser observado por todos: a Lei nº 9.605 de 12/02/1998, que acaba de ser regulamentada pelo Decreto nº 3.179, de 21/09/1999, que trata de crimes ambientais.

Essa legislação fixa o respeito à natureza como dever prioritário das empresas, também já forçadas a isso pela própria concorrência internacional (SILVA, 1999).

O agravamento das questões ambientais impõe a necessidade de resultados a curto prazo e não se admite mais postergações, em função do alto grau de conhecimento que se tem das consequências nocivas para a humanidade.

Um outro mecanismo que tem pressionado as empresas a reduzir os impactos causados ao meio em decorrência de suas atividades são as certificações baseadas em normas internacionais. Estas certificações, apesar de voluntárias, muitas vezes atuam como barreiras de mercado, impedindo que empresas não certificadas ofereçam seus produtos. No caso específico de certificações ambientais, a série de normas ISO14000 é a que tem sido mais utilizada mundialmente.

A ISO 14000 se consubstancia numa série de normas genéricas em evolução, desenvolvidas pela *International Organization for Standardization* (ISO), que fornecem uma estrutura para gerenciar os impactos ambientais associados às atividades nas empresas. Estas normas incluem uma ampla variedade de aspectos ambientais, incluindo o sistema de gestão básico, auditoria, avaliação de desempenho, selos, avaliação do ciclo de vida e aspectos ambientais em normas de produto. As normas são basicamente de dois tipos: diretrizes e especificações. A norma específica da série ISO 14000 voltada para um modelo de Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA) é a ISO 14001.

O SGA dispõe sobre aspectos da estrutura administrativa global da organização que endereça o impacto imediato e a longo prazo de seus produtos, serviços e processos no meio ambiente, fornece ordem e consistência nas metodologias organizacionais, através da alocação de recursos, definição de responsabilidades e avaliação contínua de práticas, procedimentos e processos.

O SGA é essencial para a habilidade da organização em prever e satisfazer as expectativas de desempenho ambiental crescentes e assegurar conformidade contínua com as exigências nacionais e internacionais.

As motivações pelas quais muitas empresas estão agora adotando um SGA incluem os seguintes itens:

- Maior conformidade com os requisitos legais e regulamentares, incluindo as exigências que determinadas informações concernentes ao desempenho ambiental sejam levadas ao público;
- Redução de passivos/risco;
- Prevenção da poluição e redução de resíduos;
- Desejo de lucrar em mercados para produtos “verdes”;
- Melhores métodos gerenciais internos;
- Pressão dos acionistas;
- Valorização pela comunidade;
- Interesse em atrair uma força de trabalho de alta qualidade e;
- A indisposição das companhias seguradoras de emitir cobertura para incidentes devidos à poluição, a menos que a empresa que solicite a cobertura tenha um Sistema de Gerenciamento Ambiental em ação.

1.2. ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO PROCESSO DE FUNDIÇÃO.

A fundição em si é um processo que recicla materiais, pois um grande número de bens já utilizados pela sociedade e considerados como sucata são empregados como matéria prima na produção de novos bens (notadamente na recuperação de metais).

Dessa forma, o processo de fundição contribui, através da reciclagem de toda espécie de sucata metálica, transformando-a novamente em bens de consumo e de capital, reincorporando ao ciclo produtivo parte dos materiais pós utilizados e reduzindo assim, o uso dos recursos naturais adicionais como: minério de ferro, cobre; carvão; energia, etc.

A fundição é essencial à sociedade e, para melhor atender essa mesma sociedade, deverá acompanhar o seu desenvolvimento, cabendo compatibilizá-la aos novos padrões ambientais vigentes.

Os atuais desafios que a sociedade coloca à atividade de fundição são muitos, entre eles, um é de vital importância para o meio ambiente: a redução da geração de resíduos decorrentes de areias de fundição.

Os processos de fundição em todo o mundo utilizam, em sua grande maioria, areia de sílica como matéria prima fundamental para a confecção de moldes e machos, para a obtenção de peças fundidas. Esta areia é encontrada com relativa abundância na natureza.

O grande crescimento das atividades industriais traz como consequência um incremento na demanda de fundidos. Maior produção de fundidos implica em aumento significativo do consumo de areia nas fundições e, conseqüentemente, geração de resíduos, que se compõem de areia já utilizada, finos de areia e outros.

Devido à abundância da areia na natureza, muitas fundições no mundo utilizam-na em circuito aberto, ou seja, descartam toda a areia usada, ou recuperam somente uma parte, depositando o restante em aterros próprios ou de terceiros, gerando assim grande quantidade de descarte.

O tratamento inadequado desse descarte contribui de forma marcante para o agravamento dos problemas ambientais, notadamente nos grandes centros urbanos.

Regulamentações governamentais mais recentes têm procurado restringir esta cômoda prática, devido ao seu impacto nocivo sobre o meio ambiente e suas conseqüências danosas à sociedade.

Devido a essas novas exigências legais, as fundições estão percebendo que o custo para se efetuar um descarte, adequadamente equacionado, em aterros legalizados, são cada vez mais elevados.

Em muitos casos, esses custos que implicam, por exemplo, em monitoramento constante, locomoção diária, dentre outros, ultrapassam o custo de aquisição da areia nova (virgem).

Em função disso, as empresas do setor necessitam rever suas estratégias e, rapidamente, cuidar da minimização de seu descarte, pois caso isto não ocorra, certamente ficarão à margem do mercado, seja devido ao elevado custo desse descarte, seja em função das restrições legais conseqüentes do tratamento inadequado desses resíduos.

Um outro aspecto observado atualmente, em especial pelas empresas exportadoras, é o questionamento dos clientes sobre a origem e a forma como são produzidos os bens que adquirem.

Estas empresas, por pressão da sociedade, procuram preferivelmente fornecedores que não estejam agredindo o meio ambiente. É provável que no futuro próximo, com a implantação mais generalizada das normas ISO 14000, os principais clientes tenderão a comprar das fundições que sejam certificadas conforme essa regulamentação.

O investimento de uma empresa de fundição na diminuição da geração de descartes de areia, se bem executado, além de contribuir muito para a preservação do meio ambiente, permite uma redução de custo considerável no processo produtivo.

Com a globalização da economia e a conseqüente redução das margens de lucro, nenhuma empresa pode se dar ao luxo de desprezar esse potencial econômico.

Para se ter uma idéia das dimensões do problema, somente o município de Piracicaba, localizado no Estado de São Paulo, possui 22 fundições que geram por mês em torno de 5.000 toneladas de descarte de areia quando a produção de fundidos está em nível normal. No Estado de São Paulo a geração de resíduos de areia de fundição gira em torno de 500.000 toneladas mensais, conforme dados apresentados em reunião da Comissão do Meio Ambiente (ABIFA), em 15/04/99.

Em termos de Brasil a quantidade de resíduos em 1997 chegou à alarmante cifra de 1326,4 mil toneladas, ocupando uma grande área de terra para a sua deposição, conforme veremos em maiores detalhes no capítulo 3.

É bom destacarmos que a pressão dos órgãos ambientais era mais branda e na composição dos custos das peças fundidas, praticamente não entrava o custo para deposição do descarte, visto que os mesmos eram depositados em áreas próximas às fontes geradoras, sem um controle e monitoramento mais efetivo, sendo este custo pouco significativo.

Atualmente, em função das pressões dos órgãos ambientais, os custos para a correta disposição em aterros licenciados serão maiores, forçando as empresas a trabalhar fortemente para redução drástica de seus resíduos nas fontes geradoras.

Procuraremos neste trabalho apresentar um panorama sobre as tecnologias de fundição, mais especificamente de dois processos - areia a verde e cura a frio (com resinas furânica, fenólica e amina-uretânico-fenólico, também conhecida como *cold box*) quantificando e qualificando os resíduos gerados. Introduziremos algumas diretrizes orientativas que visam à redução do descarte de resíduos de areia. Pretendemos assim difundir melhores práticas para os profissionais que atuam diretamente na atividade de fundição, assim como instrumentalizar os órgãos de gestão ambiental e a sociedade como um todo, para uma atuação mais consciente e efetiva.

Tais diretrizes abrangem os sistemas de recuperação da areia, envolvendo técnicas e artifícios práticos para exploração dos limites de controle da areia recuperada, permitindo utilizá-la em maior quantidade.

A razão principal do desenvolvimento deste trabalho decorre da constatação de que vários estudos sobre o tema estão voltados para a utilização dos descartes em outros processos, diferentes da fundição, tais como asfalto, concreto, etc, ou seja, focalizando a reciclagem das areias.

Pouca atenção foi dispendida e divulgada na exploração dos limites de reutilização da areia no próprio processo de fundição, em substituição de areia nova.

Existe pouca literatura técnica ou científica a respeito da exploração dos limites de reutilização da areia de fundição no próprio processo de moldagem e macharia divulgado pelas fundições.

É possível que várias experiências ocorram nas empresas, porém sem uma divulgação formalizada, pois o sistema de areias é relativamente complexo, e varia muito em função dos equipamentos de recuperação da areia existentes, processos de moldagem e macharia utilizados e tipos de peças produzidas.

O ramo de fundição é bastante competitivo e existe pouco intercâmbio técnico e troca de experiências entre as empresas, principalmente no que se refere a minimização do descarte de areias de fundição.

Este comportamento perfeitamente compreensível no passado necessita ser revisto em função dos atuais padrões ambientais requeridos pela sociedade e órgãos de controle para as atividades de fundição. Para isso torna-se necessário um sinergismo de todas as empresas e órgãos de pesquisas, para que se consiga equacionar adequadamente o problema das areias de fundição.

São muito válidas e oportunas as pesquisas para a utilização da areia descartada nas áreas de construção civil, asfaltos, etc, como vem ocorrendo, mas verificamos também que existe um grande potencial, ainda pouco explorado, de redução do descarte, empregando melhor as areias no próprio processo de moldagem e macharia.

Essa é a razão de apresentarmos este trabalho e certamente muitos outros aparecerão, devido a gravidade da situação, especialmente quanto à deposição de tais resíduos, assim o enfoque é a de reutilização e redução.

Este trabalho foi estruturado em 7 capítulos. Neste primeiro capítulo, procuramos focar basicamente o debate ambiental atual e a inserção do sistema produtivo nesse debate.

O **capítulo 2** apresenta um breve relato histórico sobre o início da fundição no mundo e no Brasil, assim como uma descrição sumária dos principais processos de moldagem e materiais utilizados nos mesmos.

No **capítulo 3** é feita uma quantificação da geração de resíduos de areia de fundição, uma descrição dos principais processos críticos com relação à geração de resíduos, a caracterização desse resíduo, destacando alguns dos possíveis impactos ao meio ambiente e à saúde humana que uma gestão inadequada do mesmo possa provocar.

Alguns dos principais processos de recuperação de areia são descritos no **capítulo 4**, assim como os custos de operação desses sistemas.

No **capítulo 5** é feita uma abordagem geral sobre algumas medidas técnicas que contribuem para a minimização do descarte de areia, desde os artifícios empregados para facilitar a remoção dos gases gerados durante o vazamento, às diretrizes visando à redução da relação metal/areia nos moldes. São também relatados os resultados de experiências realizadas para a comprovação da eficácia destas medidas.

O **capítulo 6** sintetiza a redução do consumo de areia obtida na fundição e a economia gerada com a implementação das medidas propostas no **capítulo 5**, além de destacar as outras vantagens que não são mensuradas.

As conclusões sobre o conteúdo total do trabalho são apresentadas no **capítulo 7**.

Capítulo 2

2 - O DESENVOLVIMENTO DA FUNDIÇÃO.

Os chineses foram os primeiros povos a obter o ferro fundido com relativo sucesso, em torno de 600 anos A.C, conforme citado por *WALTON (1971)*. A primeira peça fundida de que se tem notícia foi um fogão totalmente fabricado em ferro fundido.

Na Europa o ferro fundido começou a ser empregado somente no século XII, iniciando-se pela Bélgica, Alemanha, Suíça, Inglaterra e Itália.

Nos Estados Unidos, a *Saugus Iron Works*, próximo a *Linn*, Estado de *Massachusetts*, foi a primeira fundição estabelecida, em 1642.

No Brasil, *SIEGEL (1977)* cita que o jesuíta Anchieta anunciou em 1554 à Coroa Portuguesa a descoberta de minérios de ferro e prata, exatamente dois anos depois da descoberta do ouro.

Em 1589, Afonso Sardinha e seu filho, “o Mameluco”, ambos bandeirantes, chegaram às terras que os índios Tupiniquins habitavam. A região passou a ser chamada de Ipanema, nome dado pelos nativos ao rio que corta a área (rio pobre, sem peixe).

No morro, chamado pelos índios de Araçoiaba (lugar onde esconde o sol), os pioneiros encontraram minério de ferro e diorito. Montaram dois fornos rústicos de fundição (fornos catalães) em 1597 que na época foram visitados pelo então Governador Geral D. Francisco de Souza. Tal iniciativa não vingou e na segunda década do século XVII os habitantes da vila dispersaram-se.

As fundições primitivas continuaram a se desenvolver em São Paulo e depois em Minas Gerais, durante os séculos XVII e XVIII. Entretanto em 1785, a Rainha D. Maria I de Portugal proibiu a existência de indústrias na colônia do Brasil, desestruturando as iniciativas já concretizadas.

Com a chegada de D. João VI, no início do século XIX, iniciou-se um grande surto de desenvolvimento técnico e econômico. Vieram da Europa os metalurgistas, o sueco Carlos Gustavo Hedberg, e os alemães *Eschwege* e *Frederico Luis Guilherme Varnhagen*, major de engenheiros do exército alemão e, mais tarde, o engenheiro *Monlevade*. Os brasileiros Visconde de Cairu e o Intendente Câmara puderam traçar os primeiros projetos de industrialização do país.

Surgiram então as primeiras forjarias e siderurgias nacionais, que foram: Congonhas do Campo (em 1812 - Eschwege), Morro de Pilas (em 1814 – Intendente Câmara), São Miguel de Piracicaba (em 1825 - Monlevade), que produziram também o ferro espichado, ferro gusa e algumas peças importantes de ferro, tais como: bigorna, agulhões, almofarizes (pilões de metal), tambores e vasos muito grosseiros.

Em 1813, na fundição que foi denominada de “Real Fábrica de Ferro São João de Ipanema”, localizada no município de Iperó, Estado de São Paulo, ergueu-se dois fornos (conhecidos como fornos azuis de Hedberg), o que provocou pela primeira vez a corrida do ferro (ferro liquefeito). Porém, a data oficial que se tem registro foi em 1 de novembro de 1818 com os dois altos fornos de Varnhagen, quando fundiu-se a primeira peça, que foi uma cruz, peça que ainda hoje se encontra exposta na fazenda Ipanema, assim como os dois altos fornos.

A grande obra de fundição do século XIX foi organizada em 1846 pelo barão de Mauá, que transformou as pequenas instalações de uma oficina de reparos navais em uma grande indústria, com cerca de mil operários, com seções de fundição de ferro e bronze, mecânica, serralheria, caldeiraria de ferro, construção naval, modelagem e velame. Essa indústria conhecida como Estabelecimento da Ponta da Areia, que era situada em Niterói (RJ), passou a produzir toda espécie de peças pesadas antes importadas da Inglaterra, como tubulações para água, caldeiras, engenhos, prensas, molinetes, além de muitos navios, quinze dos quais para a Marinha de Guerra.

Entretanto, uma reforma tarifária em 1862 inviabilizou economicamente o empreendimento que perdeu sua expressão, vindo a falir anos mais tarde.

Em 1894 foi criada a Escola Politécnica de São Paulo, seguindo um modelo europeu, sob a direção de Antonio Francisco de Paula Sousa, que equipou os laboratórios e oficinas com o que havia de mais moderno na época.

Em 1902 a escola criou uma oficina de fundição, sob a direção de um mestre alemão. Por essa escola passou a elite de engenheiros brasileiros que lançaram as bases das modernas siderurgia e metalurgia nacionais. Com a instalação da indústria automobilística, na década de 50, criou-se demanda suficiente para impulsionar a indústria de fundição não só em São Paulo, mas em todo o Brasil.

O país conta atualmente com uma indústria de fundição vasta e diversificada. Grandes empresas modernas, equipadas com maquinário sofisticado, utilizam técnicas avançadas de produção nos mais variados setores industriais: desde imensos rotores para usinas hidrelétricas até pequenos componentes de motores ou peças artísticas.

2.1. O PROCESSO DE FUNDIÇÃO.

De acordo com BURGESS (1997), a fundição de metal é o vazamento de metal fundido dentro de uma cavidade formada em um molde feito geralmente com areia mais os aglomerantes. Um macho também de areia pode ser colocado na cavidade do molde para definir um espaço vazio no fundido. Após o resfriamento e solidificação do metal, o molde é levado para uma instalação (desmoldagem) para a remoção da areia de moldagem da peça fundida, onde a areia é removida das redondezas do metal fundido. A peça fundida é então limpa, o excesso é removido e a areia de moldagem é coletada para ser reciclada.

A fundição de uma peça de acordo com *SIEGEL (1977)* pode ser resumida em essência nas seguintes operações:

- Confecção do modelo de acordo com o desenho da peça - **Modelação**
- Confecção dos machos (se existir) - **Macharia**

- Confeção dos moldes - **Moldagem**
- Obtenção do metal líquido - **Fusão**
- Enchimento do molde com metal líquido - **Vazamento**
- Retirada da peça solidificada do molde - **Desmoldagem**
- Limpeza, quebra de canais e rebarbas - **Limpeza e Rebarbação**

Em função da importância primordial do molde e os numerosos processos e materiais utilizados para a sua confecção, os processos básicos de fundição são caracterizados pelo processo de moldagem empregado.

Por sua vez, os processos de moldagem normalmente usados podem ser agrupados e classificados da seguinte forma: areia a verde, cura a frio, shell, coquilha, CO₂, cera perdida, etc. Por serem os processos mais empregados e gerarem maior quantidade de areia descartada, abordaremos apenas os dois principais: areia a verde e cura a frio.

2.1.1. Moldagem pelo processo de areia a verde (sintética).

Ainda de acordo com *SIEGEL (1997)*, a moldagem em areia a verde é o processo mais conhecido e também o mais empregado na fundição para peças em ferro fundido cinzento e nodular. Seu custo é menor e permite a produção de peças de qualidade para a maioria dos metais, (tanto ferrosos como não ferrosos), além de se prestar bem à produção em série.

Consiste em compactar manual ou mecanicamente no interior da caixa uma mistura basicamente de areia silicosa, argila (bentonita) e outros aditivos num modelo (com o formato da peça a ser fundida).

Retirado o modelo são colocados os machos eventualmente necessários. O molde é fechado e travado. Pode receber o metal imediatamente, sem necessidade de secagem. Daí o nome “areia a verde”. A mistura utilizada para fabricação do molde (areia de moldagem) deve, no entanto, satisfazer uma série de requisitos para garantir a boa qualidade das peças.

Areias de moldagem podem ser naturais, quando encontradas na natureza com as propriedades exigidas ou sintéticas, quando compostas a partir de areias lavadas e argilas selecionadas. Podem também ser do tipo semi-sintético, obtidas a partir de areias naturais, adicionando-se elementos para corrigir as suas propriedades de origem.

Contudo, qualquer que seja o tipo de areia utilizada, é preciso manter um controle rigoroso das adições e das condições de mistura, a fim de se garantir a boa qualidade das peças e reduzir ao mínimo as perdas numa produção em série.

Por outro lado, certas propriedades da areia a verde favorecem o seu emprego para produção de peças complicadas, pois facilitam a desmoldagem e a limpeza das peças após fundição, além de reduzirem o risco de ocorrência de trincas a quente durante a solidificação.

Quando aplicado à produção em série o processo de areia a verde possibilita uma perfeita sincronização entre a operação de moldagem e a de fusão do metal, mesmo em fundições de grande produção, onde o vazamento nos moldes pode ser imediatamente após a moldagem, sem preparo anterior.

Em virtude de suas vantagens intrínsecas, o processo de moldagem com areia a verde é o que mais tem progredido, substituindo outros mais dispendiosos, mesmo para atender a produção de peças em ferro fundido sujeitas a especificações rigorosas. Uma das inovações neste sentido é o processo de moldagem sob alta pressão, no qual se utilizam areias com baixíssima umidade. Este processo vem conquistando interesse, pelo fato de viabilizar a produção de peças de precisão.

As vantagens do processo de moldagem em areia a verde são várias: elimina necessidade da pintura do molde (apesar de existirem fundições que ainda mantém esta pintura); o vazamento pode ser feito imediatamente (sendo mais econômico); fácil desmoldagem, não necessitando da interferência de mão de obra para desfazer a areia aglomerada.

A desvantagem deste processo é a limitação do tamanho das peças, pois depende muito do tamanho das caixas e dos tipos de máquinas de moldagem. É o processo mais recomendado para peças de até 80 kg em ferro fundido, isto porém pode variar muito.

Há casos de fundições que utilizam o processo de areia verde para peças de até 200 kg com adaptações específicas em seu processo.

No aspecto ambiental, de acordo com *CONRAD (1991)*, há uma desvantagem. Em função da introdução de areia nova (via machos) ou durante a preparação de areia para a moldagem, ocorre um transbordamento do circuito fechado de areia, que implica na necessidade de descartar o material. Além disso, há também descarte de finos (da exaustão), pequenos torrões, etc.

Para que o molde confeccionado em areia a verde possua as condições adequadas para suportar a agressão do metal vazado e reproduzir as dimensões estampadas pelo modelo, é necessário que alguns parâmetros físico-mecânicos sejam atendidos pela areia preparada (areia base + aglomerantes + compactação).

O **quadro 1** apresenta a faixa de variação admissível das principais características exigidas da areia a verde (Sintética) para um sistema de moldagem mecanizado à alta pressão (12 kgf/cm^2), e com peso de peças vazadas de 10 à 70 kg (Fundição da Romi) para a fabricação de peças fundidas em ferro fundido cinzento e nodular.

Quadro 1 - Especificação de areia a verde (sintética) da Fundição da Romi.

| Característica controlada em laboratório | Unidade | Especificação | | Ensaio conforme Recomend. CEMP |
|--|-------------------|---------------|--------|--------------------------------|
| | | Mínimo | máximo | |
| Umidade da areia preparada | % | 2,1 | 2,7 | 105 |
| Permeabilidade | AFS | 120 | 150 | 061 |
| Resistência a Comp. a verde | N/cm ² | 6,0 | 7,0 | 060 |
| Resistência tração a úmido | g/cm ² | 8,0 | 13,0 | 062 |
| Compactabilidade | % | 33,0 | 43,0 | 065 |
| Perda ao fogo | % | 3,5 | 4,3 | 120 |
| Teor de argila total | % | 6,0 | 7,2 | 082 |
| Teor de carbono | % | 2,3 | 2,5 | 124 |
| Módulo de finura da areia | AFS | 62,0 | 67,0 | 081 |
| Teor de finos | % | 1,0 | 3,0 | 081 |
| Concentração em 3 peneiras | % | 74,0 | 82,0 | 081 |
| Temperatura da areia | °C | 25 | 40 | 105 |

- AFS: *American Foundry Society*
- CEMP: Comis.Estudo Mat. Prima da Assoc. Brasileira das Indústrias de Fundição.

Componentes básicos da areia de fundição no processo em areia a verde (sintética).

Os principais componentes da mistura do processo em areia a verde (Sintética) da Fundição da Romi são: a areia base (nova e recuperada), a argila (bentonita), aditivo carbonáceo (pó de carvão) os aditivos amiláceos (amido de milho/mogul).

No entanto, se o processo de moldagem necessitar de macho, o que depende do tipo de peça a ser produzida e do processo de macharia utilizado, a areia dos machos ao ser desmoldada, passa também a integrar o sistema de areia, tornando-se conseqüentemente uma variável a mais, que pode alterar as características físico-químicas do sistema (areia + componentes).

Areia Base.

Conforme *BROSCH (1985)*, areia base é uma massa mineral desagregada, constituída de grãos minerais normalmente com alto teor de sílica, cujas formas e texturas superficiais podem ter grandes variações.

A origem da areia silicosa é secundária, isto é, os grãos da sílica são derivados de rochas pré-existentes, ricas em quartzo, sobre as quais houve a ação de agentes intempéries (sol, chuva, ondas, etc).

A constituição mineralógica das areias a base de sílica é essencialmente de quartzo (acima de 99%) e impurezas com menos de 1% (predominando feldspatos K_2O , Al_2O_3 e argila). A areia de sílica é a principal integrante da mistura de areia de moldagem a verde.

A areia base é o constituinte presente em maior quantidade nas areias de fundição.

Os tipos de areia mais empregados na fundição de peças são:

Areia de quartzo (sílica) (SiO_2)

Areia de zirconita ($ZrO_2 SiO_2$)

Areia de cromita ($FeO Cr_2O_3$)

Areia de olivina ($2MgO SiO_2$)

Argila (Bentonita).

A argila pode ser definida como uma rocha, geralmente plástica, constituída essencialmente de silicatos de alumínio hidratados, denominados minerais de argila, que podem conter sílica livre e outras impurezas.

As bentonitas são argilas constituídas principalmente pelo argilo-mineral montmorilonita (aproximadamente 80%) (argilo mineral com três camadas, sendo uma camada de gibbsita e duas camadas de sílica), associadas a alguns elementos e impurezas como metais alcalinos-terrosos, matérias orgânicas e argila silicosa sob a forma de grãos finos.

As bentonitas tem a capacidade saturarem-se de íons (cátions) alcalinos como Mg, Ca e mais raramente Na e K, que se ligam às camadas constituintes das lamelas.

As bentonitas mais comuns são:

Bentonitas naturais:

- a) Com predominância de cátions Ca^{++} encontradas na Itália, Alemanha, França e Marrocos.

Bentonitas cálcicas naturais:

- a) Além do Ca, apresentam cátions Mg^{++} encontrados no Estado da Paraíba (nordeste brasileiro).

Bentonitas sódicas naturais:

- a) Com predominância de cátions Na^{++} no estado natural encontrado na região do Fort Benton, Estado do Wyoming (USA), de onde surgiu a designação do nome bentonita.

As bentonitas sódicas apresentam melhores propriedades para a utilização em fundição do que as cálcicas. Por esta razão realiza-se um tratamento em algumas bentonitas cálcicas naturais, transformando-as em bentonitas sódicas artificiais, que apresentam melhores resultados como aglomerantes da areia.

A este tratamento, que consiste essencialmente numa troca de cátions ligado à bentonita, dá-se o nome de ativação.

A bentonita é o aglomerante da areia base, que na presença de água interlamelar aumenta as forças de ligação entre as lamelas de bentonita, dando maior resistência aos moldes.

Aditivos Carbonáceos (pó de carvão).

O principal aditivo desta classe é o pó de carvão mineral (conhecido como pó cardiff).

Os pós de carvão são materiais que se decompõem numa grande variedade de produtos sob a influência do calor, a temperaturas geralmente compreendidas entre 315 e 980°C. Entre aproximadamente 315 a 650°C o carvão absorve grande quantidade de calor para passar do estado sólido ao estado plástico semi-líquido.

A maioria dos gases do pó de carvão desprende-se entre 315 a 650°C, e o seu desprendimento cria uma atmosfera redutora, favorecendo a uma melhoria do acabamento superficial das peça fundidas.

A utilização desse tipo de aditivo tem os seguintes objetivos:

- Evitar a aderência da areia com a peça fundida.
- Evitar a penetração do metal líquido no molde.
- Reduzir a ocorrência de defeitos devido a expansão da sílica.
- Melhorar acabamento superficial das peças fundidas.

Aditivos Amiláceos (Amido de milho).

Os aditivos amiláceos (amido de milho) são usados como aditivos em areias para os mais diversos tipos de ligas fundidas.

O emprego de amidos é maior em fundições de aço onde aditivos carbonáceos encontram sérias restrições devido a possibilidade de provocarem uma carburação superficial das peças fundidas, mas muitas fundições que fabricam ferro fundido também os utilizam.

Os amidos têm uma certa capacidade de absorção de água e são empregados junto com as misturas de areia de moldagem, com a finalidade de aumentar a plasticidade a verde da areia, o que reduz sensivelmente a incidência de quebra de moldes no ato da extração do modelo.

O processo de moldagem em areia a verde (sintética) é caracterizado por ser um processo relativamente barato, mas que possui limitações, especialmente quanto ao tamanho das peças.

Para a fabricação de peças de maiores dimensões e peso, por precisarem de moldes e machos mais resistentes utiliza-se aglomerantes à base de resinas sintéticas, tanto no processo de macharia como no processo de moldagem. A utilização dessas resinas sintéticas como aglomerantes caracterizam os processos chamados de cura a frio e cura a quente.

Nesse trabalho nos deteremos somente ao processo de cura a frio, por representar um volume maior de utilização em geral.

2.1.2. Moldagem pelo processo de cura a frio.

De acordo com *GALANTE (1997)* o processo de moldagem em cura a frio iniciou-se nos anos 60 e é caracterizado por não necessitar da utilização do insumo de energia para a sua cura, dependendo apenas da reação dos aglomerantes químicos e temperatura ambiente e da areia. Os processos de cura a frio mais utilizados atualmente são moldagem/macharia em furânica, moldagem/macharia em fenólica e macharia *cold box* (caixa fria).

Moldagem / Macharia furânico.

De acordo com *ELLINGHAUS (1990)* os moldes e machos furânicos são misturas de areia, resina e catalisadores para promover a cura (endurecimento da mistura).

Conforme cita *PARAGUAY (1979)* a moldagem/macharia com resinas furânicas são misturas obtidas a partir de resina uréia formaldeído e álcool furfúrico, sendo utilizados com catalisador ácido (xileno ou paratolueno), com os quais se obtém boa resistência a tração e compressão da areia aglomerada.

Juntamente com a característica de alta resistência tem-se grande fluidez da areia preparada, facilitando o enchimento da caixa de macho e do molde, necessitando de pequena compactação manual.

Estas características fazem do seu uso um fator de redução de custo na fundição, desde que seja aproveitada na totalidade.

As misturas da areia, mais a resina e o respectivo catalisador têm seu controle de velocidade de cura facilmente direcionado, tornando-se possível diminuir o tempo de confecção de moldes/machos.

A velocidade de cura no processo depende dos seguintes fatores:

- Temperatura ambiente.
- Temperatura da areia.
- Porcentagem da resina.
- Porcentagem de catalisador.
- Concentração do catalisador.

Principais Vantagens:

- Alta resistência mecânica da areia.
- Baixo consumo de areia por Kg de peça.
- Bom acabamento superficial do fundido.
- Modelos de fundição de baixo custo.
- Possibilidade de pintura dos machos/moldes com tinta a base de álcool, dando velocidade ao processo.
- Descarte da areia menos agressiva ao meio ambiente comparado com a fenólica.
- Tempo de estocagem da resina alto (vida útil).

- Baixa higroscopia.
- Alta colapsibilidade.
- Processo de regeneração da areia mais fácil que a da fenólica.

Principais Desvantagens:

- Custo mais alto comparado com a fenólica.
- Maior teor de nitrogênio, necessitando um monitoramento do circuito de areia recuperada, pois pode causar defeitos de bolhas de gases nas peças fundidas.

Moldagem/Macharia fenólica.

De acordo com *RAMPAZZO (1989)* são misturas obtidas a partir da resina fenol / formol, com o catalisador ácido paratolueno sulfônico (APTS), ácido xileno sulfônico (AXS) ou ácido fosfórico em um misturador contínuo, possibilitando a reprodução de moldes/machos com boa resistência.

A velocidade de cura do processo depende dos seguintes fatores:

- Temperatura ambiente.
- Temperatura da Areia.
- Porcentagem de resina.
- Porcentagem de catalisador.
- Concentração do catalisador.

A fluidez da areia é menor se comparado com o processo furânico, implicando necessidade de melhor compactação para o enchimento dos moldes e caixas de machos.

Conforme citação de *PETERS (1995)*, a resina fenólica tem zero de teor de nitrogênio, possibilitando a obtenção de peças com baixo índice de defeito de bolha de gás originado pelo N₂, proveniente da areia recuperada.

Principais Vantagens:

- Modelos de fundição de baixo custo.
- Custo da resina mais baixo que a furânica.
- Isento de Nitrogênio.

Principais Desvantagens:

- Mais difícil a desmoldagem comparado com a furânica (devido a menor colapsibilidade).
- Resíduos mais agressivos ao meio ambiente em função do fenol.
- Menor plasticidade da areia, tendo uma quebra de moldes/machos maior na retirada dos machos/moldes dos modelos e caixas de macho.
- Não compatível com a pintura a base de álcool, tornando o processo mais lento que o furânico.
- Tempo de armazenagem da resina (vida útil) mais baixo que a furânica.

Componentes básicos (areia + aglomerantes) da composição da mistura da areia de fundição no processo cura a frio.

Os componentes básicos do processo de cura a frio, são as resinas sintéticas, catalisadores e areia base (nova + recuperada).

2.1.3. Resinas sintéticas para fundição.

As resinas sintéticas vêm sendo utilizadas comercialmente nos mais diversos produtos desde o início do século XX. Quando foi introduzido, o material era conhecido como baquelite.

Entretanto, foi somente durante a 2ª guerra mundial que a indústria, ao pesquisar alternativas para as matérias-primas tradicionais descobriu o imenso potencial de aplicação das resinas no ramo industrial, inclusive em fundição de metais ferrosos.

Para *RAMPAZZO (1989)*, resinas sintéticas para fundição é um termo genérico de uma classe de substâncias que possuem uma composição química complexa, de alto peso molecular e ponto de fusão indeterminado.

Estes compostos apresentam a propriedade de polimerização ou cura, isto é, fusão de várias moléculas para formação de cadeias moleculares longas. Ao se polimerizarem, as resinas endurecem, formando blocos de material sólidos e quimicamente inerte. A reação de polimerização é normalmente iniciada por certos agentes químicos, como ácidos fortes ou esteres, à temperatura ambiente, ou também por condições físicas específicas, como exposição ao calor ou radiação.

As resinas sintéticas para fundição são as chamadas resinas termofixas, que são compostos que se solidificam e se tornam produtos insolúveis, infusíveis, rígidos, estáveis e são elementos aglomerantes dos grãos de areia, utilizadas para a confecção de moldes e machos.

Isso significa dizer que a cura é permanente, ou seja, não é apenas a evaporação dos solventes, mas sim o desencadeamento de uma ou mais reações químicas complexas como de condensação, reticulação, polimerização, etc.

A estrutura química da resina na sua utilização é controlada de forma que sua polimerização final ocorra apenas na sua utilização para a manufatura do produto final.

Em fundição este é o principal tipo de resina usada para confecção de moldes e machos aglomerados com areia.

Para *RAMPAZZO et all (1989)*, as principais matérias-primas empregadas para fabricação de resinas sintéticas para fundição são metanol, formol, fenol, uréia, álcool furfurílico e isocianato.

De acordo com sua composição, as principais resinas sintéticas utilizadas para fundição são classificadas como:

- Resina Furânica;
- Resina Fenólica;
- Resinas para processo *Cold Box* (amina-uretânico-fenólico);

Resina furânica.

De acordo com *RAMPAZZO (1989)*, resinas furânicas são resinas sintéticas termofixas com 3 componentes ativos: uréia-formol/álcool furfurílico ou fenol-formol/álcool furfurílico.

Essas resinas são ácidas e catalisadas por sistemas ácidos. Nas fundições, utilizam-se os seguintes tipos de resinas:

- Resina uréica-furânica: apresenta teor de álcool furfurílico entre 30 e 90% e teores variados de nitrogênio e água. Para peças em ferro fundido e aço deve-se usar a resina com alto percentual de álcool furfurílico para não ter problemas de defeitos de bolhas de gases, devido o nitrogênio (N₂).
- Resina fenólica-furânica: apresenta teor de álcool inferior à resina uréica-furânica (entre 30% e 70%) , no entanto, é isenta de nitrogênio, sendo também indicado para fundição de aço e ferro fundido.

- Resina uréica-fenólica-furânica: apresenta teor de álcool furfúrico entre 40 e 85%, com variação no teor de nitrogênio, podendo ser utilizada em peças de ferro fundido e aço menos susceptíveis a defeito de gases.

O percentual das resinas furânicas está compreendido entre 0,6 a 1,5% sobre o peso da areia utilizada.

O **quadro 2** apresenta a faixa de variação admissível das principais características exigidas da areia aglomerada com resina furânica para peças com peso variando de 100 à 20.000 Kg (Fundição da Romi).

Quadro 2 - Especificação da areia aglomerada com resina furânica da Fundição da Romi.

| Característica controlada em laboratório | Unidade | Especificação | | Ensaio conforme recomend. CEMP |
|--|-------------------|---------------|--------|--------------------------------|
| | | Mínimo | máximo | |
| Perda ao fogo | % | 2,4 | 3,5 | 120 |
| Módulo de finura da areia | AFS | 40,0 | 48,0 | 081 |
| Teor de finos | % | 0,0 | 0,5 | 081 |
| Concentração em 3 peneiras | % | 80,0 | 90,0 | 081 |
| Temperatura da areia | °C | 10 | 36 | 105 |
| Resistência a tração (3h) | N/cm ² | 65 | 90 | 162 |

- AFS: *American Foundry Society* - CEMP: Comissão de Estudo de Matéria Prima ABIFA.

Resina fenólica.

Para *PICCOLO (1996)* resinas fenólicas são resinas sintéticas termofixas produzidas através da reação química de fenol e formol. As primeiras informações sobre resinas fenólicas surgiram em 1872, na Alemanha, quando *A. Von Bayer* descobriu que o fenol reagindo com formol originava um produto resinoso.

Em 1910, as resinas fenólicas foram pela primeira vez aplicadas industrialmente na produção de vernizes para isolamento de motores pela empresa *Westinghouse*.

As resinas fenólicas podem ser produzidas por catalisadores de síntese em meio alcalino ou ácido.

As resinas em meio alcalino caracterizam-se por um excesso de formol em relação ao fenol e são produzidas com catalisadores, do tipo NaOH (Hidróxido de Sódio), KOH (Hidróxido de Potássio), etc.

A relação molar varia normalmente entre 1:1 e 2:1 (formol/fenol). A temperatura de obtenção das resinas em meio alcalino variam de 40 a 120 °C, sendo a faixa de 70-80 °C a mais utilizada.

Estas resinas exigem altas temperaturas para cura (acima de 130 °C), sendo que neste nível não necessitam de conversores (catalisadores), uma vez que sua proporção molecular já se encontra em equilíbrio para uma cura total.

No caso de cura à temperatura ambiente, essas resinas necessitam de conversores (catalisadores) que, destruindo o inibidor, permitem que a cura da resina se processe até o final.

O grupo das resinas obtidas em meio ácido se caracteriza por um excesso de fenol em relação ao formol. A relação molar fenol/formol varia entre 1:0,5 a 1:0,8, podendo ser alterada para obtenção de resinas especiais.

As resinas obtidas em meio ácido são classificadas como novolacas e as de meio básico como resóis, e são utilizadas em fundição como aglomerantes da areia para a confecção de machos e moldes.

A novolaca é utilizada para as resinas fenólicas empregadas no processo shell molding, enquanto que o resol para a resina fenólica de cura a frio.

O teor de uso das resinas fenólicas está compreendido entre 0,6 a 1,5% sobre o teor de areia (em peso).

Resina para o processo *cold box* (amina-uretânico-fenólico).

De acordo com *CECCARELLI & BUENO (1992)* as resinas termofixas para o processo *cold box* (amina-uretânico-fenólico) são compostas de três partes, que têm as seguintes denominações:

1. Resina parte I: é uma resina do tipo fenol éter poli-benzílica, obtida através da reação de condensação formol/fenol, dissolvida em uma mistura de hidrocarbonetos aromáticos.
2. Resina parte II: é um poli-isocianato (difetil-metano-diisocianato) dissolvido em compostos aromáticos.
3. Catalisador - conforme **Tópico 2.1.4.**

A quantidade de uso das resinas *cold box* (amina-uretânico-fenólico) podem variar entre 0,9 a 1,5% sobre o peso da areia, sendo que normalmente se trabalha com as resinas balanceadas (50% parte I e 50% parte II) ou desbalanceadas (55% parte I e 45% parte II). Porém uma pequena variação dessa proporção é admissível.

2.1.4. Catalisadores.

Para resinas cura a frio (furânica/fenólica)

São compostos químicos auxiliares utilizados em conjunto com as resinas sintéticas para promover a polimerização ou cura.

De um modo geral as resinas de cura a frio utilizam alguns ácidos ou bases fortes. No caso das resinas ácidas, os mais utilizados são o ácido paratolueno sulfônico (APTS) e ácido xileno sulfônico (AXS). A concentração desses ácidos depende das condições de moldagem e climáticas.

A quantidade de uso dos catalisadores normalmente varia entre 20 a 50% sobre a quantidade de resina (em peso).

Para resina *cold box* (amina-uretânico-fenólico).

Catalisador é um composto da família das aminas, podendo ser:

TEA - Trietilamina

TMA - Trimetilamina

DMEA - Dimetiletilamina

DMIA - Dimetilisopropilamina

O catalisador para resina de *cold box* (amina-uretânico-fenólico) mais usado no Brasil é o TEA, por ter menor custo comparado aos outros e com menor odor.

O processo *cold box* pode ser utilizado em fundições de metais ferrosos (aço e ferro fundido) e metais não ferrosos.

A quantidade de catalisador deve estar entre 4 a 6% (em peso) da quantidade da resina utilizada (parte I + parte II).

No emprego das resinas e catalisadores misturando-se com as areias de fundição para a confecção de machos e moldes, após o vazamento das peças, a areia excedente do sistema se torna um resíduo sobre o qual faremos uma abordagem no tópico seguinte.

Capítulo 3

3 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE AREIA NA FUNDIÇÃO.

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS.

As areias de fundição pós-utilizadas encaminhadas para descarte são consideradas como resíduos sólidos.

Antes de entrarmos especificamente na geração de resíduos de areia na fundição, citamos que os mesmos estão inseridos no estudo dos resíduos sólidos.

Os resíduos sólidos estão classificados em função do grau de periculosidade que os mesmos apresentam e estão subdivididos em 3 categorias de acordo com a (NBR 10004, 1987):

Resíduos Classe I – Perigosos:

São definidos como todos os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, em função de suas características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e/ou apresentam efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

Resíduos Classe II – Não Inertes:

São aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos perigosos e não são considerados inertes.

Resíduos Classe III – Inertes:

São aqueles que submetidos ao Teste de Solubilização – conforme NBR 10006 (1987) – Solubilização de Resíduos – não tem nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos Padrões de Potabilidade da Água.

3.2. GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE AREIA.

A fundição continua sendo o método mais curto para a obtenção de peças acabadas, em geometrias complexas. Durante este processo, em suas diferentes fases, são gerados resíduos que são em boa parte descartados.

Conforme citado por *TILCH (1997)*, para a fabricação de peças em ferro fundido, a geração média de rejeito de materiais descartáveis na fundição é de 0,9 tonelada por tonelada de peça fundida boa.

Do total de 0,9 tonelada de rejeito, aproximadamente 90% é relativo ao descarte de areia, ou seja, em torno de 0,8 tonelada por tonelada de peça fundida boa.

Em levantamento realizado na fundição da Romi, com uma produção no ano de 1997 de 18.000 toneladas de peças boas, observam-se dados de descarte de areia direcionados para aterro, apresentados no **quadro 3**:

Quadro 3 - Dados proporcionais de descarte de areia em 1997 da Fundição da Romi.

| Descarte | Quantidade (t) | Densidade Relativa (kg/m³) | Proporção em relação ao total (%) |
|---------------------------------|---------------------------|--|--|
| Areia a verde Sintética | 4007,0 | 1350 | 27,77 |
| Torrões areia a verde Sintética | 479,0 | 1050 | 3,32 |
| Finos de Areia Sintética | 298,5 | 750 | 2,07 |
| Areia de machos Cold Box | 949,0 | 1800 | 6,58 |
| Areia exaustão Granalhadora | 1004,5 | 1740 | 6,96 |
| Areia fenólica | 6933,0 | 1480 | 48,04 |
| Torrões de Areia Fenólica | 90,0 | 690 | 0,62 |
| Finos de Areia Fenólica | 669,0 | 1340 | 4,64 |
| TOTAL | 14.430,0 | -- | 100,00 |

Observa-se que a relação preconizada por TILCH é bastante precisa para o caso da fundição estudada.

Considerou-se a densidade relativa média do descarte em geral como sendo de 1,425 t/m³, dado este que será empregado mais adiante para facilitar a visualização do exagerado descarte de areia no Brasil e no mundo.

3.3. RESÍDUOS DO PROCESSO DE MOLDAGEM EM AREIA A VERDE (SINTÉTICA)

De acordo com *ROMANUS (1995)*, como o sistema de areia a verde é praticamente um sistema fechado, com a introdução dos machos nos moldes, há um incremento na quantidade de areia do sistema, pois após o vazamento e posterior desmoldagem esta areia (machos/moldes) se desfazem, formando uma massa única de areia, pois somente uma pequena quantidade da areia dos machos consegue ser separada sob a forma de torrões. Desta forma o sistema de areia “transborda”.

Em função desse transbordamento faz-se necessário o descarte da areia, pois o volume de areia descartado será ocupado pela areia nova, necessária de se adicionar para se obter as propriedades físicas desejadas na macharia e moldagem.

Composição dos resíduos:

A composição dos resíduos de areia a verde (sintética) pode variar, em função da quantidade de aditivos introduzidos, da percentagem da areia nova introduzida na moldagem, nos machos e tipo de processo de macharia empregado.

Tomando-se como referência o sistema de moldagem em areia a verde (sintética) da fundição da Romi, cuja composição da areia aglomerada é aproximadamente a seguinte:

| | | | | | |
|-------------|-------------------|--------------|-------------------------|--------------|-----------------------|
| 0,6% | Bentonita | 0,15% | Amido de Milho | 0,15% | Carvão Cardiff |
| 3% | Areia Nova | 96,1% | Areia recuperada | | |

Obs: 10% de areia nova introduzida através de machos do processo *cold box*, que incorporam ao sistema fechado de areia.

Analisando os resultados apresentados nos **quadros 4, 5 e 6** para a caracterização do resíduo, observamos que o mesmo está enquadrado como resíduo classe II, embora a consolidação quanto a classificação dos resíduos deva sempre ser feita pelo Órgão Estadual de Controle Ambiental (CETESB), após apreciação dos resultados dos parâmetros analisados.

A caracterização de uma amostra do resíduo dessa areia que seria enviada para descarte, apresentou os elementos mostrados no **quadro 4**.

Quadro 4 – Caracterização dos resíduos de areia de fundição (areia a verde + macho cold box) - Resultados analíticos - Massa Bruta – Fundição da Romi

| ELEMENTO | mg/kg | * limite máximo (mg/kg) |
|-------------|---------|-------------------------|
| Cádmio | < 0,10 | 200,00 |
| Chumbo | 115,70 | 2000,00 |
| Cobre | 1505,00 | 5000,00 |
| Cromo Total | 2,80 | 5000,00 |
| Fluoreto | 42,00 | 36000,00 |
| Níquel | 2,80 | 4000,00 |
| Zinco | 9,30 | 10000,00 |

* 1) De acordo com **PN 1: 603.06-008 (ABNT)** - (Limite máximo na massa bruta do resíduo)

2) Resultados expressos em Base Seca.

- PN: Projeto de Norma.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Quadro 5 - Caracterização dos resíduos de areia de fundição (areia a verde + macho cold box) Resultados analíticos - Extrato Lixiviado – Fundição da Romi

| ELEMENTO | mg/l | * Limite máximo (mg/l) |
|-------------|--------|------------------------|
| Cádmio | < 0,10 | 0,50 |
| Chumbo | < 0,10 | 5,00 |
| Cromo Total | < 0,10 | 5,00 |
| Fluoreto | 0,58 | 150,00 |

1) De acordo com **PN 1: 603.06-008 (ABNT)** - (Limite máximo no extrato Lixiviado do resíduo)

Quadro 6 - Caracterização dos resíduos de areia de fundição (areia a verde + macho cold box) Resultados analíticos - Extrato Solubilizado – Fundição da Romi

| ELEMENTO | mg/l | * Limite máximo (mg/l) |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------|
| Alumínio Total | < 0,100 | 0,200 |
| Cádmio | < 0,005 | 0,005 |
| Chumbo | < 0,050 | 0,050 |
| Cianeto | < 0,010 | 0,100 |
| Cloreto | 45,000 | 250,000 |
| Cobre | < 0,100 | 1,000 |
| Cromo Total | < 0,050 | 0,050 |
| CaCO ₃ - MgCO ₃ | 20,000 | 500,000 |
| Fenol | 0,0009 | 0,001 |
| Ferro Total | 0,290 | 0,300 |
| Fluoreto | 0,640 | 1,500 |
| Manganês Total | 0,090 | 0,100 |
| Nitrogênio Nitrato | ND | 10,000 |
| Sódio | 101,000 | 200,000 |
| Sulfato | 52,000 | 400,000 |
| Zinco | 0,050 | 5,000 |

* Limite máximo no extrato solubilizado do resíduo - **NBR 10.004 e PN 1:603.06-008 (ABNT)**.

ND= Não Detectado.

Nota-se pelo **quadro 6** que o fenol está próximo do limite máximo permitido; caso ultrapasse o valor de 0,001 mg/l o resíduo poderá ser enquadrado como resíduo perigoso (classe I) pelo Orgão Estadual de Controle Ambiental (CETESB), exigindo maiores cuidados com a deposição, além de constante monitoramento e conseqüente aumento de custos.

3.4. RESÍDUOS DO PROCESSO DE MOLDAGEM CURA A FRIO (FURÂNICO)

De acordo com *MATAME (1991)*, na areia preparada para moldagem e confecção de machos são empregados normalmente uma percentagem de areia nova para garantir determinadas características desejáveis.

Após o enchimento dos moldes com o metal líquido e posterior solidificação, as peças são desmoldadas e toda a areia pertencente aos moldes e machos se juntam formando um volume maior do que o normalmente necessário.

Esta areia enche todos os silos de armazenagem de areia, ocasionando descartes de areia no sistema, além do descarte dos finos de areia da recuperação e do selecionador de pequenos torrões de areia.

Composição dos Resíduos:

A composição dos resíduos de areia cura a frio pode variar em função da percentagem de aditivos introduzidos, da percentagem de areia nova introduzida na moldagem, nos machos e tipos de processo de macharia/moldagem empregado.

Tomando-se como referência o sistema de moldagem em areia cura a frio da fundição da Romi, cuja composição da areia aglomerada é em torno do seguinte:

1% Resina Furânica 30% Catalisador APTS sobre a resina
5% Areia Nova 95% Areia Recuperada

Temos os seguintes elementos no resíduo da areia descartada, apresentados nos quadros 7, 8 e 9:

Quadro 7 - Caracterização dos resíduos de areia de fundição (cura a frio furânica) - Resultados Analíticos - Massa Bruta – Fundição da Romi

| ELEMENTO | mg/kg | * Limite máximo (mg/kg) |
|-----------------|--------------|--------------------------------|
| Cádmio | < 0,10 | 200,00 |
| Chumbo | 148,80 | 2000,00 |
| Cobre | 89,00 | 5000,00 |
| Cromo Total | 13,00 | 5000,00 |
| Fluoreto | 64,00 | 36000,00 |
| Níquel | 10,00 | 4000,00 |
| Zinco | 28,00 | 10000,00 |

* 1) De acordo com **PN 1: 603.06-008 (ABNT)** - (Limite máximo na massa bruta do resíduo)

2) Resultados expressos em Base Seca.

Quadro 8 - Caracterização dos resíduos de areia de fundição (cura a frio furânica) - Resultados analíticos - Extrato Lixiviado – Fundição da Romi

| ELEMENTO | mg/l | * Limite máximo (mg/l) |
|-------------|--------|------------------------|
| Cádmio | < 0,10 | 0,50 |
| Chumbo | < 0,10 | 5,00 |
| Cromo Total | < 0,10 | 5,00 |
| Fluoreto | 0,70 | 150,00 |

* 1) De acordo com **PN 1: 603.06-008 (ABNT)** - (Limite máximo no extrato Lixiviado do resíduo)

Quadro 9 - Caracterização dos resíduos de areia de fundição (cura a frio furânica) - Resultados analíticos - Extrato Solubilizado – Fundição da Romi

| ELEMENTO | mg/l | * Limite máximo (mg/l) |
|---------------------------------------|-----------|------------------------|
| Cádmio | < 0,005 | 0,005 |
| Chumbo | < 0,05 | 0,050 |
| Cianeto | < 0,01 | 0,100 |
| Cloreto | 16,00 | 250,000 |
| Cobre | < 0,10 | 1,000 |
| Cromo Total | < 0,05 | 0,050 |
| CaCO ₃ - MgCO ₃ | 14,00 | 500,000 |
| Ferro Total | 0,28 | 0,300 |
| Fenol | ND | 0,001 |
| Fluoreto | 0,84 | 1,500 |
| Manganês Total | 0,09 | 0,100 |
| Nitrogênio Nitrato | ND | 10,000 |
| Sódio | 51,00 | 200,000 |
| Sulfato | 99,00 | 400,000 |
| Zinco | 0,25 | 5,000 |

* Limite máximo no extrato solubilizado do resíduo - NBR 10.004 e PN 1:603.06-008 (ABNT).

ND - Não Detectado.

Como observa-se na análise do extrato solubilizado (**quadro 9**) o ferro total esta próximo do limite máximo e o fenol não foi detectado.

3.5. GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO PROCESSO DE MACHARIA.

Durante a fase de preparação da areia (adição dos aglomerantes para execução dos machos) e fabricação do macho, existe o descarte de areia gerado por:

- Tempo de banca vencido (os aglomerantes da areia reagem com o oxigênio do ar e a areia preparada perde sua característica/fluidez para encher os machos).
- Excesso no enchimento/socamento dos machos.
- Perdas de machos por quebras na extração da caixa.
- Perdas de machos por falhas no enchimento.
- Perdas de machos por falhas no transporte.
- Perdas de machos na inspeção.
- Perdas de machos por falha dos dosadores de aglomerantes.
- Machos confeccionados a mais do que o programado.
- Cancelamento de ordem de produção.

Estas perdas durante as fases do processo geram os resíduos da macharia. Todas estas perdas podem ser minimizadas com um bom controle operacional e gestão adequada do processo.

O processo de macharia é um setor independente ao de moldagem, assim sendo, geralmente o seu consumo de areia é adicional ao consumo de areia da moldagem.

Após apresentar os principais processos de geração de resíduos na fundição e sua caracterização, veremos a seguir o volume da geração de resíduos.

3.6. GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE AREIA NO BRASIL.

Conforme a ABIFA (1998) em 1997 o Brasil produziu 1658 mil toneladas de peças fundidas (2,4% da produção mundial), sendo que para o mercado interno a produção foi de 1316,5 mil toneladas, enquanto que a exportação foi de 341,5 mil toneladas.

De acordo com TILCH (1997), utilizando o valor de 0,8 tonelada de areia por tonelada e peça fundidas boa e densidade média de $1,425 \text{ t/m}^3$, mencionado anteriormente, obtemos os seguintes valores, para fins de comparação:

- resíduo de areia total no Brasil foi de 1326,4 mil toneladas, ocupando um volume em torno de 931 mil metros cúbicos.
- resíduo de areia relativo às peças fundidas exportadas (341,5 mil toneladas) representam 274 mil toneladas, equivalendo um volume em torno de 192 mil metros cúbicos.

Se considerarmos um campo de futebol medindo 105m de comprimento por 70m de largura teremos 7.350m^2 , e com 1 metro de altura, teremos um volume de aproximadamente 7.350m^3 .

Assim, para acomodar os resíduos de areias gerados no Brasil em 1997, seriam necessários 127 campos de futebol e os resíduos relativos à exportação de aproximadamente 27 campos de futebol, cobertos com um metro de areia de fundição descartada.

3.7. GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE AREIA NO MUNDO.

Os dados levantados pela ABIFA (1998), conforme o **quadro 10**, indicam que a produção mundial de fundidos em 1997 foi a seguinte:

Quadro 10 - Produção mundial de fundidos em 1997.

| COLOCAÇÃO | PAÍS | PROD. ANUAL PÇS FUND (TON.) |
|-----------|------------------------|-----------------------------|
| 1º | ESTADOS UNIDOS | 14.333.000 |
| 2 | CHINA | 11.080.442 |
| 3 | C.I.S. * | 8.950.000 |
| 4 | JAPÃO | 7.082.427 |
| 5 | ALEMANHA | 4.120.048 |
| 6 | ÍNDIA | 3.385.900 |
| 7 | FRANÇA | 2.433.951 |
| 8 | ITÁLIA | 2.243.986 |
| 9 | BRASIL | 1.657.993 |
| 10 | CORÉIA DO SUL | 1.554.500 |
| 11 | REINO UNIDO | 1.453.100 |
| 12 | TAIWAN | 1.390.908 |
| 13 | MÉXICO | 1.227.000 |
| 14 | UCRÂNIA | 998.800 |
| 15 | TURQUIA | 941.599 |
| 16 | ESPANHA | 895.000 |
| 17 | CANADÁ | 881.723 |
| 18 | POLÔNIA | 799.000 |
| 19 | AUSTRÁLIA | 544.000 |
| 20 | REPÚBLICA TCHECA | 542.520 |
| 21 | ROMÊNIA | 395.500 |
| 22 | IRÃ | 371.311 |
| 23 | EGITO | 320.281 |
| 24 | SUÉCIA | 297.800 |
| 25 | BIELORRÚSSIA (BELARUS) | 281.500 |
| 26 | ÁUSTRIA | 252.913 |
| 27 | BÉLGICA | 196.352 |
| 28 | ÁFRICA DO SUL | 183.400 |
| 29 | ARGENTINA | 157.400 |
| 30 | HOLANDA | 140.500 |
| 31 | SUIÇA | 132.732 |
| 32 | FINLÂNDIA | 130.236 |
| 33 | PORTUGAL | 111.953 |
| 34 | HUNGRIA | 95.803 |
| 35 | DINAMARCA | 88.569 |
| 36 | ESLOVÊNIA | 80.358 |
| 37 | ESLOVÁQUIA | 68.583 |
| 38 | NORUEGA | 66.622 |
| 39 | CROÁCIA | 42.590 |
| | TOTAL | 69.930.300 |

* Comunidade Independente Socialista.

De acordo com o **quadro 10**, a produção mundial de fundidos foi de aproximadamente 70 milhões de toneladas de peças boas fundidas, devendo considerar, no entanto, que os 39 países relacionados não cobrem 100% do total de fundição existente no mundo.

Utilizando a mesma densidade do descarte de areia de 1,425 t/m³ e a relação de 0,8 tonelada de descarte por tonelada de peça boa, o descarte de areia nas fundições do mundo todo seria de cerca de 56 milhões de toneladas, equivalendo a 39.298,2 milhões de metros cúbicos. Ainda extrapolando o raciocínio dos campos de futebol, teríamos 5.350 campos de futebol cobertos com 1 metro de areia, o que equivale a uma área de 39,4 Km²

Estes números, apesar de fictícios, dão uma idéia da dimensão do problema que estamos tratando, principalmente se estes resíduos forem descartados sem um controle mais efetivo, pois sua caracterização demonstra um potencial de impactos ao meio ambiente, que veremos a seguir.

3.8. IMPACTO AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA

Nos dias atuais a questão ambiental deixou de ser vista como um simples problema ecológico e passou a ser uma questão de sobrevivência para as indústrias, impondo-se como ponto essencial no comércio internacional. A necessidade de conhecer as origens dos produtos a serem consumidos, incentivada com a implementação da ISO 14000, passou a ser uma obrigação comercial.

Conforme *VANCA (1997)*, a ISO 14000 tem claro caráter de barreira comercial, entre países e blocos inteiros e não entre empresa-empresa como acontece com a ISO 9000. A pressão ambiental também emana do próprio consumidor final.

No descarte das areias de fundições podem existir vários elementos e entre eles os metais caracterizados como pesados. De acordo com *DAMASCENO (1996)*, o termo “metais pesados” é normalmente adotado para referir-se aos metais que oferecem risco à saúde humana e ao meio ambiente.

Eles estão associados com poluição e toxicidade, podendo receber por isso a denominação de metais tóxicos. Inclui-se, também, alguns elementos que são biologicamente essenciais em pequenas quantidades, como o Cobalto (Co), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Selênio (Se) e o Zinco (Zn).

Devido ao efeito que provocam no meio ambiente, maior atenção tem sido dispensada aos metais pesados, visando analisar seus efeitos biológicos, reatividade química, controle e sua destinação no meio ambiente. A razão principal desse interesse são os efeitos nocivos à saúde e o impacto ambiental causado pelos metais, associados com a deposição de resíduos industriais.

A seguir é apresentado um breve resumo que trata da questão da toxicidade de alguns elementos, enfocando-os ao objetivo do presente trabalho. Tratando-se de poluição ambiental, os elementos químicos listados no **quadro 11**, de acordo com *DAMASCENO (1996)* podem ser classificados de acordo com três critérios: 1) Não Crítico; 2) Tóxico, mas muito pouco solúvel ou muito raro; 3) Muito Tóxico e relativamente acessível.

Quadro 11 – Classificação dos elementos químicos em função da toxicidade e disponibilidade

| NÃO CRÍTICO | | | TÓXICO MAS MUITO POUCO SOLÚVEL OU MUITO RARO | | MUITO TÓXICO E RELATIVAMENTE ACESSÍVEL | | |
|-------------|----|----|--|----|--|----|----|
| Na | C | F | Ti | Ga | Be | As | Au |
| K | P | Li | Hf | La | Co | Se | Hg |
| Mg | Fe | Rb | Zr | Os | Ni | Te | Tl |
| Ca | S | Sr | W | Rh | Cu | Pd | Pb |
| H | Cl | Al | Nb | Ir | Zn | Ag | Sb |
| O | Br | Si | Ta | Ru | Sn | Cd | Bi |
| N | | | Re | Ba | | Pt | |

Fonte: DAMASCENO (1996)

Conforme citado por *HALL (1989)*, os metais, especialmente seus íons, desempenham duas funções distintas na fisiologia dos organismos; enquanto alguns são indispensáveis para a vida normal, a maioria deles são tóxicos em elevadas concentrações, afetando a atividade e bem estar dos organismos.

De acordo com *OLIVEIRA (1996)*, recentes pesquisas no campo da toxicologia tem focalizado o estudo dos efeitos ao sistema imunológico causados pelo contato com substâncias químicas e drogas, seja por exposição no local de trabalho ou pela poluição ambiental.

Dados citados por *TRACANA (1995)*, mostraram que a maioria dos íons metálicos pesados são tóxicos ao sistema imunológico, em dosagens bem menores que aquelas que resultariam em intoxicação generalizada, causando alterações nos níveis regulares das células, com graves conseqüências ao organismo.

A seguir são apresentadas algumas considerações, sobre os efeitos ambientais e toxicológicos de alguns elementos com possível presença nas areias de fundição.

ALUMÍNIO

Poucos estudos têm sido realizados sobre a toxicidade desse elemento, apesar da existência de dados que demonstram algumas preocupações quanto às ações do alumínio (Al).

Conforme citado por *CORDEIRO (1993)*, concentrações elevadas de Al podem aumentar a turbidez da água tratada, reduzir a efetividade da desinfecção da água e provocar a deposição de alumínio nas paredes dos tubos condutores de água.

Algumas experiências realizadas com trutas indicaram que o Al adicionado na água em dosagens variadas provocam bruscas mudanças nas condições físicas dos peixes, como coloração escurecida, desânimo generalizado, baixa percepção e em alguns casos a morte. Estudos realizados sobre o efeito do Al para pequenos peixes, concluíram que formas inorgânicas de Al parecem ter uma toxicidade mais significativa.

Ainda de acordo com *CORDEIRO (1993)*, em relação aos homens, estudos têm mostrado que a concentração de Al não é crítica em termos de células renais, já que estas permitem uma rápida eliminação desse elemento, através das excreções.

Caso essas células não funcionem bem, existe a possibilidade do Al se concentrar em outras células, por exemplo as cerebrais e as cardíacas. Esse fato poderá ser altamente nocivo, afetando de maneira ainda pouco conhecida o funcionamento dessas células.

CÁDMIO

Conforme cita NASCIMENTO (1976), a absorção do cádmio é geralmente pequena por via digestiva, devido a sua poderosa ação emética; é lenta por via cutânea (experiências feitas com o cloreto de cádmio) e rápida por via respiratória.

É eliminado lentamente pela urina e pelas fezes, armazenando-se no organismo durante longo tempo; armazena-se principalmente nos rins e no fígado e quando absorvido por via respiratória, também nos pulmões; em menor quantidade em outros órgãos, inclusive nos ossos e dentes.

Há casos de intoxicação aguda pelo cádmio ocasionado por ingestão de alimentos e bebidas armazenadas em vasilhames revestidos pelo metal; este é insolúvel em água, mas solúvel em soluções ácidas, inclusive nos ácidos orgânicos comumente encontrados nos alimentos.

Como doença profissional a intoxicação aguda é resultante da inalação de fumos de óxido de cádmio recentemente formados, em altas concentrações o maior número de casos pode ocorrer nos trabalhos de fundição e solda de metais galvanizados.

Os sintomas aparecem em geral após um período de latência de algumas horas, mas em alguns casos surgem imediatamente após a exposição. Há irritação da garganta, tosse, calafrios, febres, dor torácica; podem ocorrer também náuseas, vômitos e diarréias. Em 12 a 36 horas os sistemas se acentuam, a dor torácica se torna extrema e aparece cianose. Esses sintomas são causados por pneumonia, frequentemente associada com edema pulmonar.

CHUMBO

De acordo com *CLAUDIO (1987)*, incluído entre os três metais pesados mais tóxicos, o principal risco toxicológico do chumbo (Pb) é seu efeito bioacumulativo, tanto nos tecidos animais como em plantas.

Os sintomas clínicos da contaminação por chumbo são: fraqueza, perda de apetite, apatia, dores de cabeça e musculares.

Segundo *DAMASCENO (1996)*, o chumbo ocorre nas águas naturais em concentração muito baixa. Valores maiores têm sido registrados onde ocorre contaminação, principalmente como resultado de atividades industriais.

A toxicidade aguda causada pelo chumbo provoca disfunções nos rins, no sistema reprodutivo, fígado, cérebro e sistema nervoso central, resultando em doenças ou mortes. Em doses menores pode causar anemia e em crianças o chumbo pode causar retardamento mental.

CIANETOS

De acordo com a ficha de orientação para produtos químicos FUNDACENTRO (1985), os sais de cianetos, por contato, são absorvidos pela pele intacta e, mais rapidamente se estiver lesada. O contato repetido com a pele pode provocar erupções e vesiculações que freqüentemente se infectam, sendo ponto de partida para outras infecções.

A inalação ou ingestão de grandes quantidades de sais de cianeto de sódio ou de potássio produz inconsciência e convulsões, podendo chegar a morte. Em pequenas quantidades, pode ocorrer tontura, dor de cabeça, queda de pressão sanguínea, taquicardia e arritmia.

COBRE

Conforme citado por *CLAUDIO (1987)*, o Cobre (Cu) em determinadas concentrações é vital para a saúde humana, sendo um elemento usado em processos de formação do sangue e utilização do ferro.

A falta de Cobre no organismo é caracterizada por anemia hipocrômica e microcítica, resultados da dificuldade de síntese de hemoglobina no sangue.

De acordo com *DAMASCENO (1996)*, o Cu é absorvido através do trato intestinal (40 à 70%), entretanto, a absorção varia com o tipo de entrada. Uma vez absorvido, o Cu é transportado pelo sangue e estocado nos músculos, fígado e tecidos do cérebro.

CLAUDIO (1987) cita que embora o Cu esteja sempre presente em águas naturais, quando em concentrações elevadas, pode se tornar prejudicial à saúde, além de conferir sabor à água.

Em casos de toxicidade aguda o Cu é encontrado no cérebro, fígado, estômago e urina, sendo alguns dos sintomas: úlceras gástricas, necroses no fígado e problemas renais.

Cita também que os peixes aparentemente são muito sensíveis ao Cu, visto que suas guelras não são providas de uma barreira efetiva contra a sua absorção. O Cu pode provocar a coagulação do muco das brânquias, causando a morte por asfixia. A este fenômeno denomina-se ação oligodinâmica.

CROMO

Conforme citado por *CLAUDIO (1987)* o Cromo (Cr) existe em vários estados de valência, embora apenas as formas trivalente e hexavalente apresentem significado ambiental, pois são as formas mais frequentes de ocorrência.

De acordo com *DAMASCENO (1996)* o Cr é absorvido através dos tratos gastrointestinal e respiratório e seu efeito tóxico depende da sua forma química. O Cr trivalente em baixas concentrações é considerado a forma essencial do elemento para o ser humano, mostrando-se necessário para o metabolismo da glicose, lipídeo, para a utilização de aminoácidos em vários sistemas, como também para prevenção de diabete e arteriosclerose.

A forma hexavalente do Cr é considerada tóxica, sendo reconhecida como carcinogênica, provocando câncer no trato digestivo e nos pulmões, podendo causar também dermatites e úlceras na pele e nas narinas.

FENOL

É um composto orgânico capaz de produzir em pessoas susceptíveis o mal funcionamento da medula óssea, acarretando a diminuição dos glóbulos brancos do sangue (leucócitos), podendo ocasionar graves moléstias, entre elas a aplasia de medula. A fabricação do fenol é derivado da utilização do benzeno como matéria prima (WAKAMATSU & FERNÍCOLA, 1980).

O fenol é um produto muito tóxico e corrosivo para os tecidos. O contato com a pele, membrana mucosas e olhos causam queimaduras severas e necrose dos tecidos. A área afetada torna-se esbranquiçada e indolor, podendo ficar necrótica após alguns dias. É rapidamente absorvido pela pele e mucosas quando ingerido ou inalado.

O vapor do fenol é absorvido pela pele em proporções semelhantes à inalação da mesma concentração de vapor. Sintomas de intoxicação podem aparecer dentro de 5 a 30 minutos após a exposição, como taquicardia, hipotensão, arritmias cardíacas, respiração acelerada, edema de pulmão, náuseas, vômitos, diarreias, excitação do Sistema Nervoso Central seguida de depressão, podendo levar inclusive à morte.

A ingestão de 1 g pode causar a morte, danos hepáticos e renais. A diluição com água pode aumentar a absorção do fenol.

FERRO

De acordo com *CLAUDIO (1987)* o Ferro (Fe) originário dos despejos industriais encontra-se geralmente sob a forma coloidal, solúvel, formando complexos com substâncias orgânicas e inorgânicas, ou ainda em suspensão nas partículas de Sílica e Argila. Causa odor, sabor e cor nas águas, além de favorecer o desenvolvimento das “bactérias de ferro”, que produzem incrustações obstruidoras das tubulações de água.

Os efeitos imunopatológicos da toxicidade dos íons metálicos do aço inoxidável, foi investigada por *TRACANA (1995)*.

Para isso, uma solução contendo produtos da corrosão do aço inoxidável foi injetada em ratos e após intervalo de tempo variado, o baço desses animais foi retirado e analisado.

Os resultados mostraram que os produtos de corrosão se acumularam no baço, causando alterações histológicas e indução de mudanças na população celular, em particular, esgotamento dos linfócitos. Quando comparado ao Cr e Ni, Fe foi o íon metálico preferencialmente acumulado. Esse estudo concluiu que o Fe pode causar danos ao sistema imunológico.

FLUORETOS

De acordo com o Manual de Emergências de Produtos Químicos da ABIQUIM – Pró-química (1989), os fluoretos apresentam os seguintes riscos potenciais à saúde:

Por contato: Causam queimaduras na pele e nos olhos.

Por inalação: Em contato com o fogo podem produzir gases irritantes ou venenosos.

Por ingestão: Podem ser fatais se ingerido ou absorvido pela pele.

As águas residuais de controle do fogo e as águas de diluição podem causar poluição.

MANGANÊS

De acordo com *DAMASCENO (1996)*, o Manganês (Mn) é considerado um elemento biologicamente essencial.

Os problemas de poluição ambiental causados pelo Mn são relativamente insignificantes em comparação com os problemas associados aos demais metais pesados, sendo os efeitos biológicos mais comuns, encontrados em plantas expostas a doses naturais excessivas de Mn em solos sob algumas condições, por exemplo, inundação.

MERCÚRIO

Conforme citado por ANDRADE (1976), uma vez absorvido, o mercúrio passa ao sangue, é oxidado e forma compostos solúveis que se combinam com proteínas, sais e álcalis tissulares. São eliminados lentamente pela urina, saliva, suor, fezes e bÍlis, sendo os rins, o fÍgado e os centros nervosos os principais lugares de acumulação.

Ao nÍvel da via digestiva, os sais mercuriais exercem ação cáustica direta, responsável pelos tratamentos digestivos da intoxicação aguda. No organismo o mercúrio age como veneno protoplasmático. Lesões anteriores, renais e hepáticas, a herana neuropática, um estado geral deficiente e alcoolismo predispõe  intoxicação pelo mercúrio.

Pode provocar erupções cutâneas, recordando o eritema do sarampo, ou escarlatina, hemorragias graves por desprendimentos das escaras gengivais ou intestinais; infecções renais; abortos; insuficiência cardíaca, etc.

NÍQUEL

Conforme ALI (1980), a ação nociva do nÍquel e seus compostos atingem as vias aéreas superiores e os tegumentos. Podem ocorrer reações irritativas nos globos oculares, narinas, orofaringe e pulmões, provocando crise de conjuntivite, rinite e asma brônquica.

A absorção por via oral  pequena; por via cutânea com exceção do nÍquel carbonila, os outros compostos não são absorvidos. A eliminação  rápida através da urina e fezes.

NITRATOS

Conforme o Manual de Emergências de Produtos Químicos da ABIQUIM – Pr-química (1989), apresentam os seguintes riscos potenciais  saúde:

Por contato: Pode causar queimaduras na pele e nos olhos.

Por inalação: Vapores ou p podem ser irritantes em contato com o fogo que pode ocasionar a emissão de gases irritantes ou venenosos.

As águas residuais de controle do fogo e as águas de diluição podem causar poluição.

SÓDIO

O Manual de Emergências de Produtos Químicos da ABIQUIM – Pró-química (1989) descreve os seguintes riscos que o sódio pode causar à saúde:

Por contato: Pode causar queimaduras na pele e nos olhos. Na pele pode causar lesões com ulcerações profundas.

Por inalação: Por ser nocivo e o fogo pode ocasionar a emissão de gases irritantes ou venenosos.

SULFATOS

De acordo com o Manual de Emergências de Produtos Químicos da ABIQUIM – Pró-química (1989), apresentam os seguintes riscos potenciais à saúde:

Por contato: Causam queimaduras na pele e nos olhos.

Por inalação: Em contato com o fogo podem produzir gases irritantes ou venenosos.

Por ingestão: Podem ser fatais se ingerido ou absorvido pela pele.

As águas residuais de controle do fogo e as águas de diluição podem causar poluição.

ZINCO

De acordo com *DAMASCENO (1996)*, o Zinco (Zn) é um elemento essencial para o organismo humano e animal, exercendo função na síntese e metabolismo de proteínas e ácidos nucleicos e na divisão mitótica das células. Entretanto, em determinadas condições, o Zn e seus compostos podem apresentar características tóxicas.

CLAUDIO (1987), menciona a existência de relatos da contaminação por Zn resultante do consumo de alimentos ácidos e bebidas acondicionadas em recipientes metálicos galvanizados.

O Zinco, a exemplo de quase todos os metais pesados, também provoca a morte de peixes por ação oligodinâmica, além de ser considerado um algicida. Os sintomas de toxicidade por Zn são: desidratação, vômitos, dores de estômago, náusea, desmaios e desordenação dos músculos.

Os elementos apresentados acima, podem estar presentes nas análises das areias de fundição. Assim, a perfeita caracterização dos resíduos a serem descartados e sua disposição de acordo com os padrões vigentes, além da minimização dos descartes, através da recuperação da areia e reutilização da maior quantidade possível no mesmo processo produtivo, são fatores fundamentais para a compatibilização das atividades de fundição aos novos parâmetros de desempenho ambiental.

Os principais processos de recuperação de areia visando minimizar os descartes serão abordados no capítulo seguinte.

Capítulo 4

4 - PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO DE AREIA.

Muitas fundições, em função da legislação ambiental, tem ou ainda terão aumentos em seus custos, em função da necessidade da deposição de suas areias (empregadas em moldes e machos) em aterros industriais devidamente licenciados.

Para reduzir este custo adicional, pesquisas estão sendo realizadas, no sentido de permitir que a areia que normalmente é descartada, passe a ter um tratamento específico de recuperação, de forma a possibilitar sua reintegração no circuito produtivo.

De acordo com *CONRAD (1991)*, após uma experiência de muitos anos, convivendo com os problemas de recuperação de areias de fundição, dividiu-se o critério de recuperação de areia em três grupos:

1. Fundições que utilizam de forma independente um processo de cura a frio.
2. Fundições que trabalham apenas com o processo shell.
3. Fundições que moldam com areia sintética e utilizam um ou mais processos de macharia.

Uma mesma fundição pode ser enquadrada em mais de um grupo, desde que sejam setores independentes.

Mesmo já possuindo sistemas de recuperação de areia, todos os grupos geram resíduos em quantidades e volumes variados.

Exceto aquela fundição que utiliza na moldagem somente areia a verde (sem

macharia), ainda assim gera um pouco de resíduos, tais como: finos, pequenos torrões, etc, as demais geram areias residuais em maior quantidade que, se não em sua totalidade, pelo menos parte são prejudiciais à natureza, enquadrando-se como classe II (resíduos não inertes, segundo a norma ABNT NR 10004) e portanto, devendo ser dispostas em aterros industriais ou sofrerem algum tratamento para torná-las inertes (classe III).

O ser humano procura livrar-se de seus rejeitos, antes mesmo de pensar em recuperá-los. Esse fator psicológico, somado às questões econômicas, tem direcionado a recuperação de areia para segundo ou terceiro planos, e há fortes razões para que isso tenha ocorrido uma vez que esta fase então não era ainda uma preocupação prioritária nas fundições (CONRAD, 1991).

Recuperar a areia significa maiores investimentos, ter mais equipamentos na empresa, mais manutenção, conflitando com o objetivo de uma fundição que é: produzir peças fundidas a um custo competitivo.

A idéia acima é clara e correta, exceto que este objetivo está prejudicando a vida de terceiros, criando aterros poluentes, ecologicamente danosos e cada vez mais dispendioso. Desta forma, a recuperação da areia está aos poucos sendo compreendida pelos empresários como necessária sob todos os aspectos.

Recuperadores de Areia

Para minimizar o descarte das areias de fundição são empregados equipamentos que recuperam a areia, permitindo sua reutilização nos processos de moldagem ou macharia.

Geralmente os tipos de recuperadores mais empregados na fundição, são:

- Recuperador Mecânico.
- Recuperador Mecânico com recuperador Térmico.

4.1. RECUPERADOR MECÂNICO.

De acordo com *CONRAD (1991)*, os recuperadores mecânicos são compostos das seguintes subdivisões:

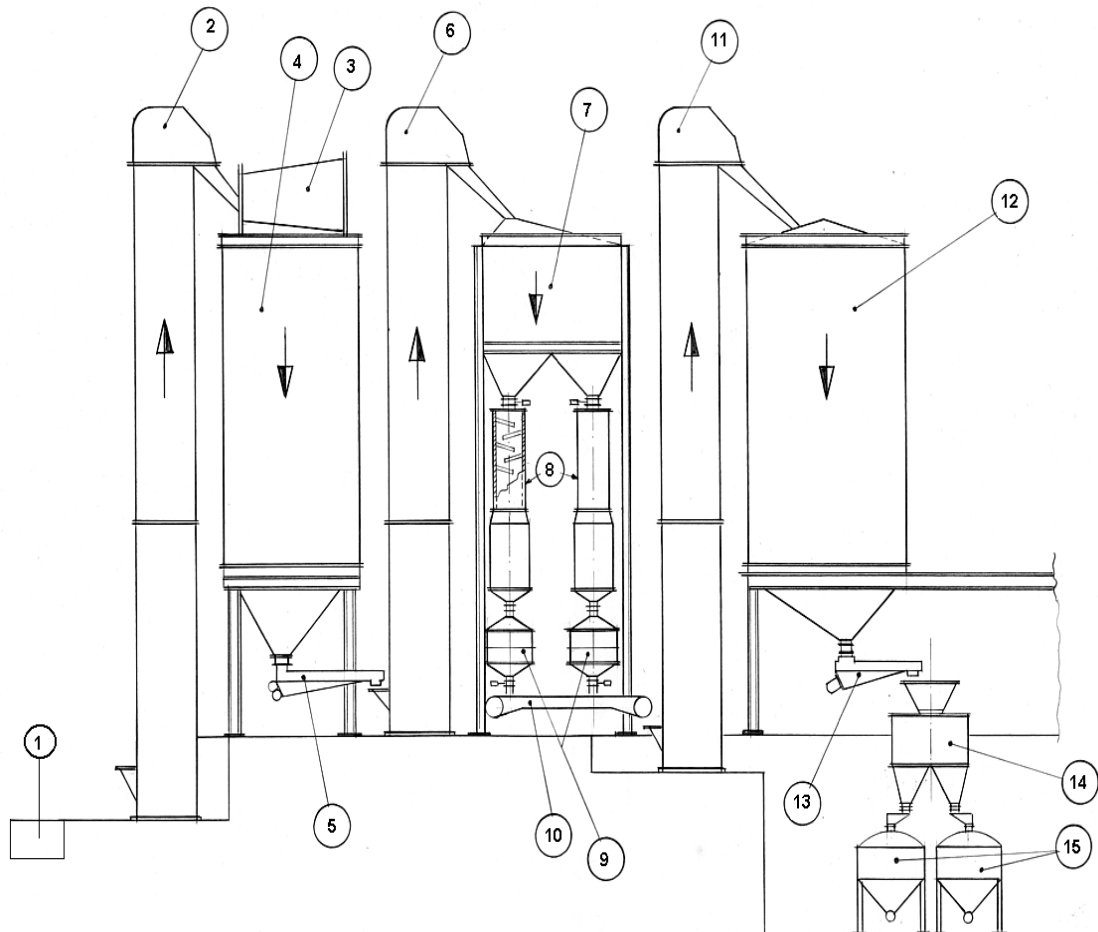
- Recuperador primário.
- Recuperadores intensivos ou secundários.
- Resfriamento e reclassificação da areia.

A **Figura 1** apresenta esquematicamente um Recuperador de areia abrangendo: Primário, Secundário, Resfriamento e Classificação da areia.

Recuperadores Primários.

Onde é feita a coleta da areia, ou a desmoldagem, a redução dos torrões de areia e uma limpeza parcial dos grãos.

Geralmente a partir desse recuperador primário a areia é levada para um silo (estoque) intermediário.



1- Desmoldagem

2- Elevador de canecas

3- Peneira selecionadora

4- Silo de areia a recuperar

5- Peneiras selecionadoras

6- Elevador de canecas

7- Silo dosador

8- Despoeiramento/Exaustão e atrito da areia

9- Resfriadores de areia

10- Esteira transportadora

11- Elevador de canecas

12- Silo de areia recuperada

13- Esteira transportadora

14- Silo dosador

15- Vasos propulsores para envio de areia

Figura 1 – Recuperador de areia mecânico abrangendo: Primário, Secundário, Resfriamento e Classificação da areia

Recuperadores intensivos ou secundários.

Após a areia passar por uma separação magnética, (para retirada de partículas metálicas, tais como: rebarbas, granalhas de aço, respingos de metal, etc) é feita uma limpeza mecânico-pneumática de alta intensidade para a limpeza dos grãos por atrito.

Resfriamento e reclassificação da areia.

Após a areia passar pelo processo de recuperação intensivo ela sofre uma classificação granulométrica, isto é, são separadas em função de suas dimensões (granulometrias), seguida de um processo de resfriamento, com o objetivo de levar a areia a uma temperatura próxima da temperatura ambiente (sistema de exaustão).

Como observa-se na **figura 2**, a areia recuperada mecanicamente, isto é, por atrito, seguido de classificação, retirada dos finos e resfriamento, ainda mantém uma certa quantidade de aglomerantes em seu contorno, o que torna a areia recuperada de qualidade inferior à da areia virgem.

Este fato pode ser constatado pelo índice de perda ao fogo, que na areia recuperada é mais elevado (maior presença de materiais voláteis)

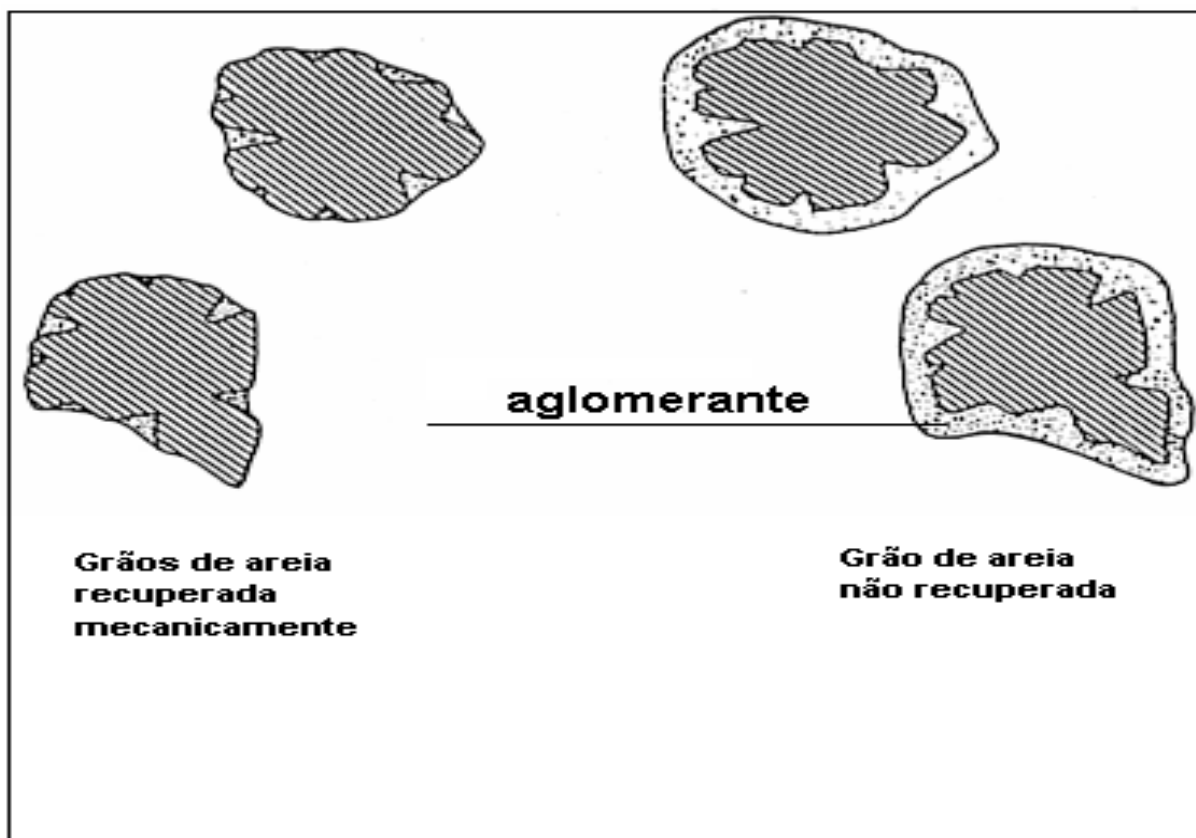


Figura 2 – Grãos de areia com aglomerante e após a decação – recuperação mecânica.

De acordo com *LEIDEL (1984)*, a recuperação térmica de areia é melhor do que a recuperação mecânica. Na areia recuperada mecanicamente (por atrito), os aglomerantes empregados na mistura da areia preparada mantêm-se em grande parte aderidos aos grãos de areia, enquanto que a recuperação térmica, através do aquecimento, expelle quase que totalmente estes aglomerantes prejudiciais à qualidade da areia.

Após a passagem da areia da desmoldagem no recuperador mecânico, a maior parte é recuperada e reutilizada no processo, porém há também a geração dos rejeitos, que podem ser: finos, torrões separados pelas malhas

selecionadoras, além de toda areia que está em excesso no sistema em função da introdução dos machos nos moldes.

Esses rejeitos têm dois destinos: utilização em outras indústrias ou rejeito para aterro.

O rejeito final para aterro, normalmente enquadra-se como resíduo classe II, sendo que, para alguns tipos há necessidade de uma calcinação para torná-lo inerte, isto é, resíduo de classe III.

Atualmente no Brasil não existe uma ação comunitária ou empresas, que possam receber estes rejeitos e calciná-los, embora a responsabilidade pelo destino dos mesmos é do próprio gerador.

Mc COMBE (1996) cita que na Alemanha a Companhia *Sandregenerierung Lage GmbH* (SRG) instalou em 1992, estrategicamente, uma Central de Recuperação de areia usada em fundição, servindo a região *North Rhine Westfalia*, que produz anualmente o equivalente a 60 mil toneladas de areia usada, sendo que tal quantia representa cerca de 2% das areias de moldagem e macharia que se acumulam anualmente naquele país. Da areia reciclada, 96% é reutilizada na indústria. Com isso são poupadas as escassas fontes de areias e aterros industriais.

Na recuperação mecânica, seguida de recuperação térmica, os rejeitos finais serão já inertes, facilitando a destinação dos mesmos, isto é, enquadrados como resíduo classe III.

Conforme explica *CONRAD (1991)*, ao passar a areia já usada nos recuperadores mecânicos, seguido do recuperador térmico, uma porcentagem da mesma é rejeitada, isto é, não serve para reutilização no processo de fundição. Estas perdas consideradas como finos de areia, podem variar de 3 a 8% dependendo do processo, do tipo de peças e do volume de areia no molde/machos, etc.

Cabe esclarecer que considera-se finos, a areia com granulometria passante na peneira de malhas (140# mesh - AFS).

Tem-se pensado na construção de uma central de recuperação térmica no Brasil, conforme cita *MARIOTTO (1996)*, mas devido à extensão do país e à

distância entre fundições não seria viável financeiramente, pois haveria alto custo no transporte, embora possa desenvolver centrais por regiões.

Uma outra saída mais viável seria a instalação, nas grandes fundições, de recuperadores mecânicos (caso ainda não exista), seguidos da recuperação térmica, visto que são os maiores geradores de resíduos.

Existe um projeto em estudo para a implantação de um recuperador móvel. Há notícias recentes (ABIFA, 1998) de que existem várias frentes de estudo objetivando tratar do assunto de recuperação/ ou disposição de areias de fundição no Brasil. Na ABIFA, por exemplo, existe um grupo de trabalho denominado de Comissão de Meio Ambiente, que tem por objetivo encontrar meios viáveis para recuperação da areia e ou formas de aplicação para a areia descartada.

Em Piracicaba também iniciou no ano (1997) os trabalhos sobre este assunto, denominado de Grupo Gestor das Fundições de Piracicaba e região, sendo que um dos seus objetivos é formar um conjunto de fundições que se comprometam a enviar suas areias descartadas para uma central única de recuperação. Conforme já citado, as 22 fundições de Piracicaba geram em torno de 5.000 t de resíduos de areia por mês.

Após a recuperação esta areia seria devolvida à fundição para nova aplicação no processo.

4.2. SISTEMA DE RECUPERAÇÃO TÉRMICA

Conforme citado por Mc *COMBE (1996)*, os processos de recuperação térmica têm a capacidade de fornecer ao fundidor uma areia que, em muitos casos, tem propriedades tão boas quanto as das areias novas e as vezes superiores.

Utilizando areias recuperadas termicamente, pode-se empregar porcentagens significativamente altas de areia recuperada, tanto na moldagem como na macharia.

Recuperação térmica (raios infravermelhos)

De acordo com *MARIOTTO (1997)*, para as capacidades de recuperação de 0,25; 0,6 e 1 t/h existem os regeneradores à base de raios infravermelhos de ondas curtas, cujo consumo energético total é da ordem de 80 Kwh/t. Nesses equipamentos o rendimento energético é bastante alto (aprox. 80%).

Junto às lâmpadas de infravermelho as temperaturas são muito altas (próximas de 2000^oC), mas as temperaturas médias de tratamento são da ordem de 480^oC; dessa maneira, para cumprimento das normas ambientais relativas à descarga de gases na atmosfera, esses aparelhos necessitam de um pós-queimador a gás.

As lâmpadas são distribuídas em duas zonas dentro do leito, que por trabalharem a temperaturas diferentes, dispõem de número de lâmpadas diferentes. A energia dissipada nas lâmpadas é regulada por circuitos tiristorizados.

O preço de uma unidade desse tipo com capacidade de 1 t/h fica entre US\$ 375.000 a US\$ 435.000.

Para capacidades maiores não se pode usar o aquecimento infravermelho devido à limitação de tamanho das lâmpadas disponíveis (aprox. 50 cm de comprimento).

Por isso, para capacidades maiores que 1 t/h usa-se sempre o aquecimento à gás ou óleo.

Conforme *CLAESEN & MARTIN (1997)*, a **figura 3**, representa um esquema de funcionamento do regenerador térmico de areia por aquecimento através de raios infravermelhos.

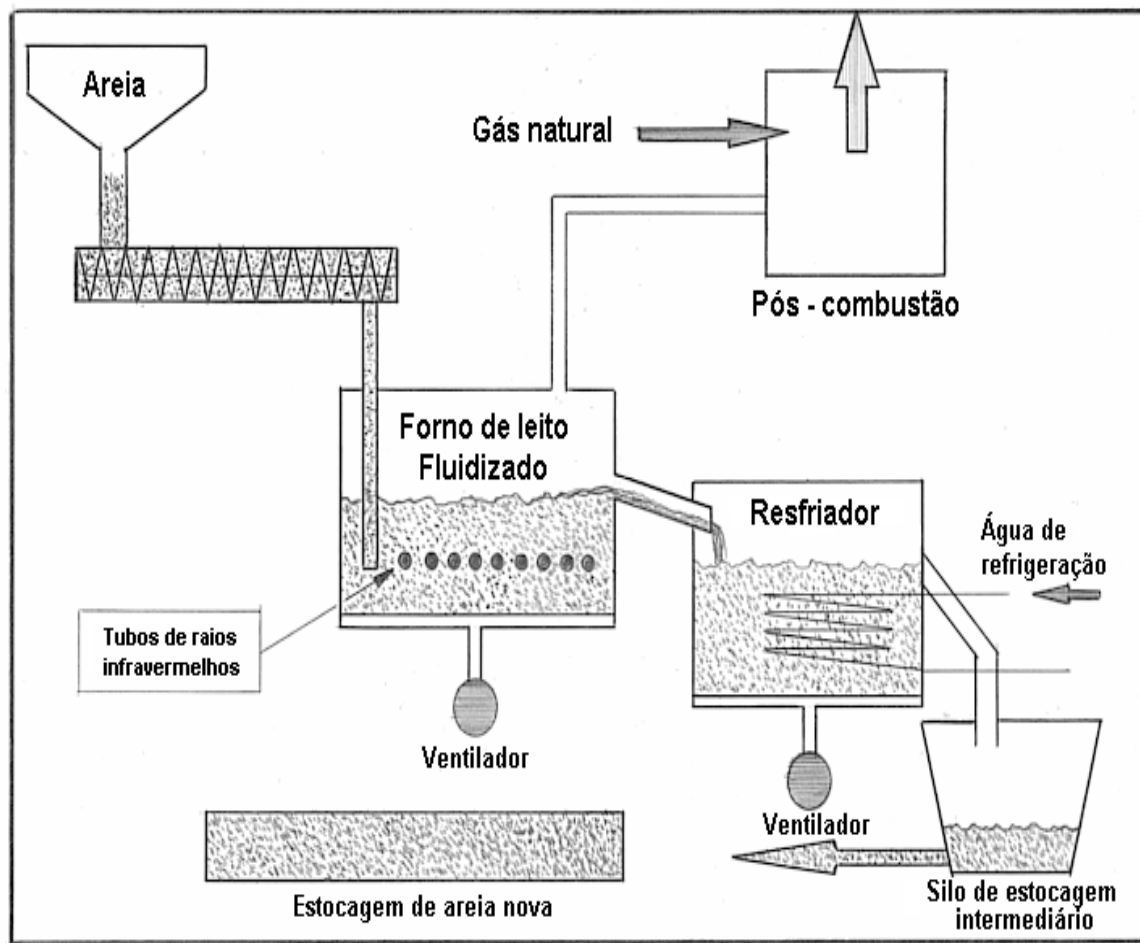


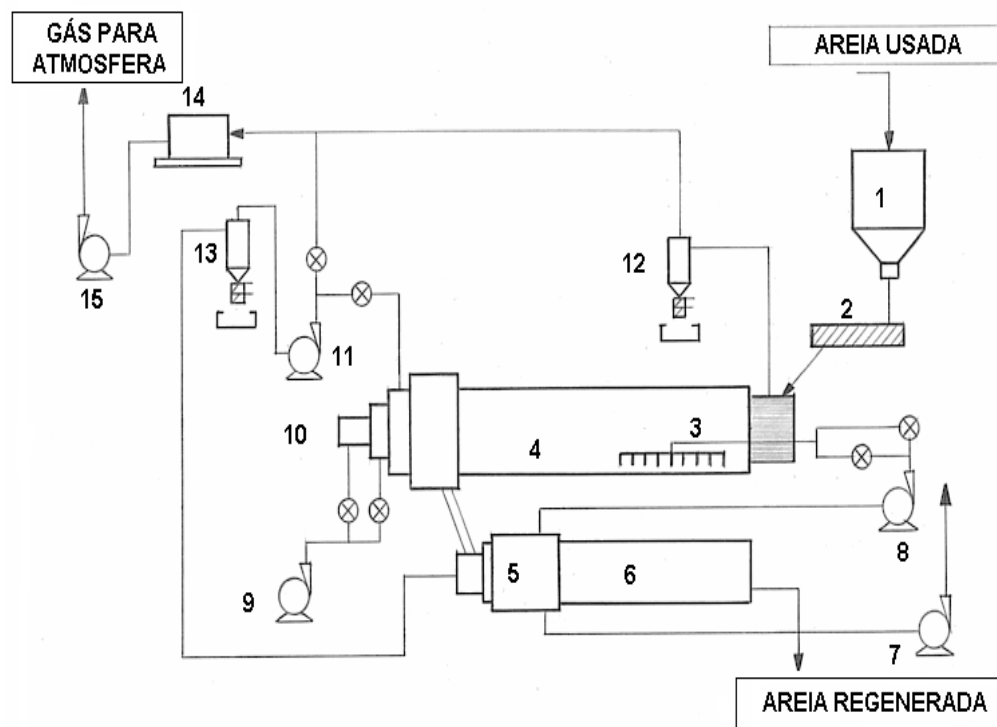
Figura 3 – Esquema do regenerador térmico de areia infravermelho.

Recuperação térmica (à gás)

De acordo com *VIANNA (1997)*, o recuperador rotativo térmico de atmosfera controlada é projetado para processar termicamente areia de todos os tipos, sejam elas aglomeradas com resina (cura a frio) ou argila (moldagem a verde-sintética).

Obs: A eficiência da recuperação da areia a verde para devolvê-la a característica de praticamente uma areia nova ainda é muito discutida, em função da camada de bentonita que envolve os grãos de areia.

A **figura 4** representa esquematicamente os componentes do sistema de recuperação rotativo térmico (à gás).



- | | |
|--|--|
| 1- Silo da areia a regenerar | 9- Ventilador do queimador |
| 2- Rosca alimentadora | 10- Queimador |
| 3- Lança de ar | 11- Ventilador de exaustão do resfriador |
| 4- Forno rotativo | 12- Ciclone do forno |
| 5- Anel recuperador de calor | 13- Ciclone do ventilador |
| 6- Resfriador rotativo | 14- Lavador de gases |
| 7- Ventilador do anel recuperador de calor | 15- Ventilador de exaustão do lavador de gases |
| 8- Ventilador da lança de ar | |

Figura 4 - Componentes do sistema de recuperação rotativo térmico (à gás).

O recuperador recebe uma mistura de areia usada a reciclar (areia a verde ou areia de cura a frio), procedente de um sistema de recuperação mecânica, dosado em quantidades conhecidas (vazão controlada).

O sistema integrado é projetado para remover totalmente por queima todos os aglomerantes orgânicos e/ou argilas da areia usada, tornando-a adequada para reutilização como areia de molde ou de macho.

O recuperador tem como característica exclusiva de projeto, a lança de ar

ajustável (regulagem da vazão de ar) , que fornece a quantidade certa de ar no ponto exato, onde os componentes orgânicos são queimados, para garantir a decomposição completa dos materiais carbonáceos.

É incorporado também ao recuperador um sistema de recuperação de energia para operar com a maior eficiência energética possível.

O princípio de operação é o aquecimento da areia a uma temperatura suficiente para queimar completamente todos os aglomerantes, removendo-os dos grãos de areia. Isto é obtido no recuperador, utilizando-se a lança de ar para controlar a atmosfera de combustão e um sistema de acionamento de velocidade variável para se ter o tempo de retenção otimizado para a combustão completa da resina ou das argilas.

A areia é alimentada ao forno por uma bica de alimentação construída de forma a minimizar o arraste das partículas de areia pelo gás de exaustão antes que elas sejam submetidas à zona de queima.

A areia aquecida deixa o recuperador a aproximadamente 700^oC, dependendo dos agentes aglomerantes, por uma calha de alimentação do resfriador.

O resfriador é do tipo “*Air-Swept*”, equipado com barras anti-deslizantes para maximizar a troca de calor dos sólidos com o casco e com o fluxo de gás.

O resfriamento do material é feito pelo ar soprado através do leito do resfriador por um ventilador de resfriamento.

A tomada de ar do ventilador é feita através de um ciclone para remoção de pó ou areia que possa ter sido arrastado na corrente de gás.

A descarga do ventilador possui comporta para regular as quantidades de ar usada como ar secundário e a que é descarregada.

A utilização do ar do resfriador como ar de combustão melhora a eficiência do queimador e reduz o consumo de combustível. Os sólidos resfriados à aproximadamente 57 ^oC são, então, descarregados em uma peneira e enviados para os silos (estoque) de areia para reutilização.

4.3. CUSTOS DE RECUPERAÇÃO

CONRAD (1991) relaciona alguns parâmetros de custo para fins comparativos para um recuperador de aproximadamente 700 t de areia por mês. Em virtude de não termos uma moeda mais estável considerou-se o dólar americano na data (30/08/99) para fins da análise:

- Custo típico de areia nova no Estado de São Paulo, só incluindo o transporte (areia módulo 45/50 AFS), sem impostos varia de US\$ 12,00 a US\$ 25,00/t de areia.
- Nos custos da recuperação de areia citados a seguir não estão sendo considerados o custo inicial e a amortização da aquisição dos equipamentos.

Custo de recuperação em recuperadores mecânicos primários.

Considerando apenas a mão de obra direta, a um valor de US\$ 450,00/homem/mês incluindo adicionais e benefícios para um operário, e sendo necessários dois homens (em cada turno).

Mão de obra

US\$ 450,00 X 4 homens (2 turnos) =

US\$ 1.800,00 para aproximadamente 700 t/mês ou US\$ 2,57/t

Energia elétrica

US\$ 0,04/Kwh (custo)

24Kwh/t (consumo) US\$ 0,96/t

Manutenção média - US\$ 1,50/t

Total - US\$ 5,03/t

Custo de recuperação em recuperadores primários, seguido de recuperação intensiva secundária.

Mão de obra

US\$ 450,00 X 4 homens (2 turnos) =

US\$ 1.800,00 para aproximadamente 700 t/mês ou US\$ 2,57/t

Energia elétrica

US\$ 0,04/Kwh (custo)

38Kwh/t (consumo) US\$ 1,52/t

Manutenção média - US\$ 2,00/t

Total - US\$ 6,09/t

Custo de recuperação em recuperador térmico (raios infravermelhos)

Conforme citado por *MARIOTTO (1997)*, o custo para recuperação térmica com o sistema de raios infravermelhos varia de US\$ 7,00 a US\$ 10,00/t.

Custo de recuperação em recuperador térmico (à gás).

Mão de obra

US\$ 450,00 X 4 homens (2 turnos) =

US\$ 1.800,00 para aproximadamente 700 t/mês ou US\$ 2,57/t

Energia elétrica

US\$ 0,04/Kwh (custo)

60Kwh/t (consumo) US\$ 2,40/t

Gás liquefeito de Petróleo (GLP)

| | |
|---------------------------|--------------|
| 4 Kg/t a US\$ 0,54/kg - | US\$ 2,16/t |
| Manutenção média - | US\$ 3,50/t |
| Total - | US\$ 10,63/t |

Além da aplicação mais econômica para se realizar a recuperação da areia, pode ser empregado algumas técnicas, como veremos no próximo capítulo, objetivando melhorar a qualidade da areia a ser recuperada e minimizar o consumo de areia e energia.

Capítulo 5

5 - MEDIDAS TÉCNICAS PARA MINIMIZAÇÃO DO DESCARTE DE AREIA.

De acordo com *TINEBRA e WILSON (1996)* a geração de gases durante o processo de vazamento dos moldes é altíssima, variando em função do processo de machos e moldes, conforme observa-se no **quadro 12** e na **figura 5**.

Obs: os dados abaixo foram extraídos de ensaios realizados na fundição da Romi.

Quadro 12 - Processo de geração de gases de machos e moldes durante o vazamento – Fundição da Romi

| GERAÇÃO DE GASES DOS DIFERENTES PROCESSOS DE MOLDAGEM (A 1000 °C) | | | | |
|--|------------------|-------------|-------------|--------------|
| PROCESSO | TEMPO (s) | | | |
| | 30'' | 60'' | 90'' | 120'' |
| Cold Box (cm ³ /g) | 40 | 50 | 50 | 51 |
| Furânico (cm ³ /g) | 50 | 60 | 60 | 60 |
| Fenólico (cm ³ /g) | 50 | 65 | 65 | 65 |
| Areia Verde (cm ³ /g) | 30 | 40 | 40 | 40 |

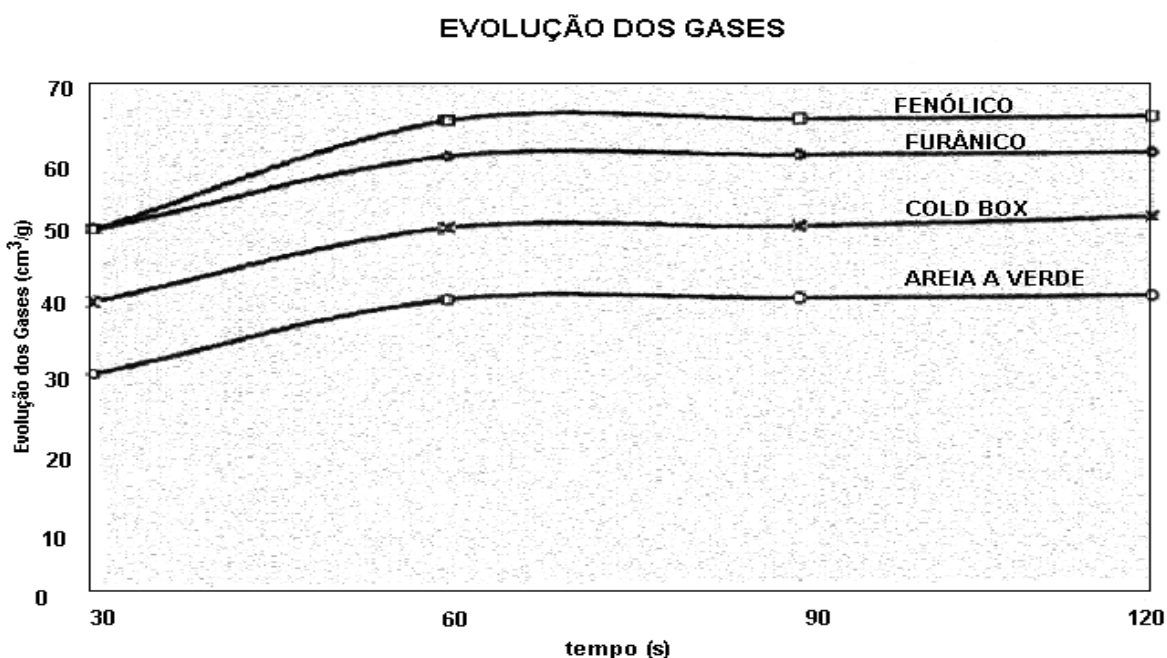


Figura 5 - Total de gases gerados ao longo do tempo no processo de moldagem com resinas fenólica, furânica, cold box e sistema areia a verde.

A temperatura do metal líquido, empregado para o vazamento das peças de ferro fundido (geralmente entre 1350 a 1450 °C, conforme o tamanho/espessura das peças) faz com que haja uma reação dos aglomerantes da areia gerando uma grande quantidade de gases.

A peça fundida, ao se solidificar e também durante o período da expulsão dos gases dos moldes e machos, provoca na areia que está em seu contorno ou próximo, uma volatilização total dos aglomerantes que estão agregando os grãos de areia, o que não ocorre com os aglomerantes mais distantes da superfície da peça, devido a baixa condutividade térmica da areia. Assim, a porção de areia próxima ao metal e das saídas de gases, sofre um processo similar ao que ocorre na recuperação térmica da areia, enquanto a porção de areia mais distante da superfície do metal e das saídas de gases não.

Para verificação das temperaturas da areia no molde próximo as saídas de gases após o vazamento da peça, realizou-se experimentalmente 10 moldes, sendo 5 moldes de cada item (2 itens) conforme **figuras 6 e 8**, e plotados as médias das temperaturas conforme **figuras 7 e 9**.

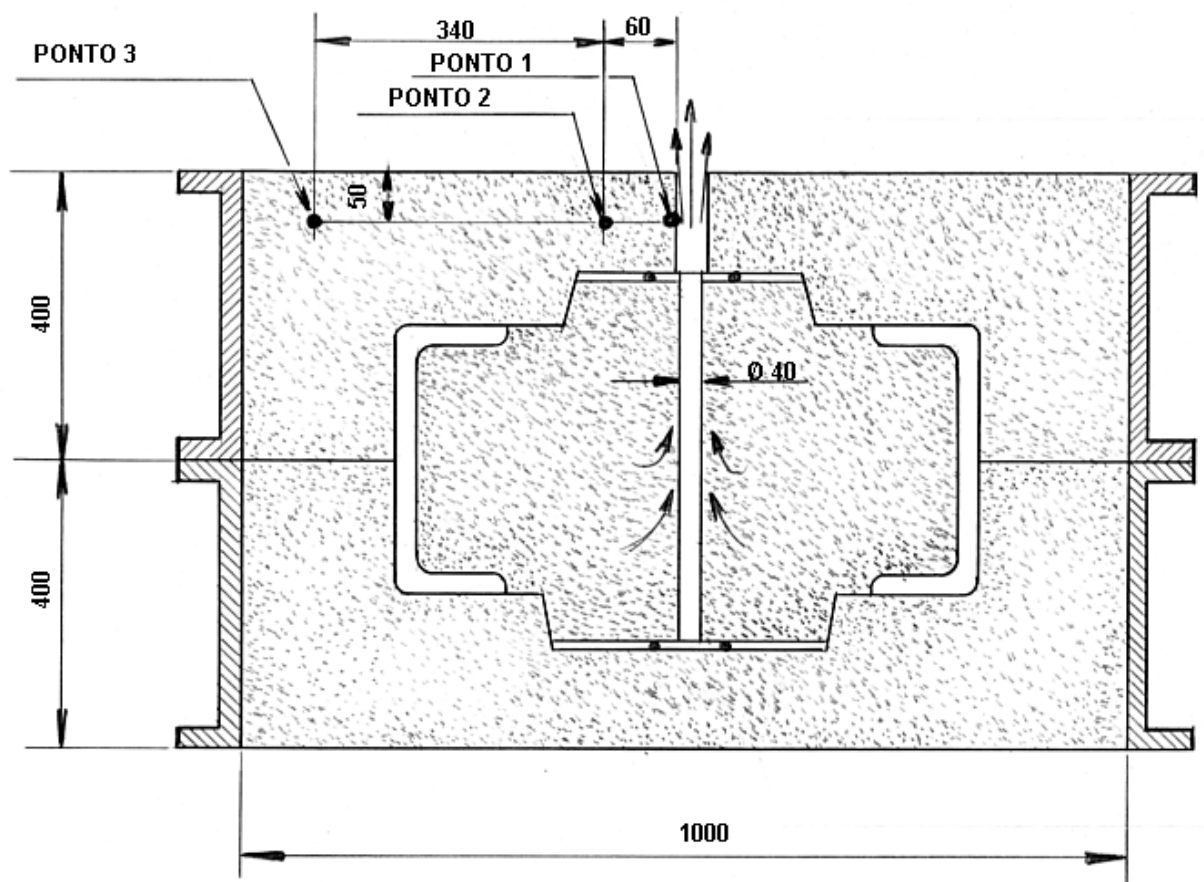


Figura 6 - Esquema do molde da peça (coluna de torno) empregada como amostra na realização da experiência.

DADOS:

| | |
|------------------------------------|--------------------------|
| Peso da peça limpa: | 402 kg |
| Peso com canais: | 440 kg |
| Tempo de enchimento da peça: | 45'' |
| Temperatura de vazamento do metal: | 1380 °C |
| Ferro Fundido Cinzento | |
| Molde e Macho: | |
| Areia 45/50 AFS | |
| Resina furânica: | 1% |
| Catalisador APTS: | 30% |
| Pintura: | Grafite a base de álcool |
| Peso molde + macho: | 920 kg |
| Relação metal/areia: | 1 : 2,29 |

LEVANTAMENTO DA TEMPERATURA DA AREIA DO MOLDE EM FUNÇÃO DO TEMPO DECORRIDO APÓS O VAZAMENTO

PEÇA : COLUNA DE TORNO

| | | TEMPO (MINUTOS) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PONTOS | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 48 | 51 | 54 | 57 | 60 | 63 | 66 | 69 | 72 | 75 |
| TEMPERATURA | P1 (°C) | 287 | 310 | 320 | 410 | 430 | 435 | 425 | 406 | 396 | 393 | 390 | 387 | 354 | 350 | 348 | 346 | 299 | 286 | 263 | 208 | 163 | 136 | 126 | 111 | 109 |
| | P2 (°C) | 188 | 189 | 208 | 225 | 220 | 215 | 225 | 205 | 200 | 184 | 182 | 184 | 180 | 178 | 176 | 175 | 156 | 165 | 155 | 133 | 96 | 88 | 83 | 77 | 74 |
| | P3 (°C) | 78 | 68 | 62 | 58 | 58 | 58 | 53 | 52 | 55 | 55 | 56 | 58 | 57 | 56 | 58 | 54 | 52 | 49 | 54 | 48 | 53 | 51 | 53 | 50 | 50 |

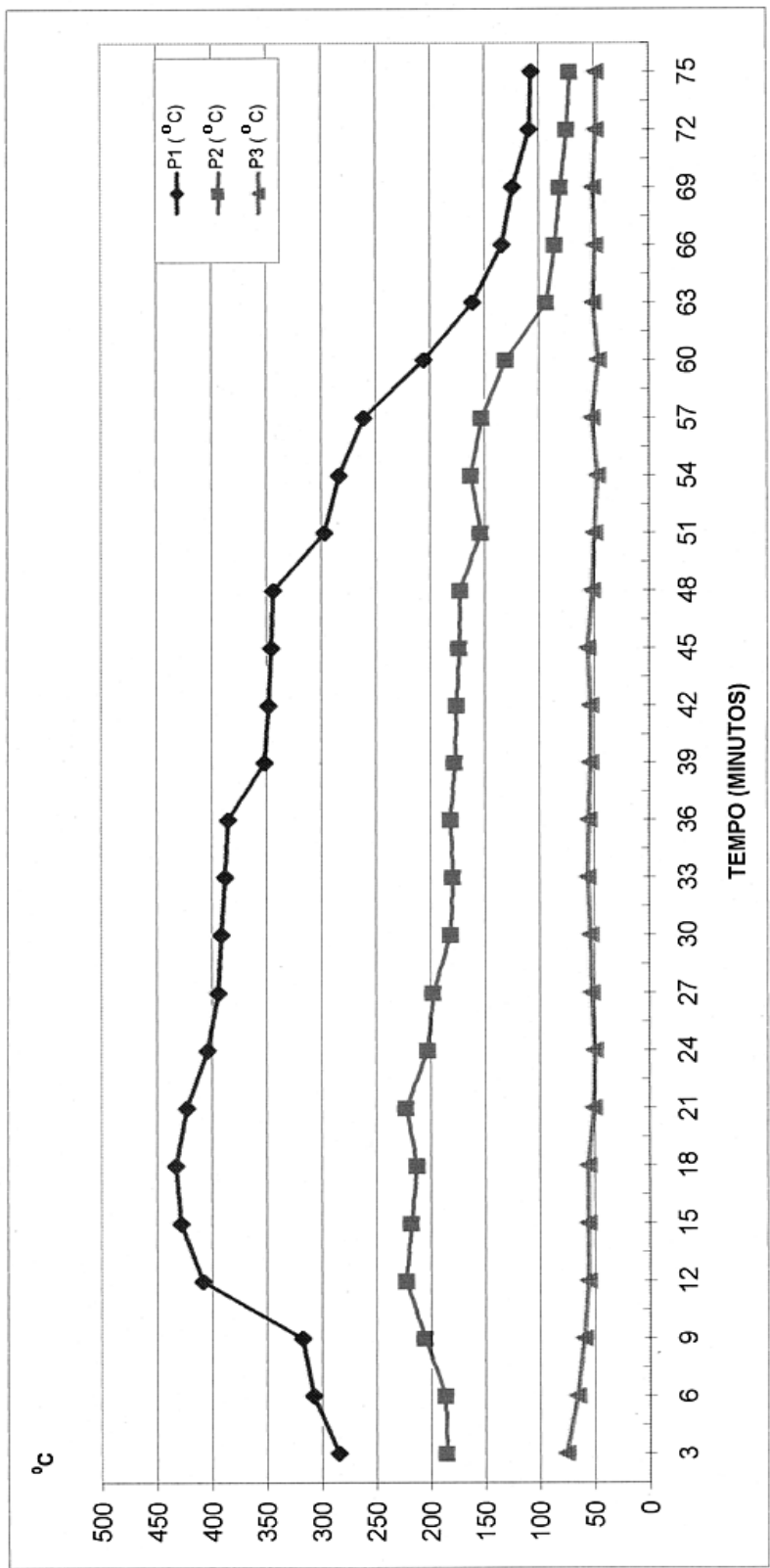


Figura 7 – Levantamento de temperatura da areia do molde em função do tempo decorrido após o vazamento.

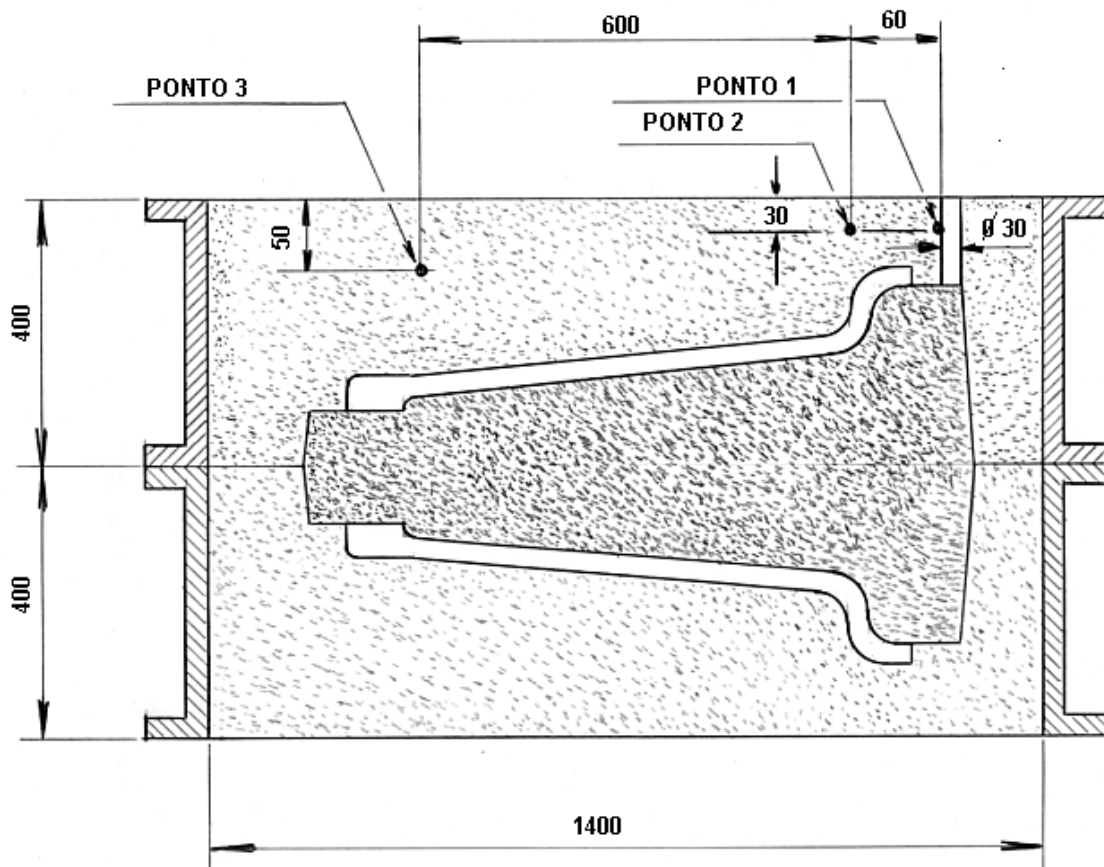


Figura 8 - Esquema do molde da peça (coluna de fresadora) empregada como amostra na realização da experiência.

DADOS:

| | |
|------------------------------------|--------------------------|
| Peso da peça limpa: | 325 kg |
| Peso com canais: | 362 kg |
| Tempo de enchimento da peça: | 43'' |
| Temperatura de vazamento do metal: | 1390 °C |
| Ferro Fundido Cinzento | |
| Molde e Macho: | |
| Areia 45/50 AFS | |
| Resina furânica: | 1% |
| Catalisador APTS: | 30% |
| Pintura: | Grafite a base de álcool |
| Peso molde + macho: | 1250 kg |
| Relação metal/areia: | 1 : 3,84 |

LEVANTAMENTO DA TEMPERATURA DA AREIA DO MOLDE EM FUNÇÃO DO TEMPO DECORRIDO APÓS O VAZAMENTO

PEÇA : COLUNA DE FRESADORA

| TEMPERATURA | TEMPO (MINUTOS) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| | PONTOS | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 | 31 | 33 | 35 | 37 | 39 | 41 | 43 |
| P1 (°C) | 245 | 280 | 310 | 345 | 380 | 405 | 385 | 370 | 345 | 325 | 280 | 235 | 195 | 160 | 125 | 105 | 85 | 75 | 75 | 72 | 69 | 62 | 60 |
| P2 (°C) | 153 | 170 | 215 | 245 | 255 | 275 | 265 | 255 | 215 | 200 | 180 | 135 | 115 | 100 | 81 | 79 | 73 | 73 | 68 | 66 | 60 | 60 | 60 |
| P3 (°C) | 75 | 80 | 73 | 68 | 60 | 55 | 53 | 54 | 54 | 58 | 60 | 62 | 64 | 65 | 68 | 68 | 68 | 68 | 65 | 62 | 60 | 60 | 60 |

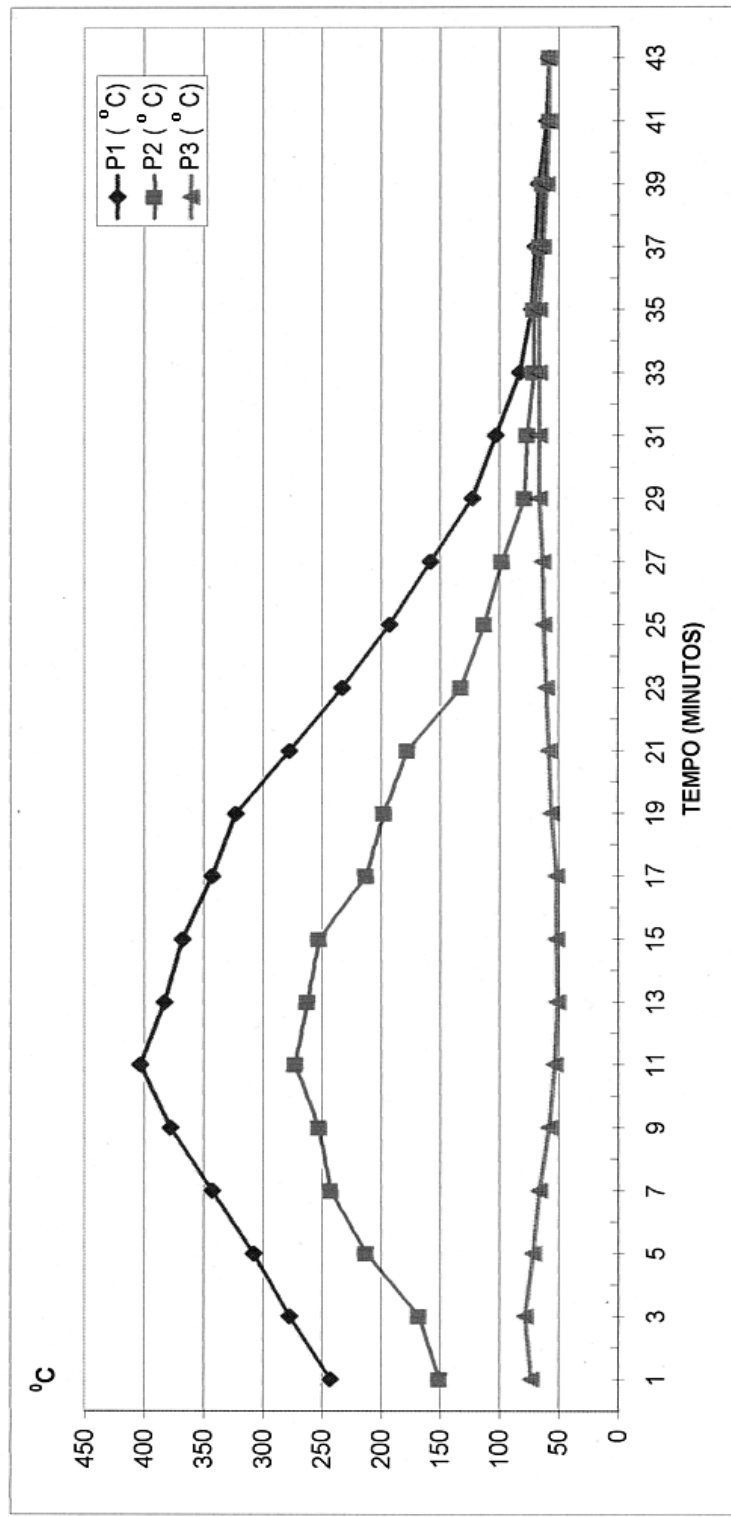


Figura 9 – Levantamento de temperatura da areia do molde em função do tempo decorrido após o vazamento.

Quando da reutilização da areia que não sofreu o processo de volatilização dos aglomerantes que ficaram retidos na superfície dos grãos de areia, são adicionados novos aglomerantes, o que provoca um aumento da geração de gases.

Para determinar a porcentagem de materiais voláteis da areia, emprega-se o método CEMP - 120 (ABIFA) (ensaio de perda ao fogo), que consiste em aquecer uma massa de areia previamente pesada, mantendo-se a temperatura de 900 °C, por um determinado período até a massa permanecer constante, em seguida pesando-se o que sobrou. A diferença é expressa em porcentagem do peso inicial.

A porcentagem máxima permitida de perda ao fogo (orientativa) sem comprometer a qualidade do fundido, ainda de acordo com *CONRAD (1991)*, varia em função do processo de moldagem empregado, conforme **quadro 13**:

Quadro 13 - Porcentagem máxima orientativa de perda ao fogo permitida nos processos cura a frio e areia a verde.

| PROCESSO | Ferro Fundido (%) | AÇO (%) |
|----------------------|--------------------------|----------------|
| CURA A FRIO | 3 máx. | 2,0 máx |
| AREIA A VERDE | 4,30 máx | 3,0 máx |

Conforme apresentado no **quadro 13**, a perda ao fogo recomendada para o processo de macharia e moldagem furânica é de no máximo 3%. Quando a perda ao fogo for superior, causará uma maior geração de gases do conjunto, machos, moldes e metal líquido, podendo ocasionar defeitos de bolhas de gases nas peças fundidas.

De acordo com RAHMOELLER (1993), os gases geralmente detectados dentro do molde no processo cura a frio durante o vazamento do metal líquido são:

N₂ - Nitrogênio

H₂ – Hidrogênio

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

H₂O – Água

NH₃ – Amônia

HCN - Ácido Cianídrico

Formoldeido, e uma variedade de pequenos componentes orgânicos

Ainda de acordo com RAHMOELLER, a composição destes gases estão nos intervalos de:

H₂ - 40 a 60%, O₂ - 1 a 3%, N₂ - 10 a 20%, CO - 15 a 30% e CO₂ - 3 a 10%

Total Hidrocarbonetos - 1 a 20%

Estas quantidades de gases são geradas no momento do vazamento da peça com metal líquido, praticamente nos dois primeiros minutos a partir do início do vazamento. A sua geração cai rapidamente após decorrido este tempo inicial.

É importante ressaltar que os gases gerados durante o vazamento das peças com metal líquido tendem a subir rapidamente para a atmosfera.

Em linhas de produção de peças automáticas, devido a grande produção, recomenda-se o emprego de exaustores para a melhoria do ambiente.

Durante o processo de confecção de machos e moldes, se for considerada uma boa prática do emprego de artifícios de remoção de gases, este percentual de 3% de perda ao fogo pode ser elevado para 3,5% na areia recuperada sem prejudicar a qualidade final do fundido, possibilitando assim, trabalhar com baixíssima porcentagem de areia nova, conseqüentemente reduzindo o descarte de areia.

5.1. MÉTODOS/ARTIFÍCIOS PARA FACILITAR A SAÍDA DE GASES.

As areias de fundição apresentam uma permeabilidade entre os grãos que facilita a saída de gases, que são formados durante o ato do vazamento ocasionado pela reação dos aglomerantes com o metal líquido e durante o processo da solidificação do metal no molde.

Em função da granulometria da areia e o grau de compactação (socamento) dos moldes e machos essa permeabilidade pode variar.

Com uma areia de granulometria maior (areia mais grossa), a permeabilidade é mais alta do que uma areia de granulometria menor (areia mais fina).

Para que as saídas dos gases não fiquem exclusivamente dependentes da granulometria da areia, desenvolve-se artifícios que são colocados nos moldes e machos que visam facilitar as saídas dos gases formados, reduzindo a possibilidade de defeitos de bolhas de gases nas peças fundidas e facilitando a recuperação da areia.

As **figuras 10 a 18** são orientativas, baseando-se em inúmeras experiências da empresa estudada, objetivando ter um eficiente sistema de retirada dos gases dos machos e moldes.

1) ARTIFÍCIOS NOS MACHOS:

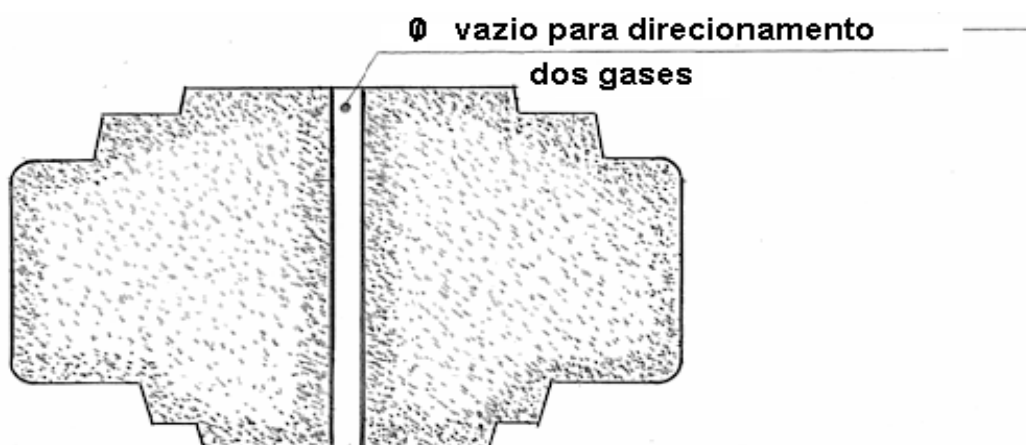


Figura 10 - Macho com saída de gases direcionada na vertical.

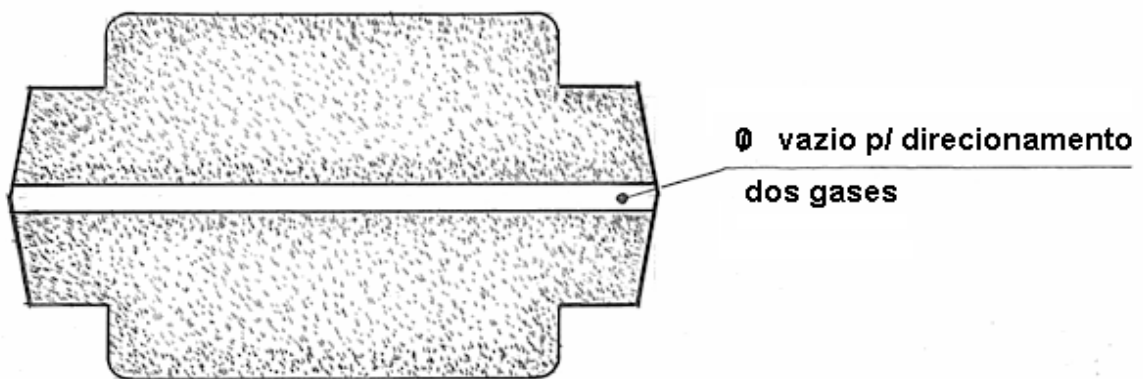


Figura 11 - Macho com saída de gases direcionada na horizontal (laterais).

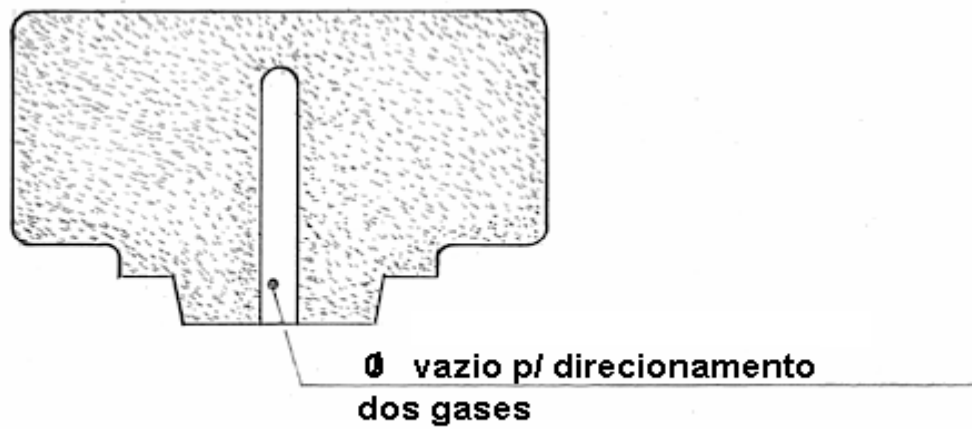


Figura 12 - Macho com saída de gases direcionada para a parte inferior.

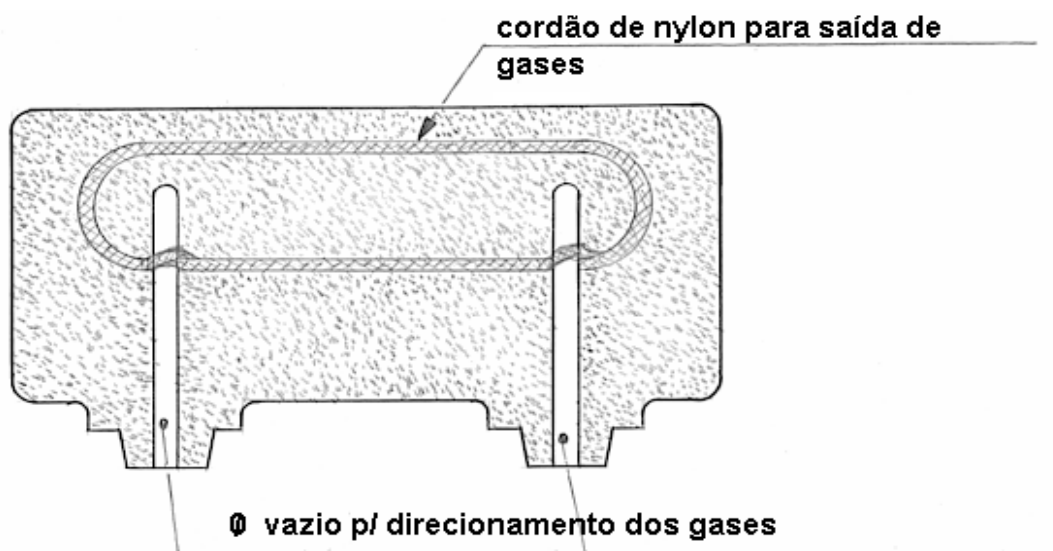


Figura 13 - Macho com saída de gases direcionada para a parte inferior, com orifício (cordão) para melhorar a saída de gases.

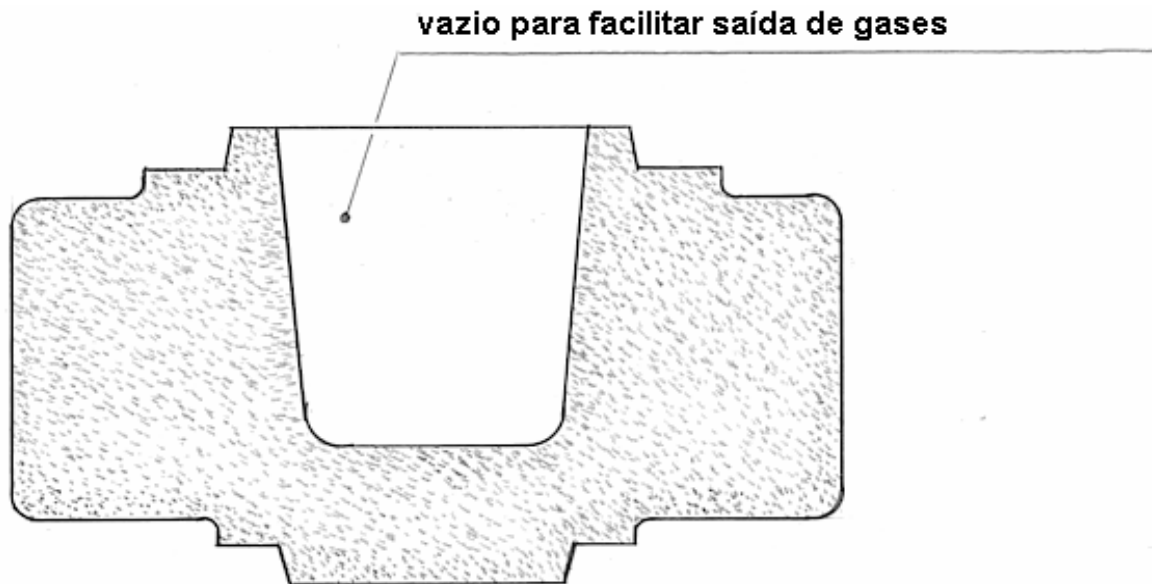


Figura 14 - Macho com alívio (para economia de areia) na parte superior.

2) ARTIFÍCIOS DE MOLDAGEM:

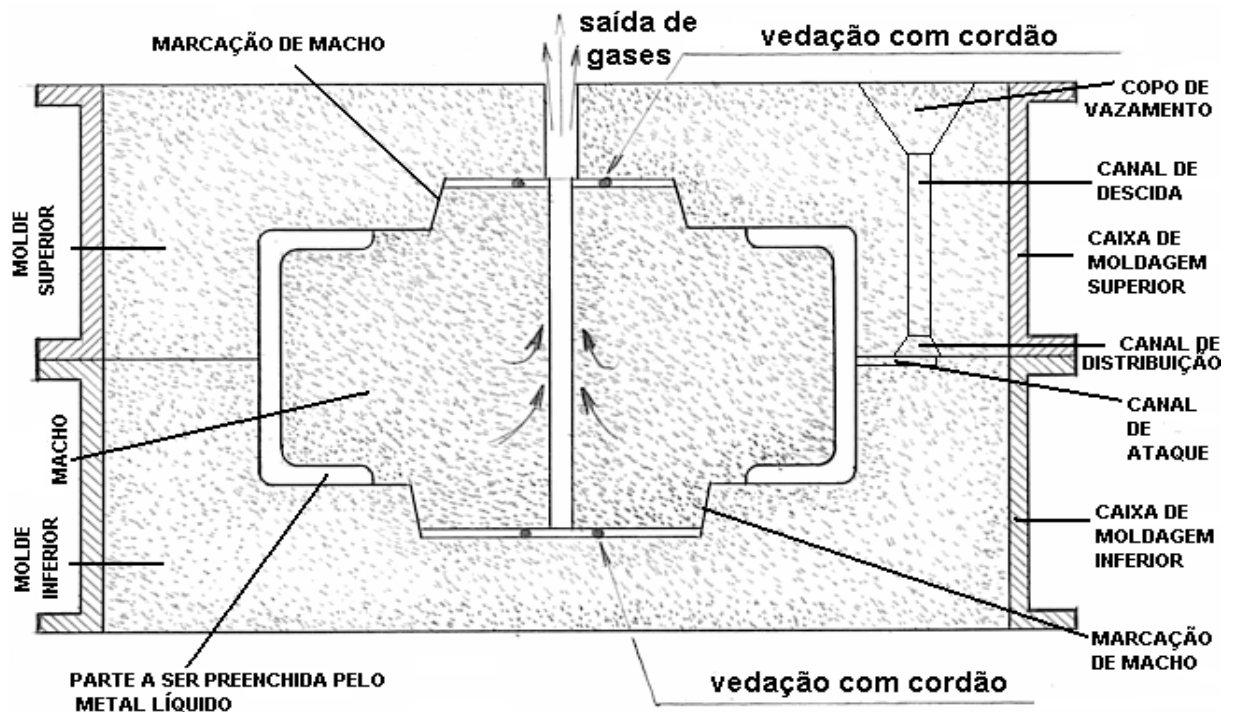


Figura 15 - Molde fechado com o macho já assentado nas marcações e com saída de gases direcionada para a parte superior.

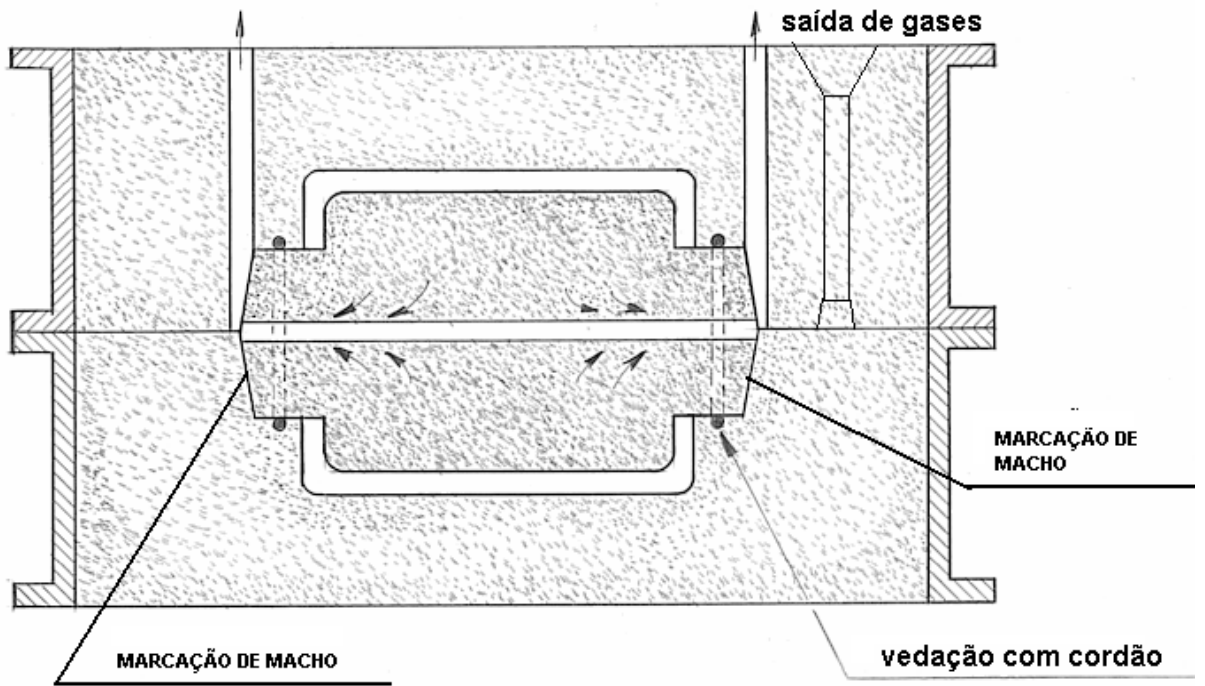


Figura 16 - Molde fechado com o macho já assentado nas marcações e com saída de gases direcionada para a horizontal (laterais).

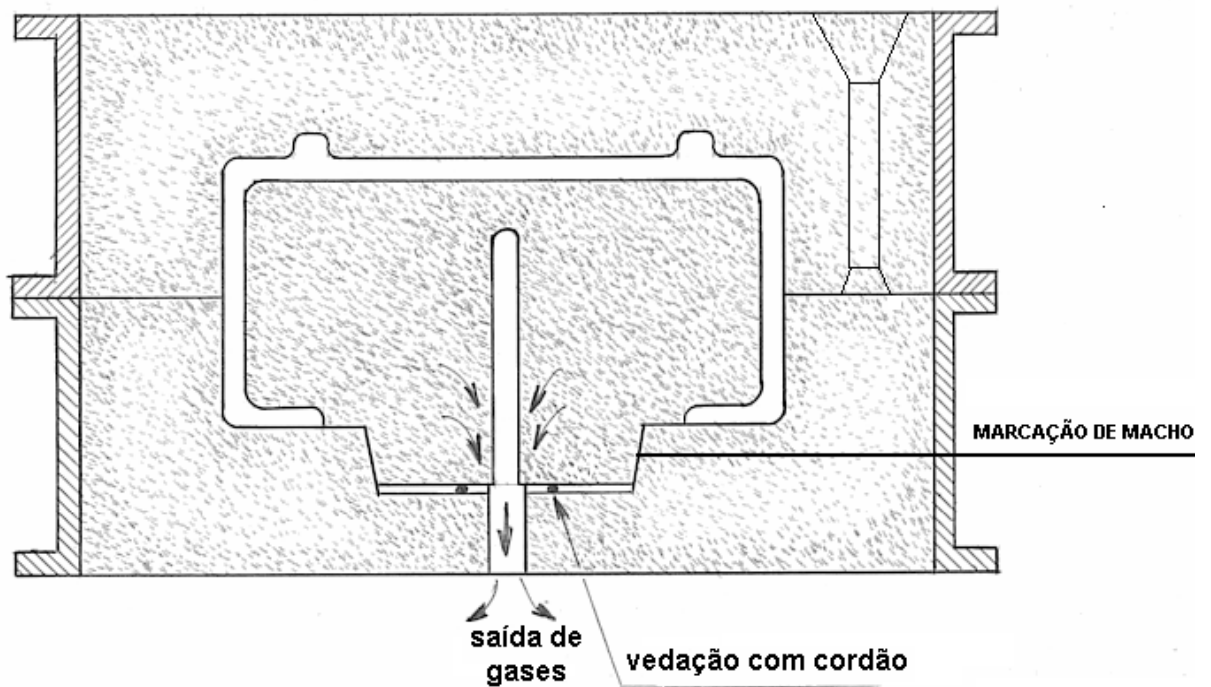


Figura 17 - Molde fechado com macho já assentado e com saída de gases direcionada para a parte inferior.

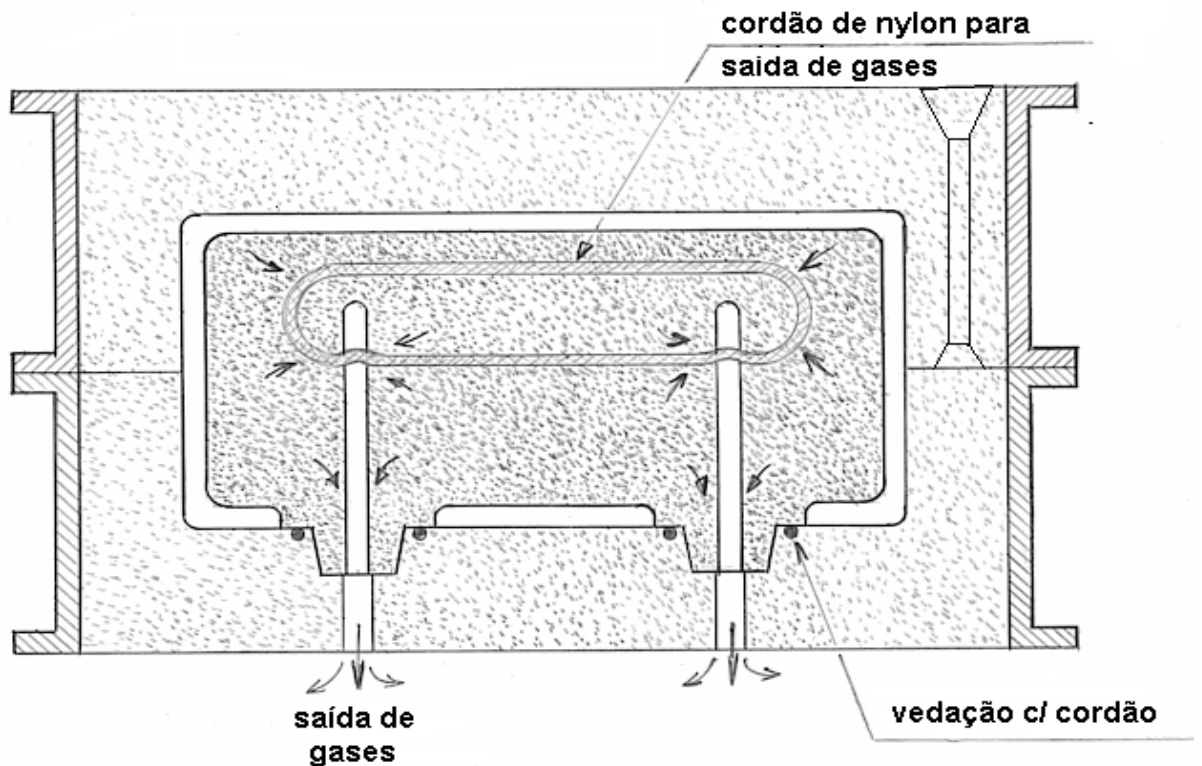


Figura 18 - Molde fechado com macho já assentado nas marcações com saída de gases direcionada para a parte inferior e com cordão de nylon para auxiliar a retirada dos gases.

5.2. MELHORIA NO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE AREIA CURA A FRIO (FENÓLICO).

De acordo com *CONRAD (1991)* a areia recuperada precisa ter um estreito controle de suas características, assim como o processo de recuperação deve ser monitorado, com o objetivo de reduzir o consumo de areia nova e conseqüentemente o descarte.

Conforme cita *MARIOTTO (1997)* as resistências máximas obtidas no processo cura a frio são obtidas somente sob condições ideais de endurecimento, que podem ser verificados através de corpos de prova, conforme NBR 10611 (ABNT), padronizados, confeccionados com areia preparada (conforme dimensões na **figura 19**), endurecidos na temperatura ambiente e testados sob condições

controladas.

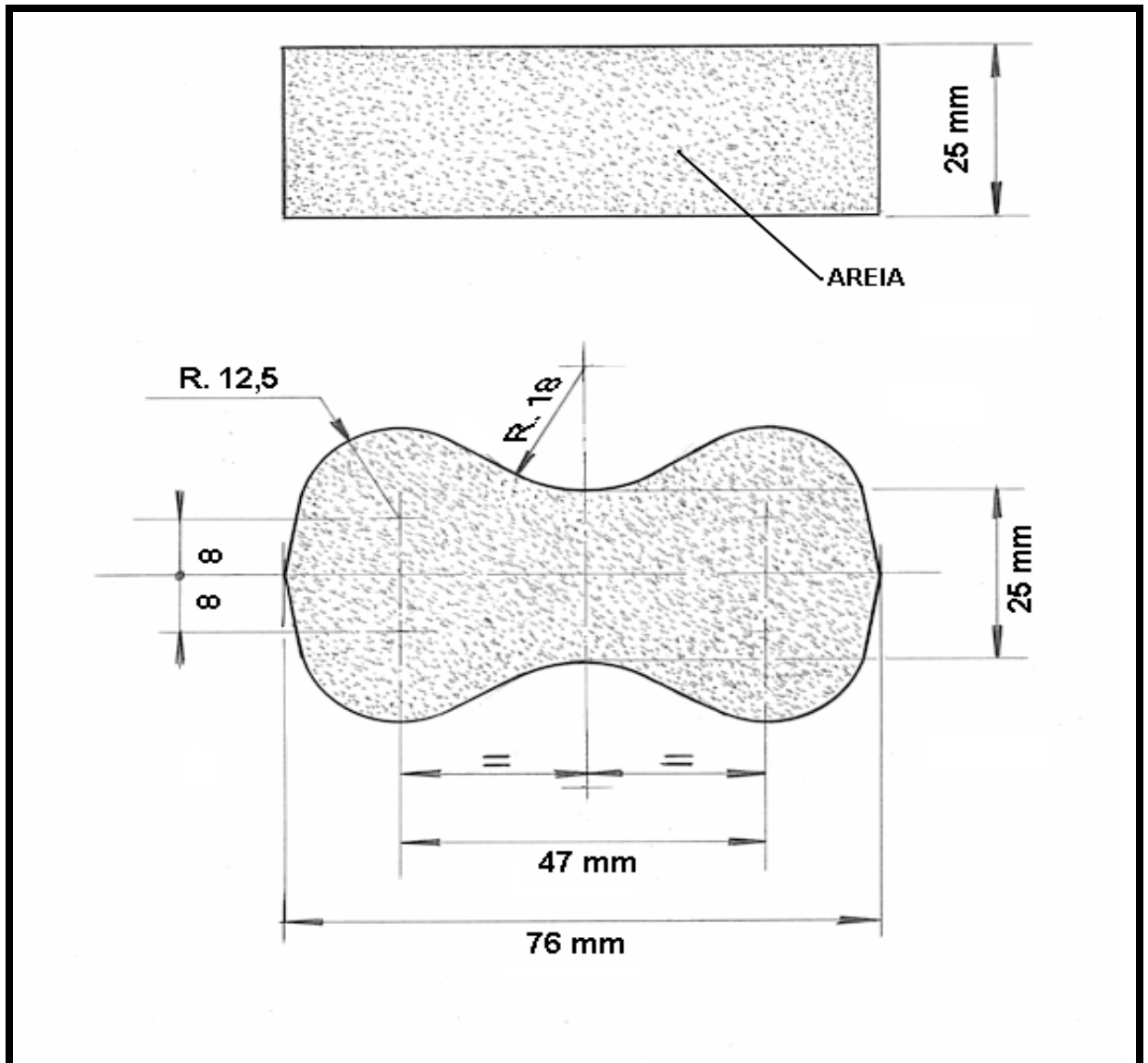


Figura 19 - Dimensões do corpo de prova para teste de resistência (NBR-10611 – ABNT).

As resistências mecânicas reais dos moldes e machos, são consideravelmente inferiores, pois parte da reação de endurecimento ocorre durante a confecção dos moldes e machos.

As resistências alcançadas no processo cura a frio são resultantes de uma interação entre o aglomerante e o grão de areia, ocasionado pelas forças de adesão (A) e coesão (C) do aglomerante, conforme ilustrado na **figura 20**:

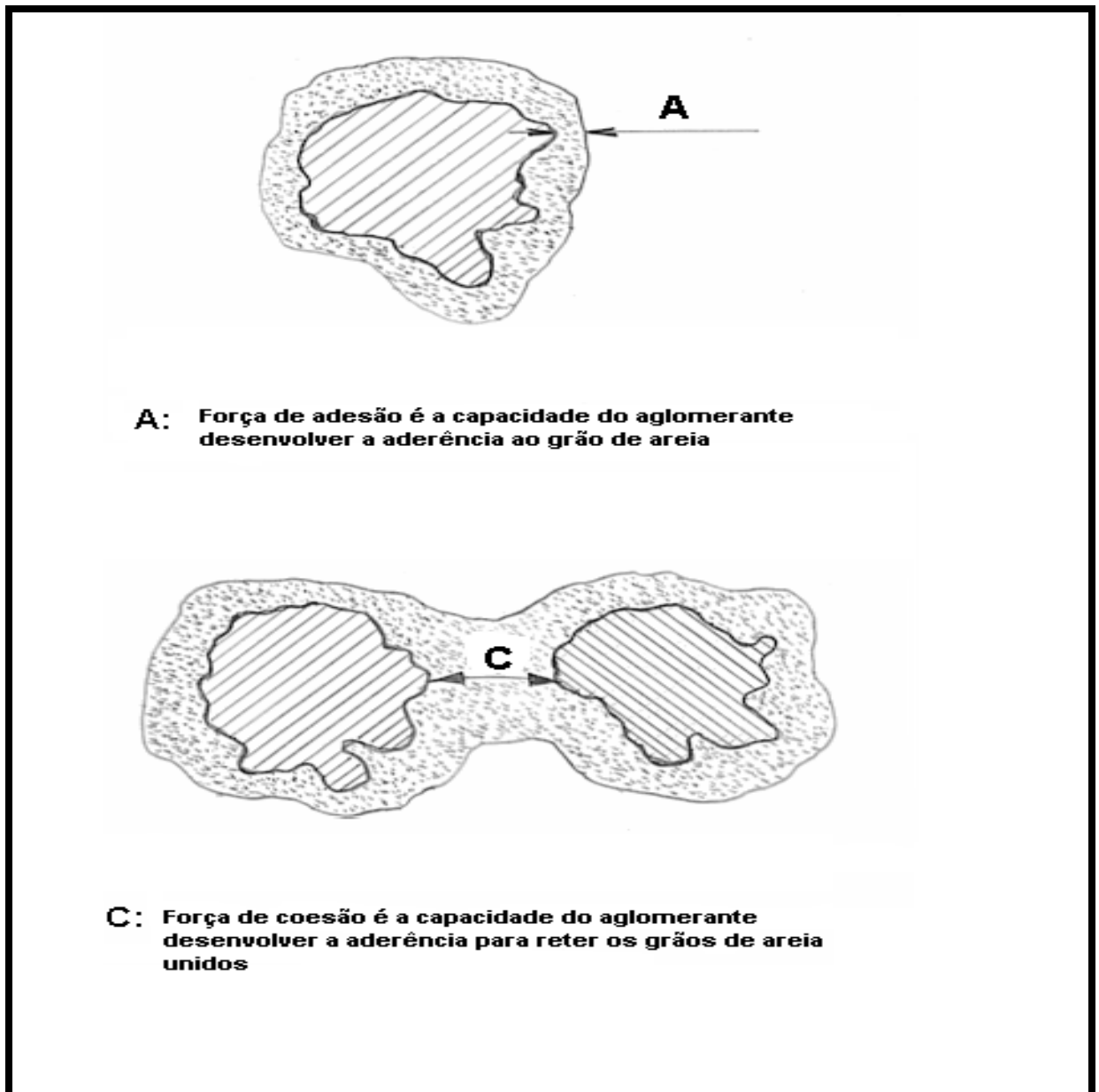


Figura 20 - Interação entre aglomerante e grão de areia.

As principais variáveis que influenciam a recuperação da areia aglomerada com resinas são: a quantidade de resina utilizada para aglomeração e a resina que se queima (degrada), quando são vazadas as peças fundidas na solidificação do metal.

De acordo com RAMPAZZO (1989), recentes estudos demonstraram que essas resinas empregadas para fundição são termicamente estáveis.

A resina fenólica pertence ao grupo dos aglomerantes, no qual as forças adesivas são menores que as forças coesivas. Em função dessas forças coesivas

serem maiores, são mais resistentes para desmoldagem do que no caso das resinas furânicas.

Desse modo, as areias aglomeradas com resinas fenólicas são mais difíceis para desmoldar do que as aglomeradas com resinas furânicas. Mas devido à película da resina fenólica que envolve o grão de areia ser mais frágil (tanto a camada intacta, como a parcialmente queimada), consegue-se um bom despreendimento das películas que envolvem os grãos de areia, sendo também possível a sua recuperação mecânica.

Para aumentar as resistências mecânicas no processo cura a frio, melhorando as forças adesivas entre o aglomerante e o grão de areia de quartzo, depende-se basicamente da qualidade do aglomerante e principalmente da qualidade da areia base (qualidade superficial dos grãos).

Outro fator que influencia nas resistências mecânicas é a presença de acumulações alcalinas (sistemas básicos) nos grão de areia em um sistema de areia ácida, retardando a cura da areia.

Isto ocorre devido as fundições empregarem diferentes processo de macharia, e as diferentes areias se misturarem em uma central única de recuperação.

As reações entre a resina e o catalisador empregados na mistura da areia não só consomem mais ácido, como criam outros problemas pelo desenvolvimento de produtos oriundos da reação (água). A água permanece nas proximidades da superfície do grão de areia e pode servir de diluente no restante do ácido não reagido.

Os machos e moldes estão sujeitos ao aquecimento intenso pelo metal líquido, especialmente na interface metal-molde, onde a areia atinge uma temperatura próxima do metal. A taxa da quantidade de calor nesta interface aumenta em função do tempo de resfriamento do metal líquido.

Os componentes aglomerantes do processo fenólico contém materiais orgânicos que sofrem degradação térmica e oxidação a altas temperaturas. A natureza desse processo nessas temperaturas é bastante complexa e dependente da estrutura química do material orgânico.

Em função da temperatura e das condições atmosféricas dos interstícios dos

grãos de areia dos moldes e machos, o metal líquido entra na cavidade favorecendo a combustão do material orgânico. O oxigênio liberado é favorável à completa combustão, originando a formação de vários produtos de decomposição térmica. A natureza, distribuição da combustão e degradação térmica é bastante complexa e não previsível em sua totalidade.

A falta de oxigênio e temperatura baixa podem provocar a formação de uma camada de carvão coqueificado na superfície do grão de areia e aos poucos esse grão vai sendo enriquecido com produtos de decomposição. Antes de tudo, este é um processo lento que somente será verificado com a excessiva recuperação da areia, provocando efeitos negativos nas propriedades mecânicas nas areias recuperadas.

A multiplicidade desses fenômenos que ocorrem paralelamente torna difícil a determinação precisa dos produtos da decomposição.

Essas impurezas da areia são avaliadas através de ensaios específicos de laboratório, tais como:

- Ensaio de perda ao fogo;
- Ensaio do teor de demanda ácida;
- Ensaio de evolução de gases.
- Ensaio da determinação da distribuição granulométrica.

De acordo com a Comissão de Estudo de Matérias Primas (CEMP), estes ensaios são definidos como se segue:

Ensaio de perda ao fogo (CEMP - 120)

O Ensaio de Perda ao Fogo tem como objetivo determinar a quantidade de materiais voláteis contidos na areia recuperada utilizada em fundição, com a finalidade de prevenir defeitos causados por gases.

O ensaio tem como princípio a queima, decomposição e eliminação de materiais voláteis presentes na areia à temperatura entre 900 a 980 ° C.

Ensaio do teor de demanda ácida (CEMP - 101)

O ensaio é determinação da quantidade de impurezas solúveis em ácidos presentes na areia e que podem ter influência negativa sobre a cura e outras propriedades tecnológicas nos processos de moldagem que utilizam catalisadores ácidos.

Ensaio de evolução de gases (CEMP - 106)

Consiste na determinação da vazão de gás despreendido por uma amostra de areia pré determinada em um período de tempo e temperatura padronizados.

Ensaio de determinação da distribuição granulométrica (CEMP - 081)

Consiste na determinação do percentual de retenção do material granular em duas ou mais peneiras da série padrão (ABNT), compreendida na abertura das peneiras com malhas entre 0,053mm a 3,40mm.

O **quadro 14** define o tamanho das aberturas das peneiras para classificação de areias (tamanho dos grãos).

Quadro 14 – Tamanho das aberturas das peneiras para classificação de areias.

| NÚMERO DA PENEIRA (# Mesh - AFS) | ABERTURA NOMINAL (mm) |
|---|------------------------------|
| 3 | 3,40 |
| 5 | 1,70 |
| 10 | 0,84 |
| 20 | 0,60 |
| 30 | 0,42 |
| 40 | 0,30 |
| 50 | 0,21 |
| 70 | 0,15 |
| 100 | 0,105 |
| 140 | 0,075 |
| 200 | 0,053 |
| 300 | Prato |

Fonte: CEMP – 081 (1982)

5.2.1. ESTUDO DE CASO

Para o sistema de moldagem/macharia cura a frio (fenólico).

No sistema de recuperação de areia existente na empresa estudada verificou-se, através dos ensaios citados anteriormente, que eram realizados regularmente em laboratório, que a perda ao fogo e a granulometria da areia apresentavam-se fora dos limites especificados, além da presença de impurezas na areia recuperada, tais como: grumos de resina, granalha de aço, partículas de tintas, fragmentos de machos cold-box e outros.

De acordo com *CONRAD (1991)*, essas impurezas prejudicam a qualidade da areia recuperada, elevando o teor de perda ao fogo e diminuindo as propriedades mecânicas da areia aglomerada (resistência).

Ações corretivas.

No sistema de recuperação de areia cura a frio (fenólico) tomou-se várias ações objetivando a redução do descarte e melhora da qualidade da areia recuperada, sendo:

Alteração do processo fenólico para furânico.

Objetivando eliminar completamente possíveis resíduos prejudiciais ao meio ambiente, alterou-se o processo de resina fenólica para resina furânica.

Essa alteração fez com que diminuísse a concentração de impurezas na superfície do grão de areia, em função da resina furânica ser mais fácil para desmoldar e também se soltar mais facilmente dos grãos de areia após atritagem (facilitando a recuperação da areia). Atualmente no sistema de areia é empregado 95% de areia recuperada, sendo o complemento (5%) com areia nova (anteriormente ao desenvolvimento deste trabalho empregava-se 20% de areia nova).

Alteração no sistema de recuperação de areia.

- a) Colocou-se em funcionamento um equipamento atritador de torrões de areia denominado “ moinho martelo”, fazendo com que os grãos de areia ficassem mais limpos, seguido de um bom sistema de exaustão;
- b) O processo de peneiramento do sistema de recuperação de areia anteriormente existente, era praticamente o mesmo da **figura 21** com a diferença de possuir apenas uma peneira que permitia a passagem das impurezas.
- c) Acrescentou-se mais peneiras classificatórias de malha mais fina, para retirada de impurezas da areia recuperada, conforme **figura 21**:

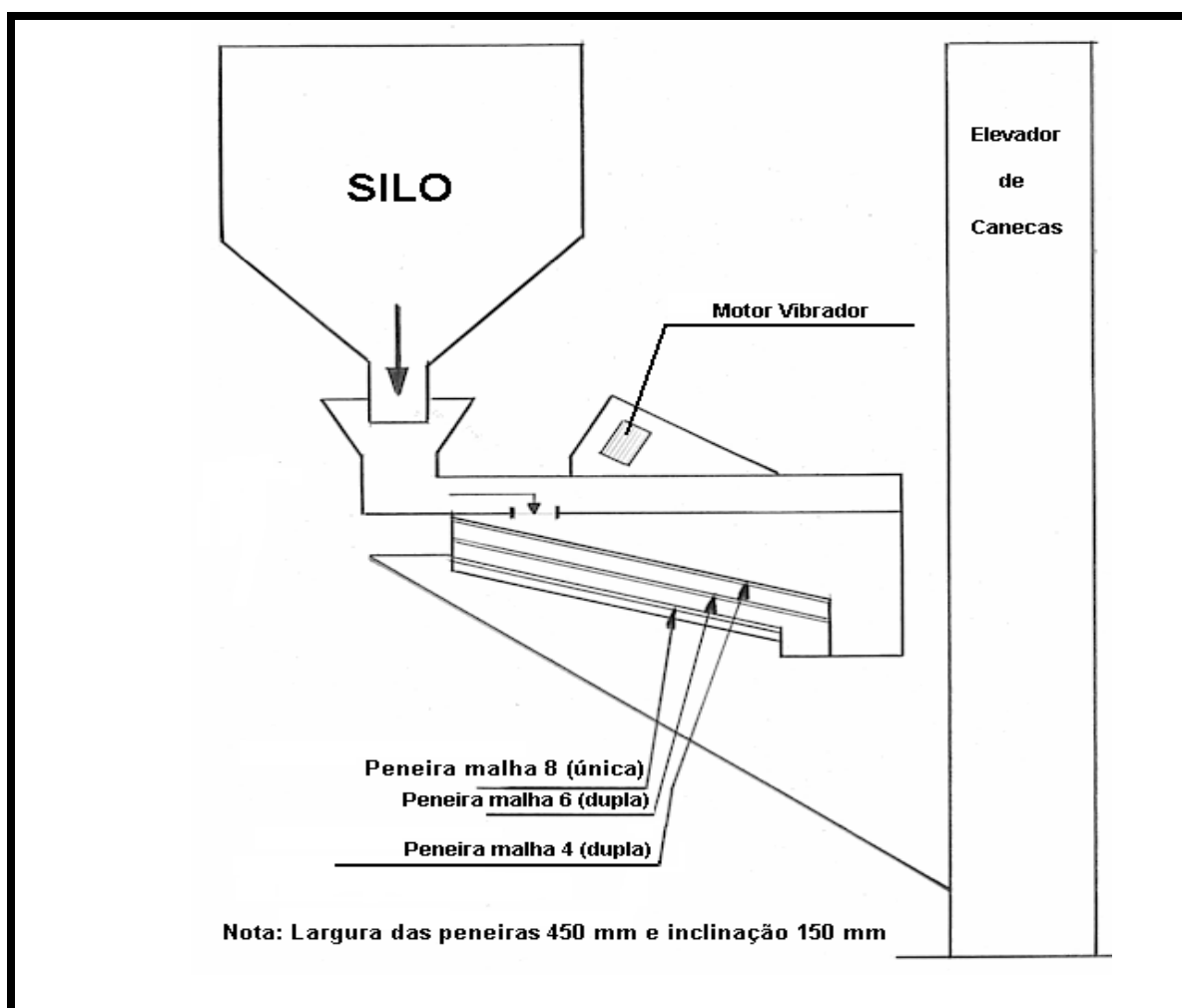


Figura 21 – Peneira vibratória para retirada de impurezas do sistema de recuperação de areia cura a frio (furânico).

5.3. MINIMIZAÇÃO DE AREIA NOS MOLDES E MACHOS.

Intensificou-se a aplicação do conceito de minimização de areia na confecção de moldes e machos.

A característica de perda ao fogo da areia recuperada melhora à medida em que se diminui a relação metal/areia, isto é, quanto menor o volume de areia utilizado para fazer peças com peso cada vez maior (conforme referência orientativa em função da experiência da empresa estudada apresentada na **figura 22**):

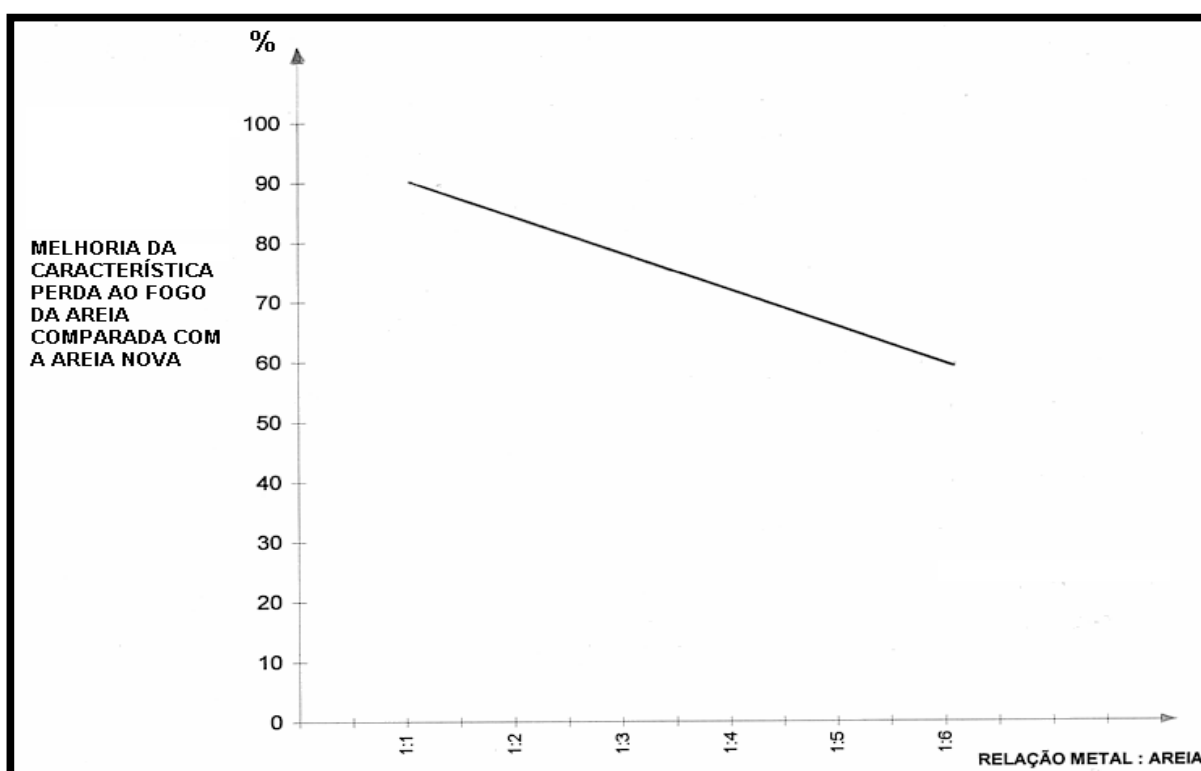


Figura 22 – Melhoria da característica de perda ao fogo da areia, comparada com a areia nova.

A razão principal da melhoria nas características da areia recuperada é a melhor queima (praticamente uma recuperação térmica) da areia que está no

contorno da peça, volatilizando os materiais orgânicos dos aglomerantes dos machos e moldes.

A qualidade da areia a ser recuperada, portanto, é melhor à medida em que o volume de areia envolvendo a peça fundida é reduzida (vide espessura de areia orientativa no **tópico 5.3.1**). Isto quer dizer que os aglomerantes da mistura da areia volatilizam em função da temperatura do metal empregado para preencher a cavidade do molde, conseqüentemente reduzindo a perda ao fogo da areia (menor geração de gases).

5.3.1. Moldagem pelo processo cura a frio (furânico).

Medidas para redução da relação metal/areia.

Para o sistema de moldagem cura a frio, segue-se algumas diretrizes básicas, procurando obter a relação metal areia o mais baixo possível, objetivando uma areia recuperada de melhor qualidade:

Espessuras de areia orientativa.

Para um sistema de moldagem cura a frio furânico ou fenólico com as seguintes composições da mistura:

- a) Areia nova com módulo de finura 45/50 AFS = 5%
- b) Areia recuperada com módulo de finura 45/50 AFS = 95%
- c) Resina = 1,0%
- d) Catalisador Paratolueno Sulfônico (APTS) = 30% em peso sobre a resina

Recomenda-se obedecer as dimensões máximas de areia do molde conforme **figura 23 e quadro 15** para moldagem cura a frio:

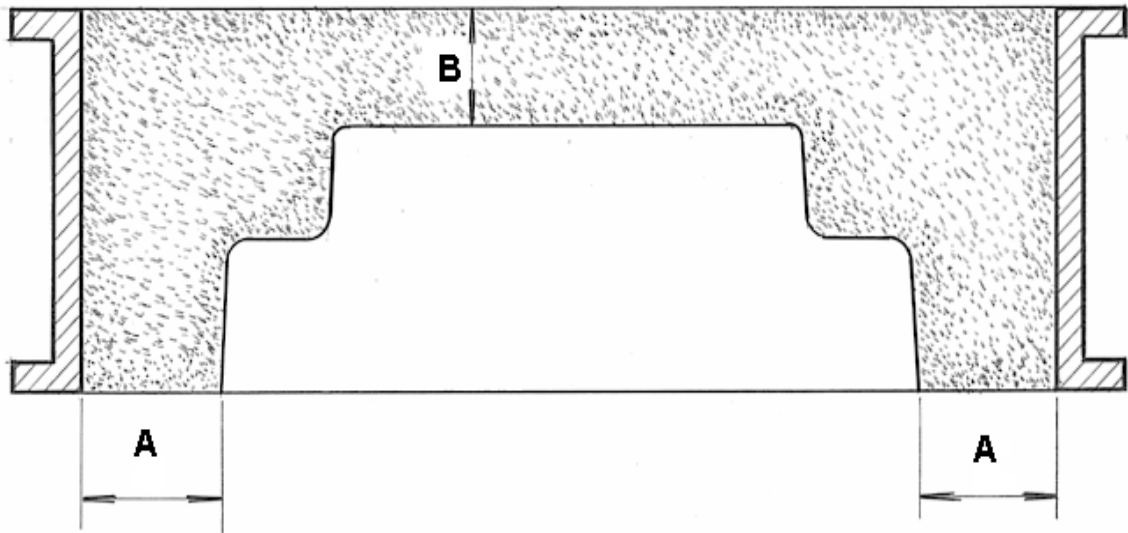


Figura 23 - Dimensões num sistema de moldagem cura a frio (máximas).

Quadro 15 – Dimensões orientativas do molde para uma boa relação Metal/Areia.

| PESO DA PEÇA (kg) | ESPESSURA MÁXIMA DE AREIA (mm) | |
|----------------------|--------------------------------|-----|
| | A | B |
| até 300 | 80 | 100 |
| 301 – 1000 | 120 | 150 |
| 1001 - 3000 | 200 | 250 |
| 3001 - 7000 | 300 | 350 |
| 7001- 10000 | 360 | 430 |
| 10001 - 20000 | 420 | 500 |

Emprego de caixas de moldagem anatômicas para economizar areia.

Para obter-se uma boa qualidade da areia após o vazamento das peças nos moldes, conforme citado anteriormente, necessita-se que o volume de areia, principalmente nos sistemas de cura a frio, seja o menor possível.

Desta forma, projetou-se caixas anatômicas conforme **figuras 24 e 25**, ou seja, caixas de moldagem que são facilmente montadas variando-se os tamanhos, para peças de diversas dimensões, empregando o menor volume de areia possível sem comprometer a segurança no ato do vazamento do metal líquido.

O emprego desta técnica, auxiliou muito a redução do volume de areia utilizada, possibilitando também a redução no emprego de resina e catalisador.



Figura 24 – Caixa anatômica desmontada.



Figura 25 – Caixa anatômica montada com parafusos

Com a implantação das medidas anteriormente citadas foram obtidos os seguintes benefícios:

- Melhoria significativa na qualidade da areia recuperada, verificado através de ensaios de laboratório;
- Redução do teor de perda ao fogo (em torno de 15% em média);
- Redução no teor de resina e catalisador utilizado na moldagem e macharia do sistema produtivo (em torno de 15%);
- Redução da adição de areia nova na areia recuperada.

Redução considerável do descarte de areia recuperada em função da redução da adição de areia nova, conforme **quadro 28** na **página 122**.

5.4. REUTILIZAÇÃO DA AREIA DE DESCARTE EM DIFERENTES PROCESSOS DE MACHARIA.

Para o sistema de macharia em *Cold Box*.

Para a minimização do descarte pesquisou-se a utilização de areia a verde (sintética) recuperada e também a areia cura a frio (furânica) recuperada, na confecção de machos, empregando o processo *cold box*. Ambas as areias foram recuperadas mecanicamente.

Um conceito importante que deve ser colocado é que os machos devem ter resistência suficiente para produzir peças de boa qualidade visual e dimensional, e não ter uma resistência exagerada, necessária em função da armazenagem e transporte deficientes. Estas deficiências, se existirem, precisam ser sanadas.

No processo de macharia da empresa analisada, até então, os machos eram confeccionados empregando 100% de areia nova. Para constatação da eficácia do experimento, realizou-se duas séries distintas de experiências visando verificar as resistências da areia dos machos em corpos de prova e as dimensões das peças fundidas com a utilização dos machos com as areias experimentadas.

As experiências foram executados conforme descrito a seguir :

- Uso da areia a verde (sintética) de descarte na fabricação de machos no processo *cold box*.
- Uso da areia cura a frio (furânico) de descarte na fabricação de machos no processo *cold box*.

5.4.1. Experiências na fabricação de machos pelo processo *cold box* que

são empregados para a fabricação de peças na linha de moldagem areia a verde (sintética).

METODOLOGIA DO ENSAIO

Experiência 1 - 100% de areia nova com granulometria (60/70 AFS).

1a - 50% de areia nova com granulometria (60/70 AFS) e 50% de areia a verde (sintética) recuperada também com granulometria (60/70 AFS).

Obs: 1. A opção de trabalhar com 50% de areia recuperada foi em função de inúmeras experiências com variações de 10, 20, 30, 40 e 50% apresentarem bons resultados.

2. Na **figura 26** observa-se os machos produzidos pelo processo *cold box* com 100% de areia nova (à esquerda na foto) e com a mistura de 50% de areia nova e 50% de areia recuperada (à direita na foto).



Figura 26 – Machos confeccionados pelo processo cold box com areia nova e com areia a verde (sintética) recuperada.

Os experimentos descritos neste ítem foram executados de acordo com o seguinte roteiro:

- Recuperação mecânica da areia a verde (sintética).
- Mistura da areia a verde (sintética) recuperada com a areia nova.
- Preparo das misturas de areias com aglomerantes.
- Confeção dos corpos de prova.
- Ensaio de resistência a tração dos corpos de prova.
- Confeção dos machos das peças.
- Confeção dos moldes.
- Vazamento das peças.
- Análise dimensional das peças.
- Conclusão.

Recuperação mecânica da areia a verde (sintética).

Após a desmoldagem das peças, a areia a verde (sintética) ao retornar para a recuperação passa por um eletroimã (para a retirada de partículas metálicas), peneira poligonal, sistema de resfriamento e recuperação, através de um sistema de leito fluído onde entra água e ar. Para a execução das experiências, desligou-se os dosadores de água para que a areia ficasse com o mínimo de umidade possível (máx. 0,2%), e retirado os finos (máx. 0,6%).

Mistura da areia a verde (sintética) recuperada com a areia nova.

As areias foram introduzidas simultaneamente em vasos propulsores em tempos iguais para que se mantivesse uma boa homogeneização. Após o enchimento do vaso propulsor, a areia foi enviada automaticamente por tubulação

até os silos da macharia. Os silos da macharia são dotados de filtros para retirada dos finos da areia que se formam durante o transporte.

Preparo das misturas de areia com aglomerantes.

Para a mistura das areias já pré misturadas (processo anteriormente descrito) com os aglomerantes (resinas parte I e II, mais catalisador), foram empregados misturadores contínuos com controle preciso da vazão dos aglomerantes.

Nos testes foram empregados as seguintes porcentagens de aglomerantes:

- resina *cold box* - parte I = 0,65%
- resina *cold box* - parte II = 0,55%
- catalisador (trietilamina) = 5,0%

Realizou-se um total de 20 misturas (misturas de 1 a 20), utilizando 100% de areia nova, sendo que de cada mistura foram gerados 4 corpos de prova (**experiência 1**).

Realizou-se também um total de 20 misturas (misturas de 21 a 40) utilizando 50% de areia nova e 50 % de areia a verde recuperada, sendo também em cada mistura gerado 4 corpos de prova (**experiência 1a**).

Confecção dos corpos de prova.

Os corpos de prova para os ensaios de resistência a tração foram moldados em caixas de macho padrão, conforme **figura 19**, usualmente empregadas nos ensaios de resistência para areia de machos de fundição (cura a frio). Foram confeccionados um total de 80 corpos de prova, a partir de 20 misturas diferentes (4 corpos de prova para cada mistura), com variação de tempo de cura

(endurecimento do corpo de prova) com 1h, 2h, 24h e 48 h.

Ensaio de resistência a tração dos corpos de prova.

Realizou-se os ensaios e verificado os resultados das medidas das resistências a tração (conforme recomendação – CEMP 190) dos 20 corpos de prova (variando tempos de cura em 1, 2, 24 e 48 horas) confeccionado nas fases de experiências nos meses de maio, junho, julho e agosto, e apresentados na **figura 27** (experiência 1).

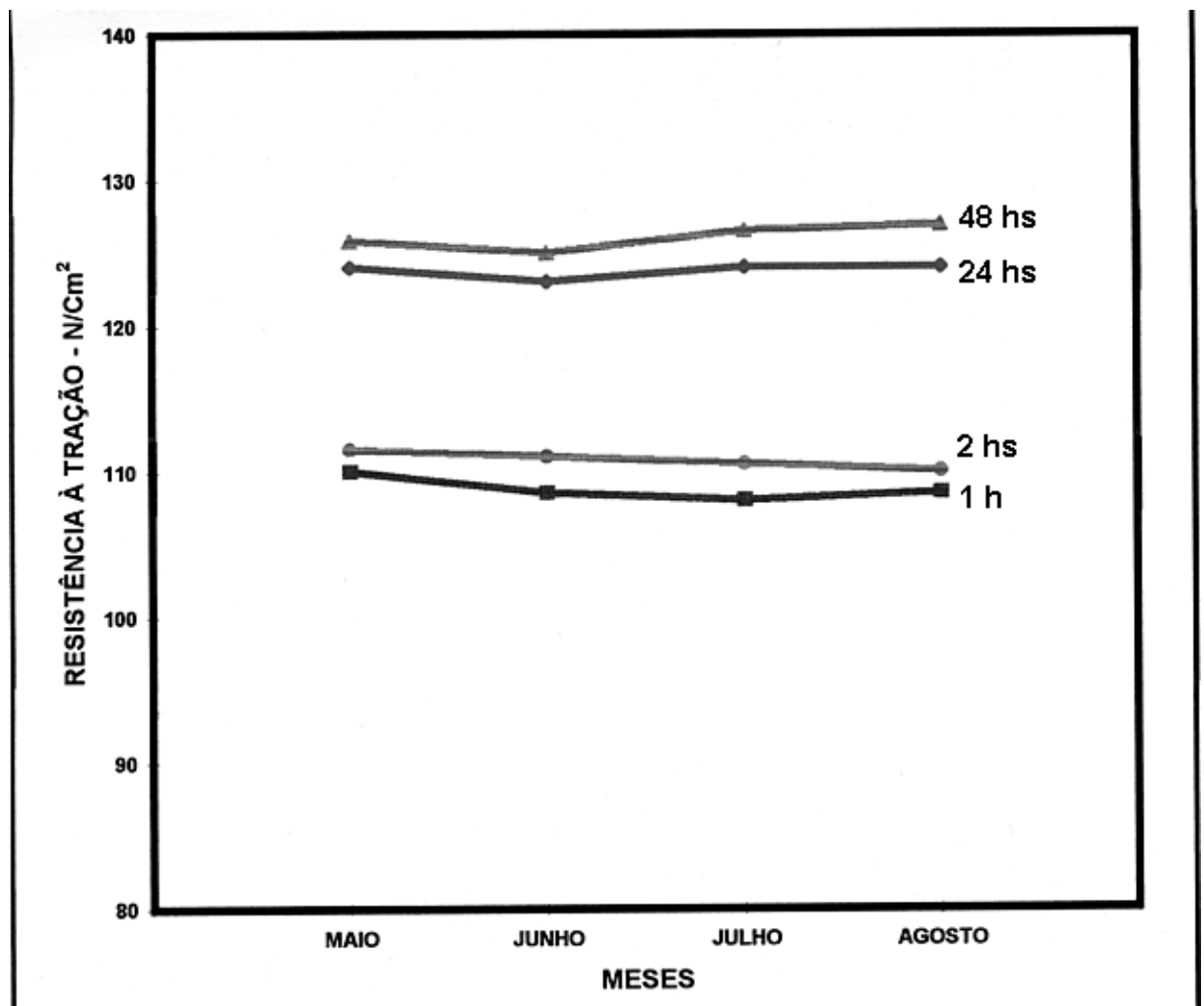


Figura 27 - Resistência à tração dos corpos de prova das misturas com 100% de areia nova - misturas de 1 a 20.

Realizou-se os ensaios iguais ao item 5.4.1. para as misturas com 50% de areia nova e 50% de areia a verde (sintética) recuperada (**experiência 1a**) e os resultados estão apresentados na **figura 28**.

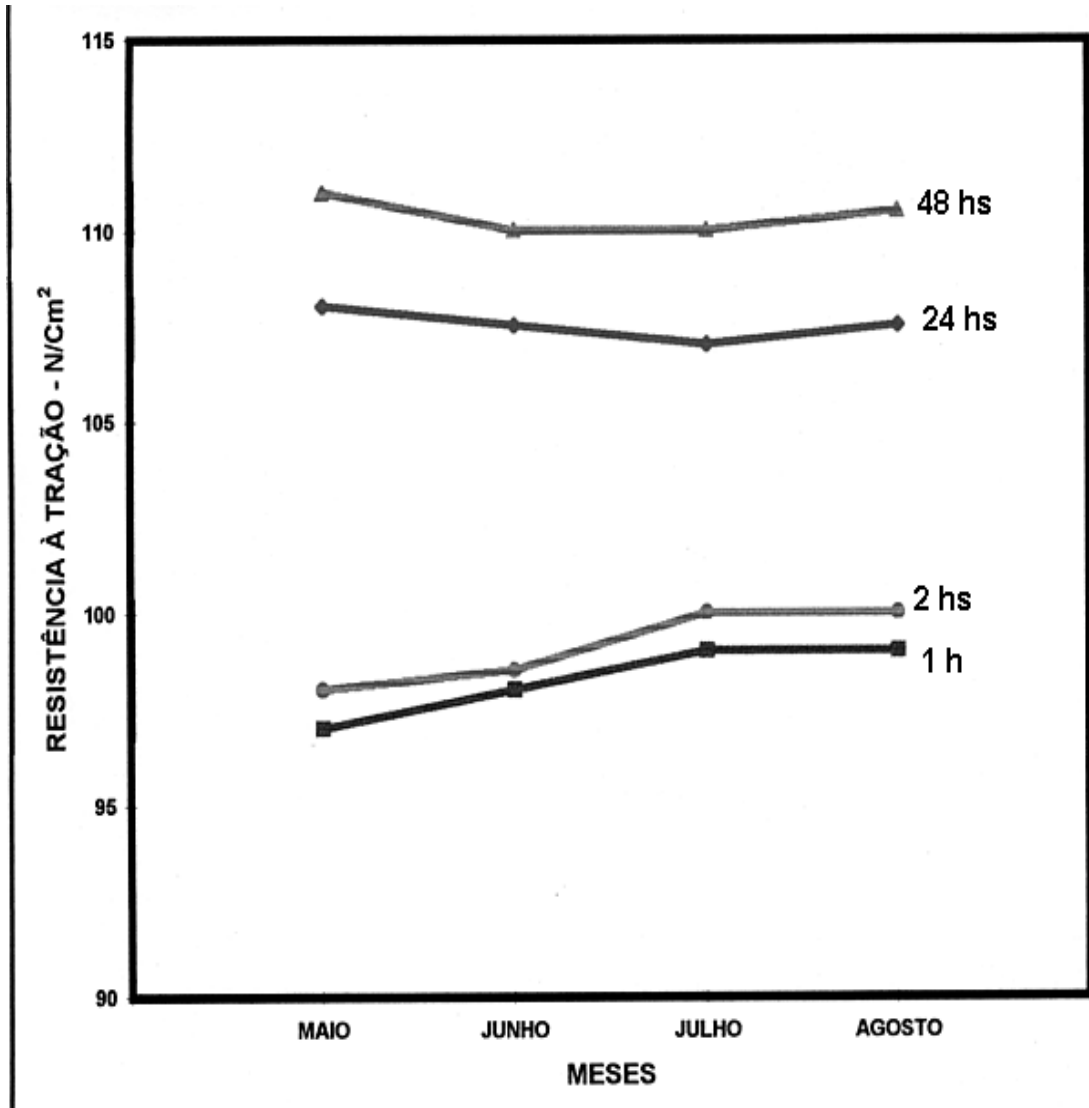


Figura 28 - Resistência à tração dos corpos de prova das misturas com 50% areia nova + 50% areia recuperada - misturas de 21 a 40.

Comparou-se os resultados de resistência à tração das misturas de areia (**mistura 1 X mistura 1a**), com os diferentes tempos de cura (horas) dos corpos de prova e os resultados estão apresentados no **quadro 16**.

Quadro 16 - Resumo das resistências a tração (N/cm²) – areia a verde (sintética)

| Tempo de Cura (horas) | Nº de Amos tras | Mistura com 100% de areia nova mistura de 1 a 20 Experiência 1 (média) N/cm ² | Mistura com 50% de areia nova e 50% recuperada mistura de 21 a 40 experiência 1 a (média) N/cm ² | Especificação (mínimo) N/cm ² |
|-----------------------|-----------------|--|---|---|
| 1 | 20 | 109,70 ± 4,62 | 99,00 ± 5,29 | 80,00 |
| 2 | 20 | 110,25 ± 4,03 | 99,00 ± 4,90 | 85,00 |
| 24 | 20 | 123,34 ± 2,82 | 109,13 ± 4,49 | 100,00 |
| 48 | 20 | 125,45 ± 4,16 | 109,35 ± 3,76 | 105,00 |

Verifica-se nos resultados obtidos das resistências à tração (N/cm²) que com o emprego das areias misturadas (50% de areia nova + 50% de areia recuperada), os resultados são menores comparados com a de 100% de areia nova, mas não comprometem a qualidade dos machos, pois apresentam resistências superiores as mínimas especificadas, possibilitando assim, a obtenção de peças de boa qualidade.

É importante ressaltar que os machos precisam ter resistência para suportar o manuseio durante a sua retirada da caixa de macho, pintura, transporte e colocação no molde.

Além disso, os machos devem ter resistência suficiente para não se quebrar durante o vazamento com metal líquido e processo de solidificação da peça.

Os tempos de cura empregados nos corpos de prova (1, 2, 24 e 48 h) são padronizados para representar as resistências da areia dos machos em sua utilização prática.

Confecção dos machos das peças.

Com as mesmas misturas empregadas para os corpos de prova, confeccionou-se 20 machos de acordo com a experiência 1 (amostra de 1 a 20) e mais 20 machos de acordo com a experiência 1a (mistura de 21 a 40). A peça produzida foi uma caixa de transmissão de indústria automobilística.

Confecção dos moldes.

Confeccionou-se 20 moldes em areia a verde da peça empregada para a realização da experiência e preparados para o vazamento com metal líquido.

Vazamento das peças.

Vazou-se as peças com metal líquido com faixa de temperatura de vazamento entre 1370-1400 °C e após o resfriamento, seguiu-se a desmoldagem, limpeza com jato de granalhas, rebarbação, pintura e inspeção.

Análise dimensional das peças.

Realizou-se análise dimensional das dimensões mais significativas (cota A e cota B) conforme **figura 29**, para fins comparativos entre a **experiência 1** (100% de areia nova) e a **experiência 1a** (50% de areia nova e 50% de areia verde - sintética recuperada) **figuras 30, 31, 32 e 33** e também realizado inspeção visual das peças para a detecção de possíveis defeitos.

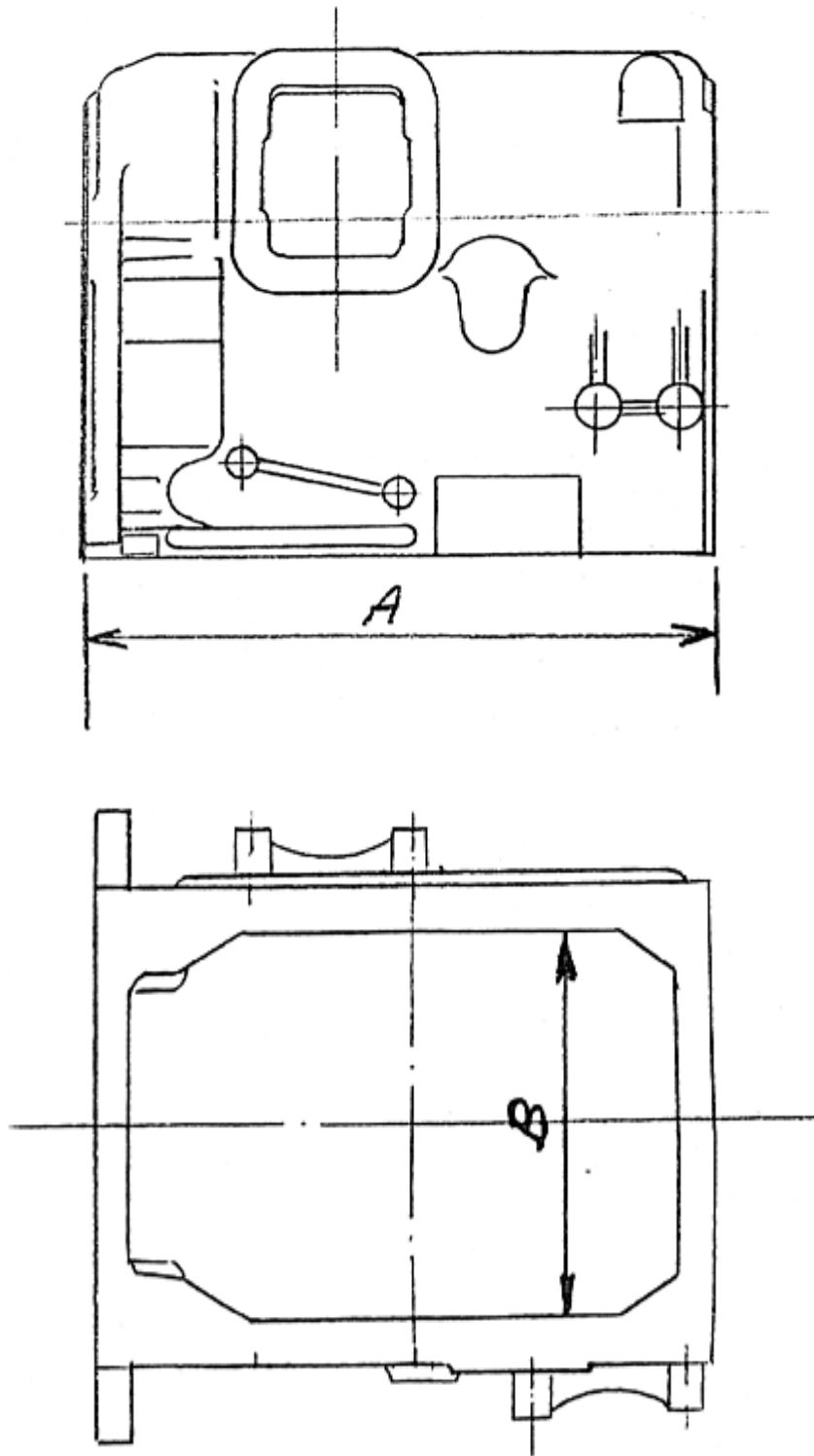


Figura 29 - Peça empregada para a realização das experiências e analisada a estabilidade dimensional – Moldada no processo areia a verde (sintética) e empregado macho confeccionado no processo cold box.

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota A para o processo **experiência 1** (100% de areia nova) e as medidas lançadas no gráfico na **figura 30**.

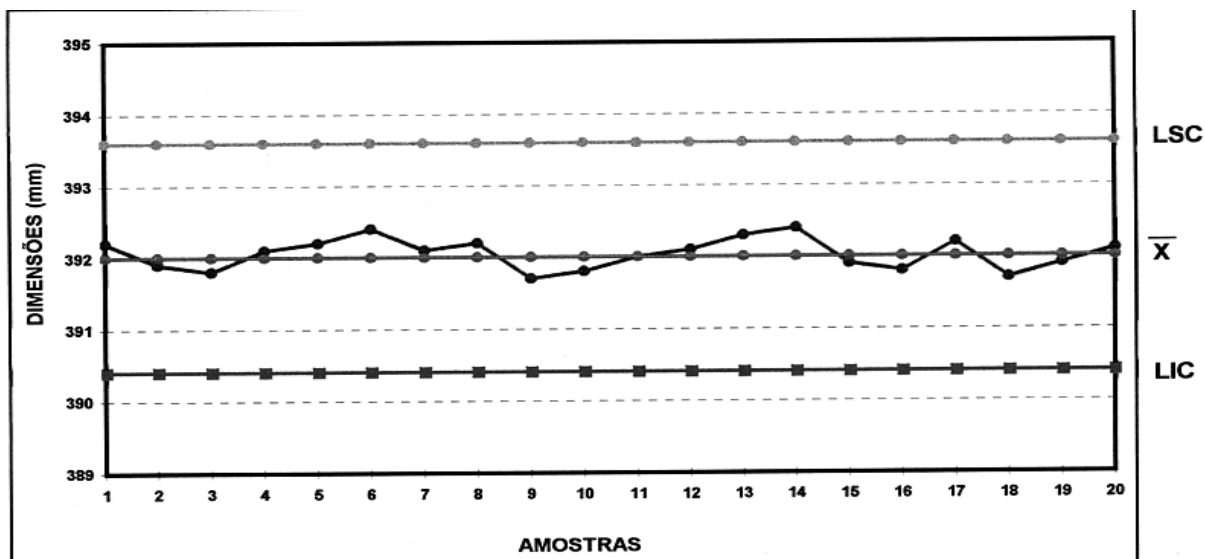


Figura 30 - Dimensões da cota A das peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova

| | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC - Limite Inferior de Controle | LSC - Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 392,000 mm ± 1,6 mm | | |

Quadro 17 - Dados dimensionais estatísticos – cota A – 100% de areia nova

| | |
|---------------------------|---------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 391,300 |
| Máximo encontrado | 392,800 |
| Média (\bar{x}) | 392,105 |
| Mediana | 392,150 |
| Kurtosis | 1,798 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 1,473 |
| Capabilidade (8 sigmas) | 1,105 |
| CPK | 1,407 |
| Cpk (d2) | 1,391 |

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota A para o processo **experiência 1a** (50% de areia nova mais 50% de areia a verde (sintética) recuperada) e as medidas lançadas no gráfico da **figura 31**.

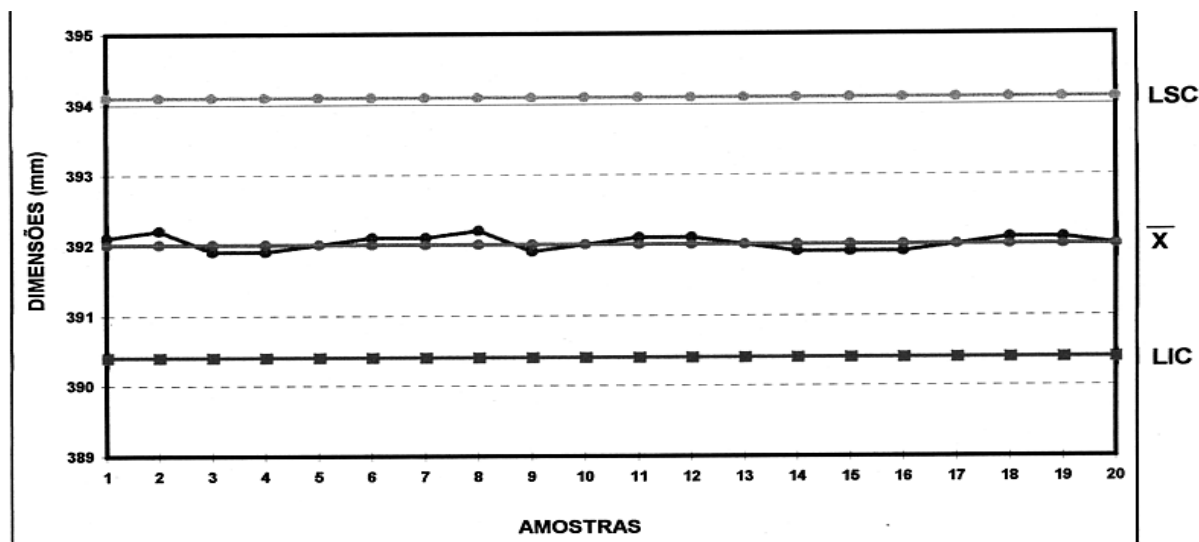


Figura 31 - Dimensões da cota A das peças produzidas com machos no processo cold box com 50% de areia nova + 50% areia recuperada (areia a verde).

| | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC - Limite Inferior de Controle | LSC - Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 392,000 mm ± 1,6 mm | | |

Quadro 18 - Dados dimensionais estatísticos – cota A – 50% de areia nova + 50% areia recuperada (areia a verde)

| | |
|---------------------------|---------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 391,700 |
| Máximo encontrado | 392,400 |
| Média (\bar{x}) | 392,025 |
| Mediana | 392,000 |
| Kurtosis | 1,736 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 6,866 |
| Capabilidade (8 sigmas) | 5,149 |
| CPK | 6,294 |
| Cpk (d2) | 8,090 |

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota B para o processo **experiência 1** (100% de areia nova) e as medidas lançadas no gráfico da **figura 32**.

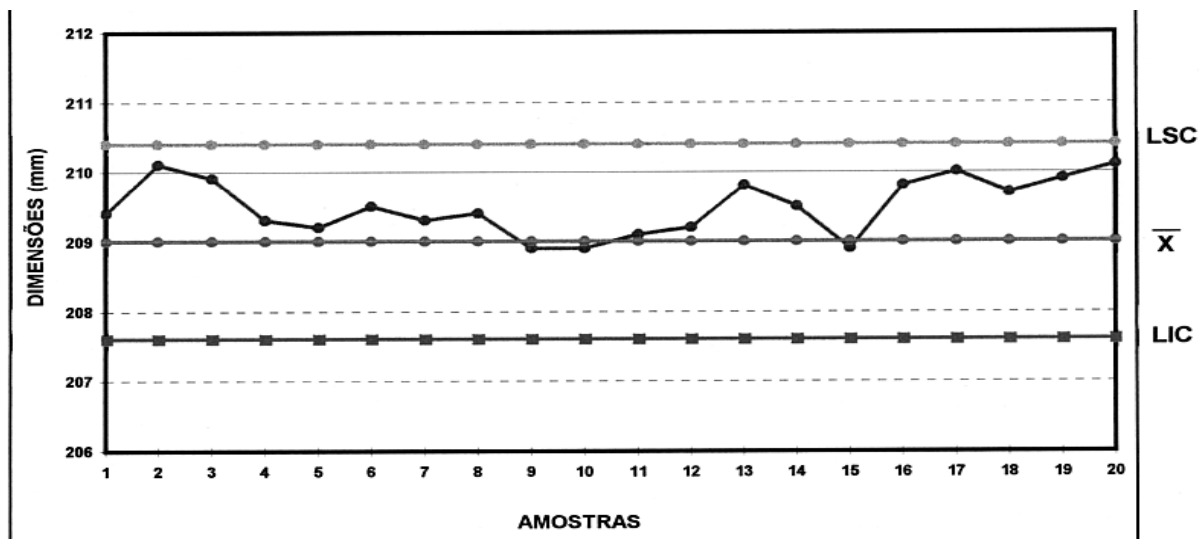


Figura 32 - Dimensões da cota B as peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova

| | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC - Limite Inferior de Controle | LSC - Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 209,000 mm ± 1,4 mm | | |

Quadro 19 - Dados dimensionais estatísticos – cota B – 100% de areia nova

| | |
|---------------------------|---------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 208,900 |
| Máximo encontrado | 210,100 |
| Média (\bar{x}) | 209,535 |
| Mediana | 209,800 |
| Kurtosis | 2,362 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 1,437 |
| Capabilidade (8 sigmas) | 1,078 |
| CPK | 1,345 |

| | |
|-----------------|--------------|
| Cpk (d2) | 1,509 |
|-----------------|--------------|

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota B para o processo **experiência 1a** (50% de areia nova mais 50% de areia a verde (sintética) recuperada) e as medidas lançadas no gráfico da **figura 33**.

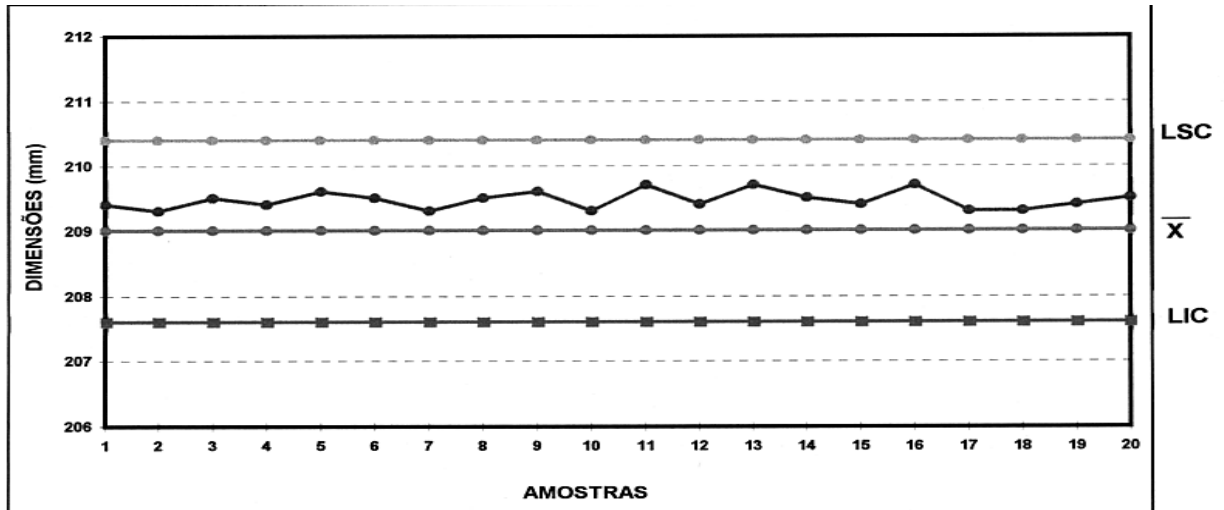


Figura 33 - Dimensões da cota B das peças produzidas com machos no processo cold box com 50% de areia nova + 50% areia recuperada (areia a verde).

| | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC - Limite Inferior de Controle | LSC - Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 209,000 mm ± 1,4 mm | | |

Quadro 20 - Dados dimensionais estatísticos – cota B – 50% de areia nova + 50% areia recuperada (areia a verde)

| | |
|-------------------------------------|----------------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 208,900 |
| Máximo encontrado | 210,100 |
| Média (\bar{x}) | 209,465 |
| Mediana | 209,450 |
| Kurtosis | 1,937 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 5,047 |
| Capabilidade (8 sigmas) | 3,785 |
| CPK | 4,891 |

| | |
|-----------------|--------------|
| Cpk (d2) | 3,929 |
|-----------------|--------------|

Conclusão.

Pode-se verificar através dos resultados obtidos dos corpos de prova nos ensaios de resistência à tração, que com a adição da areia recuperada, há uma pequena queda nos resultados, mas mesmo assim continuam acima dos limites mínimos especificados, não comprometendo em nada a qualidade dos machos.

No aspecto dimensional verifica-se uma melhor estabilidade no processo **experiência 1a** (50% de areia nova e 50% de areia a verde sintética recuperada) pois o CPK do levantamento das medidas da cota A foi de **6,294**, e o da cota B= **4,891**, enquanto que no processo **experiência 1** (100% de areia nova) o CPK da cota A foi de **1,407** e na cota B= **1,345**.

Obs: O CPK é uma relação que fornece simultaneamente informações da capacidade do processo e de sua centragem (variação) em relação a dimensão nominal.

Concluiu-se que a melhora da estabilidade dimensional é em função da colapsibilidade da areia recuperada ser mais constante quando comparada com a areia nova em função da expansão da sílica.

Os problemas de veimento que sempre existiram na maioria das peças fabricadas em ferro fundido em função do emprego da areia nova nos machos, foram totalmente eliminados com a utilização da areia recuperada, ganhando-se muito tempo nas fases de jateamento e rebarbação das peças.

Quanto à inspeção visual das peças não foram encontradas quaisquer anormalidades, sendo então classificados dentro dos padrões normais de qualidade requerida.

5.4.2. Experiências na fabricação de machos pelo processo cold box que são empregados para a fabricação de peças na linha de moldagem com cura a frio (furânica).

METODOLOGIA DE ENSAIO

Experiência 2 - 100% de areia nova com granulometria (45/50 AFS).

2a 10% de areia nova com granulometria (45/50 AFS) e 90% de areia cura a frio (furânica) recuperada, também com granulometria (45/50 AFS).

Obs: 1. A opção de trabalhar com 90% de areia recuperada foi em função de inúmeras experiências com variações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% apresentarem bons resultados.

2. Na **figura 34** observa-se os machos produzidos pelo processo *cold box* com 100% de areia nova (à esquerda na foto) e com a mistura de 10% de areia nova e 90% de areia recuperada (à direita na foto).



Figura 34 – Machos fabricados pelo processo cold box empregando 100% de areia nova (à esquerda na foto) e com 90% de areia recuperada

cura a frio (furânica) e 10% de areia nova (à direita na foto).

Os experimentos a serem descritos neste ítem foram executados de acordo com o seguinte roteiro:

- Recuperação mecânica da areia cura a frio (furânica).
- Mistura da areia cura a frio (furânica) recuperada, com a areia nova.
- Preparo das misturas de areias com aglomerantes.
- Confeção dos corpos de prova.
- Ensaio de resistência à tração dos corpos de prova.
- Confeção dos machos das peças.
- Confeção dos moldes.
- Vazamento das peças.
- Análise dimensional das peças.
- Conclusão.

Recuperação mecânica da areia cura a frio (furânica).

Após a desmoldagem das peças, a areia cura a frio ao retornar para a recuperação, passa por um eletroímã para retirada das partículas metálicas, peneira poligonal, sistema de classificação e decapagem dos grãos, exaustão, seguida de resfriamento através de serpentinas com água no interno. A areia passa por fora da tubulação e por condução se dá a troca de calor ocasionando o resfriamento.

Mistura da areia cura a frio (furânica) recuperada com a areia nova.

As areias foram introduzidas simultaneamente em vasos propulsores, em tempos iguais, para a manutenção da boa homogeneização. Após o enchimento do vaso propulsor, a mistura é enviada automaticamente por tubulação aérea até os silos da macharia. Os silos da macharia são dotados de filtros para retirada de finos da areia.

Preparo das misturas de areia com aglomerantes

Para a mistura das areias (já pré misturadas conforme processo descrito anteriormente) com os aglomerantes (resinas parte I e II, mais catalisador), foram empregados misturadores contínuos com controle preciso da vazão dos aglomerantes.

Nos testes, foram empregados as seguintes porcentagens de aglomerantes:

- resina cold box - parte I = 0,65%
- resina cold box - parte II = 0,55%
- catalisador (trietilamina) = 5,0%

Realizou-se um total de 20 misturas (misturas de 1 a 20), utilizando 100% de areia nova, sendo que para cada mistura foram gerados 4 corpos de prova (**experiência 2**).

Realizou-se também um total de 20 misturas (misturas de 21 a 40) utilizando 10% de areia nova e 90% de areia cura a frio (furânica) recuperada, sendo também gerados 4 corpos de prova para cada mistura (**experiência 2a**).

Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova para os ensaios de resistência à tração foram moldados em caixas de macho padrão, conforme **figura 19**, usualmente empregados nos ensaios de resistência para areia de machos de fundição (cura a frio).

Confeccionou-se um total de 80 corpos de prova, sendo que do total de 20 misturas diferentes gerou-se 4 corpos de prova para cada uma, com variação de tempo de cura (endurecimento do corpo de prova), com 1h, 2h, 24h e 48 h.

Ensaio de resistência à tração dos corpos de prova

Realizou-se os ensaios e verificado os resultados das medidas das resistências à tração (conforme recomendação CEMP-190) dos 20 corpos de prova

(variando tempos de cura em 1, 2, 24 e 48 horas) confeccionado nas fases de experiências nos meses de maio, junho, julho e agosto, e apresentados na **figura 35 (experiência 2)**.

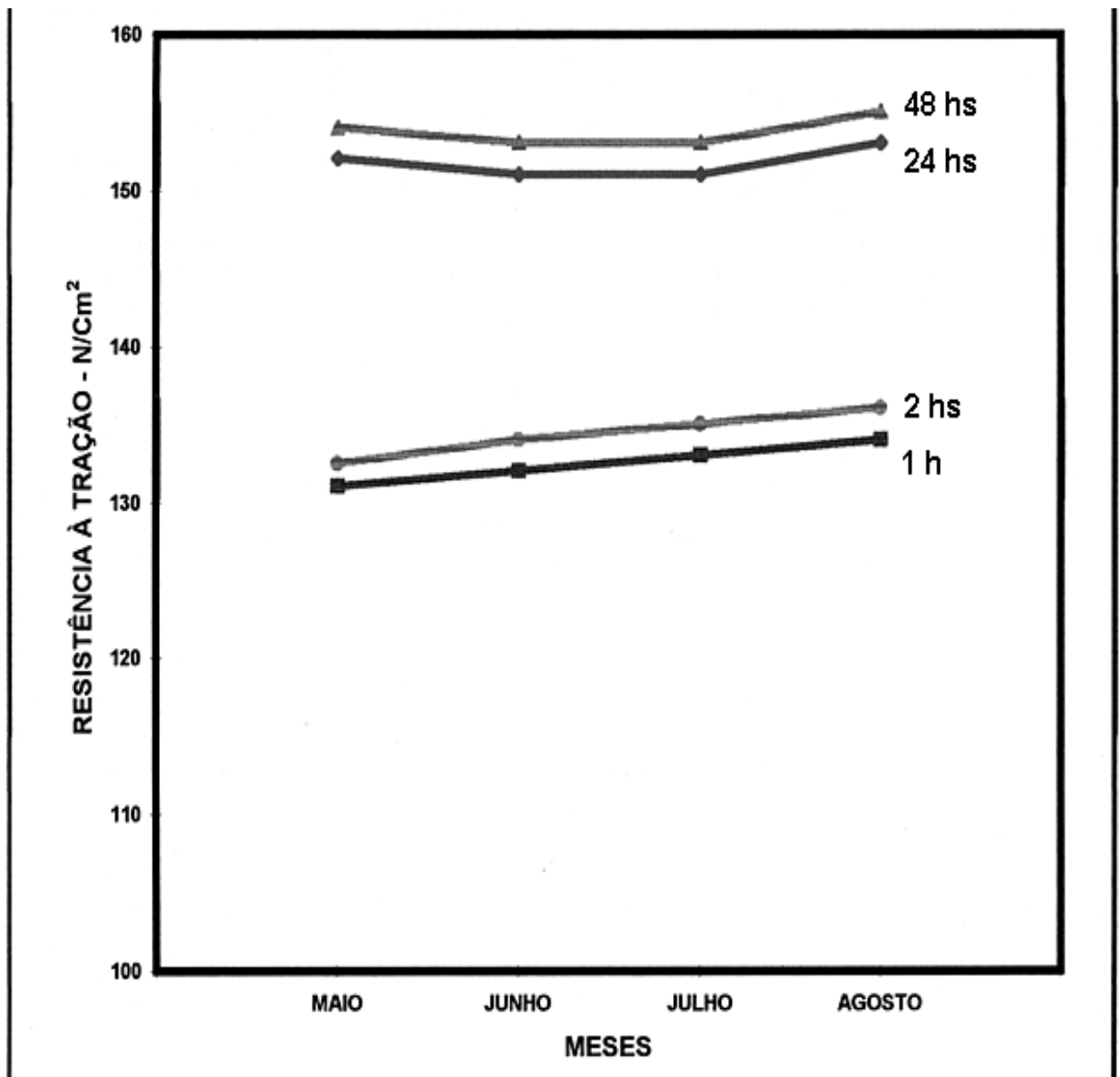


Figura 35 - Resistência à tração dos corpos de prova das misturas com 100% de areia nova - mistura 1 a 20 – (furânica)

Realizou-se os ensaios iguais ao item 5.4.2. para a mistura com 10% de areia nova e 90% de areia recuperada cura a frio (furânica) e verificado os resultados das medidas das resistências à tração (conforme recomendação CEMP-190) dos 20 corpos de prova (variando tempos de cura em 1, 2, 24 e 48 horas) confeccionado nas fases de experiências nos meses de maio, junho, julho e agosto, e apresentados na **figura 36 (experiência 2a)**.

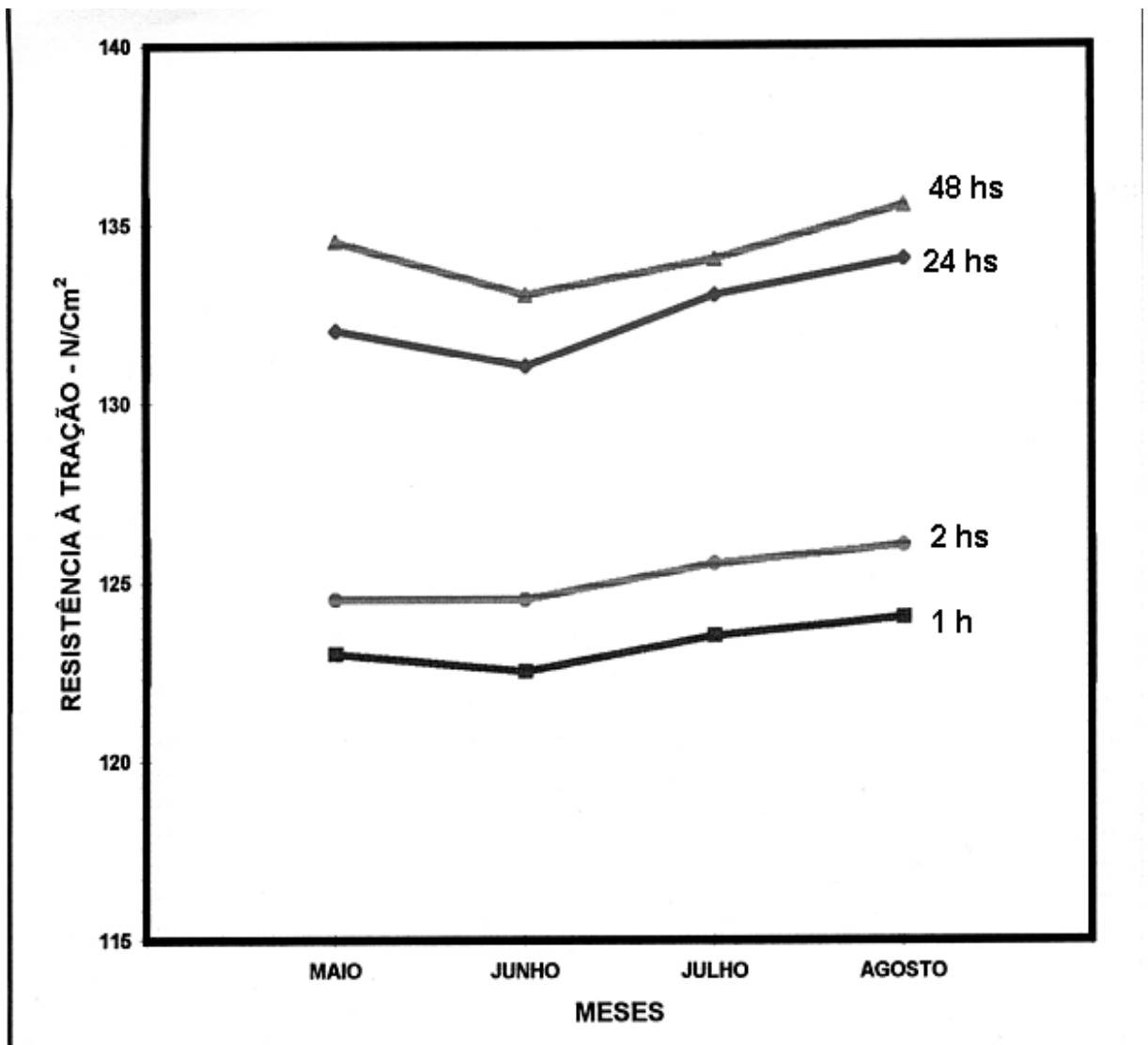


Figura 36 - Resistência à tração das médias dos corpos de prova nas misturas com 10% de areia nova + 90% de areia recuperada cura a frio (furânica) - misturas 21 a 40

Comparou-se os resultados de resistência à tração das misturas de areia (**mistura 2 X mistura 2a**), com os diferentes tempos de cura (horas) dos corpos de prova e os resultados estão apresentados no **quadro 21**.

Quadro 21 - Resumo das Resistências à tração (N/cm²) - furânica

| Tempo de cura (horas) | Nº de Amostras | Mistura com 100% De areia nova mistura de 1 a 20 experiência 2 (média) N/cm² | Mistura com 10% de areia nova e 90% recuperada mistura de 21 a 40 experiência 2a (média) N/cm² | Especificação (mínimo) N/cm² |
|------------------------------|-----------------------|--|--|--|
| 1 | 20 | 133,32 ± 4,19 | 122,43 ± 3,14 | 100,00 |
| 2 | 20 | 133,42 ± 4,03 | 123,39 ± 3,09 | 105,00 |
| 24 | 20 | 152,08 ± 2,82 | 132,99 ± 3,75 | 120,00 |
| 48 | 20 | 151,58 ± 4,16 | 132,07 ± 4,22 | 125,00 |

Confecção dos machos das peças.

Com as mesmas misturas empregadas para os corpos de prova confeccionou-se 20 machos de acordo com a **experiência 2** (amostra de 1 a 20) e 20 machos de acordo com a **experiência 2a** (mistura de 21 a 40). A peça produzida foi um cabeçote de máquina ferramenta (torno).

Confecção dos moldes.

Confeccionou-se 20 moldes em areia cura a frio (furânico) da peça empregada para a realização das experiências e preparados para o vazamento com metal líquido.

Vazamento das peças.

Vazou-se as peças com metal líquido com faixa de temperatura do vazamento entre 1360-1390 °C e após o resfriamento seguiu-se a desmoldagem, limpeza com jato de granalhas, rebarbação, pintura e inspeção.

Análise dimensional das peças.

Realizou-se análise dimensional das dimensões mais significativas (cota A, cota B e cota C) conforme **figura 37**, para fins comparativos entre a **experiência 2** (100% de areia nova) e a **experiência 2a** (10% de areia nova e 90% de areia cura a frio (furânica) recuperada) **figuras 38, 39, 40, 41, 42 e 43**, realizado também uma inspeção visual das peças para a detecção de possíveis defeitos.

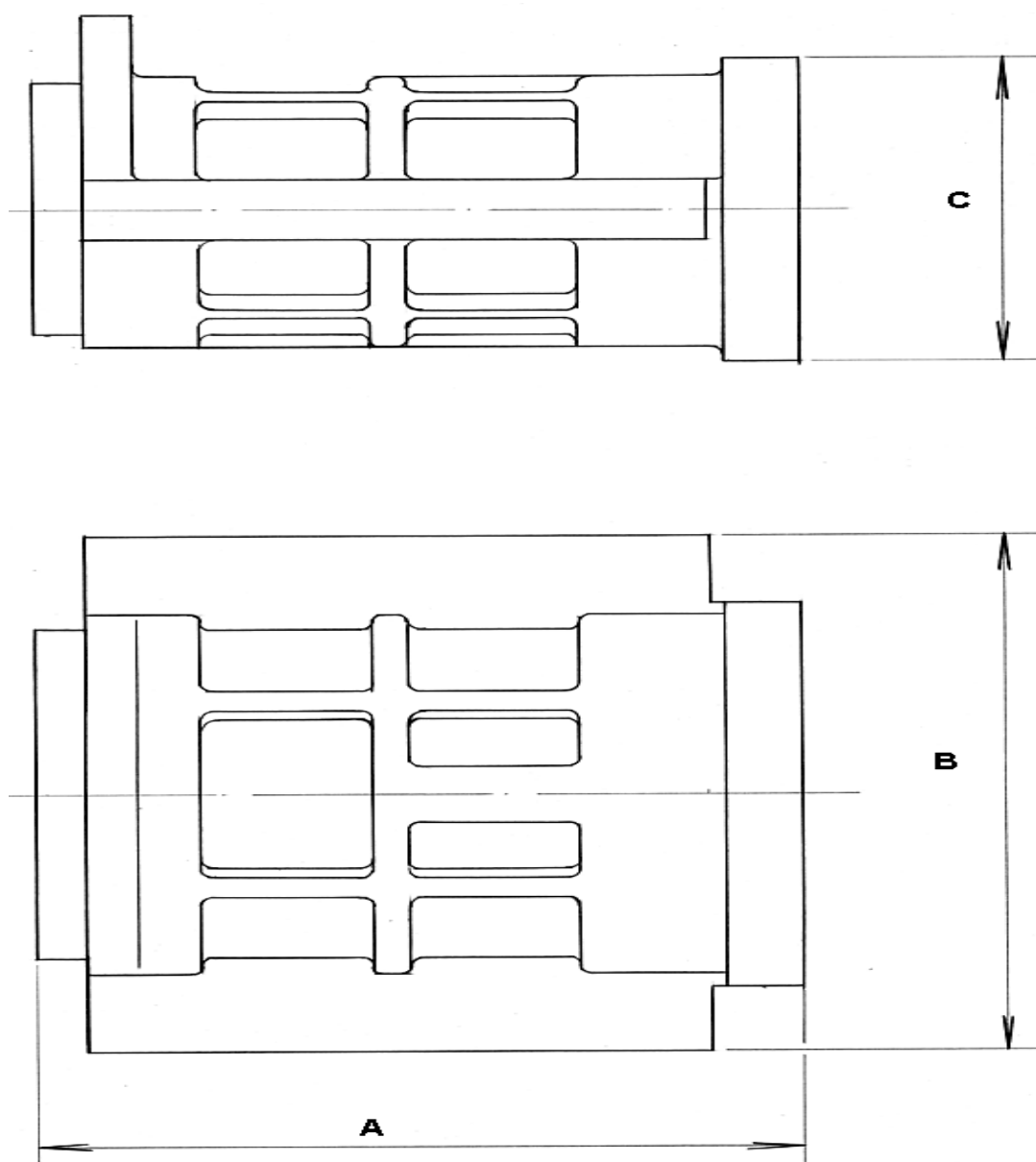


Figura 37 - Peça empregada para a realização das experiências e analisada a

estabilidade dimensional empregando-se o macho confeccionado no processo cold box.

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota A para o processo **experiência 2** - 100% de areia nova e as medidas lançadas no gráfico da **figura 38**.

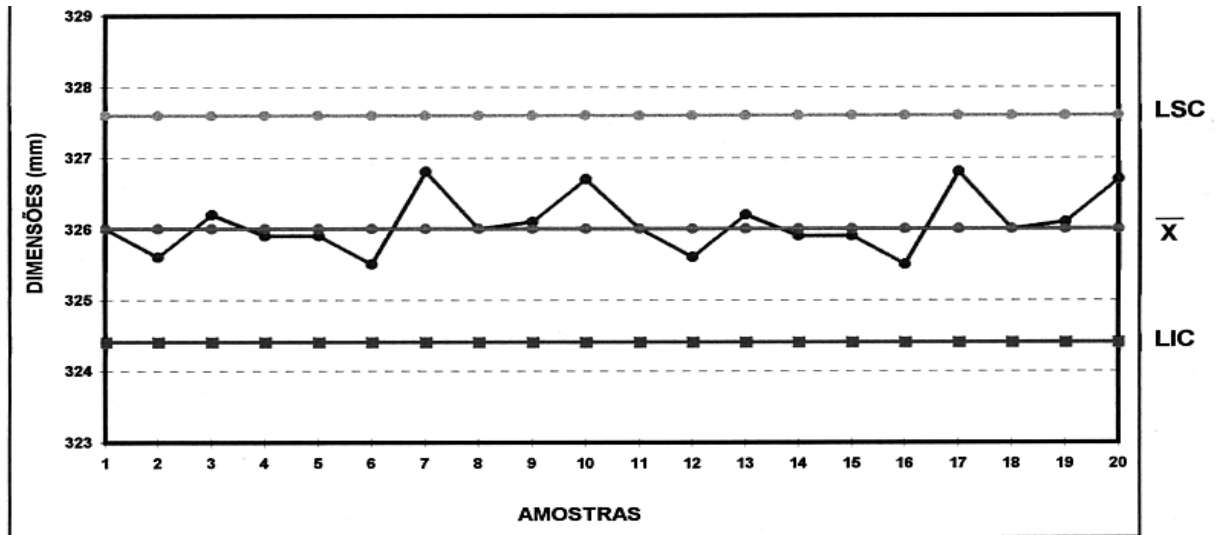


Figura 38 - Dimensões da cota A das peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova cura a frio (furânica)

| | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC – Limite Inferior de Controle | LSC – Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 326,000 mm ± 1,6 mm | | |

Quadro 22 - Dados dimensionais estatísticos – cota A – 100% de areia nova

| | |
|---------------------------|---------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 325,500 |
| Máximo encontrado | 326,800 |
| Média (\bar{x}) | 326,090 |
| Mediana | 326,000 |
| Kurtosis | 2,461 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 1,731 |
| Capabilidade (8 sigmas) | 1,298 |
| CPK | 1,653 |

| | |
|----------|-------|
| Cpk (d2) | 1,407 |
|----------|-------|

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota A para o processo **experiência 2a** - 10% de areia nova mais 90% de areia cura a frio (furânica) recuperada e as medidas lançadas no gráfico da **figura 39**.

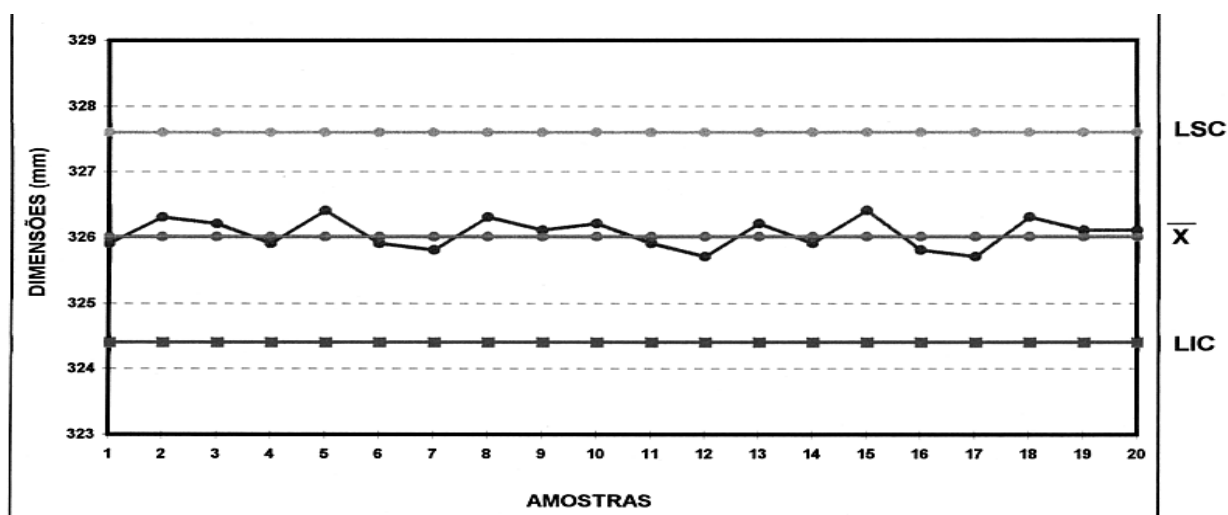


Figura 39 - Dimensões da cota A das peças produzidas com machos no processo cold box com 10% de areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica)

| | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC – Limite Inferior de Controle | LSC – Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 326,000 mm ± 1,6 mm | | |

Quadro 23 - Dados dimensionais estatísticos – cota A – 10% de areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica)

| | |
|---------------------------|---------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 325,700 |
| Máximo encontrado | 326,400 |
| Média (\bar{x}) | 326,055 |
| Mediana | 326,100 |
| Kurtosis | 1,622 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 2,921 |
| Capabilidade (8 sigmas) | 2,191 |

| | |
|----------|-------|
| CPK | 2,841 |
| Cpk (d2) | 2,316 |

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota B para o processo **experiência 2** - 100% de areia nova e as medidas lançadas no gráfico da **figura 40**.

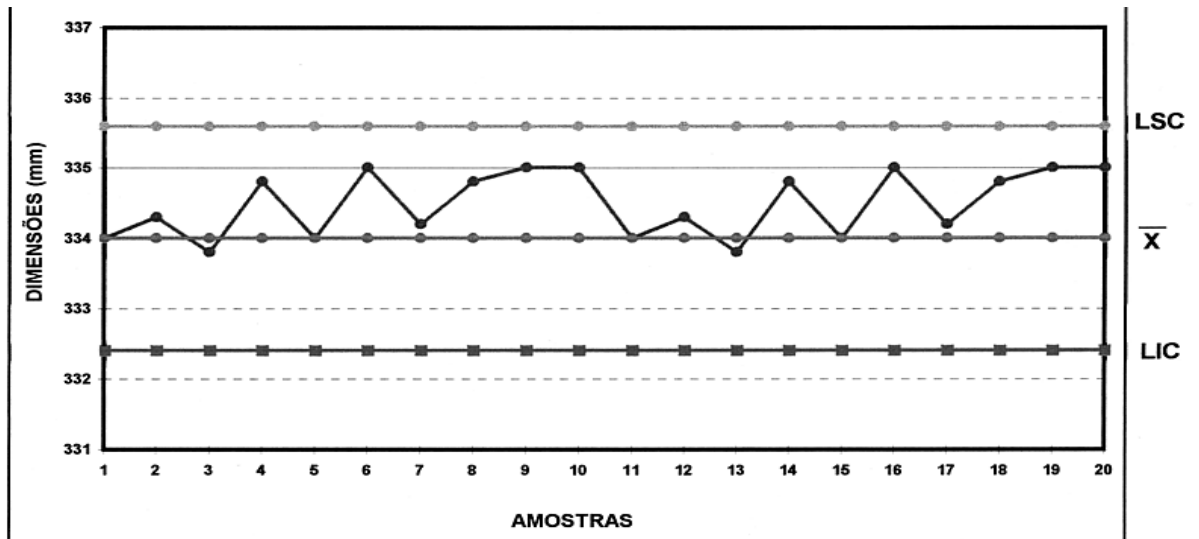


Figura 40 - Dimensões da cota B das peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova cura a frio (furânico).

| | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC – Limite Inferior de Controle | LSC – Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 334,000 mm ± 1,6 mm | | |

Quadro 24 - Dados dimensionais estatísticos – cota B – 100% de areia nova

| | |
|---------------------------|---------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 333,800 |
| Máximo encontrado | 335,000 |
| Média (\bar{x}) | 334,490 |
| Mediana | 334,550 |
| Kurtosis | 1,294 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 1,435 |
| Capabilidade (8 sigmas) | 1,077 |
| CPK | 1,084 |

| | |
|----------|-------|
| Cpk (d2) | 0,946 |
|----------|-------|

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota B para o processo **experiência 2a** - 10% de areia nova mais 90% de areia cura a frio (furânica) recuperada e as medidas lançadas no gráfico da **figura 41**.

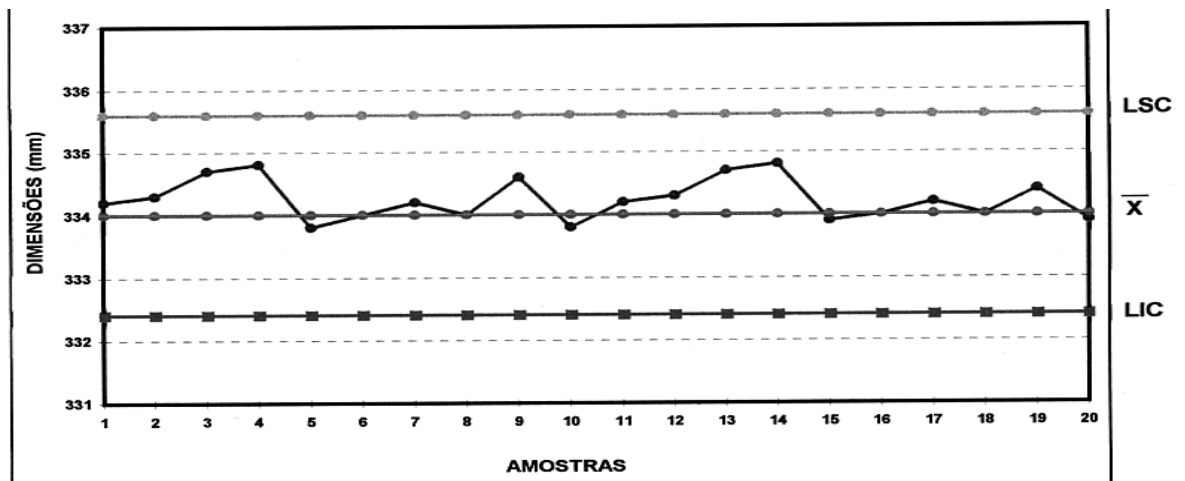


Figura 41 - Dimensões da cota B das peças produzidas com machos no processo cold box com 10% de areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica).

| | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC – Limite Inferior de Controle | LSC – Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 334,000 mm ± 1,6 mm | | |

Quadro 25 - Dados dimensionais estatísticos – cota B – 10% de areia nova + 90% de areia recuperada cura a frio (furânica)

| | |
|---------------------------|---------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 333,000 |
| Máximo encontrado | 334,800 |
| Média (\bar{x}) | 334,240 |
| Mediana | 334,200 |
| Kurtosis | 1,860 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 2,021 |
| Capabilidade (8 sigmas) | 1,516 |

| | |
|----------|-------|
| CPK | 1,778 |
| Cpk (d2) | 1,822 |

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota C para o processo **experiência 2** - 100% de areia nova e as medidas lançadas no gráfico da **figura 42**.

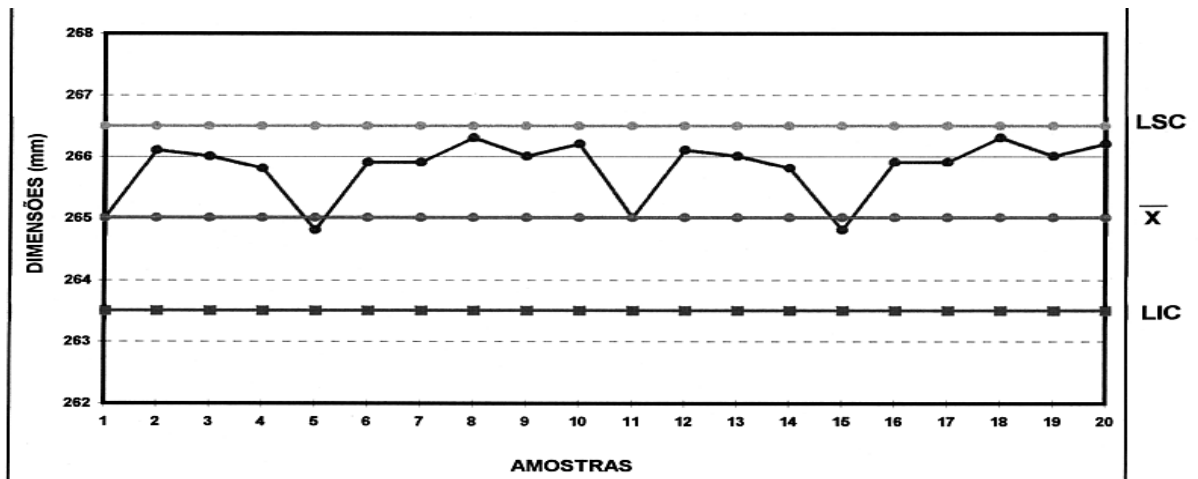


Figura 42 - Dimensões da cota C das peças produzidas com machos no processo cold box com 100% de areia nova cura a frio (furânica).

| | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC – Limite Inferior de Controle | LSC – Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 265,000 mm ± 1,5 mm | | |

Quadro 26 - Dados dimensionais estatísticos – cota C – 100% de areia nova

| | |
|---------------------------|---------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 264,800 |
| Máximo encontrado | 266,300 |
| Média (\bar{x}) | 265,800 |
| Mediana | 265,950 |
| Kurtosis | 2,857 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 1,304 |
| Capabilidade (8 sigmas) | 0,978 |

| | |
|-----------------|--------------|
| CPK | 0,755 |
| Cpk (d2) | 0,786 |

Realizou-se o dimensionamento das 20 peças nas medidas da cota C para o processo **experiência 2a** - 10% de areia nova mais 90% de areia cura a frio (furânica) recuperada e as medidas lançadas no gráfico da **figura 43**.

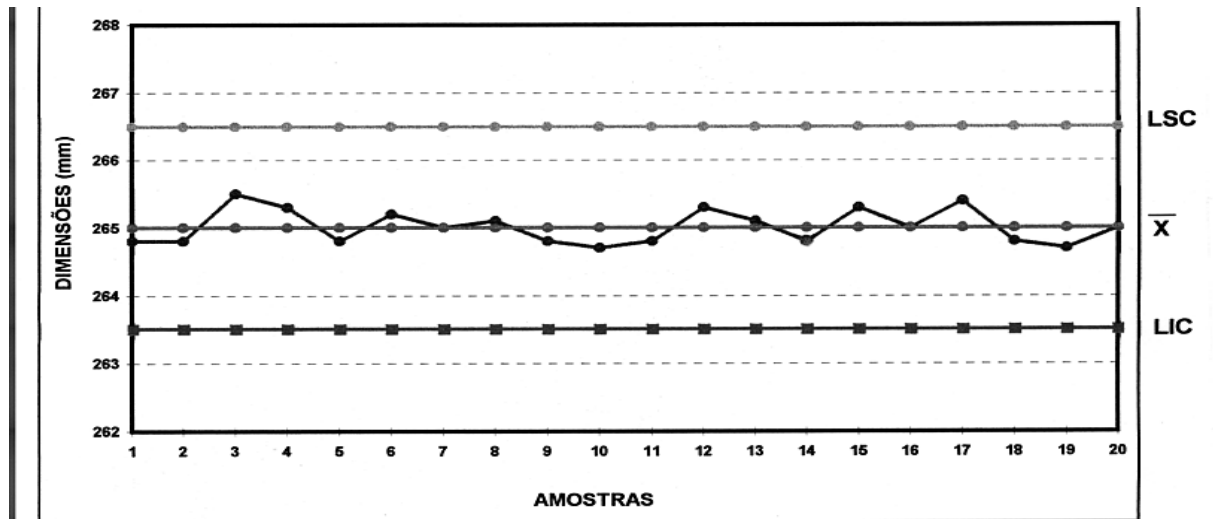


Figura 43 – Dimensões da cota C das peças produzidas com machos no processo cold box com 10% de areia nova + 90% areia recuperada cura a frio (furânica).

| | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| \bar{x} - Média | LIC – Limite Inferior de Controle | LSC – Limite Superior de Controle |
| Medida Nominal do desenho (cota A) = 265,000 mm ± 1,5 mm | | |

Quadro 27 - Dados dimensionais estatísticos – cota C – 10% de areia nova + 90% de areia recuperada cura a frio (furânica)

| | |
|-------------------------------------|----------------|
| Número de Dados | 20 |
| Mínimo encontrado | 264,700 |
| Máximo encontrado | 265,400 |
| Média (\bar{x}) | 265,005 |
| Mediana | 265,000 |
| Kurtosis | 1,534 |
| Capabilidade (6 sigmas) | 2,775 |

| | |
|----------------------------------|--------------|
| Capabilidade (8 sigmas) | 2,081 |
| CPK | 2,765 |
| Cpk (d2) | 2,603 |

Conclusão.

Pode-se verificar através dos resultados obtidos dos corpos de prova nos ensaios de resistência à tração, que com a adição da areia recuperada, há uma pequena queda nos resultados, mas mesmo assim continuam acima dos limites mínimos especificados, não comprometendo em nada a qualidade dos machos.

No aspecto dimensional verifica-se uma melhor estabilidade no processo **experiência 2a** (10% de areia nova e 90% de areia cura a frio furânica recuperada), pois o CPK do levantamento das medidas da cota A foi de **2,841**, o da cota B= **1,778**, e o da cota C= **2,765**, enquanto que no processo **experiência 2** (100% de areia nova) o CPK da cota A foi de **1,653**, na cota B= **1,084**, e na cota C= **0,755**.

Concluiu-se que a melhora da estabilidade dimensional é em função da colapsibilidade da areia recuperada ser mais constante quando comparada com a areia nova em função da expansão da sílica.

Os problemas de veimento que sempre existiram na maioria das peças fabricadas em ferro fundido em função do emprego da areia nova nos machos, foram totalmente eliminados com a utilização da areia recuperada, ganhando muito tempo nas fases de jateamento e rebarbação das peças.

Quanto à inspeção visual das peças não foram encontradas quaisquer anormalidades, sendo então classificados dentro dos padrões normais de qualidade requerida.

Com a implantação das medidas de utilização de areia a verde (sintética) recuperada, e também da utilização da areia cura a frio recuperada na fabricação de machos pelo processo amina-uretânico-fenólico (*cold box*), reduziu-se muito o consumo de areia nova, os resultados globais podem ser observados também no **quadro 28 na página 122**.

Capítulo 6

6- REDUÇÃO DO CONSUMO DE AREIA E ECONOMIA GERADA COM A PROPOSTA DE MINIMIZAÇÃO DE DESCARTE DE AREIAS.

A economia financeira conseguida com a redução da geração do descarte é muito significativa, mas não é considerada a principal.

Os principais benefícios que se tem conseguido é uma minimização da degradação da natureza, redução drástica das áreas para deposição e acima de tudo, respeito à sociedade atual e futuras gerações.

Estes benefícios são de difícil mensuração, mas as conseqüências são notórias no decorrer dos anos, principalmente próximo aos grandes centros urbanos.

Como já citado na introdução deste trabalho, os custos de descarte de areia, praticamente não faziam parte da planilha de custos das peças fundidas na maioria das fundições, mas devido as atuais exigências da **Lei de Crimes Ambientais nº 9605/98**, todos os fabricantes de peças fundidas, para atender os requisitos desta lei, necessitam contabilizar em seus custos as despesas relacionadas a este gerenciamento e, além disso, intensificar pesquisas, visitas em outras empresas e incansáveis trabalhos que visem reduzir o seu descarte e tornar-se cada vez mais competitivo.

Muitas empresas em função das exigências da Lei ambiental infelizmente fecharão suas portas, se retardarem os seus trabalhos nessa direção, mas em contrapartida, muitas ao desenvolverem as suas pesquisas, descobrirão um grande potencial para melhorias em geral, inclusive na minimização dos seus custos.

No caso da Fundação da Romi os resultados levantados estão demonstrados no **quadro 28** de redução de consumo de areia nova, e no **quadro 29** de economia total com a redução do consumo e descarte de areia.

Obs: Os quadros 28 e 29 apresentam o resultado da implementação de todas as medidas citadas anteriormente proposta neste trabalho.

Quadro 28 - Redução do consumo de areia nova nos sistemas (areia a verde e cura a frio) com a implantação das medidas propostas.

| CONSUMO DE AREIA NOVA NA ÁREA DA MOLDAGEM E MACHARIA | | | | | |
|---|--|------------------------------|------------------|--------------------|------------------|
| ÁREA DE PRODUÇÃO | PREVISÃO PRODUÇÃO PEÇAS (t/mês) | CONSUMO DE AREIA NOVA | | | |
| | | ANTERIOR (t) | ATUAL (t) | REDUÇÃO (t) | % REDUÇÃO |
| SINTÉTICA | 500 | 504,0 | 314,0 | 190,0 | 37,70 |
| FENÓLICA | 1000 | 700,2 | 0 | 520,0 | 74,26 |
| FURÂNICA | | 0 | 180,2 | | |
| TOTAL | 1500 | 1204,2 | 494,2 | 710,0 | 58,96 |

Nota:

- 1) É importante ressaltar que o descarte é praticamente igual ao consumo de areia, desta forma, reduzindo-se o consumo de areia, automaticamente o descarte é minimizado.
- 2) Considerando os novos níveis de consumo de areia, a relação do consumo (kg de areia por tonelada de peça boa) que era de 802 kg de areia para 1000 kg de peça boa, passou a ser de 329 kg de areia (redução de aproximadamente 59%).

Quadro 29 - Economia total gerada pela redução do consumo e conseqüente descarte da areia utilizada e custo para deposição em aterro particular, para uma produção estimada de 1.500 t. mensais.

| ECONOMIA TOTAL COM A REDUÇÃO DO CONSUMO E DESCARTE DE AREIA | | | |
|--|--|-------------------------------|------------------------------|
| | Economia de areia nova mensal 710 t | Economia mensal (US\$) | Economia anual (US\$) |
| Custo da Areia Nova US\$/t | 13,00 | 9.230,00 | 110.760,00 |
| Custo p/ deposição em aterro particular US\$/t | 28,00 | 19.880,00 | 238.560,00 |
| Economia Total p/ ano = | | US\$ 349.320,00 | |

Outros benefícios e economias não mensuradas:

- a) Consolidação da imagem da empresa.
- b) Redução do custo com controle ambiental.
- c) Diminuição do risco ambiental da indústria.
- d) Otimização do processo produtivo.
- e) Redução dos custos de produção..
- f) Marketing ambiental.
- g) Vantagem competitiva.

Como verificamos nos **quadros 28 e 29**, a economia financeira, embora não sendo a mais importante, também é altamente significativa, portanto novas pesquisas continuarão a ser realizadas visando a reduzir ainda mais o descarte.

Capítulo 7

7 - CONCLUSÕES FINAIS.

O problema do descarte de areias de fundição está se tornando cada vez mais sério devido à escassez de áreas para deposição do resíduo, próximo aos principais centros de produção, e seus impactos no meio ambiente.

Na fundição da Romi, onde foi desenvolvido este trabalho, estão sendo intensificados os trabalhos direcionados à minimização do descarte de areia, através de pesquisas e experimentos.

São poucas as referências na literatura especializada sobre a utilização de areia a verde (sintética) recuperada, substituindo parte da areia nova na fabricação de machos em *cold box*.

Em recente visita (junho/99) a uma fundição denominada De Globe, situada na cidade de Belfeld, Holanda, pudemos constatar que devido a escassez de área e a grande pressão dos órgãos ambientais a mesma precisa trabalhar com o mínimo de descarte possível. Além disso, o custo do descarte é US\$ 100,00/tonelada para deposição em aterro, sendo limitado o volume que se tem direito mensalmente.

A fundição De Globe está empregando na fabricação de machos em *cold box* 90% de areia a verde (sintética) recuperada, sendo completado com somente 10% de areia nova. Utilizam como aglomerantes em conjunto com as areias, resina parte I = 0,85%, resina parte II = 0,85%, mais o catalisador, perfazendo o total de resina de 1,7%. Os machos são pintados com tinta à base de água e secados à temperatura ambiente.

Como já explanado, a fundição da Romi possui dois sistemas de moldagem distintos: moldagem em areia a verde (sintética) e moldagem em cura a frio (furânica).

No processo de confecção de machos (macharia) emprega-se também dois processos:

1. Macharia em *cold box* processo (amina-uretânico-fenólico).
2. Macharia em cura a frio (furânica).

1. Macharia em *cold box*.

A macharia em *cold box* é dividido em dois processos de areia:

- 1.1. Processo de confecção de machos com (50% de areia a verde recuperada + 50% de areia nova). Granulometria das areias 60/70 AFS. Utiliza-se como aglomerantes , resina parte I = 0,65%, resina parte II = 0,55%, mais catalisador, perfazendo um total de resina de 1,2%. Os machos são pintados por imersão com tinta à base de álcool. Estes machos são de exclusiva aplicação nas peças fabricadas no sistema de moldagem em areia a verde (sintética).
- 1.2. Processo de confecção de machos com (90% de areia cura a frio recuperada + 10% de areia nova). Granulometria das areias 45/50 AFS. Utiliza-se como aglomerantes em conjunto com as areias, resinas parte I = 0,65%, resina parte II = 0,55%, mais catalisador, perfazendo um total de resina de 1,2%. Os machos também são pintados por imersão com tinta à base de álcool. Estes machos são de exclusiva aplicação nas peças fabricadas no sistema de moldagem em cura a frio (furânica).

2. Macharia em cura a frio (furânica).

O sistema de areia da macharia em cura a frio (furânica) é o mesmo empregado na moldagem. Emprega-se (95% de areia cura a frio recuperada + 5% de areia nova), Granulometria da areia 45/50 AFS.

Utiliza-se como aglomerantes resinas furânica = 1% e catalisador (APTS = 25 a 40% dependendo da temperatura). Os machos menores (até 150 kg) são pintados pelo processo de lavagem com tinta a base de álcool, enquanto os machos maiores também são pintados pelo processo de lavagem, mas a tinta é à base de água. Estes machos são de exclusiva aplicação nas peças fabricadas no sistema de moldagem em areia cura a frio (furânica).

Comparando o sistema de fabricação de machos em *cold box* com areia a verde (Sintética) recuperada da fundição da Romi com a fundição De Globe, verifica-se que a porcentagem de uso da Romi é menor (50% na fundição Romi X 90% na fundição De Globe).

Novas pesquisas serão elaboradas na fundição da Romi visando a aumentar o emprego de areia recuperada.

Observa-se no **quadro 28** a redução drástica do consumo de areia, além de se ter conseguido manter a mesma quantidade de resina. Convém lembrar que anteriormente empregava-se 100% de areia nova na confecção dos machos do processo *cold box* e 20% de areia nova no processo cura a frio (furânico).

Vários outros pontos muito importantes precisam ser ressaltados que contribuíram muito para minimização do descarte:

1. Saída de gases dos machos e moldes.
2. Relação metal/areia.
3. Treinamento.
4. Gerenciamento das fontes geradoras.

1. Saída de gases dos machos e moldes.

Em função de se desenvolver eficientes sistemas de saída de gases dos machos e moldes, gases estes originados pela reação dos aglomerantes com o metal líquido, no sistema cura a frio (furânico), pode-se trabalhar com a areia com

uma perda ao fogo maior (até 3,5%) que o máximo normalmente requerido (máximo 3,0%), sem comprometer a qualidade das peças fundidas e possibilitando trabalhar com altas percentagens de areia recuperada (aproximadamente 95%).

Além de poder trabalhar com uma perda ao fogo maior, a queima da areia é intensificada em função da alta temperatura dos gases ao passar pelas saídas, facilitando muito a desmoldagem e recuperação da areia.

2. Relação Metal/Areia.

Em função de inúmeras experiências concluiu-se que deve procurar obter para fabricação de peças em ferro fundido uma relação metal/areia de no máximo 1:3, isto é, para cada kg de metal do molde admitir no máximo 3 kg de areia, somando-se os pesos do molde + machos.

O projeto da peça, do modelo, marcações de machos, canais, dos ítems a serem desenvolvidos, bem como a adequação do tamanho das caixas de moldagem, emprego de alívios fixos ou móveis para economizar areia são primordiais durante o desenvolvimento do produto.

A relação metal/areia abaixo de 1:3, permite que durante o vazamento da peça, as altas temperaturas atingidas promovem em grande parte a gaseificação da resina, de maneira similar ao que ocorre na recuperação térmica.

3. Treinamento.

O treinamento do pessoal envolvido, como em qualquer atividade, é um outro ponto muito importante, pois com um prévio conhecimento dos entraves trazidos pelo descarte, passam preventivamente a minimizá-lo.

No caso da fundição da Romi, realizou-se um treinamento formal com todos os funcionários dos pontos de geração de descarte.

Passos seguidos para a execução do programa:

1. Treinamento de todos os funcionários envolvidos.
2. Identificação dos pontos de geração de descarte.
3. Quantificação do descarte gerado em cada ponto.
4. Elaboração de tabela para controle.
5. Criação de grupo de trabalho, denominado “Grupo de Fontes de Descarte”.

O grupo reúne-se quinzenalmente e é composto por dez funcionários pertencentes às principais áreas da fábrica.

Principais atribuições do grupo:

- 5.1. Analisar a quantidade e qualidade dos resíduos.
- 5.2. Propor medidas para a minimização, eliminação ou destinação do resíduo.
- 5.3. Auditorias
- 5.4. Reciclagem do treinamento.

4. Gerenciamento das fontes geradoras.

Um bom gerenciamento das fontes geradoras e a atuação eficaz muito contribui para a minimização do descarte, bem como um bom sistema de manutenção preventiva nos conjuntos dos misturadores, bombas de resina, bombas de catalisadores, vazão de areia, sistema de recuperação com ótima extração dos finos da areia, auditorias, etc.

Julgamos ainda importante ressaltar que por mais que se trabalhe no processo, mesmo assim haverá a possibilidade de reduzir os resíduos, reutilizá-los e reciclá-los.

Este trabalho está apenas começando mas já obteve-se resultados significativos.

Pretende-se aprofundá-lo ainda mais, pois a minimização do descarte de areias de fundição tornou-se uma necessidade. É imprescindível que todos os segmentos colaborem no intuito de encontrarmos alternativas criativas para consolidação de projetos visando ao desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP - 060, 061, 062. *Comissão de Estudos de Matérias Primas*. São Paulo, Out. 1980.

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP - 065. *Comissão de Estudos de Matérias Primas*. São Paulo, Nov. 1980.

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP - 081, 082. *Comissão de Estudos de Matérias Primas*. São Paulo, Maio 1982.

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP - 101. *Comissão de Estudos de Matérias Primas*. São Paulo, Abr 1994.

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP - 105. *Comissão de Estudos de Matérias Primas*. São Paulo, Maio 1983.

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP - 106. *Comissão de Estudos de Matérias Primas*. São Paulo, Abr 1994.

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP - 120. *Comissão de Estudos de Matérias Primas*. São Paulo, Maio 1985.

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP - 124. *Comissão de Estudos de Matérias Primas*. São Paulo, Maio 1986.

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP-162. Dietert. *Resina cura à frio para fundição. Determinação da resistência à tração da mistura padrão*. São Paulo, Fev. 1992.

ABIFA - CEMP. Recomendação CEMP - 190. *Comissão de Estudos de Matérias Primas*. São Paulo, Abr. 1986.

ALI, Salim Amed. Curso para Médicos do Trabalho. FUNDACENTRO (1980)

ANDRADE, Márcio de. Curso para Médicos do Trabalho. FUNDACENTRO (1976)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E PRODUTOS DERIVADOS (ABIQUIM). Manual de Emergência, 1989.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Resíduos Sólidos - Classificação*. PN 1:603-06-008. Ambiental Laboratório e Equipamentos LTDA, São Paulo, 8 p. Ago. 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Resíduos Sólidos - Classificação*. NBR 10004, Rio de Janeiro, p. 1-61, Set. 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Solubilização de Resíduos Sólidos - Classificação*. NBR 10006, Rio de Janeiro, Set. 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Resistência a Tração*. NBR 10611, Rio de Janeiro, Dez. 1987.
- BROSCH, C.D, RÉ, V.L. et al. *Areia de fundição e materiais de moldagem*. São Paulo, Boletim IPT n. 54. 1985.
- BURGESS, Willian A. *Identificação de Possíveis Riscos à Saúde do Trabalhador*. Belo Horizonte, Ergo Editora Ltda., 540 p., Abr. 1997.
- CALDARI, Rubens. Grupo Gestor das Fundições de Piracicaba (GGFP), 1999.
- CARSON, Walter H. *Manual Global de Ecologia*. 2.ed. São Paulo: Editora Augustus, 1996.
- CECCARELLI P.G, BUENO, Vilma et al. *Processo ASHLAND de caixa fria - Isocure* - Campinas, Apostila ASHLAND, 74 p., Maio 1992.
- CETESB. *Resíduos Sólidos Industriais*. São Paulo, Cetesb/Ascetesb, p. 68-74, 1985.
- CLAESEN, G, MARTIN, M. Empresa belga recupera areia através de raios infravermelhos. *Revista Fundição e Serviços*, São Paulo, p. 68-74, Ago. 1997.
- CLÁUDIO, J.R. *Resíduos Sólidos perigosos. Solidificação de lamas tóxicas com cimento*. Dissertação (Mestrado), São Paulo, Escola Politécnica, USP, 1987.
- CONRAD, Ralph. *Recuperação de Areias em Fundições (Turbomix)*. Congresso Nacional de Fundição. São Paulo, v. 20, p. 5, Set. 1991.

CORDEIRO, J.S. *O problema dos lodos gerados nos decantadores em estações de tratamento de água*. Tese (Doutorado), São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1993.

DAMASCENO, S. *Remoção de metais pesados em sistemas de tratamento de esgotos sanitários por processo de lodos ativados e por reator compartimentado anaeróbico*. Dissertação (Mestrado), São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1996.

DEUS, Roberto João de. Produção de Fundidos no Brasil. *Revistas Fundação e Serviços*. São Paulo, p. 12-13, Jan.Fev. 1998.

ELLINGHAUS, Walter. *A macharia dos anos 90*. CRIOS - Huttenes Albertus Chemische. Werke. Gmgh (Alemanha), Catálogo, 21 p. 1990.

FIGUEIREDO, Paulo J.M. The Brazilian Environmental Debate: Conceptual Elements and Controversial Questions, UNIMEP, 1998.

FUNDACENTRO. Curso para Médicos do Trabalho, 1976

GALANTE, Gabriele. *A moldagem por cura à frio: uma resposta à pesquisa sobre a qualidade e produtividade*. Congresso Nacional de Fundação. São Paulo, 37., Set. 1997.

GORGUEIRA, Cristina, ALVES, Francisco et al. Resíduos Sólidos Industriais. Qual é a melhor solução?. *Saneamento Ambiental*. São Paulo, n. 40. p. 12-21, 1996.

HALL, S.K. Pollution Engineerin. *Biological Monitoring of Metal Exposure*. v.21, n.01, p. 128-131, Jan. 1989.

LEI DE CRIMES AMBIENTAIS Nº 9.605, DE 12.02.98 (DOU 13.02.98), Revista CONSULEX, ano 2, Vol. II, nº 15, Mar. 98.

LEIDEL, Dieter.S. *Sand reclamation. It's possibilities and limitations*. 51ª International foundry Congress. Lisboa (Portugal). 1984.

Mc COMBE, C. *Developments in Sand reclamation Systems*. BCIRA International Conference. York (Inglaterra), Abr. 1996, p.37.1 - 37.19.

- MARIOTTO, C.L, BONIN, A.L, BARTH, F.R. et al. *Levantamento e avaliação de tecnologias de regeneração* - ABIFA - Associação Brasileira de Fundição, 1997.
- MARIOTTO, C.L, BONIN, A.L. et al. Tratamento dos descartes de areia - *Revista Fundição e Matérias Primas*. São Paulo, Mar/Abr. 1996.
- MATAME, Wilfredo, A. *Influência da Areia recuperada na resistência mecânica do processo fenólico - cura a frio*. Fundição Romi. Santa Bárbara D'Oeste, 13 p. 1991.
- NASCIMENTO Filha, Ondina Botelho. FUNDACENTRO (1976).
- OLIVEIRA, Roberta Celante de. *Encapsulamento de Areia de Fundição de Descarte em Matriz de Cimento*. Dissertação (Mestrado). São Carlos, 142 p., Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 1996.
- PARAGUAY, José B. Futuras perspectivas de uso dos vários materiais de moldação. *Revista Siderurgia Latino Americana*. Rio de Janeiro, n. 228, p. 61-69, Abr. 1979.
- PASCALICCHIO, Áurea Eleutério. A questão ambiental e a saúde. *Ciência Ambiental (Primeiros Mestrados)*. São Paulo, 1997.
- PETERS, Dean M. Sand/Binders/Sand Preparations/Coremating. *Foundry Management & Technology*. Cleveland, USA, D-3 p., Jan. 1995.
- PICCOLO, Rogério Sebastião de Jesus. *Resinas fenólicas e furânicas na linha de fundição* - Seminário - Empresa CRIOS. Rio Claro. 1996
- RAMPAZZO, Doris, JERONYMO, José Roberto, BEGALLI, Luiz, FILHO, Paolo Montanari et al. *Resinas Sintéticas para Fundição*. ALBA Química Indústria e Comércio Ltda. São Paulo, Abr. 1989.
- RAHMOELLER, K.M. Mold Binder decomposition: Prime Source of Cast Iron Gas Defects. *Modern Casting*. p. 36-39, Out. 1993.
- ROMANUS, Arnaldo. *Modelagem em areia verde: Resolva seus problemas via análises*. Congresso Nacional de Fundição. São Paulo, p. 147-151, Set. 1995.
- SIEGEL, M. *Fundição - ABM (Associação Brasileira de Metais)*. São Paulo, 1977.

- SILVA, J. Maroni. O lixo que vira aço. *Metalurgica & Materiais*. São Paulo, p. , Abr. 1999.
- TILCH, W. Uma avaliação integrada da regeneração do matéria de moldagem. *Revista Fundição e Serviços*. São Paulo, p. 16-36., Dez. 1997.
- TINEBRA, J., WILSON, S.J. et al. Sistema de Aglomerantes para o Processo de Cura a Frio. *Revista Fundição e Serviços*. São Paulo, Mar. 1996.
- TRACANA, R.B. Stainless steel corrosion products cause alterations on mouse spleen cellular populations - Journal of Materials Science. *Materials in Medicine*. V. 6, n. 01, p. 56-61, Jan. 1995.
- VANCA, P.M. *Era da contabilidade ambiental - Revista ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)*. São Paulo, n. 02, 1997.
- VIANNA, Áureo R. Sistema Svedala Faço de Regeneração Térmica de Areia de Fundição - Svedala Faço Ltda. *Fundição e Matérias Primas*. São Paulo, a. 03, n. 19, p. 28-38, Maio/Jun. 1997.
- WAKAMATSU, Celina Tamie, FERNÍCOLA, Nilda Alicia Gallego Gándar de et al. Intoxicação Profissional por Benzeno. *Medicina do Trabalho Doenças Profissionais*. Ed. Sarvier, São Paulo, 1980.
- WALTON, Charles F. Gray and Ductile Iron Casting Hand Book. Cleveland, USA. 1971.
- WELLS, Christopher. Empresas se Adaptam ao ISO Ecológico; texto de Fernandes Daniela, *Jornal Folha de São Paulo, Caderno Cotidiano*, São Paulo, p. 12, Maio. 1996.

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

AMBIDGE, P.F., BIGGINS, P.D.E. et al. Environmental Problems Crising from the use of Chemicals in Moulding Materials. *BCIRA.*, 24 p., 1984.

BEX, Tom. Venting Corer and Molds. *Modern Casting.* p. 42, Aug. 1991.

BLACKBURN, Colin. Recuperação elimina problemas com descarte das areias de fundição. *Revista Fundição e Serviços.* São Paulo, p. 30-37, Jan. 1997.

BUSBY, A.D., SHAW, F.M. et al. The reclamation of Phosphoric-Acid-Catalysed UF/FA-Resin Bonded Sands. *BCIRA Conference.* Pennsylvania (USA), 12 p., Abr. 1984.

BONIN, André Luis, ROSSINI, Adilson J., ZABIN, Antonio F. P. et al. *Reutilização da areia preta de fundição na construção civil.* ABIFA/CONAF, p. 203-221, Set. 1995.

BLUMENFELD, Karen, MONTRONE, Anthony et al. Quando a ecologia dá bons lucros. *HSM Management.* São Paulo, p. 134-140, Jun/Ago. 1997.

CAREY, Paul, SWANTZLANDER, Michael et al. As interações entre resina e areia no trabalho com aglomerantes. *Revista Fundição e Serviços.* São Paulo, p. 20-28, Jan. 1997.

CAREY Paul, ARCHIBALD, Jim. Um estudo detalhado do sistema Cold Box amina-uretâmico-fenólico. *Revista Fundição e Serviços.* São Paulo, p. 28-51, Maio 1998.

CLARK, S,E, THOMAN, C,W, WILLIANS,R, KRYSIAK,M,B. et al. Evaluation of Reclaimed Green Sand for Use in Various Core Processes. *American Foundry Society - Transactions (AFS),* Pennsylvania, USA, v. 102, 1994.

COMISSÃO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, MEIO AMBIENTE E MINORIAS. *Agenda 21.* Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995.

DIEHL, Marlos Dias. Planejamento da regeneração de areias de fundição. *Revista Metalúrgica e Materiais.* São Paulo, p. 188-191, Abr. 1998.

- ECHARD, J.B., REGAN, R.W., VOIGT, R.C. et al. Environmental Impact of Foundry Residuals: Pennsylvania Beneficial use Approach. *AFS Transactions*. Pennsylvania (USA), p. 463-468, 1995.
- ELLINGHAUS, W., LOECHTE, K. et al. Regeneração e reutilização da areia de macho não utilizada no vazamento. *Revista Fundição e Serviços*. São Paulo, p. 14-30, Out. 1998.
- ETKIND, M.P. Environmental Legislation. *BCIRA International Conference*. Warwick, p. 38-42, Abr. 1996.
- FRONTEROTTA, Bruno. A fundição de ferro começou no Brasil-Colônia. *Revista Fundição e Matérias Primas*. São Paulo, Out/Dez. 1999.
- FIGUEIREDO, Paulo J.M. *A Sociedade do Lixo: Os resíduos, a Questão Energética e a Crise Ambiental*. Piracicaba. UNIMEP, 1995.
- FINCHER, William W.. Proper Venting. Is a Key Ingredient in Reducing Casting Defects. *Modern Casting*. P. 47, Out. 1995.
- HASSE, S. TILCH, W. Interações entre as areias de macho e a areia do circuito. *Revista Fundição e Serviços*. São Paulo, p. 30-47, Maio 1997.
- IYER, Raja. *Uso efetivo da tecnologia de recuperação de areia*. Tradução: José Carlos Gomes. São Paulo, ALBA Química, 1993.
- KAUFFMANN, P., REGAN R.W., VOIGT R.C. et al. Survey of State Environmental Regulations Impacting Beneficial Reuse of Foundry Residuals. *AFS Transactions*, Penn State University, Pennsylvania (USA), p. 527-558, 1996.
- KONIG, W., RUMMENHOLLER, S. et al. As indústrias estão tendo que orientar ecologicamente seus processos produtivos. *Metal e Metalurgia*. São Paulo, p. 22-29, Abr. 1998.
- KORNEGAY, Barry, LANHAN, Genny, MOSHER, Gary et al. Clean Air Act Needs Planning, Concerted Action. *Modern Casting*, p. 43-45, Jul. 1991.
- KOTZIN, Ezra L. Venting ... A Lost Art. *Modern Casting*. p. 40-42, Mar. 1998.
- LENAHAN, Mike. What to do with Spent Foundry Sand ?. *Foundry Management & Technology*. p. 32, Dez. 1998.

- MAGNAMI, Ricardo A., LONGO, E. PASKOCIMAS, C.A., ROSSI, C.S. CUNHA, P.A. da, SILVA, S.N., PINHEIRO, A.S., SANTOS, B.M. dos. Processo de reciclagem recuperam areia de fundição. *Revista Fundição e Serviços*. São Paulo, p. 46-59, Set. 1998.
- MAIMON, Dalia. *Passaporte Verde: Gestão Ambiental e Competitividade*. Rio de Janeiro: Editora Quality Mark, 1996.
- MARIOTTO, Cláudio, BONIN, André Luis et al. Tratamento dos descartes de areia. *Revista Fundição e Matérias Primas*. São Paulo, p. 28-32, Maio.Abr. 1998.
- MATOS, Stelvia Vigolvino, SCHALCH, Valdir et al. *Oportunidades de minimização de resíduos de areia de fundição*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos- USP. 18 p., 1996.
- NONATO Filho, Osvaldo. Equipamentos para moldagem e macharia - Os últimos desenvolvimentos. *Revista Fundição e Matérias Primas*. São Paulo, 1979.
- PHILBIN, Matthew L. Sand Reclamation 1995: Is It Time for Your Foundry ?. *Modern Casting*. P. 25-29, Aug. 1995.
- PHILBIN, Matthew. Sand Reclamation Equipment: Users Answer the Questions. *Modern Casting*. p. 22-26, Aug. 1996.
- REGAN, R.W., VOIGT, R.C., PALESTKI, W.T., MANSELL, R.P. et al. Chemical Characterizations of Spent Molding Sands: Environmental Issues. *AFS Transaction*. Pennsylvania (USA). p. 749-756, 1994.
- ROSA, Maria Alice. Consumidor pode interferir no meio ambiente. *O Estado de S. Paulo*, São Paulo, p. B8, Out. 1995.
- SALAZAR, José Monteiro. Araçoiaba & Ipanema. Sorocaba-SP. Ed. Digipel, 164 p. Abr./1998.
- SCRIMSHIRE, David. What's Involved in Implementing ISO 14001?. *Modern Casting*, P. 32-34, Dez. 1996.
- SHAW, F.M., SMITH, D.J. et al. The Recycling of Sand-Plant Sludge in Clay-Bonbed Sand Systems. *BCIRA*. , 16 p. 1984.
- SILVEIRA, Geraldo Tadeu R. Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos. *Saneamento Ambiental*. São Paulo, n. 40, p. 30-35, 1996.

- SOUZA, Aurora M. G. de França. *Resíduos Sólidos*. Piracicaba, UNIMEP, 13 p., Set. 1998.
- SOUZA, Hellen C.O. Controle da emissão de poluentes começa com a identificação das suas fontes. *Revista Fundição e Serviços*. São Paulo, p. 22-26, Abr. 1998.
- STERN, Paulo C., Oran R. Young, Deuckman Daniel et al. *Mudanças e Agressões ao Meio Ambiente*. São Paulo: Editora Makron Book do Brasil Ltda, 1993.
- TORDOFF, Willian L. Could Cryogenics Crystallize as an Option for Sand Reclamation. *Modern Casting*. p. 35-37, Aug. 1998.
- 31 st. Census of World Casting Production - 1996. *Modern Casting*. Dez. 1997.
- VEIGA, José Eli da. *Ciência Ambiental - Primeiros Mestrados*. São Paulo: Editora-Comunicação Anna Blume, 1ª ed., Maio. 1998.
- VELLOSO, João Paulo dos Reis. *A Ecologia e o Novo Padrão de Desenvolvimento no Brasil*. São Paulo: Editora Nobel S.A., 1992.
- ULFERS, Hm., HIGHFIELD, J.W. et al. Processing Foundry Sands at John Deere: Turning Waste Management into Asset Management. *AFS Transactions*. Pennsylvania (USA), p. 717-720, 1996.
- ZAYKO, Robert E. 12 Steeps to Exploring your - Beneficial Reuse Options. *Modern Casting*. p. 40-42, Aug. 1998.
- ZIEGLER, Mark J. Orientações sobre um produto dos mais usados nas fundições. *Revista Fundição e Serviços*. São Paulo, p. 30-34, Fev.Mar. 1995.