

PROJETO VOLTADO PARA MOLDAGEM DE PEÇAS FUNDIDAS

Silva, A. S. C.; Universidade Federal de São João Del Rei –UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica – Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - e-mail: achaves@ufsj.edu.br

Braga, D. U.; Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica - Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - e-mail: durval@ufsj.edu.br

Gonçalves Filho; E. V.; Universidade de São Paulo - EESC-USP - Departamento de Engenharia Mecânica – Av. Trabalhador São Carlense, 400 - São Carlos- SP – Brasil – e-mail: evila@sc.usp.br

Souza M. S.; Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica - Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - e-mail: msavio@ufsj.edu.br

Resumo. *Desenvolveu-se uma metodologia de projeto voltada para a obtenção de fundidos, em que a confecção do molde é obtida levando-se em consideração os vários aspectos relativos aos machos, modelos, canais de alimentação, massalotes e as propriedades da areia. Este procedimento teve como objetivo complementar as informações técnicas do projetista no processo de desenvolvimento do projeto de fundidos, permitindo, dentre outras, identificar informações técnicas disponíveis na literatura atual e selecioná-las por grau de dependência. Após análise e interpretação destas informações sistematizou-se uma metodologia de projeto voltado para a moldagem de peças fundidas em areia, visando a redução de tempo e custo de projeto. Esta metodologia poderá ser implementada em sistemas atuais que empregam inovações na área de inteligência artificial. Como resultado, pôde-se organizar diferentes diretrizes a serem seguidas durante a fase de projeto de moldes destrutivos em areia, propiciando maior segurança e confiabilidade na obtenção do produto acabado.*

Palavras-Chave: *Fundição em Areia, Guia, Moldagem e Sistematização.*

1. INTRODUÇÃO

A indústria atual compete em um mercado globalizado, razão pela qual necessita de métodos e meios para que seus produtos apresentem custo final mais baixo. Assim, a manufatura e a montagem têm merecido atenção especial no projeto do produto.

Devido ao decréscimo do ciclo de vida do produto, o projeto passou a ter influência maior no seu custo final. Pesquisas mostram que 70 a 80 % do custo final do produto é determinado durante a fase de projeto. Para se tornarem competitivas as empresas precisam de que seus produtos sejam projetados, fabricados e colocados no mercado o mais rápido possível como forma de se atingir o sucesso (Ishii,1995).

Quando no projeto do produto ficar decidido que a fundição é o processo mais adequado, o projetista encaminha um desenho para o setor de fundição que, normalmente, sugere algumas

modificações a fim de facilitar a sua fabricação e minimizar seu custo (Back,1983). Uma vez aceitas estas modificações, inicia-se a confecção dos modelos e caixas de machos e, posteriormente, a confecção das peças para testes. Se houver problemas, as peças são modificadas, bem como os respectivos modelos e caixas de machos. Esta forma utilizada no desenvolvimento do produto é a convencional, ou seja, o desenvolvimento é realizado e só depois do produto acabado, consegue-se detectar possíveis falhas (Linderg,1993). Para se evitar essa rotina, propõe-se utilizar o conhecimento do Projeto Voltado para a Manufatura – DFM. O DFM tem por objetivo a integração entre processo e o projeto do produto, utilizando conhecimentos e regras para otimizar o sistema de manufatura no sentido de aumentar a qualidade, diminuir os custos e proceder entrega de produtos com rapidez. Para isso o DFM procura identificar os conceitos do produto que facilitam a manufatura e integrar o processo de manufatura com o projeto do produto para satisfazer as necessidades requeridas (Boothroyd, 1994).

Uma das formas de minimizar falhas no processo de manufatura é utilizar as recomendações de projeto que poderão auxiliar o projetista a dar forma final ao produto a fim de facilitar sua fabricação. As recomendações de projetos destinadas à manufatura do fundido incluem orientações detalhadas tais como: ângulo de saída do modelo; sobremetal, machos, contração linear, facilidade de saídas de gases, marcações, areia dentre outras.

Para auxiliar o projetista a minimizar as falhas no processo de moldagem de peças fundidas, um guia foi desenvolvido.

2. OBJETIVO DA PESQUISA

O propósito deste trabalho de pesquisa é formar uma base de dados e conhecimento que contenha regras do conhecimento técnico da área de fundição, visando facilitar o desenvolvimento do projeto de peças fundidas, através de um guia de auxílio ao projetista tanto na fase de projeto como na manufatura. Este guia ajudará o projetista na obtenção das recomendações para o projeto de uma peça fundida no processo de fundição em areia. Este guia auxiliará na tomada de decisão do processo de desenvolvimento do projeto do fundido, onde serão fornecidas informações específicas da integração entre os processos de fundição e o projeto, permitindo a formação de uma base de conhecimento de fácil acesso.

3. FUNDAMENTAÇÃO

Ao projetar uma peça fundida usando a metodologia da Engenharia Simultânea o projetista necessita do conhecimento dos especialistas nas diversas áreas, tais como: materiais, processos de fundição, viabilidade econômica e recomendações de projeto para o fundido de modo a reduzir possíveis dificuldades em se colocar o produto na linha de fabricação (Brazier,1990). Normalmente o projetista nem sempre tem facilidade em obter o conhecimento dos diversos especialistas nas diversas áreas que contribua para o projeto de uma peça fundida, devido à disponibilidade ou, até mesmo, à ausência do especialista.

Hoje, para que se obtenham informações confiáveis acerca destas diversas áreas de conhecimento é necessário que o projetista busque respostas junto aos fornecedores, livros especializados, centros de pesquisa e a especialistas (quando disponíveis) (Dieter,1983). O problema é que nem sempre os cronogramas prevêm o tempo a ser dispendido com esta pesquisa. Para auxiliar o projetista na obtenção destas informações, de forma rápida e confiável, este trabalho propõe uma sistematização do conhecimento necessário para se ter um bom projeto de peças fundidas (Silva, 2002). Ele se baseia no guia DFM, que são regras ou orientações sistemáticas de boa prática de projeto, e que foram obtidas ao longo de anos de experiência em projeto e manufatura de peças fundidas.

4. GUIA DE AUXÍLIO AO PROJETISTA NO PROCESSO DE MOLDAGEM DE PEÇAS FUNDIDAS EM AREIA

O guia de auxílio ao projetista no processo de moldagem de peças fundidas baseia-se na sistematização do conhecimento sobre processo de moldagem de peças fundidas em areia. Para sistematizar o conhecimento foi necessário: reunir dados sobre o processo de fundição em areia; analisar e interpretá-los, colocando-os à disposição do projetista no desenvolvimento da moldagem; agrupar o conhecimento essencial ao projetista, através da técnica de DFM e sistematizar as orientações de projeto de modo a formar um guia voltado para moldagem de peças fundidas.

4.1 Métodos

Para implementar este trabalho seis métodos foram utilizados:

4.1.1 Coleta das Regras

Nesta fase coletaram-se as informações sobre o processo de moldagem (confeção do molde) em areia. Para se projetar um fundido, utiliza-se um modelo que é um elemento do processo de moldagem, ou seja, é através deste modelo que se consegue imprimir na areia a geometria da peça que receberá o metal líquido. No entanto, deve-se prever a contração linear do metal no processo de solidificação, ou seja, o modelo deverá ser maior que o produto acabado. Foi necessário coletar as regras e orientações apresentados em artigos, Handbook, revistas, etc..

4.1.2 Sistematização das Orientações

As orientações foram classificadas e agrupadas dentro de quatro categorias, conforme pode ser visto na figura 1.

4.1.3 Qualificação dos Recursos Humanos

A qualificação dos recursos humanos começa na formação dos grupos de pessoas das principais áreas de uma fundição. Elas são formadas pelo pessoal do controle de areia, da modelação, da metalurgia e do projeto de sistemas de canais e massalotes.

4.1.4 Aspectos Relevantes na Obtenção de uma Informação

O processo adequado da moldagem depende:

- a) das informações obtidas de especialistas;
- b) das regras (DFM);
- c) das descrições das regras (checar);
- d) das possíveis informações técnicas e humanas;
- e) da constituição de uma equipe com os responsáveis de cada área, a fim de se obter orientações de como projetar um fundido visando uma fácil moldagem.

4.1.5 Projeto Voltado para a Moldagem de uma Peça Fundida

O DFM focou as orientações mais efetivas na moldagem de uma peça fundida em areia. São elas: Geometria do Fundido (traçado visando a moldagem, retirada do molde, contração do metal, sobremetal de usinagem e marcação) e Obtenção do Fundido (modelo, massalotes, canais, areia etc.).

4.1.6 Estruturação dos Procedimentos a Serem Adotados

Determinar as regras imprescindíveis a uma fácil moldagem ; identificar as possíveis regras pela classificação e exibição, de forma a sistematizar o conhecimento; analisar o processo, examinando todos os fatores que podem facilitar a moldagem.

5. RESULTADO

5.1 Sistematização do Conhecimento

A sistematização do conhecimento resultou num roteiro que descreve uma seqüência de recomendações de projeto como pode ser visto na figura 1. Esta sistematização foi desenvolvida após verificar as necessidades básicas das informações do projetista no processo de desenvolvimento do produto (moldagem). Inicialmente as necessidades básicas foram classificadas ou separadas em dois ítems denominados, respectivamente, processo de fundição em areia e recomendações de projeto para o fundido.

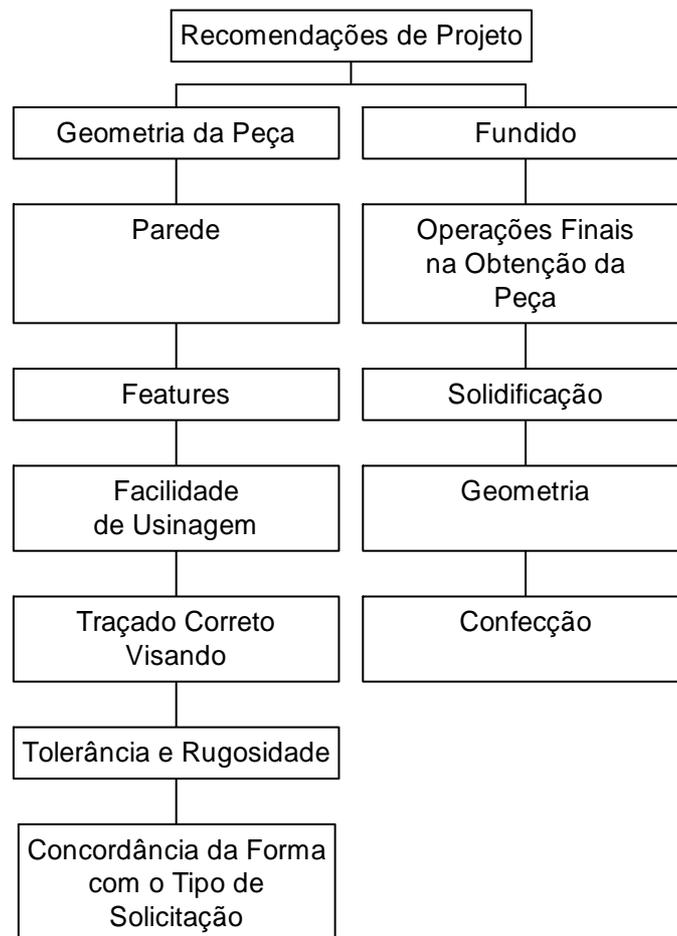


Figura 1. Sistematização das orientações de projeto na forma de guia de auxílio ao projetista.

Parte da sistematização do conhecimento sobre os processos de fundição está ilustrada na figura 2, onde cada subdivisão contém bases de conhecimento sobre os respectivos assuntos.

Observa-se na figura 2 que as recomendações de projeto para a geometria da peça estão subdivididas segundo as informações referentes a: parede, *features* (características), facilidade de usinagem, traçado correto (moldagem), tolerância e rugosidade e concordância da forma com o tipo de solicitação, onde estas orientações estão contidas na base de conhecimento formada.

A geometria da peça tem seis subdivisões. A primeira subdivisão trata da geometria da parede da peça que engloba informações sobre a concordância entre paredes em prolongamento, e espessura. A concordância entre paredes pode ter diferentes formas tais como, concordância em L, T, Y e Cruz; traçado da peça visando a produção em grandes séries, para uma conexão em forma de T. Através das informações sobre concordância entre paredes o projetista pode reduzir as concentrações de tensões e o acúmulo de metal na parede da peça. Um exemplo do conteúdo colocado na base de conhecimento é sobre a concordância entre paredes para uma peça em forma

em L a ser fundida em areia. Esta base de conhecimento contém informações sobre o valor do raio de concordância para evitar a concentração de tensão.

A segunda subdivisão da geometria da peça trata das *features* (características) que englobam orientações sobre furos, rebaixos, insertos e nervuras. Os furos obtidos na geometria da peça podem ser feitos no processo de fundição através da colocação de machos nos moldes ou usinados depois da peça pronta. Recomenda-se furar a peça depois de pronta quando o diâmetro do furo for inferior a 19mm (Bralla, 1986). Um exemplo para o diâmetro mínimo do macho é ilustrado na base de conhecimento. Estas orientações apresentadas nesta base servem de guia nas dimensões mínimas de furos, para o processo de fundição em areia.

A terceira subdivisão da geometria da peça trata da facilidade de usinagem e engloba orientações sobre redução de operações de aplainamento, torneamento e fresamento; saída da ferramenta e de como prever a furação. Um exemplo de orientação para redução das operações de torneamento é que a geometria da peça deve ter faces de assentamento situados no mesmo lado e as superfícies a serem usinadas devem ter a mesma altura, para que a usinagem seja possível com uma única fixação da peça e sem alterar a ajustagem da ferramenta.

A quarta subdivisão trata do traçado correto da geometria da peça visando moldagem, usinagem, minimização das tensões internas e deformações; acabamento da peça; eliminação de rechupes, fendas, vazios e inclusões. Estas informações técnicas, certamente, auxiliam o projetista na adequação de projetos de peças a serem obtidas por fundição.

Alguns defeitos de fundição podem ser causados pelo traçado inadequado da peça. O traçado inadequado pode trazer problemas como fixação inadequada do macho, enchimento da cavidade com metal líquido de maneira irregular e dificuldade na saída dos gases do macho. A solução destes problemas é conseguida através do traçado correto.

A quinta subdivisão trata da rugosidade superficial e tolerância dimensional. A base de conhecimento inclui dados médios quanto às tolerâncias dimensionais ou rugosidade superficial que podem ser obtidas com peças produzidas pelos processos de fundição (areia, molde permanente, sob pressão). O processo de fundição em areia presta-se melhor à produção de peças dentro de tolerâncias mais abertas, quando comparado com os processos de fundição em molde permanente ou sob pressão. Os processos de fundição em molde permanente ou sob pressão são especialmente indicados para produção de peças de maior precisão.

A sexta e última subdivisão trata da concordância da forma com o tipo de solicitação. Um dos exemplos apresentados na base de conhecimento ilustra uma peça sujeita à flexão, onde a solução apresentada é concentrar mais material no lado tracionado da peça (Silva, 2002).

5.1.2 Um Exemplo de Aplicação Seguindo a Metodologia Proposta

Quando o projetista precisa ter orientações do processo de moldagem em areia basta usar o conhecimento da metodologia desenvolvida neste trabalho.

O primeiro passo é saber quais informações são necessárias para a Geometria da Peça (Figura 1)

- Parede;
- *Features*;
- Facilidade de Usinagem;
- Traçado Correto Visando a Moldagem;
- Tolerância e Rugosidade;
- Concordância da Forma com o Tipo de Solicitação.

Assumindo que a resposta seja “traçado correto visando a moldagem”(Figura 2), o segundo passo é saber quais são as recomendações. Estas recomendações são:

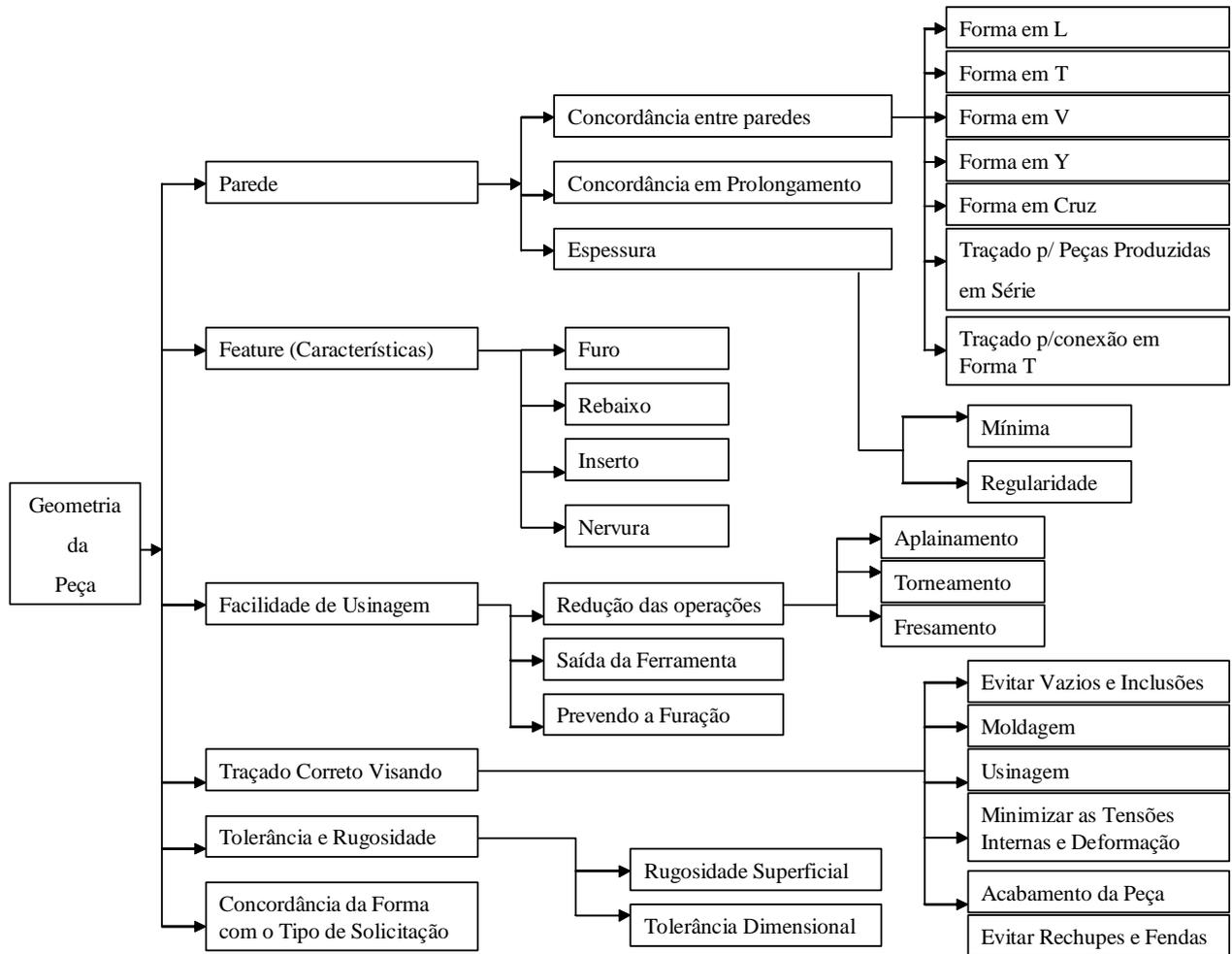


Figura 2. Recomendações de projeto para a geometria da peça

Exemplo 1: para o traçado visando o sentido de moldagem

A peça da figura 3(A) só poderá ser moldada no sentido da seta (flechas), porque apresenta contra-saída para moldagem no sentido vertical.

Neste caso, não é recomendado porque o posicionamento do macho no molde é bastante difícil e a obtenção de espessuras regulares não pode ser garantida.

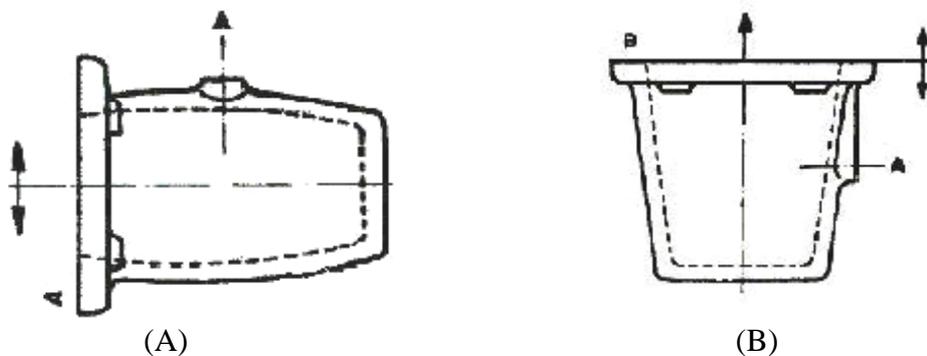


Figura 3. Exemplo de peça para moldagem

Modo Correto - Na figura 3(B), a moldagem no sentido vertical torna-se possível, com maior probabilidade de se obter uma peça perfeita, pois a fixação do macho é melhor assegurada, o enchimento da cavidade com metal líquido é mais regular, a saída dos gases do macho é facilitada e as tolerâncias dimensionais melhoradas.

O exemplo apresentado anteriormente auxiliará o projetista a identificar e obter as informações imprescindíveis a um projeto com menor probabilidade de falhas no processo de manufatura, diminuindo, assim, o tempo gasto na resolução do problema, bem como possíveis custos devido a tentativas na solução de defeitos. Para as demais orientações segue-se a mesma metodologia citada acima.

6. CONCLUSÕES

Não aplicando os princípios do DFM no desenvolvimento do projeto do produto, defeitos podem ocorrer com mais frequência no processo de manufatura, acarretando custos de reprojeção e material. Logo a integração entre a técnica de DFM na fase de desenvolvimento do projeto do produto, minimizará o aparecimento de defeitos no processo de manufatura.

A sistematização das orientações de projeto de peças fundidas, desenvolvida nesta pesquisa, contribuirá para o projeto de peças fundidas e facilitará a aplicação dos conceitos da tecnologia de fundição no processo de moldagem.

As bases de conhecimento implantadas apresentam aproximadamente, 100 orientações sobre a geometria da peça (processo de fundição em areia). Estas bases de conhecimento, implantadas na sistematização, visam melhorar o nível de informações requerido pelo projetista durante o desenvolvimento do produto (moldagem). Como consequência o projeto será mais eficiente, simples e mais fácil de se fabricar e montar.

A contribuição desta pesquisa se resume nos seguintes aspectos: as informações estarão sempre à disposição do projetista; o conhecimento é aprimorado com o tempo e rapidez nas respostas quando solicitado. Esta metodologia pode ser empregada em programas inteligentes, no auxílio ao projetista (CAD- Projeto Auxiliado por Computador/CAE- Engenharia Auxiliada por Computador).

7. REFERÊNCIAS

- BACK, N.; **Metodologia de projeto de produtos industriais**. ed. Guanabara Dois, 1983.
- BOOTHROYD, G.; **Product design for manufacturing and assembly**. Marcel Dekker, inc. New York, Basel-Hong Kong, 1994.
- BRALLA, J. G.; **Handbook of product design for manufacturing - A Practical Guide for Low-Cost Production**. New York: McGraw-Hill, 1986.
- BRAZIER, D.; **Concurrent engineering: participating in better designs**, Mechanical Engineering, january, 1990.
- DIETER, G.E; **Engineering design**. New York: McGraw-Hill, 1983.
- ISHII, K.; Life-cycle engineering design. **Transactions of the ASME**, v.117, 1995 p.42-47, june.
- LINDERG, L.; Note on concurrent engineering. **Annals of the CIRP**, v.42, 1993, p. 159-162, january.
- SILVA, A. S. C.; **“Um sistema de auxílio ao projetista de peças fundidas através da integração entre técnicas DMF e projeto auxiliado por computador”** São Carlos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

DESIGN FOR CASTINGS PARTS MODELING

Silva, A. S. C., Universidade Federal de São João Del Rei –UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica – Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - [e-mail: achaves@ufsj.edu.br](mailto:achaves@ufsj.edu.br)

Braga, D. U., Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica - Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - [e-mail: durval@ufsj.edu.br](mailto:durval@ufsj.edu.br)

Gonçalves Filho, E. V.; Universidade de São Paulo - EESC-USP - Departamento de Engenharia Mecânica – Av. Trabalhador São Carlense, 400 - São Carlos- SP – Brasil – e-mail: evila@sc.usp.br

Souza M. S., Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica - Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - [e-mail: msavio@ufsj.edu.br](mailto:msavio@ufsj.edu.br)

Abstract. *A methodology of project was developed to design for casting, where the confection of the mold taking in consideration the some relative aspects the cores, patterns feed head, risers and the sand properties. This procedure had as objective to complemente the technical informations of the designer in the process of development of the casting design , allowing, amongst others, to identify to technical informations available in current literature and to select them by dependence degree. After analysis and interpretation of these information, a methodology of design for sand casting molding was systemize, aiming at the reduction of time and cost of project. This methodology could be implemented in current systems that use innovations in the area of artificial intelligence. As result, it could be organized different guidings to be followed during the phase of project of destructive sand molds, allowing most security and reliable of the finished product.*

Keyword: *Sand Casting, Guide, Molding and Systematization.*